

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/105337 A1

(43) Date de la publication internationale
23 mai 2024 (23.05.2024)

(51) Classification internationale des brevets :
B29C 64/118 (2017.01) *B33Y 10/00* (2015.01)
B29C 64/393 (2017.01) *B33Y 50/02* (2015.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2023/051796

(22) Date de dépôt international :
15 novembre 2023 (15.11.2023)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2212032 18 novembre 2022 (18.11.2022) FR

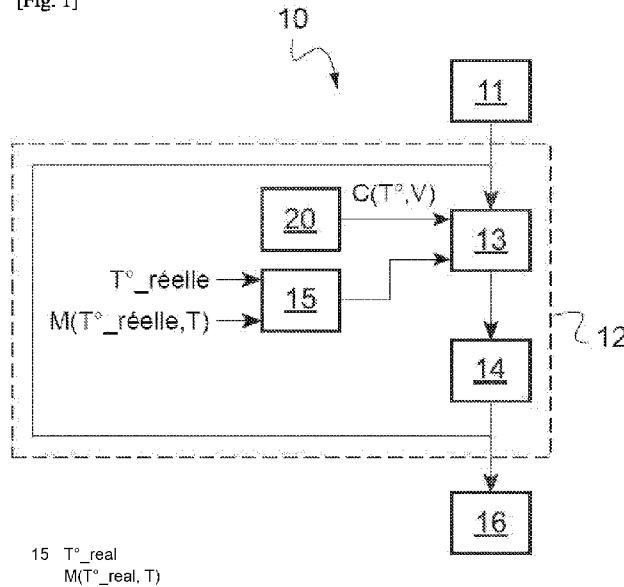
(71) Déposant : **COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN** [FR/FR] ; 23 place des Carnes-Déchaux, 63000 CLERMONT FERRAND (FR).

(72) Inventeurs : **TRABATTONI, Thomas** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN Service juridique- Propriété Intellectuelle DCJ/PI- Site de LADOUX - F35 23 place des Carnes Déchaux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 09 (FR). **FAUGERAS, Alain** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN Service juridique- Propriété Intellectuelle DCJ/PI- Site de LADOUX - F35 23 place des Carnes Déchaux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 09 (FR). **GUERY, Bertrand** ; MANUFACTURE FRANCAISE DES PNEUMATIQUES MICHELIN Service juridique- Propriété Intellectuelle DCJ/PI- Site de LA-

(54) Title: METHOD FOR ADDITIVE MANUFACTURING OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS

(54) Titre : PROCÉDÉ DE FABRICATION ADDITIVE D'OBJETS TRIDIMENSIONNELS

[Fig. 1]



(57) Abstract: The invention relates to a method (10) for additive manufacturing of at least one three-dimensional object using at least one additive manufacturing device by extruding a filament, the method comprising a step (12) of controlling the additive manufacturing device for manufacturing the object. In the control step (12): - in a slicing step (13), printing speed setpoints and temperature setpoints of the extruder of the additive manufacturing device are generated as a function of a mapping ($C(T^\circ, V)$) of the printing speed depending on the temperature of the filament and as a function of the evolution of the temperature of the extruder as a function of time (t), the mapping ($C(T^\circ, V)$) being specific to the material of the extruded filament; and - in a transmission step (14), the printing speed and temperature setpoints of the extruder are transmitted to the additive manufacturing device.



WO 2024/105337 A1

DOUX - F35 23 place des Carmes Déchaux, 63040 CLERMONT-FERRAND CEDEX 09 (FR).

(74) **Mandataire : THON, Julien** et al. ; CASALONGA, 31 rue de Fleurus, 75006 PARIS (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2(h))

(57) **Abrégé** : Procédé (10) de fabrication additive d'au moins un objet tridimensionnel à l'aide d'au moins un dispositif de fabrication additive par extrusion d'un filament, le procédé comprenant une étape (12) de commande dudit dispositif de fabrication additive pour la fabrication dudit objet. Lors de ladite étape (12) de commande : - on génère, lors d'une étape (13) de tranchage, des consignes de vitesse d'impression et des consignes de température de l'extrudeur dudit dispositif de fabrication additive en fonction d'une cartographie ($C(T^\circ, V)$) de la vitesse d'impression dépendant de la température du filament, et en fonction de l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps (t), ladite cartographie ($C(T^\circ, V)$) étant propre au matériau du filament extrudé; et - on transmet, lors d'une étape de transmission (14) lesdites consignes de vitesse d'impression et de température de l'extrudeur au dispositif de fabrication additive.

DESCRIPTION

TITRE : Procédé de fabrication additive d'objets tridimensionnels

5 La présente invention concerne le domaine de la fabrication additive.

Plus particulièrement, l'invention concerne la fabrication additive par extrusion d'une matière fondue, appelée « fused deposition modeling », d'acronyme FDM en termes anglo-saxons.

10 Il est connu d'utiliser un extrudeur afin de réaliser un jonc ou fil de matière fondue à partir de filaments en matériau thermoplastique ou composite.

Les paramètres d'impression d'un objet fabriqué selon un procédé de fabrication additive sont généralement déterminés par expérimentations en fonction du matériau choisi et du dispositif de fabrication additive ou imprimante utilisée. Ces paramètres dépendent de caractéristiques mécaniques du dispositif de fabrication additive ainsi que des caractéristiques de l'extrudeur. Les objets de forme complexe peuvent nécessiter plusieurs jeux de paramètres au cours de leur fabrication.

20 Toutefois, à cause de l'architecture des extrudeurs, le changement de vitesse d'impression est généralement plus rapide que la modification de la température d'extrusion du filament. Une modification de la température impose donc d'arrêter temporairement le procédé de fabrication jusqu'à ce que la température de la buse de l'extrudeur atteigne la nouvelle consigne de température. Un tel arrêt temporaire dans la fabrication de l'objet augmente la durée de fabrication de l'objet, et peut générer des défauts dans la construction de l'objet.

30 Ainsi, il existe un besoin d'améliorer les procédés de fabrication additive d'un objet tridimensionnel.

L'objectif de l'invention est d'optimiser le temps de fabrication d'un objet tridimensionnel tout en conservant un niveau de qualité de fabrication satisfaisant.

La présente invention a pour objet un procédé de fabrication additive d'au moins un objet tridimensionnel à l'aide d'au moins un dispositif de fabrication additive par extrusion d'un filament ou « fused deposition modeling », d'acronyme FDM en termes anglo-saxons,

5 Le procédé comprend une étape de commande dudit dispositif de fabrication additive pour la fabrication dudit objet.

Lors de ladite étape de commande, on génère, lors d'une étape de tranchage, des consignes de vitesse d'impression et des consignes de température de l'extrudeur dudit dispositif de fabrication additive en fonction d'une cartographie de la vitesse d'impression dépendant de la température du filament, et en fonction de l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps. Ladite cartographie est propre au matériau du filament extrudé.

15 Lesdites consignes de vitesse d'impression et de température de l'extrudeur sont ensuite transmises, lors d'une étape de transmission, au dispositif de fabrication additive.

Ladite cartographie permet d'avoir des plages de températures possibles pré-enregistrées en fonction de la vitesse et dépendant du matériau du filament. Cela permet de commander la fabrication de l'objet dans des zones de température et de vitesse atteignables tout en conservant une qualité satisfaisante de l'objet fabriqué.

20 Par ailleurs, la prise en compte de l'évolution de la température réelle de l'extrudeur en fonction du temps permet de prendre en compte l'inertie thermique de l'extrudeur et d'anticiper la variation des consignes de vitesse d'impression. Ainsi, on peut anticiper le refroidissement ou la montée en température de l'extrudeur par la modélisation de la température de l'extrudeur après l'arrêt du chauffage.

25 La dynamique de la variation thermique de l'extrudeur est donc prise en considération pour déterminer les consignes de température et de vitesse à transmettre au dispositif de fabrication additive.

30 Le pilotage de la vitesse d'impression en fonction de la température réelle de l'extrudeur permet de s'affranchir des arrêts temporaires du procédé de fabrication, ainsi que des défauts de fabrication que de tels arrêts temporaires peuvent provoquer.

Cela permet ainsi de diminuer la durée de fabrication de l'objet en optimisant les vitesses d'impression en fonction de la température de la buse de l'extrudeur.

5 Par exemple, le dispositif de fabrication additive comprend un extrudeur comprenant une vis sans fin, configurée pour extruder un filament de matière. On pourrait utiliser d'autres techniques d'impression d'objets par fabrication additive par extrusion d'un filament.

10 De préférence, lors de la commande du dispositif de fabrication additive, on génère un code contenant notamment des consignes de vitesse d'impression et des consignes de température de l'extrudeur destinées à être transmises au dispositif de fabrication additive.

15 Avantagement, le procédé comprend en outre une étape de calibration préalable à l'étape de tranchage, lors de laquelle, on détermine l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps par corrélation entre un modèle mathématique et de la température réelle de l'extrudeur.

20 Par exemple, lors de l'étape de calibration, l'extrudeur est modélisé comme un système du second ordre dont les coefficients sont, par exemple, déterminés de manière expérimentale. Un système du deuxième ordre est typiquement caractérisé par une équation différentielle du deuxième ordre à coefficients constants tels que la pulsation propre, le facteur d'amortissement et le gain statique. L'équation différentielle du deuxième ordre est déterminée en utilisant
25 la transformée de Laplace. La détermination de l'équation différentielle du deuxième ordre et des coefficients constants est connue et ne sera pas davantage décrite.

30 En variante, on pourrait déterminer l'évolution de la température de l'extrudeur directement en fonction de la température réelle de l'extrudeur.

Le procédé peut, par exemple, comprendre une étape de modélisation dudit objet à reproduire ou fabriquer avant l'étape de commande du dispositif de fabrication additive.

Avantageusement, lors de l'étape de tranchage, on convertit la modélisation de l'objet obtenue à l'étape de modélisation en une série de plusieurs couches correspondantes aux étapes de construction de l'objet imprimé.

5 De préférence, le procédé comprend en outre une étape d'impression de l'objet en fonction des consignes de vitesse d'impression et des consignes de température de l'extrudeur déterminée à l'étape de commande du dispositif de fabrication additive.

10 Avantageusement, le procédé comprend en outre, avant l'étape de tranchage, une étape de caractérisation de la cartographie.

Par exemple, l'étape de caractérisation de la cartographie comprend :

- une étape d'estimation d'une température minimale estimée de l'extrudeur permettant l'extrusion fluide et continue du filament ;
- 15 - une étape de détermination d'une plage de température dans laquelle un objet prédéterminé est imprimable sans défauts extérieurs visibles ;
- et
- une étape de vérification de ladite plage de température par impression dudit objet.

20 Par exemple, lors de l'étape d'estimation, si la durée nécessaire pour extruder une longueur de filament dans l'extrudeur à une température initiale est égale, à 10% près, à une durée théorique de chargement de la même longueur de filament dans l'extrudeur à une vitesse de chargement donnée, la température initiale correspond à la

25 température minimale estimée de l'extrudeur, sinon on répète l'opération en décrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C.

Par « durée théorique », on entend la longueur de filament à extruder divisée par la vitesse de chargement demandée.

30 Par exemple, lors de l'étape de détermination, on fixe la vitesse d'impression, on imprime une première ou un premier ensemble de couches à la température minimale estimée et on imprime des couches successives en incrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C à chaque couche ou ensemble de couches, par exemple dix

couches, jusqu'à atteindre une température maximale. La température maximale est déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu, la température maximale correspond à la température d'impression de la couche précédente.

Par exemple, lors de l'étape de vérification de la température minimale d'impression, pour une vitesse donnée, on imprime une première couche ou un premier ensemble de couches à la température minimale déterminée lors de l'étape d'estimation et on imprime des couches successives en décrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C à chaque couche ou ensemble de couches jusqu'à atteindre une température minimale, la température minimale étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche ou d'un ensemble de couches, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu et les couches successives imprimées se décollent les unes des autres, la température minimale correspond à la température d'impression de la couche précédente.

Avantageusement, l'étape de caractérisation de la cartographie comprend une étape de détermination d'une plage de vitesses maximales d'impression en fonction de la plage de température définie lors de l'étape de détermination et l'étape de vérification. Lors de l'étape de détermination d'une plage de vitesses maximales d'impression, on imprime une couche ou un ensemble de couches de section rectangulaire ou carrée à une vitesse d'impression minimale pour au moins une valeur sur deux de température de ladite plage de température et on imprime des couches successives ou des ensembles de couches successifs de section rectangulaire ou carrée en incrémentant la vitesse d'impression d'une valeur comprise entre 5mm/s et 10 mm/s jusqu'à atteindre une vitesse maximale, la vitesse d'impression maximale étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, la

vitesse d'impression maximale correspond à la vitesse d'impression de la couche précédente.

Avantageusement, l'étape de caractérisation de la cartographie comprend une étape de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales en fonction de la plage de température définie
5 lors de l'étape de détermination et l'étape de vérification. Lors de l'étape de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales, on imprime une couche ou un ensemble de couches de section cylindrique à une vitesse d'impression minimale pour au moins une
10 valeur sur deux de température de ladite plage de température et on imprime des couches successives ou des ensembles de couches successifs de section cylindrique en incrémentant la vitesse d'impression d'une valeur comprise entre 5mm/s et 10 mm/s jusqu'à
15 atteindre une vitesse d'impression optimale, ladite vitesse d'impression optimale étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche ou d'un ensemble de couches, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu, les couches successives imprimées se décollent les unes des autres, et le diamètre de l'objet imprimé n'est
20 pas continu, la vitesse d'impression optimale correspond la vitesse d'impression de la couche précédente.

Avantageusement, l'étape de caractérisation de la cartographie comprend une étape de compilation des étapes de détermination d'une
25 plage de température dans laquelle un objet est imprimable sans défauts visuels et de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales pour obtenir la cartographie des vitesses atteignables en fonction de la température illustrant la plage de température dans laquelle un objet est imprimable sans défauts visuels à une vitesse d'impression optimale.

30 D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

[Fig 1]

représente la synoptique d'un procédé de fabrication additive d'un ou plusieurs objets tridimensionnels selon l'invention ;

[Fig 2]

5 représente en détails l'étape de détermination d'une cartographie de température de l'extrudeur en fonction de la vitesse d'impression du procédé de fabrication selon la figure 1 ; et

[Fig 3]

10 illustre la cartographie de température de l'extrudeur en fonction de la vitesse d'impression de la figure 2.

Le procédé 10 de fabrication additive d'un ou plusieurs objets tridimensionnels comprend une étape 11 de modélisation d'un objet à reproduire ou imprimer et une étape 12 de commande d'un dispositif (non représenté) de fabrication additive par extrusion d'un filament.

15 Par exemple, le dispositif de fabrication additive comprend un extrudeur comprenant une vis sans fin, configurée pour extruder un filament de matière.

20 Le dispositif de fabrication additive peut également utiliser une buse d'impression configurée pour calibrer le diamètre du filament de matière fondue.

Un tel extrudeur est généralement déplacé dans l'espace, à l'aide d'un système piloté par une unité de commande électronique afin de déposer la matière extrudée sur un plateau de réception.

25 On pourrait utiliser d'autres techniques d'impression d'objets par fabrication additive par extrusion d'un filament.

30 L'étape 12 de commande du dispositif de fabrication additive comprend une étape 13 de tranchage lors de laquelle la modélisation de l'objet à fabriquer est convertie en une série de plusieurs couches, plus ou moins fine, correspondant aux différentes étapes de construction de l'objet imprimé.

L'étape 13 de tranchage génère un code contenant toutes les instructions d'impression transmises au dispositif de fabrication additive.

Le code généré à l'étape 13 contient notamment les consignes de vitesse d'impression V_{cons} et les consignes de température T_{cons} de l'extrudeur.

5 Toutefois, toutes les vitesses d'impression ne sont pas atteignables pour une température donnée.

10 En effet, lorsque la température de l'extrudeur est supérieure à la température de dégradation de la matière imprimée, un débit minimum est nécessaire pour éviter que le filament ne reste trop longtemps dans le corps de chauffe, c'est-à-dire dans l'extrudeur, et que la matière imprimée n'atteigne pas sa température de dégradation.

15 Pour remédier à cet inconvénient, l'étape 13 de tranchage génère les consignes de vitesse d'impression V_{cons} et les consignes de température T_{cons} de l'extrudeur en fonction d'une cartographie $C(T^\circ, V)$ de la vitesse d'impression V en fonction de la température T° du filament en sortie de l'extrudeur et en fonction de l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps t .

20 La cartographie $C(T^\circ, V)$ permet d'avoir des plages de températures possibles en fonction de la vitesse pré-enregistrées et dépendant du matériau du filament.

25 La cartographie $C(T^\circ, V)$ est déterminée pour un matériau de filament extrudé donné lors d'une étape 20 de caractérisation générant ladite cartographie des vitesses atteignables en fonction de la température. L'étape 20 de caractérisation de la cartographie est réalisée avant l'étape 13 de tranchage.

L'étape 20 de caractérisation de la cartographie sera décrite en référence à la figure 2.

30 Afin de ne pas impacter la durée d'impression de l'objet, l'étape 13 de tranchage anticipe la variation de vitesse en prenant en compte l'inertie thermique de l'extrudeur.

A cet effet, le procédé comprend une étape 15 de calibration lors de laquelle on détermine l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps t par corrélation entre un modèle mathématique $M(T^\circ_{\text{réelle}}, t)$ et l'évolution de la température $T^\circ_{\text{réelle}}$ mesurée de l'extrudeur.

L'étape 15 de calibration permet de prévoir le besoin de changement de température et d'adapter la consigne de commande de vitesse.

5 Lors de l'étape 15 de calibration, l'extrudeur est modélisé comme un système du second ordre dont les caractéristiques sont déterminées de manière expérimentale.

Ainsi, on peut anticiper le refroidissement ou la montée en température de l'extrudeur par la modélisation $M(T^{\circ}_{réelle}, D)$ de la température de l'extrudeur après l'arrêt du chauffage.

10 La dynamique de la variation thermique de l'extrudeur est donc prise en considération pour déterminer les consignes de température et de vitesse à transmettre au dispositif de fabrication additive.

Ceci permet en outre d'éviter tout arrêt temporaire de l'impression pour atteindre une consigne de température, et donc
15 diminue la durée de l'impression de l'objet.

L'étape 12 de commande du dispositif de fabrication additive comprend en outre une étape 14 de transmission des consignes de vitesse d'impression V_{cons} et des consignes de température T_{cons} au
20 dispositif de fabrication additive.

Le procédé 10 de fabrication additive comprend en outre une étape 16 d'impression de l'objet en fonction des consignes de température et de vitesse déterminée à l'étape 12 de commande du
25 dispositif de fabrication additive.

La figure 2 illustre en détails l'étape 20 de caractérisation de la cartographie $C(T^{\circ}, V)$.

La cartographie $C(T^{\circ}, V)$ de vitesse atteignables en fonction de la température est déterminée comme suit :

Lors d'une première étape 21, on estime une température minimale estimée T_{min_est} du corps de chauffe de l'extrudeur
30 permettant l'extrusion fluide et continue d'un filament. Pour cela, on compare la durée nécessaire pour charger une longueur de filament dans l'extrudeur sans contraintes de température avec la durée nécessaire pour extruder une longueur de filament à une température initiale, par

exemple comprise entre 60° et 450°, par exemple comprise entre 200°C et 225°C, par exemple égale à 205°C, par exemple égale à 225°C.

Si la durée nécessaire pour extruder une longueur de filament à une température initiale est égale, à 10% près, à la durée théorique
5 nécessaire pour charger la même longueur de filament à une vitesse de chargement donnée, la température initiale correspond à la température minimale de l'extrudeur. La durée théorique correspond à la même longueur de filament extrudé divisée par la vitesse de chargement.

Lors d'une deuxième étape 22, on fixe la vitesse d'impression et
10 on détermine la plage de température dans laquelle un objet prédéterminé est imprimable sans défauts extérieurs visibles. Pour cela, pour une vitesse donnée, par exemple, égale à 5 mm/s, on imprime une première couche à la température minimale estimée T_{\min_est} et on imprime des couches successives en incrémentant la température de
15 d'une valeur d'incrément, comprise entre 1°C et 5°C, à chaque couche, ou un ensemble de couches, par exemple dix couches, jusqu'à atteindre une température maximale T_{\max} .

A titre d'exemple non limitatif, la température maximale T_{\max}
20 est comprise entre 10°C et 100°C par rapport à la température minimale T_{\min} .

La température maximale T_{\max} est déterminée en fonction de la qualité de l'impression visible depuis l'extérieur. Si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet n'est pas satisfaisante, par exemple le filament extrudé n'est pas continu, la température
25 maximale sera la température d'impression de la couche précédente.

Lors d'une troisième étape 23, on vérifie la plage de température par impression dudit objet et notamment la température minimale d'impression.

Pour cela, pour une vitesse donnée, par exemple, égale à 5 mm/s,
30 on imprime une première couche à la température minimale T_{\min_est} déterminée lors de l'étape d'estimation 21, et on imprime des couches successives en décrémentant la température d'une valeur comprise entre 1°C et 5°C à chaque couche jusqu'à atteindre une température minimale T_{\min} .

La température minimale T_{\min} est déterminée en fonction de la qualité de l'impression visible depuis l'extérieur. Si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet imprimé n'est pas satisfaisante, par exemple le filament extrudé n'est pas continu et les
5 couches successives imprimées se décollent les unes des autres, la température minimale sera la température d'impression de la couche précédente. La température minimale T_{\min} peut être égale à la température minimale estimée T_{\min_est} .

On obtient ainsi une plage de valeurs de température dans
10 laquelle un objet prédéterminé est imprimable sans défaut extérieurs visibles.

Lors d'une quatrième étape 24, on détermine une plage de vitesses maximales d'impression V_{\max} en fonction de la plage de température déterminée à l'étape 22 et 23 en imprimant des couches
15 successives de section rectangulaire ou carrée.

De manière générale, on pourrait imprimer des couches successives présente une section de forme géométrique différente, du moment que la forme géométrique permet d'atteindre la consigne de vitesse d'impression. Par exemple, on pourrait imprimer des couches
20 successives ayant une section de forme un cercle, ovale, etc...

Ainsi, pour chaque valeur de température mémorisée, ou au moins une sur deux, on imprime une couche ou un ensemble de couches à un vitesse d'impression minimale V_{\min} , par exemple égale à 0 mm/s et on imprime des couches ou ensembles de couches successives en
25 incrémentant la vitesse d'impression de 5 mm/s jusqu'à atteindre une vitesse maximale V_{\max} . La vitesse d'impression maximale V_{\max} est déterminée en fonction de la qualité de l'impression. Si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet imprimé n'est pas satisfaisante, par exemple le filament extrudé n'est pas continu et les
30 couches successives imprimées se décollent les unes des autres, la vitesse d'impression maximale V_{\max} sera la vitesse d'impression de la couche précédente.

Lors d'une cinquième étape 25, on détermine une plage de vitesses d'impression optimales V_{opt} en fonction de la plage de

température déterminée à l'étape 23 et 24 en imprimant des couches successives de section cylindrique.

Ainsi, pour chaque valeur de température mémorisée, ou au moins une sur deux, on imprime une couche ou un ensemble de couches, par exemple dix couches, à une vitesse d'impression minimale V_{\min} , par exemple égale à 0 mm/s et on imprime des couches ou ensemble de couches successives en incrémentant la vitesse d'impression de 5 mm/s jusqu'à atteindre une vitesse d'impression optimale V_{opt} . La vitesse d'impression optimale V_{opt} est déterminée en fonction de la qualité de l'impression. Si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet n'est pas satisfaisante, par exemple le filament extrudé n'est pas continu, les couches successives imprimées se décolent les unes des autres, et le diamètre de l'objet imprimé n'est pas continu, la vitesse d'impression optimale V_{opt} sera la vitesse d'impression de la couche précédente

Enfin, à l'étape 26, on compile les différentes valeurs obtenues aux étapes précédentes 22, 23, 24 et 25 pour obtenir la cartographie $C(T^\circ, V)$ des vitesses atteignables en fonction de la température illustrée sur la figure 3.

La figure 3 représente la cartographie $C(T^\circ, V)$ des vitesses atteignables en fonction de la température comprenant en abscisses la température T en degrés celsius $^\circ\text{C}$ et en ordonnées la vitesse V en mm/s.

La zone en pointillés correspond à une zone dans laquelle le filament est dégradé lors de l'impression. Ladite zone n'est donc pas utilisable pour l'impression d'un objet.

La zone hachurée correspond à une zone dans laquelle la vitesse d'impression est optimale V_{opt} pour garantir une qualité d'impression satisfaisante.

La zone en traits-tirets correspond à une zone dans laquelle la vitesse d'impression est maximale V_{max} mais ne garantit une qualité d'impression satisfaisante.

Par exemple, lorsque la température de la buse de l'extrudeur est à 265°C et que la vitesse d'impression est de 15 mm/s. dans le cas où il

est nécessaire de réduire la vitesse d'impression à 10 mm/s, la température de l'extrudeur doit être réduite à 255°C.

De manière similaire, lorsque la température de l'extrudeur est à 245°C et que la vitesse d'impression est de 15 mm/s. dans le cas où il
5 est nécessaire d'augmenter la vitesse d'impression à 20 mm/s, la température de l'extrudeur doit être augmentée à 250°C.

Dans l'exemple illustré, la température en abscisses est limitée à 275°C. Toutefois, si le matériau utilisé le permet, l'ensemble des courbes peut être prolongé au-delà de 275°C.

10 Grâce au procédé de fabrication additive selon l'invention, on commande la vitesse d'impression en fonction d'une cartographie de vitesse d'impression et de la température, propre au matériau du filament extrudé, et en fonction de la température réelle de l'extrudeur.

Le pilotage de la vitesse d'impression en fonction de la
15 température réelle de l'extrudeur permet de s'affranchir des arrêts temporaires du procédé de fabrication, ainsi que des défauts de fabrication que de tels arrêts temporaires peuvent provoquer.

Cela permet ainsi de diminuer la durée de fabrication de l'objet en optimisant les vitesses d'impression en fonction de la température de
20 la buse de l'extrudeur.

REVENDICATIONS

1. Procédé (10) de fabrication additive d'au moins un objet tridimensionnel à l'aide d'au moins un dispositif de fabrication additive par extrusion d'un filament, le procédé comprenant une étape (12) de commande dudit dispositif de fabrication additive pour la fabrication dudit objet, caractérisé en ce que lors de ladite étape (12) de commande :
- on génère, lors d'une étape (13) de tranchage, des consignes de vitesse d'impression (V_{cons}) et des consignes de température (T_{cons}) de l'extrudeur dudit dispositif de fabrication additive en fonction d'une cartographie ($C(T^\circ, V)$) de la vitesse d'impression (V) dépendant de la température de l'extrudeur (T°), ladite cartographie étant propre au matériau du filament extrudé, et en fonction de l'évolution de la température réelle de l'extrudeur en fonction du temps (t), et
 - on transmet, lors d'une étape de transmission (14), lesdites consignes de vitesse d'impression (V_{cons}) et de température (T_{cons}) de l'extrudeur au dispositif de fabrication additive.
2. Procédé (10) selon la revendication 1, comprenant en outre une étape de calibration (15) préalable à l'étape (13) de tranchage, lors de laquelle, on détermine l'évolution de la température de l'extrudeur en fonction du temps (t) par corrélation entre un modèle mathématique et de la température réelle ($T^\circ_{\text{réelle}}$) de l'extrudeur.
3. Procédé (10) selon la revendication 2, dans lequel lors de l'étape de calibration (15), l'extrudeur du dispositif de fabrication additive est modélisé comme un système du second ordre.
4. Procédé (10) selon l'une quelconques des revendications précédentes, comprenant une étape (11) de modélisation dudit objet à fabriquer avant l'étape (12) de commande du dispositif de fabrication additive.
5. Procédé (10) selon la revendication 4, dans lequel lors de l'étape (13) de tranchage, on convertit la modélisation de l'objet obtenue à l'étape (11) de modélisation en une série de plusieurs couches correspondantes aux étapes de construction de l'objet imprimé.

6. Procédé (10) selon l'une quelconques des revendications précédentes, comprenant en outre, avant l'étape (13) de tranchage, une étape (20) de caractérisation de la cartographie ($C(T^\circ, V)$).

5 7. Procédé (10) selon la revendication 6, dans lequel l'étape (20) de caractérisation de la cartographie ($C(T^\circ, V)$) comprend :

- une étape (21) d'estimation d'une température minimale estimée ($T_{\text{min_est}}$) de l'extrudeur permettant l'extrusion fluide et continue du filament ;
- 10 - une étape (22) de détermination d'une plage de température dans laquelle un objet prédéterminé est imprimable sans défauts extérieurs visibles; et
- une étape (23) de vérification de ladite plage de température par impression dudit objet.

15 8. Procédé (10) selon la revendication 7, dans lequel lors de l'étape (21) d'estimation, si la durée nécessaire pour extruder une longueur de filament dans l'extrudeur à une température initiale est égale, à 10% près, à une durée théorique pour charger la même longueur de filament dans l'extrudeur à une vitesse de chargement donnée, la température initiale correspond à la température minimale estimée
20 ($T_{\text{min_est}}$) de l'extrudeur, sinon on répète l'opération en décrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C.

25 9. Procédé selon la revendication 7 ou 8, dans lequel lors de l'étape (22) de détermination, on fixe la vitesse d'impression, on imprime une première couche ou un premier ensemble de couches à la température minimale estimée ($T_{\text{min_est}}$) et on imprime des couches successives en incrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C à chaque couche ou ensemble de couches jusqu'à atteindre une température maximale (T_{max}), la température maximale (T_{max}) étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de
30 l'impression d'une couche, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu, la température maximale (T_{max}) correspond à la température d'impression de la couche précédente.

10. Procédé selon la revendication 8 ou 9, dans lequel lors de l'étape (23) de vérification de la température minimale d'impression, pour une vitesse donnée, on imprime une première couche ou un premier ensemble de couches à la température minimale (T_{min_est}) déterminée
5 lors de l'étape d'estimation (21) et on imprime des couches successives en décrémentant la température d'une valeur comprise entre 5°C et 10°C à chaque couche jusqu'à atteindre une température minimale (T_{min}), la température minimale (T_{min}) étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche ou ensemble de
10 couches, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu et les couches successives imprimées se décolent les unes des autres, la température minimale (T_{min}) correspond à la température d'impression de la couche précédente.

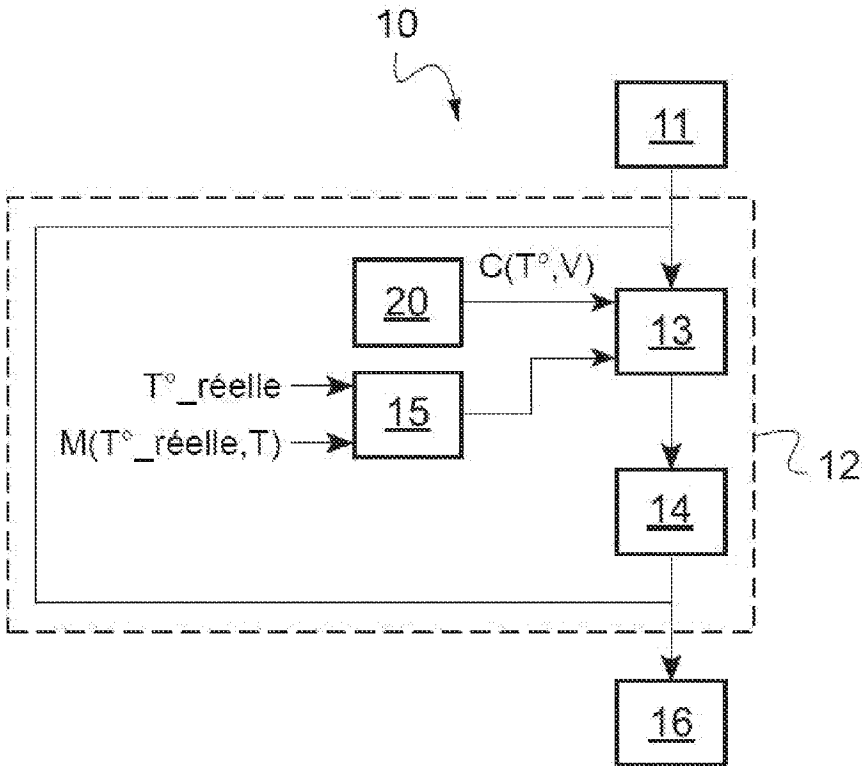
11. Procédé selon l'une quelconque des revendication 7 à 10, comprenant une étape (24) de détermination d'une plage de vitesses maximales d'impression (V_{max}) en fonction de la plage de température définie lors de l'étape (22) de détermination et l'étape (23) de vérification, lors de l'étape (24) de détermination d'une plage de vitesses
20 maximales d'impression (V_{max}), on imprime une couche ou un ensemble de couches de section rectangulaire ou carrée à une vitesse d'impression minimale (V_{min}) pour au moins une valeur sur deux de température de ladite plage de température et on imprime des couches ou ensembles de couches successives de section rectangulaire ou carrée
25 en incrémentant la vitesse d'impression d'une valeur comprise entre 5mm/s et 10 mm/s jusqu'à atteindre une vitesse maximale (V_{max}), la vitesse d'impression maximale (V_{max}) étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, la vitesse
30 d'impression maximale (V_{max}) correspond à la vitesse d'impression de la couche précédente.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendication 7 à 11, comprenant une étape (25) de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales (V_{opt}) en fonction de la plage de température

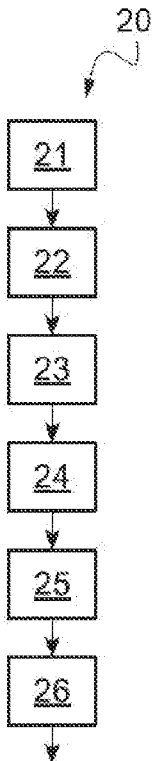
définie lors de l'étape (22) de détermination et l'étape (23) de vérification, lors de l'étape (25) de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales (V_{opt}), on imprime une couche ou un ensemble de couches de section cylindrique à une vitesse d'impression minimale (V_{min}) pour au moins une valeur sur deux de température de ladite plage de température et on imprime des couches successives ou des ensembles de couches successifs de section cylindrique en incrémentant la vitesse d'impression d'une valeur comprise entre 5mm/s et 10mm/s jusqu'à atteindre une vitesse d'impression optimale (V_{opt}), ladite vitesse d'impression optimale (V_{opt}) étant déterminée en fonction de la qualité de l'impression, si lors de l'impression d'une couche ou d'un ensemble de couches, la qualité de l'objet est inférieure à un seuil de qualité, notamment le filament extrudé n'est pas continu, les couches successives imprimées se décolent les unes des autres, et le diamètre de l'objet imprimé n'est pas continu, la vitesse d'impression optimale (V_{opt}) correspond la vitesse d'impression de la couche précédente.

13. Procédé selon la revendication 12, comprenant une étape (26) de compilation des étapes (22, 25) de détermination d'une plage de température dans laquelle un objet est imprimable sans défauts visuels et de détermination d'une plage de vitesses d'impression optimales (V_{opt}) pour obtenir la cartographie ($C(T^{\circ}, V)$) des vitesses atteignables en fonction de la température illustrant la plage de température dans laquelle un objet est imprimable sans défauts visuels à une vitesse d'impression optimale (V_{opt}).

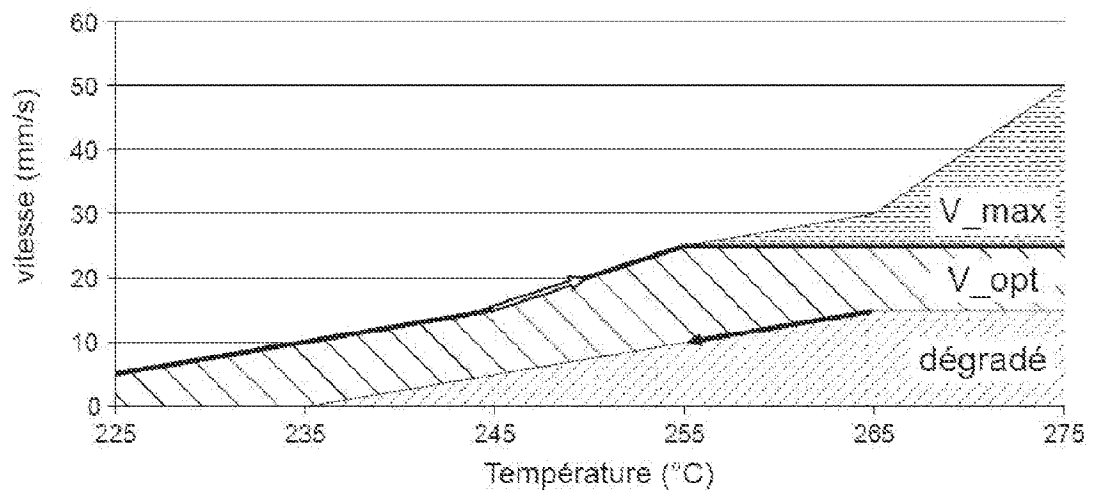
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2023/051796

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>B29C 64/118</i> (2017.01)i; <i>B29C 64/393</i> (2017.01)i; <i>B33Y 10/00</i> (2015.01)i; <i>B33Y 50/02</i> (2015.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B29C; B33Y Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	US 2020247063 A1 (PINSKIY VADIM [US] ET AL) 06 August 2020 (2020-08-06) paragraph [0044] - paragraph [0061]; figures 1-3	1,3,6,7 4,5 8-13
X	US 2019091897 A1 (YANG YU-JIE [TW]) 28 March 2019 (2019-03-28) paragraph [0021] - paragraph [0059] paragraph [0087] - paragraph [0154]; claims 1-18; figures 1-12	1,2
Y	Driezen Jorne ET AL. "In-situ adaptive thermal simulation method for predicting and avoiding hotspots in material extrusion processes" <i>Rapid prototyping journal</i> , 02 August 2022 (2022-08-02), pages 1492-1508, Retrieved from the Internet: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-10-2021-0272/full/pdf?title=in-situ-adaptive-thermal-simulation-method-for-predicting-and-avoiding-hotspots-in-material-extrusion-processes [retrieved on 2022-09-06] DOI: 10.1108/RPJ-10-2021-0272 XP055958085 the whole document	4,5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 01 March 2024		Date of mailing of the international search report 12 March 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Lang, Xavier Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/FR2023/051796

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2020247063	A1	06 August 2020	US	2020247063	A1	06 August 2020
				US	2022024140	A1	27 January 2022
				US	2023391016	A1	07 December 2023

US	2019091897	A1	28 March 2019	CN	109571960	A	05 April 2019
				EP	3461618	A1	03 April 2019
				ES	2834069	T3	16 June 2021
				JP	6634485	B2	22 January 2020
				JP	2019064252	A	25 April 2019
				US	2019091897	A1	28 March 2019

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2023/051796

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B29C64/118 B29C64/393 B33Y10/00 B33Y50/02 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B29C B33Y				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X Y A X	US 2020/247063 A1 (PINSKIY VADIM [US] ET AL) 6 août 2020 (2020-08-06) alinéa [0044] - alinéa [0061]; figures 1-3 <p style="text-align: center;">-----</p> US 2019/091897 A1 (YANG YU-JIE [TW]) 28 mars 2019 (2019-03-28) alinéa [0021] - alinéa [0059] alinéa [0087] - alinéa [0154]; revendications 1-18; figures 1-12 <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	1, 3, 6, 7 4, 5 8-13 1, 2		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée </td> <td style="width: 50%; border: none;"> "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets </td> </tr> </table>			"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale		
1 mars 2024		12/03/2024		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé		
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Lang, Xavier		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	<p>Driezen Jorne ET AL: "In-situ adaptive thermal simulation method for predicting and avoiding hotspots in material extrusion processes", Rapid prototyping journal, 2 août 2022 (2022-08-02), pages 1492-1508, XP055958085, DOI: 10.1108/RPJ-10-2021-0272 Extrait de l'Internet: URL:https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/RPJ-10-2021-0272/full/pdf?title=in-situ-adaptive-thermal-simulation-method-for-predicting-and-avoiding-hotspots-in-material-extrusion-processes [extrait le 2022-09-06] le document en entier -----</p>	4, 5

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2023/051796

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2020247063 A1	06-08-2020	US 2020247063 A1	06-08-2020
		US 2022024140 A1	27-01-2022
		US 2023391016 A1	07-12-2023

US 2019091897 A1	28-03-2019	CN 109571960 A	05-04-2019
		EP 3461618 A1	03-04-2019
		ES 2834069 T3	16-06-2021
		JP 6634485 B2	22-01-2020
		JP 2019064252 A	25-04-2019
		US 2019091897 A1	28-03-2019
