

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 58227 A1**
- (43) Date de publication : **30.04.2024**
- (51) Cl. internationale : **B29C 64/00; B29C 64/30; B29C 64/343; B29C 64/386; B29C 64/393; B33Y 50/02; B33Y 50/00; B33Y 50/02; B33Y 30/00**
- 
- (21) N° Dépôt : **58227**
- (22) Date de Dépôt : **22.10.2022**
- (71) Demandeur(s) : **DONAA LIMITED, 3 The Quadrant, Warwick Road, Coventry, England, CV1 2DY Coventry (UK)**
- (72) Inventeur(s) : **Anas Achouri**
- (74) Mandataire : **Jomana Abouzaid**
- 
- (54) Titre : **Un système qui permet de détecter les défauts et erreurs en temps réel pendant l'impression 3D (additive manufacturing), à l'aide d'une caméra.**
- (57) Abrégé : L'invention permet de détecter des défauts en temps réel pendant la fabrication additive. L'invention comprend un système de vision, un logiciel, et la combinaison de ces deux éléments. Le système de vision comprend une caméra connectée à un ordinateur sur lequel fonctionne le logiciel. Des mesures expérimentales sont effectuées sur les pièces fabriquées lorsque la fabrication additive est terminée, puis sont utilisées comme données d'entrée dans le logiciel pour améliorer continuellement la précision de la détection des défauts par la solution. Le système n'implique pas de modification matérielle sur la machine de fabrication additive. Le logiciel comprend un code permettant de prévoir les contraintes résiduelles dans la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive. La détection des défauts se fait en prenant en compte les informations sur la contrainte résiduelle en temps réel sur la pièce pendant la fabrication additive. La contrainte résiduelle est un facteur clé de défaillance sur les pièces fabriquées par fabrication additive, et cela inclut à la fois les défauts géométriques et ceux liés à la résistance. Cette solution est holistique puisque la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive est suivie et détectée.

## **Abrégé résumant le contenu technique de l'invention**

L'invention permet de détecter des défauts en temps réel pendant la fabrication additive.

L'invention comprend un système de vision, un logiciel, et la combinaison de ces deux éléments.

Le système de vision comprend une caméra connectée à un ordinateur sur lequel fonctionne le logiciel. Des mesures expérimentales sont effectuées sur les pièces fabriquées lorsque la fabrication additive est terminée, puis sont utilisées comme données d'entrée dans le logiciel pour améliorer continuellement la précision de la détection des défauts par la solution. Le système n'implique pas de modification matérielle sur la machine de fabrication additive.

Le logiciel comprend un code permettant de prévoir les contraintes résiduelles dans la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive. La détection des défauts se fait en prenant en compte les informations sur la contrainte résiduelle en temps réel sur la pièce pendant la fabrication additive. La contrainte résiduelle est un facteur clé de défaillance sur les pièces fabriquées par fabrication additive, et cela inclut à la fois les défauts géométriques et ceux liés à la résistance. Cette solution est holistique puisque la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive est suivie et détectée.

## Description de l'invention:

**Titre de l'invention :** Système de Détection de défauts en temps réel dans la Fabrication additive

### *Domaine*

Le caractère imprévisible de la fabrication additive à haute valeur ajoutée et le coût qui en résulte constituent un obstacle majeur à son adoption par les fabricants. Notre solution permet de détecter les défauts plus tôt dans le processus, ce qui raccourcit les itérations de production. Les fabricants peuvent ainsi raccourcir le temps de production et réduire l'utilisation des ressources, notamment l'énergie, les matériaux et la charge de travail liée aux inspections. En conséquence, le coût de production peut être moins élevé.

En outre, la solution permet d'atteindre le zéro net et de réduire l'impact environnemental grâce à des solutions de fabrication, de chaînes d'approvisionnement et d'économie circulaire axées sur l'environnement. La détection des défauts au début du processus permet d'économiser de l'énergie et des matériaux. L'empreinte carbone s'en trouve réduite et davantage de matériaux peuvent être recyclés.

L'intelligence artificielle et plus particulièrement les algorithmes de vision par ordinateur et d'apprentissage automatique sont utilisés pour suivre la cause profonde des défauts pendant la fabrication additive à haute valeur ajoutée et détecter les anomalies au fur et à mesure qu'elles se produisent.

### *L'état de la technique antérieure*

Actuellement, trois méthodes principales sont utilisées :

- 1. L'expérience de l'utilisateur est mise à profit pour choisir les paramètres d'impression et décider d'interrompre ou non le processus d'impression.**

La solution proposée analyse la cause profonde des défaillances pour fournir une détection des anomalies en temps réel basée sur les données.

- 2. Les outils de simulation nécessitent des experts, sont encombrants et il peut y avoir des différences considérables entre la modélisation et les données en temps réel.**

La solution proposée automatise la modélisation en utilisant des données en temps réel.

- 3. L'inspection après impression entraîne un énorme gaspillage de matériel et de temps. La proposition permet d'éviter les défaillances avant la fin de l'impression.**

La solution proposée permet d'économiser du temps et des milliards de dollars rien qu'en coûts de fabrication.

*Description du problème technique et de la solution apportée par DONAA*

Les structures d'ingénierie sont de plus en plus complexes. L'impression 3D à haute valeur ajoutée permet de surmonter les limites des autres procédés de fabrication traditionnels, mais le processus est très imprévisible. En outre, plus de 25 % du temps de production est consacré au contrôle de la qualité.

Il en résulte une énorme perte de temps et de matériaux, et certaines conceptions complexes ne peuvent être fabriquées ou imprimées en 3D.

Les entreprises et institutions aérospatiales de premier plan sont souvent à la limite de ce qu'il est possible de fabriquer. Elles s'appuient donc sur l'impression 3D pour fabriquer des pièces complexes telles que les aubes de moteur, malgré le faible taux de réussite.

La solution est un système qui suit et surveille la cause profonde des défaillances afin d'identifier les anomalies dès qu'elles se produisent. Les anomalies survenant pendant l'impression 3D seront traitées et corrigées avant la fin de l'impression. Pour ce faire, on utilise l'analyse vidéo d'une caméra. L'approche unique de la solution ne nécessite aucune modification matérielle sur la machine ni aucun changement dans le flux de travail des utilisateurs.

Le suivi de la zone du bassin de fusion (melt pool area) permet d'extraire des informations pour surveiller la contrainte résiduelle pendant le processus d'impression. La contrainte résiduelle est un facteur clé des défaillances des pièces imprimées, notamment une faible résistance et des distorsions géométriques. Le logiciel identifie ensuite les anomalies en temps réel. Cela permet de réduire les coûts, le temps et le gaspillage de matériaux.

## Revendications :

**Revendication 1 :** Le système basé sur la combinaison des caractéristiques suivantes :

- Caméra pour surveiller la fabrication additive. Cela inclut l'utilisation de caméras neuromorphiques.
- Utilisation d'un ordinateur connecté à la caméra pour exécuter le logiciel. Un schéma est présenté dans figure 1 de (dessins décrivant l'invention) ci-dessous pour titre d'illustration uniquement.
- Traitement entièrement automatisé pour détecter les défauts en temps réel pendant la fabrication additive, y compris l'envoi d'une notification à l'utilisateur lorsque des défauts sont détectés.
- Prévission en temps réel de la contrainte résiduelle sur la zone de fabrication pendant la fabrication additive. Cela inclut l'utilisation de la contrainte résiduelle comme indicateur des défauts géométriques et de résistance des pièces pendant la fabrication additive.
- Des mesures expérimentales sont effectuées sur la pièce lorsque la fabrication additive est terminée. Les données des mesures expérimentales sont utilisées pour améliorer continuellement les performances du logiciel.

**Revendication 2:** Le logiciel de prédiction de la contrainte résiduelle basé sur la combinaison des caractéristiques détaillées ci-dessous. Un schéma est présenté sur la figure 2 de (dessins décrivant l'invention) ci-dessous à titre d'illustration uniquement.

- Utilisation d'un code de vision par ordinateur pour suivre la zone du bain de fusion pendant la fabrication additive des métaux. Les sorties du code de vision par ordinateur comprennent la valeur de la force instantanée appliquée sur la pièce en cours de fabrication, et l'emplacement instantané de la force.
- Utilisation d'un code de modélisation par éléments finis pour définir les champs de déplacement et de contrainte résiduelle en fonction de la valeur de la force.
- Les données sortie du code de modélisation par éléments finis sont utilisées pour entraîner l'algorithme d'apprentissage automatique.
- L'algorithme d'apprentissage automatique entraîné prédit les champs de contraintes résiduelles sur la zone de fabrication en temps réel pendant la fabrication additive.
- Le code de détection des défauts utilise les prédictions du code d'apprentissage automatique pour détecter les défauts en temps réel.
- Le code de notification envoie automatiquement une notification à l'utilisateur du logiciel lorsque le code de détection des défauts détecte un défaut pendant le code de fabrication additive.
- Une mesure expérimentale de la contrainte résiduelle est effectuée sur la pièce construite. Les résultats des mesures expérimentales sont utilisés pour entraîner le code d'apprentissage automatique afin d'augmenter la précision des prédictions de la contrainte résiduelle.

**Revendication 3:** La combinaison des revendications 1 et 2.

### Schémas expliquant l'invention

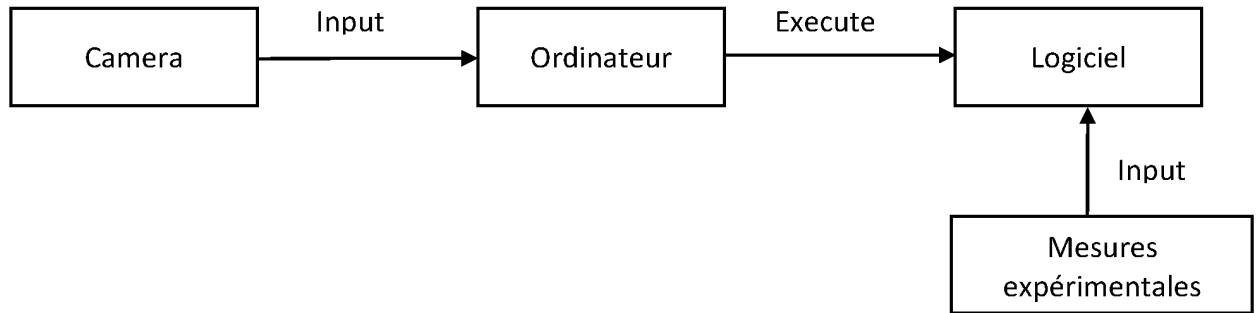


Figure 1: Schéma du système

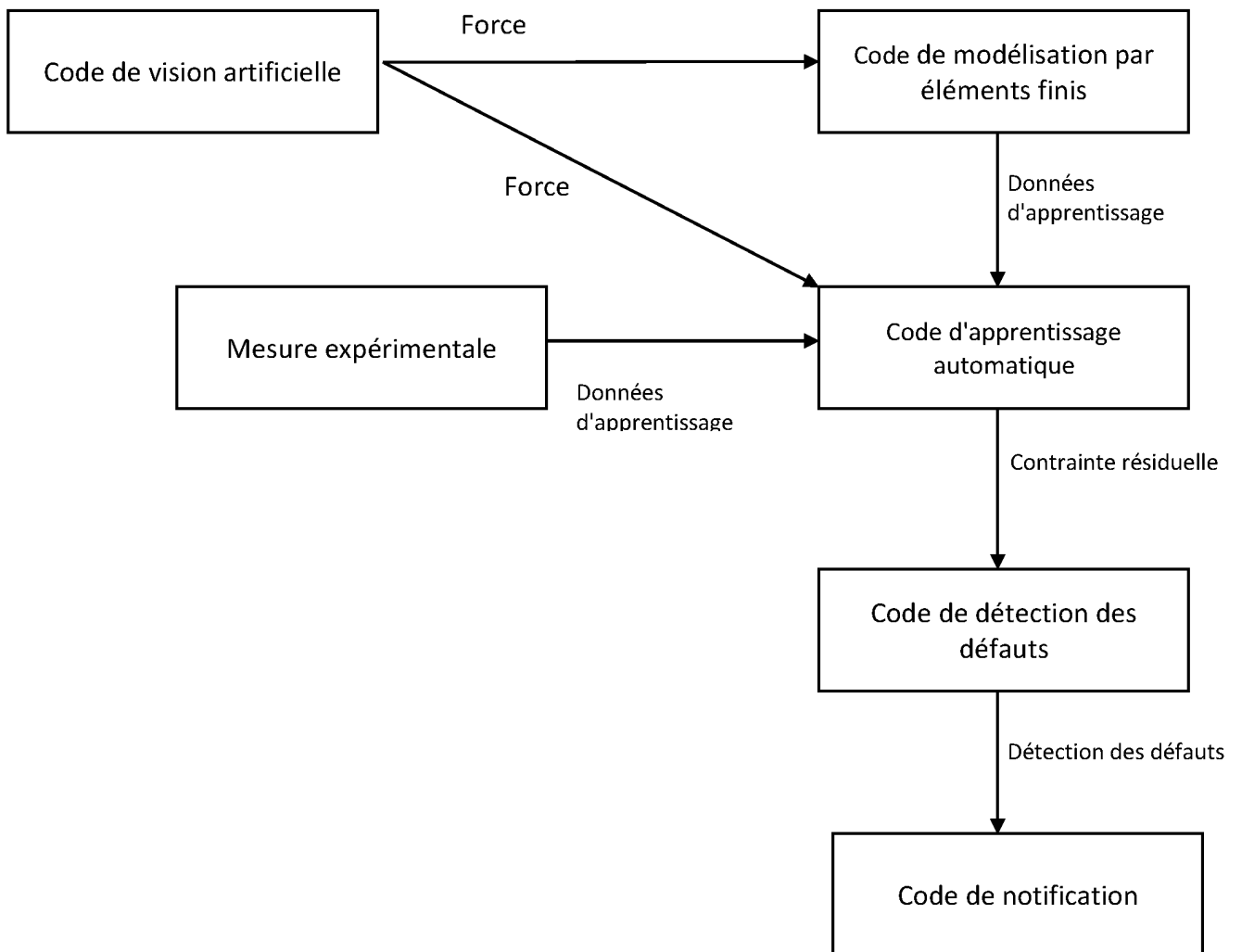


Figure 2: Diagramme logiciel

**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)

|  |  |
|--|--|
| <b>Renseignements relatifs à la demande</b>  |  |
| N° de la demande : 58227   | Date de dépôt : 28/10/2022                   |
| Déposant : DONAA LIMITED   |  |
| Intitulé de l'invention : Un système qui permet de détecter les défauts et erreurs en temps réel pendant l'impression 3D (additive manufacturing), à l'aide d'une caméra.  |  |
| 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 <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , 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<br><input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité<br><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<br><input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention<br><input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité<br><input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle |  |
| Examineur: FERHANE Mohamed Amine   | Date d'établissement du rapport : 06/04/2023 |





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  
2 Pages
- Revendications  
1-3
- Planches de dessin  
2 Pages

**Partie 2 : Rapport de recherche**

Classement de l'objet de la demande :

CIB : B29C 64/00 ; B29C 64/30 ; B29C 64/343 ; B29C 64/386 ; B29C 64/393 ; B33Y 30/00 ; B33Y 50/00 ; B33Y 50/02

CPC : B33Y 30/00 ; B33Y 50/00 ; B33Y 50/02

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          | CN115087538A ; IMPOSSIBLE OBJECTS INC ; 20/09/2022<br>Abrégé ; Description ; Figures 1-7  | 1-2                          |
| Y          | WO2017019860A1 ; ILLINOIS TOOL WORKS [US] ; 02/02/2017<br>Abrégé ; Description ; Figures 1-9  | 1-2                          |
| A          | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245232162200676X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245232162200676X</a><br>; 03/01/2023 | 1-2                          |

**\*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**

Les présentes revendications ne satisfont pas aux exigences de rédaction stipulées dans les articles 9 et 10 du décret d'application de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 :

- Les revendications 1-2 doivent être rédigées en deux parties, la première consistant en un préambule indiquant la désignation de l'objet de l'invention et les caractéristiques techniques qui sont nécessaires à la définition des éléments revendiqués mais qui, combinées entre elles, font partie de l'état de la technique, et la seconde (la partie caractérisante) précédée des expressions « caractérisée en » ou « caractérisé par », ou « l'amélioration comprend » ou d'une formule analogue, consistant en une indication des caractéristiques énoncées dans la première partie, sont celles pour lesquelles la protection est demandée.
- Les revendications 1-2 contiennent des références aux figures, cependant lesdites revendications ne doivent pas comporter de telles références, à moins qu'un tel renvoi ne soit nécessaire à l'intelligence de la revendication ou qu'il ne contribue à la clarté ou à la concision de celle-ci. Il convient de faire suivre les caractéristiques des revendications par des numéros de référence, mis entre parenthèses et ce dans le préambule comme dans la partie caractérisante. Le signe de référence d'une même caractéristique doit être identique dans toutes les parties de la demande.
- La revendication dépendante 2 qui comprend les caractéristiques de la revendication 1 doit renvoyer à cette revendication par indication de son numéro, puis indiquer les caractéristiques revendiquées qui s'ajoutent à celle dont la protection est demandée dans la revendication 1.

**- Remarques de clarté**

La demande ne satisfait pas aux exigences de l'article 34 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, à savoir que la description de l'invention doit exposer l'invention d'une façon suffisamment claire et complète en divulguant des informations suffisantes permettant à un homme du métier, sans expérimentation excessive, d'exécuter l'invention connue de l'inventeur à la date de dépôt. Ceci n'est toutefois pas le cas dans la présente demande.

Les revendications 1-3 ne satisfont pas à l'exigence de clarté, car l'objet de la protection demandée n'est pas clairement défini, conformément à l'article 35 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. En effet :

- Les caractéristiques énoncées dans la revendication 1 du système de détection de défauts en temps réel dans la fabrication additive portent sur un procédé, au lieu de définir

clairement ce dispositif en termes de caractéristiques techniques. Les limitations visées ne ressortent donc pas clairement de cette revendication.

- La revendication 1 tente de définir l'objet 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.
- Le terme « logiciel » employé dans la revendication 2 a été interprétée comme étant « une méthode mise en œuvre par ordinateur » exclue de la brevetabilité selon l'article 23 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.
- La revendication 3 est vague et imprécise, et laisse subsister un doute quant à la signification de la caractéristique technique à laquelle elle se rapporte, au point que l'objet de ladite revendication n'est pas clairement défini.

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

|                          |   |            |
|--------------------------|---|------------|
| Nouveauté                | Revendications 1-2<br>Revendications aucune | Oui<br>Non |
| Activité inventive       | Revendications aucune<br>Revendications 1-2 | Oui<br>Non |
| Application Industrielle | Revendications 1-2<br>Revendications aucune | Oui<br>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 : **CN115087538A**  
D2 : **WO2017019860A1**

**1. Nouveauté**

Aucun des documents cités ci-dessus 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, la revendication dépendante 2 est aussi nouvelle.

**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 basé sur la combinaison des caractéristiques suivantes :

- Caméra (102) pour surveiller la fabrication additive.
- Utilisation d'un ordinateur (104) connecté à la caméra pour exécuter le logiciel.
- Traitement entièrement automatisé pour détecter les défauts en temps réel pendant la

fabrication additive, y compris l'envoi d'une notification à l'utilisateur lorsque des défauts sont détectés.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de D1 en ce que la contrainte résiduelle est prédite, en temps réel, sur la zone de fabrication pendant la fabrication additive.

L'effet technique apporté par cette différence réside dans le fait que la prévision en temps réel de la contrainte résiduelle permet une détection en temps réel des défaillances et des faibles résistances et distorsions géométriques des pièces imprimées.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme celui de fournir un système de détection de défauts en temps réel dans la fabrication additive précis et moins coûteux en matière de temps et de coûts de fabrication.

La solution proposée dans la revendication 1 de la présente demande ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. En effet, le document D2 divulgue un système de connaissances de production de soudure qui permet la prévision en temps réel de la contrainte résiduelle lors de la fabrication additive.

Par conséquent, l'homme de métier aurait évidemment combiné les enseignements de D1 avec ceux de D2 pour arriver à l'objet de la revendication 1 sans faire preuve d'esprit inventif.

La revendication dépendante 2 ne semble pas contenir de caractéristiques supplémentaires qui satisfassent aux exigences de l'activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 en étant combinée aux caractéristiques de la revendication 1 à laquelle ladite revendication dépendante est liée.

### **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.