

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 012 607

②1 N° d'enregistrement national : **13 60591**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 N 17/00 (2013.01), G 01 N 3/00, 3/06**

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 30.10.13.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 01.05.15 Bulletin 15/18.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE Société par actions simplifiée — FR et AIRBUS OPERATIONS Société par actions simplifiée — FR.

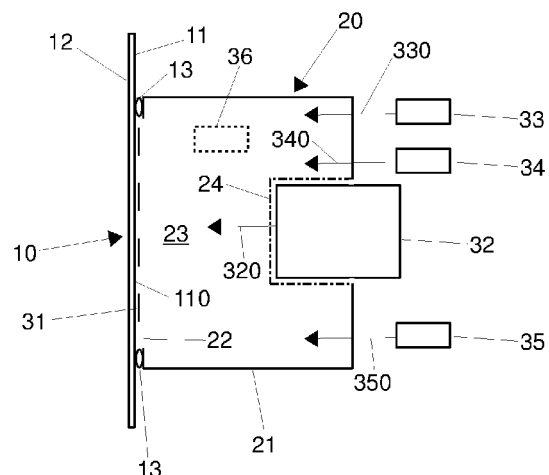
⑦2 Inventeur(s) : GUILLOU MARIE-PAULE, RIVES BERTRAND, PELLAN GILLES et AUDOIN FLORENT.

⑦3 Titulaire(s) : EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE Société par actions simplifiée, AIRBUS OPERATIONS Société par actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET SCHMIT CHRETIEN.

⑤4 DISPOSITIF ET PROCÉDE DE MISE EN OEUVRE D'ESSAIS DE VIEILLISSEMENT D'UN MATERIAU PAR EXPOSITION A AU MOINS UNE CONTRAINTE CLIMATIQUE, POUVANT ETRE ASSOCIEE A UNE SOLLICITATION MECANIQUE.

⑤7 L'invention concerne un dispositif pour la mise en oeuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, par exposition à au moins une contrainte climatique. Ce dispositif comporte une éprouvette du matériau (10) présentant une première face (11) et une deuxième face opposée (12), une chambre (20) définie par une paroi périphérique (21) dans laquelle est ménagée une fenêtre (22), et des moyens de contrôle dans la chambre d'au moins un paramètre de contrainte climatique. L'éprouvette est assemblée à la paroi périphérique de la chambre de sorte à fermer la première fenêtre de manière étanche aux fluides, la première face de l'éprouvette se trouvant du côté intérieur à la chambre. Ce dispositif permet ainsi de soumettre la seule première face (11) de l'éprouvette de matériau à une ou plusieurs contraintes climatiques, le cas échéant en association avec une sollicitation mécanique.



FR 3 012 607 - A1



La présente invention s'inscrit dans le domaine des essais de vieillissement des matériaux. Plus particulièrement, elle concerne un dispositif pour la mise en œuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, par exposition à au moins une contrainte climatique, éventuellement associée à au moins une sollicitation mécanique, ainsi qu'un procédé mettant en œuvre un tel dispositif.

Un domaine d'application préféré de l'invention, auquel il sera fait plus particulièrement référence dans la présente description, est la mise en œuvre d'essais de vieillissement pour des matériaux destinés à former des éléments de structure d'aéronefs, en particuliers de structures revêtues d'aéronefs. Le dispositif et le procédé selon l'invention sont ainsi en particulier destinés aux laboratoires d'essais aéronautiques.

La présente invention trouve cependant également application dans tout autre domaine dans lesquels des pièces sont destinées à être soumises à des conditions climatiques contraignantes, par exemple dans le domaine du bâtiment, les domaines naval, ferroviaire, automobile, en particulier pour les véhicules fonctionnant à moyenne ou grande vitesse, le domaine des énergies renouvelables, par exemple des éoliennes, et plus particulièrement les laboratoires d'essais respectivement associés.

La présente invention s'applique en outre à tous types de matériaux, par exemple, mais non limitativement, aux matériaux métalliques, tels que l'aluminium, ou aux matériaux composites du type à base de fibres mécaniquement résistantes distribuées dans une matrice de résine organique polymère, ces matériaux pouvant ou non être revêtus, par exemple par tous types de peintures, etc.

Les structures d'aéronefs sont soumises, en opération, à des contraintes de plus en plus nombreuses et sévères. En particulier, les conditions de vol des aéronefs évoluent et donnent lieu à des conditions externes plus extrêmes, notamment liées à la pollution, aux pluies acides, aux particules volcaniques, à diverses contaminations de l'atmosphère, à des

orages, etc. D'autre part, l'apparition de nouveaux matériaux dans le domaine aéronautique a eu pour effet d'augmenter le nombre de types de dégradations subies par les éléments de structure des avions, parmi lesquelles on peut citer les fissurations, les changements de coloration et/ou brillance, les
5 délamination, pelages, craquelures, écaillages, décollements, prises d'eau, oxydation, etc.

Il s'avère par conséquent de plus en plus important d'améliorer la compréhension des mécanismes de dégradation dans le temps des structures d'avion en conditions proches des conditions réelles d'utilisation, à travers un
10 essai le plus représentatif possible de ces conditions réelles, de sorte à permettre de mieux apprécier la durabilité, plus précisément le comportement dans le temps, des matériaux, et en particulier des matériaux destinés à former des éléments de structures revêtues d'avions. Ceci permettrait notamment de mieux apprécier les dégradations que le matériau est susceptible de subir
15 en opération, et de pouvoir prendre en compte ces dégradations de la manière la plus fiable possible lors du dimensionnement des structures.

Concernant plus particulièrement les contraintes climatiques, il a été proposé par l'art antérieur des dispositifs pour la mise en œuvre d'essais de vieillissement de matériaux, comportant une enceinte à l'intérieur de laquelle
20 est placé un échantillon du matériau dont il est souhaité de déterminer le comportement sous l'effet d'une ou plusieurs contraintes climatiques. Ces dispositifs peuvent comporter divers moyens de génération dans l'enceinte d'une contrainte climatique, par exemple d'un rayonnement solaire, d'une basse température, d'un degré d'humidité élevé, etc. Ces dispositifs ne
25 permettent cependant pas de reproduire des conditions qui soient bien représentatives de conditions réelles d'utilisation des matériaux testés.

La présente invention vise à remédier aux inconvénients des dispositifs proposés par l'art antérieur pour la mise en œuvre d'essais de vieillissement d'un matériau, notamment à ceux exposés ci-avant, en
30 proposant un tel dispositif, ainsi qu'un procédé d'essai de vieillissement, notamment accéléré, au moyen d'un tel dispositif, qui permettent de reproduire

de manière la plus représentative possible les conditions réelles de sollicitation auxquelles le matériau est destiné à être soumis en opération, et ainsi d'accéder à une meilleure connaissance du comportement de ce matériau, plus particulièrement des dégradations qu'il est susceptible de subir lors de son utilisation ultérieure.

A cet effet, selon un premier aspect, la présente invention concerne un dispositif pour la mise en œuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, qui comporte :

- 10 - une éprouvette du matériau, comportant une première face et une deuxième face opposée,
- une première chambre définie par une paroi périphérique dans laquelle est ménagée une fenêtre, dite première fenêtre,
- 15 - et des moyens de contrôle, dans cette première chambre, d'au moins un paramètre de contrainte climatique associé à une contrainte climatique,

Selon l'invention, l'éprouvette est assemblée à la première chambre de sorte à fermer la première fenêtre de manière étanche aux fluides, la première face de l'éprouvette se trouvant du côté intérieur à la première chambre, et, par voie de conséquence, la deuxième face de l'éprouvette se trouvant à l'extérieur de la première chambre. Ainsi, la partie de la première face de l'éprouvette 20 disposée au niveau de la première fenêtre, dite partie exposée, et elle seule, est soumise à la contrainte climatique générée dans la première chambre.

Dans le dispositif selon l'invention, seule une des faces de l'éprouvette du matériau, dont on peut considérer qu'elle constitue une partie de la paroi 25 périphérique délimitant le volume interne de la première chambre, est ainsi exposée à la contrainte climatique mise en place dans la première chambre. Le dispositif permet de ce fait avantageusement de soumettre l'éprouvette de matériau à des conditions climatiques différentes au niveau de ses faces opposées, et ainsi de reproduire de manière plus fiable les conditions réelles 30 d'utilisation des pièces constitutives de structures d'aéronef, qui sont soumises

à des conditions climatiques différentes au niveau de leurs faces disposées respectivement à l'intérieur, et à l'extérieur, de l'aéronef.

Dans la présente description, on entend, par contrainte climatique, une contrainte environnementale, telle que la chaleur ou le froid, l'humidité, le rayonnement solaire, une basse ou haute pression, etc. Les paramètres de
5 contrainte climatique associés sont ainsi la température, la pression, le degré d'hygrométrie, le rayonnement solaire.

On entend par ailleurs, de manière classique en elle-même, par le terme éprouvette, une pièce ou un échantillon du matériau présentant une
10 forme définie et qui est utilisé pour réaliser un essai, plus particulièrement, selon la présente invention, un essai de vieillissement.

L'éprouvette du dispositif selon l'invention peut présenter toute nature et toute configuration, en particulier toute forme, toutes dimensions, toute rigidité, etc., y compris des configurations complexes. Elle peut notamment
15 présenter tout type de singularité, telle que la présence de fixation, rivetage, jonction, éclissage, etc. Elle peut en outre présenter toute structure, notamment une structure monolithique ou une structure sandwich, comporter des moyens de protection contre la foudre, et/ou tout revêtement de surface, par exemple de type peinture, etc.

20 Le dispositif selon la présente invention permet ainsi de réaliser des essais de vieillissement pour une multitude de géométries et de natures de pièces d'aéronefs.

Selon des modes de réalisation particuliers, l'invention répond en outre aux caractéristiques suivantes, mises en œuvre séparément ou en chacune de
25 leurs combinaisons techniquement opérantes.

Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, le dispositif comporte des moyens de contrôle dans la première chambre d'au moins deux paramètres de contrainte climatique choisis parmi la température, la pression, le degré d'hygrométrie, et le rayonnement solaire, de préférence de l'ensemble
30 de ces paramètres, de sorte qu'il permet avantageusement de reproduire de

manière combinée, au niveau de la première face de l'éprouvette, un ensemble de contraintes climatiques représentatives de conditions climatiques réelles.

Selon une caractéristique tout à fait avantageuse de l'invention, le dispositif comporte en outre de préférence :

- 5 - une deuxième chambre définie par une paroi périphérique dans laquelle est ménagée une fenêtre, dite deuxième fenêtre,
- et des moyens de contrôle dans cette deuxième chambre d'au moins un paramètre de contrainte climatique associé à une contrainte climatique.

10 L'éprouvette est assemblée à cette deuxième chambre de sorte à fermer la deuxième fenêtre de manière étanche aux fluides, la deuxième face de l'éprouvette se trouvant du côté intérieur à la deuxième chambre. De cette sorte, la partie de la deuxième face de l'éprouvette disposée au niveau de la deuxième fenêtre, dite partie exposée, et elle seule, est soumise à la contrainte
15 climatique créée dans la deuxième chambre.

Le dispositif selon l'invention répondant à une telle caractéristique permet tout à fait avantageusement d'appliquer une contrainte climatique contrôlée au niveau de chacune des faces opposées de l'éprouvette, et de reproduire ainsi de manière d'autant plus représentative les conditions réelles
20 d'opération des pièces d'aéronefs.

Cet objectif de l'invention est en outre d'autant mieux atteint lorsque, selon une caractéristique préférentielle particulièrement avantageuse de l'invention, le dispositif comporte des moyens de contrôle dans la deuxième chambre d'au moins deux paramètres de contrainte climatique choisis parmi la
25 température, la pression, le degré d'hygrométrie, et le rayonnement solaire, de préférence de l'ensemble de ces paramètres.

Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, les moyens de contrôle du ou, le cas échéant, des, paramètre(s) de contrainte climatique dans la deuxième chambre, sont opérables indépendamment des moyens de
30 contrôle du ou, le cas échéant, des, paramètre(s) de contrainte climatique dans

la première chambre. Il est ainsi avantageusement possible d'appliquer, au moyen du dispositif selon l'invention, la ou les contrainte(s) climatique(s) dans chacune de la première chambre et de la deuxième chambre de manière autonome l'une de l'autre. Le dispositif selon l'invention permet ainsi
5 d'appliquer des contraintes climatiques différentes dans les deux chambres, et est ainsi tout à fait adapté pour la réalisation d'essais de vieillissement de matériaux destinés à former des éléments de structure d'aéronefs, dans lesquels les conditions climatiques peuvent être très différentes entre l'intérieur et l'extérieur de l'aéronef.

10 Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, les moyens de contrôle du paramètre de contrainte climatique, ou, de préférence, les moyens de contrôle de chaque paramètre de contrainte climatique, dans la première chambre et/ou dans la deuxième chambre, sont du type permettant de faire varier ledit paramètre, en particulier selon un profil de variation
15 prédéterminé. Pour chaque paramètre de contrainte climatique, ce profil de variation peut être identique dans la première chambre et la deuxième chambre. Il y est de préférence différent.

Selon une caractéristique particulière de l'invention, les moyens de contrôle d'au moins un paramètre de contrainte climatique dans la première
20 chambre, et le cas échéant les moyens de contrôle de chaque paramètre de contrainte climatique dans la première chambre, comportent :

- des moyens d'application du paramètre dans la première chambre,
- des moyens d'acquisition de données concernant ce paramètre au niveau de la partie exposée de la première face de l'éprouvette,
- 25 - et des moyens de commande des moyens d'application du paramètre dans la première chambre, en fonction des données acquises par les moyens d'acquisition de données.

De la même manière, de préférence, les moyens de contrôle d'au moins un paramètre de contrainte climatique dans la deuxième chambre, et le
30 cas échéant les moyens de contrôle de chaque paramètre de contrainte

climatique dans la deuxième chambre, comportent :

- des moyens d'application du paramètre dans la deuxième chambre,
- des moyens d'acquisition de données concernant ce paramètre au niveau de la partie exposée de la deuxième face de l'éprouvette,
- 5 - et des moyens de commande des moyens d'application du paramètre dans la deuxième chambre, en fonction des données acquises par les moyens d'acquisition de données.

Pour au moins une de la première chambre et de la deuxième chambre, de préférence pour chacune d'entre elles, les moyens d'acquisition
10 de données concernant un, ou le cas échéant plusieurs, paramètre(s) de contrainte climatique, comportent des capteurs spécifiques du paramètre en question, qui sont notamment disposés sur la surface de la partie exposée de la face de l'éprouvette correspondante.

Les moyens d'application des paramètres de contrainte climatique
15 dans la première chambre et dans la deuxième chambre sont classiques en eux-mêmes. Il entre dans les compétences de l'homme du métier de sélectionner, parmi la multitude de systèmes connus, les systèmes les plus appropriés en fonction des contraintes climatiques auxquelles l'éprouvette doit être soumise.

20 Par exemple, lorsque le paramètre de contrainte climatique est le rayonnement solaire, reproduisant les conditions du rayonnement solaire, il peut s'agir de moyens d'émission d'un rayonnement tels que des lampes UVA et/ou UVB et/ou xénon, de préférence équipées d'un filtre. Lorsque le paramètre est la température ou le degré d'hygrométrie, il peut s'agir d'un
25 système apte à introduire dans la chambre concernée un flux d'air contrôlé en température et degré d'humidité.

Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, l'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette à la première chambre, et/ou l'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette à la deuxième
30 chambre, est réalisée par un joint d'étanchéité. Ce joint d'étanchéité est

interposé, sur tout le pourtour de la fenêtre concernée, respectivement, entre la première face de l'éprouvette et la paroi périphérique de la première chambre, et entre la deuxième face de l'éprouvette et la paroi périphérique de la deuxième chambre.

5 Le joint d'étanchéité est préférentiellement formé en une matière résistante aux contraintes climatiques imposées dans la chambre, notamment en une matière résistante à des contraintes climatiques extrêmes telles qu'un grand froid, une basse ou haute pression, un degré élevé d'hygrométrie et/ou un fort rayonnement solaire. Il est en outre avantageux que cette matière soit
10 élastiquement déformable, de sorte à assurer un maintien de l'étanchéité aux fluides au niveau de la zone d'assemblage de l'éprouvette avec la paroi périphérique de la chambre même en cas de déformation de l'éprouvette. A titre d'exemple, le ou les joints d'étanchéité peuvent être formés en silicone.

Le dispositif selon l'invention comporte en outre des moyens
15 d'assemblage de l'éprouvette à la paroi périphérique de la première chambre, et le cas échéant à la paroi périphérique de la deuxième chambre, qui sont classiques en eux-mêmes. Il peut notamment s'agir de moyens d'assemblage par clippage. Par exemple, ces moyens d'assemblage peuvent être configurés de sorte à maintenir l'éprouvette en pression entre la paroi périphérique de la
20 première chambre et la paroi périphérique de la deuxième chambre, un joint d'étanchéité étant intercalé et également maintenu en pression entre l'éprouvette et chacune de ces parois périphériques.

Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, le dispositif est configuré de sorte à permettre une détermination du comportement du
25 matériau soumis à la ou aux contrainte(s) climatique(s) dans la première chambre, et le cas échéant dans la deuxième chambre. Ainsi, le dispositif selon l'invention peut avantageusement comporter des moyens de suivi du comportement du matériau formant l'éprouvette au niveau de la partie exposée de la première face de l'éprouvette, et, le cas échéant, des moyens de suivi du
30 comportement du matériau formant l'éprouvette au niveau de la partie exposée de la deuxième face de l'éprouvette.

Ces moyens de suivi du comportement du matériau peuvent être du type par observation visuelle, tels que des capteurs optiques, par exemple une caméra, aptes à acquérir des données visuelles de la partie exposée de l'éprouvette durant les essais. Il peut autrement consister en des capteurs à
5 émission acoustique, permettant par exemple de repérer des ruptures du revêtement sur l'éprouvette, notamment lorsque cette dernière est une pièce revêtue. Des capteurs de différents types peuvent être utilisés conjointement dans chaque chambre. Ils sont de préférence associés à un système de récupération et d'enregistrement des données relevées au cours du temps.

10 Dans des modes de réalisation particulièrement avantageux de l'invention, répondant mieux encore à l'objectif que s'est fixé la présente invention de permettre la réalisation d'essais de vieillissement dans des conditions les plus représentatives possibles des conditions réelles d'utilisation des pièces, le dispositif comporte en outre des moyens de sollicitation
15 mécanique de l'éprouvette, en statique ou en dynamique, de préférence en traction, compression et/ou flexion.

Ainsi, le dispositif selon l'invention permet avantageusement de réaliser des essais de vieillissement représentatifs de modes combinés mécaniques et environnementaux impliqués dans le vieillissement naturel des matériaux. Il
20 s'avère en cela bien supérieur aux techniques proposées par l'art antérieur, qui ne prévoient rien d'autre, pour déterminer le comportement d'un matériau et ses caractéristiques de dégradation dans le temps, que de mettre en œuvre une pluralité d'essais élémentaires indépendamment les uns des autres, notamment d'une part des essais sous contraintes climatiques, et d'autre part
25 des essais de sollicitation mécanique, ce qui ne permet nullement de reproduire le caractère combiné des sollicitations réelles, et en particulier les effets interactifs éventuels entre les différents modes, tels que des effets accélérateur, retardant, etc.

Le dispositif selon l'invention, reproduisant le caractère combiné des
30 sollicitations réelles auxquelles sont soumises les pièces, par exemples les éléments de structures revêtues d'aéronefs, permet par conséquent d'obtenir

des résultats d'essais fiables représentatifs d'un vieillissement naturel. Il permet notamment avantageusement de reproduire des cycles réels ou accélérés de sollicitations des éléments de structure d'aéronef.

Les moyens de sollicitation mécanique de l'éprouvette du dispositif selon l'invention sont des moyens d'essais mécaniques standardisés classiques en eux-mêmes. Dans des modes de réalisation particuliers de l'invention, ils comportent des moyens de préhension de deux extrémités opposées de l'éprouvette, tels que des mors d'un appareil de traction, compression et/ou mise en flexion, et des moyens de déplacement de ces moyens de préhension, suivant une direction, et avec une amplitude et une vitesse de déplacement, qui sont pilotés par des moyens de commande que comporte le dispositif à cet effet.

Le dispositif selon l'invention peut en outre comporter une pluralité de capteurs de déformation locale de l'éprouvette, tels que des jauges de contrainte, disposées sur la surface de l'éprouvette, aussi bien au niveau de la partie exposée de la première face de l'éprouvette, que de la partie exposée de sa deuxième face et/ou au niveau de toute autre zone disposée en dehors de la première chambre et de la deuxième chambre.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, le dispositif peut comporter des moyens de commande centralisée, permettant un asservissement combiné des différentes sollicitations imposées à l'éprouvette, plus particulièrement de commande centralisée :

- des moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la première chambre, de préférence selon un profil de variation prédéterminé,
- des moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la deuxième chambre, de préférence selon un profil de variation prédéterminé, ce profil pouvant être identique ou différent, pour chaque paramètre de contrainte climatique, à celui appliqué dans la première chambre,

- et, le cas échéant, des moyens de sollicitation mécanique de l'éprouvette.

Ces moyens de commande centralisée sont de type classique en eux-mêmes, et comportent notamment un module de mémorisation des consignes de variation des paramètres de contrainte climatique et de sollicitations 5 mécaniques ainsi que des données mesurées par les différents moyens d'acquisition de données du dispositif, et de calcul et de génération de signaux à l'intention des différents éléments constitutifs du dispositif. Ce module est de préférence du type ordinateur programmé, comportant au moins un 10 microprocesseur, et des moyens de mémorisation (disque dur magnétique, mémoire flash, disque optique, etc.) dans lesquels est mémorisé un produit programme d'ordinateur, sous la forme d'un ensemble d'instructions de code de programme à exécuter pour mettre en œuvre les différentes étapes de calcul du procédé mis en œuvre au moyen du dispositif selon l'invention. 15 Suivant certains modes de réalisation, le dispositif de calcul comporte également un ou des circuits intégrés spécialisés, de type FPGA, CPLD, etc., adaptés à mettre en œuvre tout ou partie des étapes de calcul de ce procédé.

Ces moyens de commande centralisée sont notamment configurés de sorte à permettre de reproduire, en temps réel ou en accéléré, les conditions 20 réelles d'opération des pièces testées, par exemple, pour des éléments de structure d'aéronef, la succession des différentes phases de parking, roulage, décollage, vol de croisière, descente, atterrissage, roulage, parking, ceci pour toutes les conditions météorologiques pouvant être rencontrées, telles que des conditions standard, tropicales, polaires, etc., et en tenant compte qui plus est 25 des différences environnementales entre l'intérieur et l'extérieur de l'aéronef.

Selon un deuxième aspect, la présente invention concerne un procédé de mise en œuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, au moyen d'un dispositif selon l'invention, répondant à l'une ou plusieurs des caractéristiques décrites ci-avant. Ce procédé comprend l'exposition de la seule partie exposée 30 de la première face de l'éprouvette du matériau à au moins une première contrainte climatique. Ceci est réalisé par contrôle, dans la première chambre,

d'un paramètre de contrainte climatique associé à cette première contrainte climatique.

Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, lorsque le dispositif comporte des moyens de contrôle dans la première chambre d'une pluralité de paramètres de contrainte climatique, le procédé comprend l'exposition de la seule partie exposée de la première face de l'éprouvette à un premier ensemble de contraintes climatiques, par contrôle dans la première chambre de paramètres de contrainte climatique associés à chacune des contraintes climatiques de ce premier ensemble.

Préférentiellement, lorsque le dispositif est du type comportant deux chambres d'essais distinctes, le procédé selon l'invention, mettant en œuvre ce dispositif, comprend l'exposition simultanée de la seule partie exposée de la deuxième face de l'éprouvette à au moins une deuxième contrainte climatique, par contrôle dans la deuxième chambre d'un paramètre de contrainte climatique associé à cette deuxième contrainte climatique.

Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, lorsque le dispositif comporte des moyens de contrôle dans la deuxième chambre d'une pluralité de paramètres de contrainte climatique, le procédé comprend l'exposition de la seule partie exposée de la deuxième face de l'éprouvette à un deuxième ensemble de contraintes climatiques, par contrôle dans la deuxième chambre de paramètres de contrainte climatique associés à chacune des contraintes climatiques de ce deuxième ensemble.

Selon une caractéristique particulièrement avantageuse de l'invention, lorsque le dispositif mis en œuvre répond aux modes de réalisation dans lesquels il comporte des moyens de sollicitations mécaniques de l'éprouvette, simultanément à l'exposition de l'éprouvette à une ou des contrainte(s) climatique(s) dans la première chambre, et le cas échéant à une ou des contrainte(s) climatiques(s) dans la deuxième chambre, l'éprouvette est soumise à au moins une sollicitation mécanique.

Dans des modes de mise en œuvre particuliers de l'invention, le

procédé comprend l'exposition de l'éprouvette à des cycles successifs de, simultanément :

- 5 - variation dans la première chambre du ou des paramètre(s) de contrainte climatique, selon un profil prédéterminé pour chacun de ces paramètres,
- 10 - variation dans la deuxième chambre du ou des paramètre(s) de contrainte climatique, selon un profil prédéterminé pour chacun de ces paramètres, ce profil pouvant être identique au profil de variation du même paramètre dans la première chambre, ou, de préférence, en être différent,
- et, le cas échéant, sollicitation mécanique, notamment selon un profil prédéterminé.

Les multiples avantages du procédé selon l'invention, et de chacune de ses caractéristiques, sont similaires à ceux du dispositif selon l'invention, décrits de manière détaillée ci-avant dans la présente description.

L'invention sera maintenant plus précisément décrite dans le cadre de modes de réalisation préférés, qui n'en sont nullement limitatifs, avec l'appui des figures 1 à 3, dans lesquelles :

- 20 - la figure 1 représente de manière schématique un dispositif selon un mode de réalisation particulier de l'invention, comportant une seule chambre d'essais ;
- la figure 2 représente de manière schématique un dispositif selon un autre mode de réalisation particulier de l'invention, comportant deux chambres d'essais et des moyens de sollicitation mécanique de l'éprouvette ;
- 25 - et la figure 3 illustre un exemple de profils de variation de divers paramètres climatiques appliqués, conformément à la présente invention, respectivement dans la première chambre et dans la deuxième chambre du dispositif de la figure 2.

Un exemple d'un dispositif selon l'invention, pour la mise en œuvre

d'un essai de vieillissement d'un matériau, est montré sur la figure 1.

Ce dispositif comporte une éprouvette 10 dudit matériau. Cette éprouvette peut présenter toute configuration, notamment toutes formes et dimensions, et toute nature. Il s'agit par exemple d'un élément de structure revêtu d'aéronef. L'éprouvette 10 représentée à titre d'exemple sur la figure 1 se présente sous forme d'une pièce allongée, de section sensiblement rectangulaire, une telle forme n'étant nullement limitative de l'invention.

L'éprouvette 10 comporte deux faces opposées, dont une première face 11 et une deuxième face 12. Chacune de ces faces peut ou non être plane, et peut ou non comporter une ou plusieurs singularités. La surface de chacune est par exemple comprise entre 10 et 1 000 cm².

Le dispositif comporte en outre une chambre pour la réalisation d'essais en conditions environnementales, dite première chambre 20. Cette première chambre 20 comporte une paroi périphérique 21, dans laquelle est ménagée une fenêtre 22. La fenêtre 22 peut présenter toute forme et toutes dimensions. Préférentiellement, elle présente une forme sensiblement rectangulaire et elle occupe sensiblement toute une face de la première chambre 20.

L'éprouvette 10 est assemblée à la paroi périphérique 21 de la première chambre 20, par des moyens d'assemblage classiques en eux-mêmes, par exemple du type par clippage, qui ne sont pas représentés sur la figure pour des raisons de clarté. Cet assemblage est réalisé de sorte à obturer entièrement la fenêtre 22, de manière étanche aux fluides. Ceci est réalisé de telle sorte que la première face 11 de l'éprouvette 10 se trouve disposée du côté intérieur à la première chambre 20, en contact avec le volume intérieur 23 de cette dernière. La deuxième face 12 de l'éprouvette 10 se trouve alors à l'extérieur de la première chambre 20, orientée à l'opposé de celle-ci.

La partie de la première face 11 de l'éprouvette 10 se trouvant disposée au niveau de la fenêtre 22, dite partie exposée 110, est alors soumise, et elle seule, c'est-à-dire à l'exclusion de la deuxième face 12 de

l'éprouvette, aux conditions climatiques et environnementales régnant dans la première chambre 20. La surface de cette partie exposée 110, dite surface utile de la première face 11 de l'éprouvette 10, est par exemple comprise entre 10 et 1 000 mm².

5 L'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette 10 et de la paroi périphérique 21 de la première chambre 20 est assurée par un joint d'étanchéité 13, intercalé et maintenu en pression, sur tout le pourtour de la fenêtre 22, entre la première face 11 de l'éprouvette 10 et la paroi périphérique 21 de la première chambre 20. Ce joint est par exemple, mais non
10 nécessairement, un cordon de silicone.

La première chambre 20 consiste par exemple en un caisson mécanosoudé de précision, étanche et compatible avec un taux d'humidité proche de 95 %. La paroi périphérique 21 de cette première chambre est de préférence opaque aux rayonnements solaires, à l'exception le cas échéant,
15 lorsque le dispositif est configuré de sorte à permettre l'établissement dans la première chambre 20 d'une contrainte climatique liée au rayonnement solaire, d'une zone de paroi 24 permettant la transmission du rayonnement solaire. Sur la figure 1, cette zone de paroi 24 permettant la transmission du rayonnement solaire est représentée en traits mixtes, de sorte à mieux la distinguer du
20 restant de la paroi périphérique 21.

La première chambre 20 peut en outre comporter une fenêtre de visualisation, non représentée sur la figure 1, permettant à un opérateur d'observer le volume intérieur 23 de la première chambre.

Le dispositif comporte des moyens de contrôle d'au moins un
25 paramètre de contrainte climatique, de préférence d'une pluralité de paramètres de contrainte climatique, dans la première chambre 20. Ces paramètres sont notamment choisis parmi la température, la pression, le degré d'hygrométrie et le rayonnement solaire. Les moyens de contrôle des paramètres de contrainte climatique peuvent être de tous types classiques en
30 eux-mêmes. Ils comportent de préférence chacun des moyens d'application du paramètre dans la première chambre 20, dont des exemples seront décrits ci-

après ; des moyens d'acquisition de données concernant le paramètre concerné, au niveau de la partie exposée 110 de la première face 11 de l'éprouvette 10 ; et des moyens de commande des moyens d'application du paramètre, qui ne sont pas représentés sur les figures. Ces moyens de commande sont de préférence configurés de sorte à permettre une commande centralisée pour l'ensemble des paramètres de contrainte climatique appliqués dans la première chambre 20.

Les moyens d'acquisition de données concernant les paramètres de contrainte climatique peuvent consister en des sondes spécifiques du paramètre concerné, disposées à la surface de la partie exposée 110 de la première face 11 de l'éprouvette 10. L'ensemble de ces sondes sont représentées sur la figure 1, et désignées collectivement par la référence 31.

Lorsque le paramètre de contrainte climatique est le rayonnement solaire, les moyens d'application de ce paramètre dans la première chambre 20 peuvent consister en un système de rayonnement solaire 32, apte à émettre un rayonnement dans la première chambre 20, à travers la zone de paroi 24 permettant la transmission du rayonnement solaire, comme indiqué en 320 sur la figure 1. Ce système est de préférence d'au moins deux types, et comporter par exemple des lampes UVA, UVB et/ou xénon, pouvant fonctionner séparément ou en parallèle, afin de rendre compte des différentes conditions de rayonnement solaire envisageables dans une atmosphère extérieure. Ce système est de préférence pourvu d'un filtre, permettant de modifier les paramètres du rayonnement solaire. Le positionnement de ce système de rayonnement 32 à l'extérieur de la première chambre 20 permet avantageusement de le protéger de l'environnement agressif établi dans cette dernière, et par voie de conséquence de lui garantir une plus grande durée de vie.

Lorsque le paramètre de contrainte climatique est le degré d'hygrométrie, les moyens d'application de ce paramètre dans la première chambre 20 peuvent consister en tout système de contrôle de l'hygrométrie 33, en communication hydrique avec le volume interne 23 de la première chambre

20, comme indiqué en 330 sur la figure 1, et permettant des fluctuations de l'air du volume intérieur 23 de la première chambre 20 comprises entre 0 et 95 % d'humidité relative. Ce système peut être piloté par l'intermédiaire de sondes 31 placées sur l'éprouvette 10, permettant le maintien de la consigne.

5 Lorsque le paramètre de contrainte climatique est la température, les moyens d'application de ce paramètre dans la première chambre 20 peuvent consister en tout système de contrôle de la température 34, en communication avec le volume interne 23 de la première chambre 20, comme indiqué en 340 sur la figure 1, et permettant l'établissement dans la première chambre 20
10 d'une température par exemple comprise entre -60 °C et +250 °C. Ce système peut être piloté par l'intermédiaire de sondes 31 adéquates placées sur l'éprouvette et permettant le maintien de la consigne.

 Lorsque le paramètre de contrainte climatique est la pression, les moyens d'application de ce paramètre dans la première chambre 20 peuvent
15 consister en tout système de contrôle de la pression 35, en communication avec le volume interne 23 de la première chambre 20, comme indiqué en 350 sur la figure 1, et permettant des fluctuations de pression comprises entre 200 et 2 000 hPa, par exemple comprises entre 200 et 1 200 hPa. Ce système peut être piloté par des capteurs de pression 31 disposés dans la chambre et
20 permettant le maintien de la consigne.

 L'ensemble des sondes et capteurs 31 peut également comprendre des capteurs de suivi de l'endommagement de l'éprouvette 10.

 Le dispositif comporte en outre des moyens 36 de suivi du comportement du matériau formant l'éprouvette 10 au niveau de la partie
25 exposée 110 de la première face 11 de cette dernière. Ces moyens de suivi, consistant par exemple en des capteurs optiques, sont disposés à l'intérieur de la première chambre 20, de sorte à être aptes à observer la partie exposée 110 de l'éprouvette 10, et à en acquérir des images. Ils sont associés à un système d'enregistrement des images ainsi acquises.

30 Le dispositif selon l'invention peut également comporter, suivant

d'autres modes de réalisation, une deuxième chambre d'essais et/ou des moyens de sollicitations mécaniques de l'éprouvette. Sur la figure 2, il a été représenté à titre d'exemple un dispositif comportant ces deux modules constitutifs supplémentaires, en plus de la première chambre d'essais 20 et
5 des moyens associés décrits ci-avant.

La chambre d'essais supplémentaire, dite deuxième chambre 40, présente des caractéristiques similaires à celles décrites ci-avant pour la première chambre 20 en référence à la figure 1, bien qu'elle puisse être différente de cette première chambre 20, notamment par sa forme et ses
10 dimensions. Elle comporte une paroi périphérique 41 opaque au rayonnement solaire, à l'exception d'une zone de paroi 44 permettant la transmission du rayonnement solaire, représentée en traits mixtes sur la figure 2. Une fenêtre 42 est ménagée dans cette paroi périphérique 41.

L'éprouvette 10 est assemblée à la paroi périphérique 41 de cette deuxième chambre 40 de manière étanche aux fluides, et de manière telle qu'elle obture entièrement la fenêtre 42, la deuxième face 12 de l'éprouvette 10 se trouvant disposée du côté intérieur à la deuxième chambre 40, en contact avec le volume intérieur 43 de cette dernière. L'éprouvette 10 se trouve ainsi disposée entre la première chambre 20 et la deuxième chambre 40, chacune
20 de ses faces opposées 11, 12 étant disposée dans une de ces chambres.

La partie de la deuxième face 12 de l'éprouvette 10 se trouvant disposée au niveau de la fenêtre 42 de la deuxième chambre 40, dite partie exposée 120, est alors soumise, et elle seule, c'est-à-dire à l'exclusion de la première face 11 de l'éprouvette, aux conditions climatiques et
25 environnementales régnant dans la deuxième chambre 40.

Les moyens d'assemblage de l'éprouvette 10 à la deuxième chambre 40 sont classiques en eux-mêmes, et peuvent notamment être les mêmes que ceux utilisés pour l'assemblage de l'éprouvette 10 à la première chambre 20. En particulier, l'assemblage de l'ensemble peut être réalisé par simple mise en
30 pression de l'éprouvette 10 entre les deux chambres 20, 40.

L'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette 10 et de la paroi périphérique 41 de la deuxième chambre 40 est assurée par un joint d'étanchéité 14, intercalé et maintenu en pression, sur tout le pourtour de la fenêtre 42, entre la deuxième face 12 de l'éprouvette 10 et la paroi périphérique 41 de la deuxième chambre 40. Ce joint est par exemple un
5 cordon de silicone.

Le dispositif comporte des moyens de contrôle d'au moins un paramètre de contrainte climatique, de préférence d'une pluralité de paramètres de contrainte climatique, dans la deuxième chambre 40. Ces
10 paramètres sont notamment choisis parmi la température, la pression, le degré d'hygrométrie et le rayonnement solaire.

Ces moyens de contrôle sont similaires à ceux décrits ci-avant en référence à la première chambre 20, et ne seront donc pas décrits en détail à nouveau. Ils peuvent notamment comporter un système de rayonnement
15 solaire 52, un système de contrôle de l'hygrométrie 53, un système de contrôle de la température 54 et un système de contrôle de la pression 55, ainsi qu'un ensemble de sondes 51 disposées à la surface de la partie exposée 120 de la deuxième face 12 de l'éprouvette 10.

Le dispositif comporte en outre des moyens 56 de suivi du
20 comportement du matériau formant l'éprouvette 10 au niveau de la partie exposée 120 de la deuxième face 12 de cette dernière. Ces moyens de suivi sont similaires à ceux associés à la première chambre 20, décrits ci-avant.

Par ailleurs, le dispositif de la figure 2 comporte également des moyens de sollicitation mécanique de l'éprouvette 10. Ces moyens, classiques
25 en eux-mêmes, peuvent notamment comporter un bâti d'essai mécanique 60, par exemple mécanosoudé, présentant deux organes disposés de part et d'autre de l'éprouvette 10, et permettant l'introduction, le pilotage et l'acquisition, via des capteurs d'efforts, des sollicitations mécaniques imposées à l'éprouvette 10, notamment en flexion, traction et/ou compression, comme
30 indiqué schématiquement en 61 et 62 sur la figure 2. Le flux d'effort maximum imprimé par ces moyens de sollicitations mécaniques à l'éprouvette 10 est par

exemple de l'ordre de 250 kg/mm. Le bâti 60 est notamment associé à des capteurs de surface disposés à la surface de l'éprouvette 10, tels que des jauges de contrainte, qui ne sont pas représentées sur les figures pour des raisons de clarté, et qui permettent l'asservissement en charge du système, et/ou à des moyens optiques de mesure de champs de déplacement.

L'ensemble des moyens de contrôle des paramètres de contrainte climatique dans la première chambre 20 et dans la deuxième chambre 40, et des moyens de sollicitations mécaniques 60, est piloté par des moyens de commande centralisée, mais de manière indépendante les uns des autres, de sorte à pouvoir imposer à l'éprouvette 10 toutes combinaisons de contraintes climatiques et mécaniques souhaitées.

En particulier, suivant un procédé d'essai de vieillissement mettant en œuvre le dispositif de la figure 2, l'éprouvette 10 peut être soumise à des cycles successifs comprenant, simultanément, des sollicitations mécaniques représentatives de celles subies par la pièce à tester en procédure normale d'utilisation, et des sollicitations climatiques, notamment différentes au niveau de la première face 11 et de la deuxième face 12 de l'éprouvette.

Par exemple, chaque cycle de sollicitations climatiques peut consister en une variation de chaque paramètre de contrainte climatique dans chacune des chambres 20, 40, selon un profil prédéterminé pour tenir compte des sollicitations climatiques réelles subies par la pièce lors de son utilisation. Un exemple de combinaison de tels profils de variations est montré sur la figure 3, pour les paramètres de température dans la première chambre (Temp. 1) et dans la deuxième chambre (Temp. 2), d'humidité dans la première chambre (HR 1) et dans la deuxième chambre (HR 2), de pression dans la première chambre (P 1) et dans la deuxième chambre (P 2) et de rayonnement solaire dans les deux chambres (Rayonnement 1 et Rayonnement 2).

Toute combinaison de modes de sollicitations combinées souhaitée peut ainsi avantageusement être reproduite au moyen du dispositif et du procédé selon la présente invention.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif pour la mise en œuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, comportant :

- une éprouvette dudit matériau (10), comportant une première face (11) et une deuxième face opposée (12),
- 5 - une première chambre (20) définie par une paroi périphérique (21) dans laquelle est ménagée une fenêtre, dite première fenêtre (22),
- et des moyens de contrôle dans ladite première chambre d'au moins un paramètre de contrainte climatique associé à une contrainte climatique,

10 caractérisé en ce que ladite éprouvette est assemblée à ladite première chambre de sorte à fermer ladite première fenêtre de manière étanche aux fluides, ladite première face de l'éprouvette se trouvant du côté intérieur à ladite première chambre, de telle sorte que la partie de ladite première face de l'éprouvette disposée au niveau de ladite première fenêtre, dite partie exposée (110), est soumise dans ladite première chambre à ladite
15 contrainte climatique.

2. Dispositif selon la revendication 1, comportant des moyens de contrôle dans la première chambre (20) d'au moins deux paramètres de contrainte climatique choisis parmi la température, la pression, le degré
20 d'hygrométrie, et le rayonnement solaire, de préférence de l'ensemble desdits paramètres.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, comportant :

- 25 - une deuxième chambre (40) définie par une paroi périphérique (41) dans laquelle est ménagée une fenêtre, dite deuxième fenêtre (42),
- et des moyens de contrôle dans ladite deuxième chambre d'au

moins un paramètre de contrainte climatique associé à une contrainte climatique,

et dans lequel l'éprouvette (10) est assemblée à ladite deuxième chambre de sorte à fermer ladite deuxième fenêtre de manière étanche aux fluides, la deuxième face (12) de l'éprouvette se trouvant du côté intérieur à ladite deuxième chambre, de telle sorte que la partie de ladite deuxième face de l'éprouvette disposée au niveau de ladite deuxième fenêtre, dite partie exposée (120), est soumise dans ladite deuxième chambre à ladite contrainte climatique.

10 **4.** Dispositif selon la revendication 3, comportant des moyens de contrôle dans la deuxième chambre (40) d'au moins deux paramètres de contrainte climatique choisis parmi la température, la pression, le degré d'hygrométrie, et le rayonnement solaire, de préférence de l'ensemble desdits paramètres.

15 **5.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 4, dans lequel les moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la deuxième chambre (40) sont opérables indépendamment des moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la première chambre (20).

20 **6.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, dans lequel les moyens de contrôle d'au moins un paramètre de contrainte climatique dans la deuxième chambre (40), et le cas échéant les moyens de contrôle de chaque paramètre de contrainte climatique dans ladite deuxième chambre, comportent :

25 - des moyens (52, 53, 54, 55) d'application dudit paramètre dans ladite deuxième chambre,
 - des moyens (51) d'acquisition de données concernant ledit paramètre au niveau de la partie exposée (120) de la deuxième face (12) de l'éprouvette (10),

- et des moyens de commande desdits moyens d'application dudit paramètre dans ladite deuxième chambre, en fonction des données acquises par lesdits moyens d'acquisition de données.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel les moyens de contrôle d'au moins un paramètre de contrainte climatique dans la première chambre (20), et le cas échéant les moyens de contrôle de chaque paramètre de contrainte climatique dans ladite première chambre, comportent :

- des moyens (32, 33, 34, 35) d'application dudit paramètre dans ladite première chambre,
- des moyens (31) d'acquisition de données concernant ledit paramètre au niveau de la partie exposée (110) de la première face (11) de l'éprouvette (10),
- et des moyens de commande desdits moyens d'application dudit paramètre dans ladite première chambre, en fonction des données acquises par lesdits moyens d'acquisition de données.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette (10) à la première chambre (20) est réalisée par un joint d'étanchéité (13), de préférence un joint de silicone, interposé entre la première face (11) de l'éprouvette (10) et la paroi périphérique (21) de ladite première chambre, et, le cas échéant, l'étanchéité aux fluides de l'assemblage de l'éprouvette (10) à la deuxième chambre (40) est réalisée par un joint d'étanchéité (14), de préférence un joint de silicone, interposé entre ladite deuxième face (12) de l'éprouvette (10) et la paroi périphérique (41) de ladite deuxième chambre.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, comportant des moyens (36) de suivi du comportement du matériau formant l'éprouvette (10) au niveau de ladite partie exposée (110) de la première face (11) de l'éprouvette, et, le cas échéant, des moyens (56) de suivi du

comportement du matériau formant l'éprouvette au niveau de la partie exposée (120) de la deuxième face (12) de l'éprouvette.

5 **10.** Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, comportant des moyens (60) de sollicitation mécanique de l'éprouvette (10), de préférence en traction, compression et/ou flexion.

11. Dispositif selon la revendication 10, comportant une pluralité de capteurs de déformation locale de l'éprouvette (10).

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 11, comportant des moyens de commande centralisée :

- 10 - des moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la première chambre (20), de préférence selon un profil de variation prédéterminé,
- des moyens de contrôle du ou des paramètre(s) de contrainte climatique dans la deuxième chambre (40), de préférence selon un
- 15 profil de variation prédéterminé,
- et, le cas échéant, des moyens (60) de sollicitation mécanique de l'éprouvette (10).

13. Procédé de mise en œuvre d'un essai de vieillissement d'un matériau, au moyen d'un dispositif selon l'une quelconque des revendications 1

20 à 12, comprenant l'exposition de la seule partie exposée (110) de ladite première face (11) de l'éprouvette dudit matériau (10) à au moins une première contrainte climatique, par contrôle dans ladite première chambre (20) d'un paramètre de contrainte climatique associé à ladite première contrainte climatique.

25 **14.** Procédé selon la revendication 13, comprenant l'exposition de la seule partie exposée (110) de la première face (11) de l'éprouvette (10) à un premier ensemble de contraintes climatiques, par contrôle dans la première chambre (20) de paramètres de contrainte climatique associés à chacune des

contraintes climatiques dudit premier ensemble.

5 **15.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 14, comprenant l'exposition simultanée de la seule partie exposée (120) de la deuxième face (12) de l'éprouvette (10) à au moins une deuxième contrainte climatique, par contrôle dans la deuxième chambre (40) d'un paramètre de contrainte climatique associé à ladite deuxième contrainte climatique.

10 **16.** Procédé selon la revendication 15, comprenant l'exposition de la seule partie exposée (120) de ladite deuxième face (12) de l'éprouvette (10) à un deuxième ensemble de contraintes climatiques, par contrôle dans la deuxième chambre (40) de paramètres de contrainte climatique associés à chacune des contraintes climatiques dudit deuxième ensemble.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, selon lequel, simultanément, ladite éprouvette (10) est soumise à au moins une sollicitation mécanique.

15 **18.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, comprenant l'exposition de l'éprouvette (10) à des cycles successifs simultanés de :

- 20
- variation dans la première chambre (20) du ou des paramètre(s) de contrainte climatique, selon un profil prédéterminé pour chacun desdits paramètres,
 - variation dans la deuxième chambre (40) du ou des paramètre(s) de contrainte climatique, selon un profil prédéterminé pour chacun desdits paramètres,
 - et, le cas échéant, sollicitation mécanique.

FIG 1

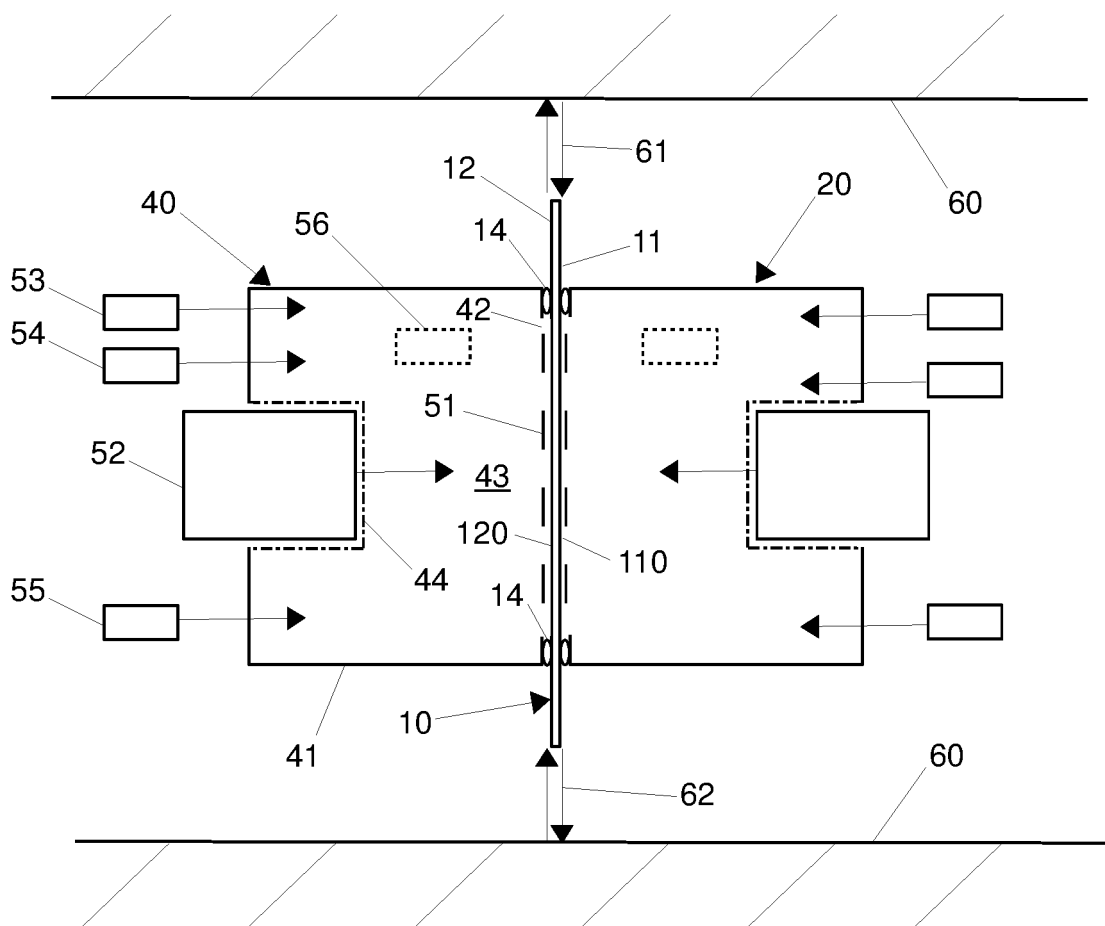
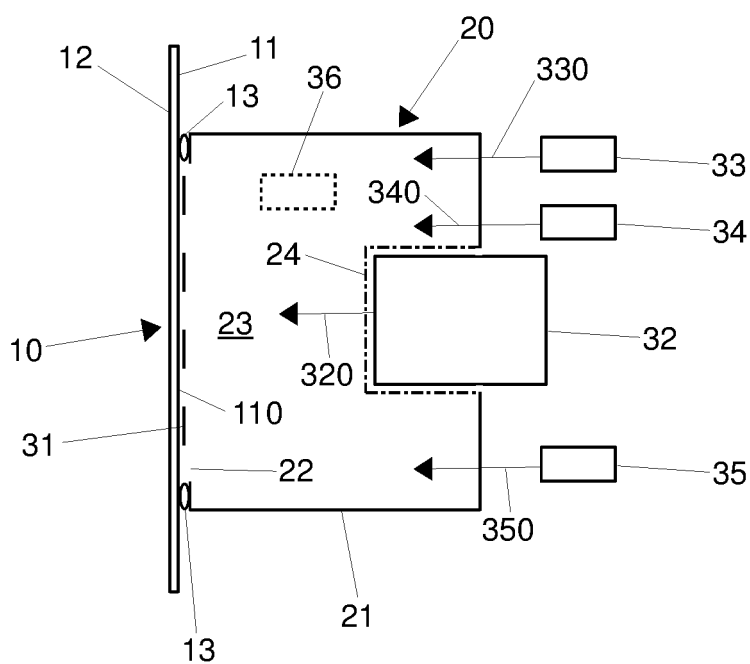


FIG 2

2/2

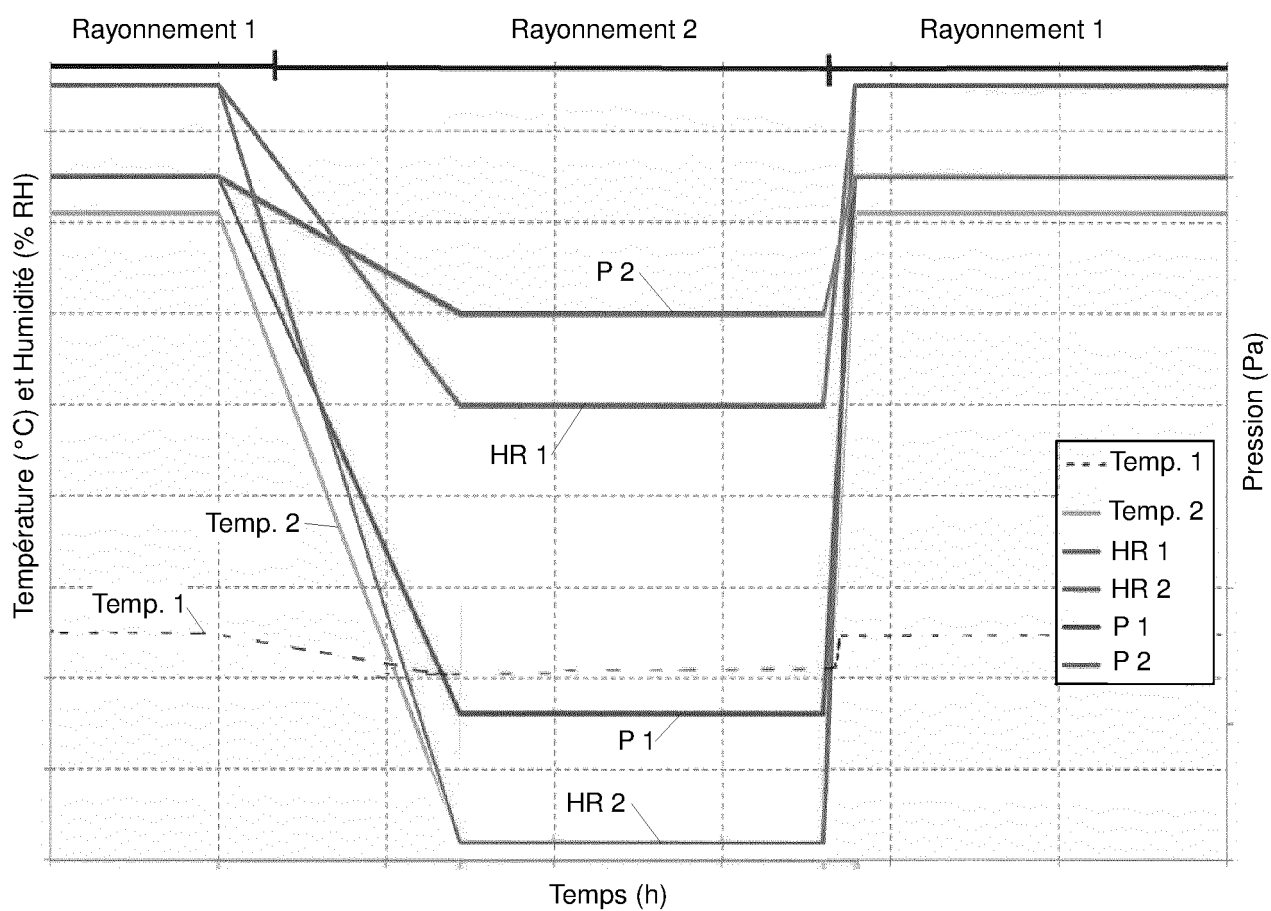


FIG 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 787020
FR 1360591

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	FR 2 960 972 A1 (INST FRANCAIS DU PETROLE [FR]) 9 décembre 2011 (2011-12-09) * le document en entier *	1-18	G01N17/00 G01N3/00 G01N3/06
X A	US 2004/149054 A1 (SOGA SHIGEYUKI [JP] ET AL) 5 août 2004 (2004-08-05) * abrégé; figure 3 *	1,2,13, 14 3-12, 15-18	
X A	US 6 454 922 B1 (WEISBROD KIRK R [US]) 24 septembre 2002 (2002-09-24) * abrégé; figure 1 *	1,3,5, 13,15 2,4, 6-12,14, 16-18	
X A	WO 2013/157444 A1 (USHIO ELECTRIC INC [JP]) 24 octobre 2013 (2013-10-24) * abrégé; figure 1 *	1-5, 13-15 6-12, 16-18	
A	US 5 305 634 A (SUGA SHIGERU [JP] ET AL) 26 avril 1994 (1994-04-26) * abrégé; figures 1,2,3,4 *	1-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
11 mars 2014		Gilow, Christoph	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1360591 FA 787020**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **11-03-2014**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2960972	A1	09-12-2011	AUCUN	

US 2004149054	A1	05-08-2004	CN 1521490 A	18-08-2004
			US 2004149054 A1	05-08-2004

US 6454922	B1	24-09-2002	AUCUN	

WO 2013157444	A1	24-10-2013	JP 2013222945 A	28-10-2013
			TW 201350821 A	16-12-2013
			WO 2013157444 A1	24-10-2013

US 5305634	A	26-04-1994	AUCUN	
