

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

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

3 081 994

②1 N° d'enregistrement national : **18 54648**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 N 1/04 (2018.01), G 01 N 21/00**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 PROCÉDE DE CARACTERISATION DE L'ÉTAT D'UNE PIÈCE AU MOYEN D'UN CAPTEUR DE DEFORMATION DE TYPE JAUGE D'EXTENSOMETRIE.

②2 Date de dépôt : 30.05.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.12.19 Bulletin 19/49.

④5 Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 14.08.20 Bulletin 20/33.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *SAFRAN HELICOPTER ENGINES*
— FR.

⑦2 Inventeur(s) : *MOUZE YANN, CLECH HELENE, BACHELET LUCIE, DARBOS SYLVAIN, ELGOYHEN THIBAUT, SAINT-MARTIN GILLES et TALON ARNAUD.*

⑦3 Titulaire(s) : *SAFRAN HELICOPTER ENGINES.*

⑦4 Mandataire(s) : *BREVALEX Société à responsabilité limitée.*

FR 3 081 994 - B1



PROCÉDÉ DE CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT D'UNE PIÈCE AU MOYEN D'UN CAPTEUR DE DÉFORMATION DE TYPE JAUGE D'EXTENSOMÉTRIE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

Le domaine de l'invention est celui de la préparation de pièces
5 mécaniques, telles que des pièces de moteurs ou de turbines (pales, aubes, etc.), pour
leur étude par une analyse, qui peut par exemple être une analyse par imagerie, une
analyse micrographique ou une analyse métallurgique.

L'invention est notamment utile pour l'expertise de pièces hors service.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 Dans le cadre de l'expertise de pièces mécaniques, il est courant de
procéder, sur des pièces hors service, à des analyses du type analyse micrographique ou
analyse métallurgique, afin de lire le vieillissement et les endommagements de ces pièces.

Pour préparer ces pièces à une telle analyse, des techniques de découpe
traditionnelles ou moins conventionnelles sont utilisées afin de débiter la matière et ainsi
15 rendre accessibles les plans d'observations visés. A titre d'exemple, la technique de
découpe par tronçonnage est couramment utilisée pour atteindre les plans
micrographiques visés sur le profil d'une pièce telle qu'une pale de roue de turbine.

Cependant, les vibrations subies par la pièce au cours de l'opération de
découpe peuvent être néfastes à son intégrité physique, ces vibrations pouvant créer des
20 défauts au sein de la pièce, notamment amorcer et propager des fissures. Il est donc
possible que, si l'on observe des fissures dans les plans d'observations de la pièce lors de
son analyse micrographique par exemple, celles-ci résultent de l'opération de découpe
préalable à l'analyse. La probabilité qu'une pièce soit endommagée par la découpe est
notamment accentuée lorsque cette pièces présente une géométrie particulière, par
25 exemple lorsqu'elle présente une faible épaisseur par rapport à sa dimension principale,
comme c'est le cas des pales de turbine de turbomoteur d'hélicoptères. Le risque est

alors de biaiser la lecture de l'endommagement de la pièce et d'apporter une conclusion fausse ou erronée de l'expertise de la pièce.

Jusqu'à présent, pour déterminer si des défauts observés dans un plan d'observation étaient dus à l'utilisation de la pièce ou à sa technique de découpe, il fallait
5 comparer les résultats obtenus en utilisant deux techniques de découpe différentes.

Les inventeurs se sont fixé pour but de concevoir un procédé permettant de mettre en évidence le caractère endommageant de la technique de découpe utilisée et pouvoir ainsi identifier les défauts résultant de l'opération de découpe de la pièce.

10 **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

Ce but est atteint par un procédé de caractérisation de l'état d'une pièce par une découpe de la pièce, de préférence en tronçons, selon une trajectoire de découpe de manière à obtenir un plan d'observation et par analyse de ce plan d'observation, le procédé comprenant en outre :

15 - avant la découpe, la fixation, sur une surface de la pièce, d'au moins un capteur de déformation, ledit capteur étant configuré pour émettre des signaux de sortie dépendant de déformations associées à des contraintes subies par la pièce au cours de la découpe ;

20 - pendant la découpe, l'acquisition des signaux émis par le capteur de déformation ;

- la détermination, à partir des signaux acquis, d'au moins une contrainte d'intérêt dont la valeur est supérieure à un seuil fixé ;

25 - la localisation, sur la trajectoire de découpe, de ladite au moins une contrainte d'intérêt, de manière à obtenir une carte de défauts attribuables à la découpe ;

- la mise en correspondance de la carte de défauts avec le plan d'observation, de manière à pouvoir exclure de l'analyse du plan d'observation les défauts attribuables à la découpe.

De préférence, la localisation de ladite au moins une contrainte d'intérêt est obtenue par une déduction à partir de la vitesse de découpe et d'une échelle de temps associée à chaque contrainte d'intérêt.

5 De préférence, le seuil fixé correspond à la résistance à la traction (R_m) de la pièce. La résistance à la traction est également appelée contrainte ultime en traction et correspond à la contrainte maximale admissible par le matériau de la pièce avant rupture ou fissure.

De préférence, la fixation, sur une surface de la pièce, dudit capteur de déformation est réalisée dans une zone située à proximité de la trajectoire de découpe.
10 Préférentiellement, la zone de fixation du capteur de déformation est située là où l'on prévoit d'obtenir les contraintes maximales de découpe dans la pièce.

L'invention concerne également un système de caractérisation de l'état d'une pièce, comprenant un outil pour découper la pièce, de préférence en tronçons, selon une trajectoire de découpe de manière à obtenir un plan d'observation et un
15 moyen d'analyse de ce plan d'observation, le système comprenant en outre :

- au moins un capteur de déformation, destiné à être fixé sur une surface de la pièce et configuré pour émettre des signaux de sortie dépendant des déformations subies par la pièce ;

- une unité d'acquisition des signaux émis par le capteur de
20 déformation ;

- un calculateur configuré pour mettre en œuvre les étapes de détermination, à partir des signaux acquis, d'au moins une contrainte d'intérêt dont la valeur est supérieure à un seuil fixé et de localisation, sur la trajectoire de découpe, de ladite au moins une contrainte d'intérêt, de manière à obtenir une carte de défauts
25 attribuables à la découpe, le calculateur étant en outre configuré pour fournir la carte de défauts au moyen d'analyse, pour une mise en correspondance de la carte de défauts avec le plan d'observation, de manière à pouvoir exclure de l'analyse les défauts attribuables à la découpe.

Le moyen d'analyse peut être un système d'imagerie, par exemple un microscope électronique à balayage (MEB), en vue d'une analyse micrographique ou d'une analyse métallurgique par exemple.

5 De préférence, le capteur de déformation est une jauge d'extensométrie.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de formes de réalisation préférées de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en
10 référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente une pièce à découper (en l'occurrence, une pale de turbine) équipée d'un capteur de déformation selon l'invention ;

- la figure 2 représente les contraintes mesurées par le capteur en fonction du temps au cours d'une découpe par tronçonnage d'une pale de turbine selon
15 un exemple de réalisation de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Dans le cadre de l'invention, lorsqu'on souhaite caractériser l'état d'une pièce par une analyse, on instrumente cette pièce avec au moins un capteur de déformation afin d'étudier les niveaux vibratoires subis par la pièce pendant la découpe
20 de son profil et lier ces niveaux vibratoires à des contraintes subies par la pièce au cours de la découpe.

Le procédé de caractérisation de l'état d'une pièce selon l'invention comprend donc une étape de découpe de la pièce 1, de préférence en tronçons, selon une trajectoire de découpe 9 de manière à obtenir un plan d'observation 5, ainsi qu'une
25 étape d'analyse de ce plan d'observation.

Le procédé comprend en outre, avant la découpe, la fixation, sur une surface de la pièce 1, d'au moins un capteur de déformation 6, ledit capteur étant

configuré pour émettre des signaux de sortie dépendant de déformations associées à des contraintes subies par la pièce au cours de la découpe.

Le procédé comprend en outre, pendant la découpe, l'acquisition des signaux émis par le capteur de déformation.

5 Le procédé comprend en outre la détermination, à partir des signaux acquis, d'au moins une contrainte d'intérêt dont la valeur est supérieure à un seuil fixé.

Le procédé comprend en outre la localisation, sur la trajectoire de découpe, de ladite au moins une contrainte d'intérêt, de manière à obtenir une carte de défauts attribuables à la découpe.

10 Le procédé comprend enfin la mise en correspondance de la carte de défauts avec le plan d'observation, de manière à pouvoir exclure de l'analyse du plan d'observation les défauts attribuables à la découpe.

Le capteur de déformation utilisé doit respecter certaines caractéristiques.

15 Afin de pouvoir équiper des pièces de petites tailles comme par exemple des pales de turbine (ayant un ordre de grandeur en cm), il doit lui aussi être de petite taille.

Il ne doit pas gêner la découpe. Dans le cas d'une découpe par tronçonnage par exemple, on va être limité par la taille minimale d'épaisseur des tronçons.

20 L'équipement d'acquisition et d'enregistrement des signaux émis par le capteur doit être transportable sur le site où est réalisée la découpe et permettre une installation sur une machine-outil. On doit notamment pouvoir réaliser une découpe dans les conditions de sécurité habituelles, c'est-à-dire sous un capot fermé et dans un brouillard d'huile.

25 Pour illustrer l'invention, nous avons procédé à l'usinage par tronçonnage pour atteindre les plans micrographiques visés sur le profil d'une pale de roue de turbine haute pression exposée à hautes températures et tournant à haute vitesse.

Pour la découpe par tronçonnage, la pale est positionnée verticalement et tenue par le pied 3 dans un étau. L'attaque de la meule se fait par le sommet 2 de la pale 1, par l'intrados 8 ou par l'extrados 7, de manière à obtenir plusieurs tronçons présentant des plans d'observation 5 verticaux.

5 De préférence, on choisit comme capteur de déformation une jauge de déformation, également appelée extensomètre à fil résistant. Une jauge de déformation est un petit élément résistif, réalisé à partir d'un fil mince enroulé selon une direction préférentielle, qui est fixé sur la pièce à l'aide d'une colle. Lorsque la pièce subit une grandeur physique (ici une déformation), cette dernière est transmise à travers la colle à
10 la jauge et un changement proportionnel de la résistance de la jauge en résulte. Les variations de résistance de la jauge sont donc liées aux variations de la grandeur physique, dont la mesure se ramène à celle de la résistance électrique de la jauge. Il y a donc une relation directe entre la variation de résistance et la déformation de la jauge. De là, en connaissant le module d'Young de la pièce, on peut obtenir une conversion des
15 déformations de la jauge en contraintes, ce qui permet de lire les pseudo-contraintes en surface de la pièce.

Dans notre exemple de réalisation, nous avons procédé à des découpes en bord de fuite 4 de la pale (correspondant à la partie fine de la pale) en réalisant des tronçons de 2 mm d'épaisseur.

20 Nous avons utilisé comme capteur de déformation 6 une jauge de déformation 8 ayant une connectique 10, ayant une résistance de 120 Ohms au repos et un seuil de saturation de 6000 MPa, que nous avons collée sur la face d'extrados 7 de la pale 1, à proximité du bord de fuite 4 et proche du pied 3 de la pale (figure 1). Les lignes discontinues représentent trois trajectoires de découpe 9. Dans les pièces ayant une
25 géométrie du type de celle des pales de roue de turbine, on sait que les vibrations au cours d'une découpe du profil de la pale sont maximales à proximité du pied 3 de la pale. C'est la raison pour laquelle on préfère placer la jauge 8 à proximité du pied.

Pour l'unité d'acquisition et d'enregistrement des signaux émis par le capteur de déformation, nous avons utilisé un appareil de laboratoire d'acquisition et de
30 traitement en temps réel des mesures issues des capteurs.

L'acquisition des données nous permet d'obtenir les niveaux de fréquence de déformation de la jauge et de les corrélés à la hauteur de découpe via l'échelle du temps.

5 Dans la figure 2, nous avons converti les signaux en déformation de la jauge en fonction du temps en signaux de contrainte en fonction du temps via le module d'Young de la pièce.

10 Dans la figure 2, on observe des contraintes ayant des valeurs positives et négatives. Il y a une flexion alternée sur le profil de la pale : la matière passe alternativement de la traction (contrainte positive) à de la compression (contrainte négative) et vice-versa.

15 On constate que, lors de la découpe considérée, le niveau de fréquence de déformations de la jauge (ou le niveau de contraintes subi par la pièce, cf. figure 2) augmente drastiquement autour de la valeur de 462 secondes après le début de la découpe. A partir de ce stade de découpe, la jauge se déforme fortement à une fréquence élevée.

Pour rappel, le R_m de la pale à 20°C est de l'ordre de 1000 MPa.

20 On constate donc que les niveaux de contraintes mesurés atteignent et dépassent 1000 MPa vers 462 secondes ; ils sont même supérieurs à 6000 MPa (seuil de saturation de la jauge) à partir de 462 secondes.

25 Plus précisément, les mesures saturent entre 462 secondes et 464 secondes et au-delà de 467 secondes, ce qui signifie que les déformations sont très importantes et sont susceptibles d'être associées à la présence d'une ou plusieurs fissures.

30 Une fois la découpe terminée et en observant le plan de découpe de la pale, on constate que ce point du graphique à 462 secondes correspond à la présence d'une première fissure dans le plan de découpe de la pale. Il en est de même pour l'endroit correspondant à 467 secondes, qui a révélé la présence d'une deuxième et d'une troisième fissures.

35 En réalisant une analyse micrographique du plan de découpe de la pale, (c'est-à-dire une analyse de la microstructure de la pale, avec une étude de la forme et

des dimensions des grains), on a constaté que ces trois fissures partent de l'extrados ou de l'intrados et vont vers l'intérieur de la pale. Ces fissures se sont révélées être des artéfacts générés lors du tronçonnage de la pale.

5 Au final, le constat est que les niveaux vibratoires subis par la pale sont cohérents avec une génération et une propagation de fissures de la pale en pied bord de fuite lors de l'opération de découpe.

10 L'instrumentation ainsi conçue permet donc la quantification du niveau vibratoire atteint qui, à son tour, permet d'appréhender avec pertinence le caractère intrusif de la méthode d'usinage, ici en tronçonnage. On peut donc écarter les défauts de la pièce dits « artéfacts », car indépendants des défauts générés au cours du service de la pièce. On réduit donc le risque de biaiser la lecture de l'endommagement de la pièce et d'apporter une conclusion fautive ou erronée à l'expertise.

15 Il est précisé que nous avons pris l'exemple d'une découpe par tronçonnage sur une pale de turbine, mais l'invention est applicable à d'autres pièces et à d'autres techniques de découpe.

RENDICATIONS

1. Procédé de caractérisation de l'état d'une pièce (1) par une découpe de la pièce, de préférence en tronçons, selon une trajectoire de découpe (9) de manière à obtenir un plan d'observation (5) et par analyse de ce plan d'observation, le procédé comprenant en outre :

- avant la découpe, la fixation, sur une surface de la pièce (1), d'au moins un capteur de déformation (6), ledit capteur étant configuré pour émettre des signaux de sortie dépendant de déformations associées à des contraintes subies par la pièce au cours de la découpe ;

- pendant la découpe, l'acquisition des signaux émis par le capteur de déformation ;

- la détermination, à partir des signaux acquis, d'au moins une contrainte d'intérêt dont la valeur est supérieure à un seuil fixé ;

- la localisation, sur la trajectoire de découpe, de ladite au moins une contrainte d'intérêt, de manière à obtenir une carte de défauts attribuables à la découpe ;

- la mise en correspondance de la carte de défauts avec le plan d'observation, de manière à pouvoir exclure de l'analyse du plan d'observation les défauts attribuables à la découpe.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la localisation de ladite au moins une contrainte d'intérêt est obtenue par une déduction à partir de la vitesse de découpe et d'une échelle de temps associée à chaque contrainte d'intérêt.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le seuil fixé correspond à la résistance à la traction (R_m) de la pièce (1).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la fixation, sur une surface de la pièce, dudit capteur de déformation est réalisée dans une zone située à proximité de la trajectoire de découpe.

5 5. Système de caractérisation de l'état d'une pièce, comprenant un outil pour découper la pièce, de préférence en tronçons, selon une trajectoire de découpe de manière à obtenir un plan d'observation et un moyen d'analyse de ce plan d'observation, le système comprenant en outre :

10 - au moins un capteur de déformation (6), destiné à être fixé sur une surface de la pièce et configuré pour émettre des signaux de sortie dépendant des contraintes subies par la pièce ;

- une unité d'acquisition des signaux émis par le capteur de déformation ;

15 - un calculateur configuré pour mettre en œuvre les étapes de détermination, à partir des signaux acquis, d'au moins une contrainte d'intérêt dont la valeur est supérieure à un seuil fixé et de localisation, sur la trajectoire de découpe, de ladite au moins une contrainte d'intérêt, de manière à obtenir une carte de défauts attribuables à la découpe, le calculateur étant en outre configuré pour fournir la carte de défauts au moyen d'analyse, pour une mise en correspondance de la carte de défauts
20 avec le plan d'observation, de manière à pouvoir exclure de l'analyse les défauts attribuables à la découpe.

6. Système de caractérisation selon la revendication 5, dans lequel le capteur de déformation est une jauge d'extensométrie.

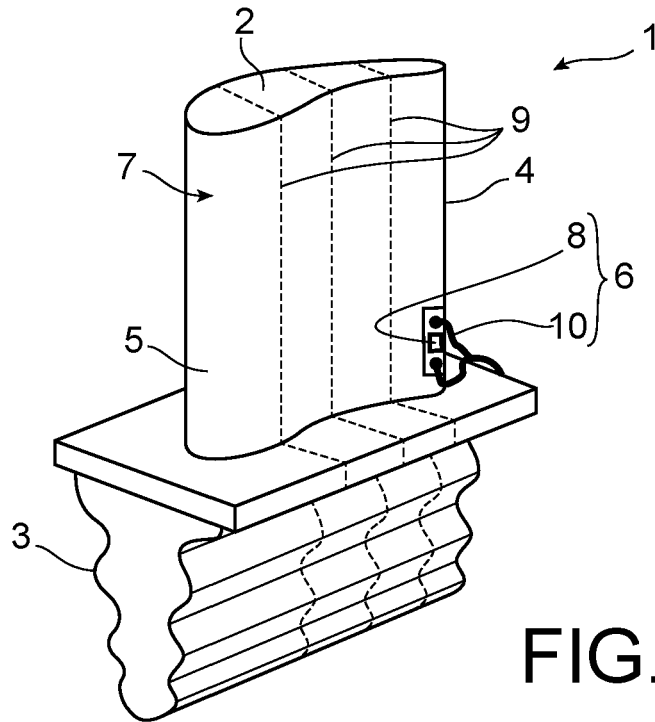


FIG. 1

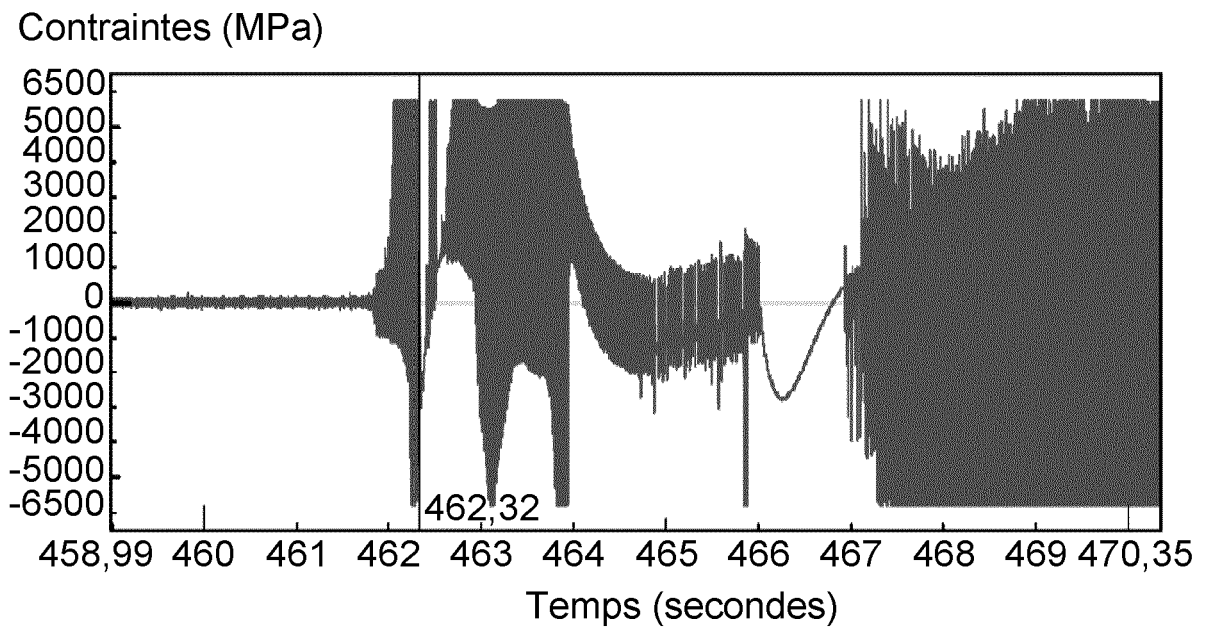


FIG. 2

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2006/213282 A1 (PREVEY PAUL S [US])
28 septembre 2006 (2006-09-28)

US 2012/059590 A1 (AMEEN MOHAMMED S [SA])
8 mars 2012 (2012-03-08)

US 2016/284611 A1 (SEKIYA KAZUMA [JP])
29 septembre 2016 (2016-09-29)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT