

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

**3 121 468**

②1 N° d'enregistrement national : **21 03512**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : *E 21 C 39/00 (2020.12), E 21 D 9/10, G 01 N 21/00*

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

**A1**

②2 **Date de dépôt** : 06.04.21.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 07.10.22 Bulletin 22/40.

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

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

**Demande(s) d'extension** :

⑦1 **Demandeur(s)** : VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS Société par actions simplifiée — FR, VINCI CONSTRUCTION Société par actions simplifiée — FR, BESSAC Société par actions simplifiée — FR, DODIN CAMPENON BERNARD Société par actions simplifiée — FR, VINCI CONSTRUCTION FRANCE Société par actions simplifiée — FR et SIXENSE MONITORING Société par actions simplifiée — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : HASENOHR Marc et GHAFOURY Zaki.

⑦3 **Titulaire(s)** : VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS (SAS), VINCI CONSTRUCTION (SAS), BESSAC (SAS), DODIN CAMPENON BERNARD (SAS), VINCI CONSTRUCTION FRANCE (SAS), SIXENSE MONITORING (SAS).

⑦4 **Mandataire(s)** : Cabinet NONY.

⑤4 **Procédé de détection de la consistance du marin excavé par un tunnelier.**

⑤7 **P** rocédé de détection de la consistance du marin excavé par un tunnelier

Procédé de détection et de reconnaissance du marin excavé par un tunnelier, le procédé comportant: - l'acquisition d'images du marin excavé en temps réel par un dispositif d'acquisition (2), notamment une caméra, - le traitement des images par au moins un réseau de neurones, notamment un réseau de neurones du type convolutif, entraîné pour détecter la présence de marin et en reconnaître la consistance, et pour générer au moins une information relative à la présence de marin et à sa consistance,- la diffusion, notamment par affichage sur un dispositif d'affichage dans le poste de pilotage du tunnelier, de ladite information, de manière à permettre à un pilote du tunnelier d'en prendre connaissance.

Figure pour l'abrégié : Fig. 4a

FR 3 121 468 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : Procédé de détection de la consistance du marin excavé par un tunnelier**

#### **Domaine technique**

[0001] La présente invention concerne un procédé de détection de la consistance du marin excavé par un tunnelier à l'aide d'un réseau de neurones.

#### **Technique antérieure**

[0002] L'invention concerne plus particulièrement, mais non exclusivement, le creusement de tunnels à l'aide d'un tunnelier dans lequel le marin excavé est évacué du tunnelier à l'aide d'un tapis convoyeur.

[0003] La consistance du marin excavé varie selon le terrain rencontré lors de l'avancement du tunnelier. La connaissance de la consistance du marin est importante pour le pilotage du tunnelier.

[0004] A l'heure actuelle, le pilote d'un tunnelier regarde la consistance du marin en sortie de vis d'extraction sur le tapis convoyeur afin d'appréhender d'éventuelles variations de consistances du marin excavé. La détection de la consistance du marin se fait donc de manière visuelle et repose en partie sur les connaissances empiriques du pilote. Le pilote adapte son pilotage en fonction de ses constatations visuelles. Cependant, la position du pilote dans le tunnelier ne lui permet pas toujours d'avoir un accès visuel direct aisé sur le tapis convoyeur.

[0005] Une caméra peut être installée au-dessus du tapis convoyeur afin de fournir un retour visuel dans le poste de pilotage où se trouve le pilote. Dans le poste de pilotage, la quantité d'informations communiquées au pilote rend difficile leur traitement. Cette multiplicité d'informations fait que le pilote ne peut pas avoir constamment son regard fixé sur le retour visuel de la caméra. Le pilote peut donc se rendre compte du changement de nature du marin seulement plusieurs minutes après le changement effectif, et ainsi prendre du retard dans son adaptation de pilotage. Il ne peut pas facilement anticiper les changements de consistance du marin.

[0006] De telles méthodes ne permettent pas au pilote de traiter dans un laps de temps suffisamment court les informations à sa disposition, et par conséquent ne lui permettent pas d'agir suffisamment rapidement dans sa gestion du pilotage.

[0007] Il existe donc un besoin pour bénéficier d'un procédé de détection de la consistance du marin qui soit plus efficace et qui facilite le pilotage du tunnelier, pour permettre un pilotage amélioré.

#### **Exposé de l'invention**

[0008] L'invention vise à répondre à ce besoin, et a pour objet selon un premier de ses

aspects, un procédé de détection et de reconnaissance du marin excavé par un tunnelier, le procédé comportant :

- [0009] - l'acquisition d'images du marin excavé en temps réel par un dispositif d'acquisition, notamment une caméra,
- [0010] - le traitement des images par au moins un réseau de neurones, notamment un réseau de neurones du type convolutif, entraîné pour détecter la présence de marin et en reconnaître la consistance, et pour générer au moins une information relative à la présence de marin et à sa consistance,
- [0011] - la diffusion, notamment par affichage sur un dispositif d'affichage dans le poste de pilotage du tunnelier, de ladite information, de manière à permettre à un pilote du tunnelier d'en prendre connaissance.
- [0012] Grâce au procédé selon l'invention, le pilote du tunnelier n'a pas besoin d'avoir une vue sur le marin excavé du tunnelier, en particulier une vue sur le tapis convoyeur du tunnelier, pour en connaître la consistance. Il peut ainsi piloter le tunnelier sans avoir besoin de sortir du poste de pilotage.
- [0013] Les informations relatives à la présence de marin et à sa consistance affichées sur le dispositif d'affichage dans le poste de pilotage permettent au pilote d'adapter la conduite du tunnelier en fonction de la consistance du marin. En fonction de ces informations, le pilote peut faire tourner plus ou moins vite le tunnelier. Il peut également injecter de l'eau et/ou des adjuvants au niveau de la roue de coupe du tunnelier pour faciliter la déstructuration du terrain au front. Le pilote peut aussi modifier la vitesse de la vis d'extraction du tunnelier et/ou ouvrir plus ou moins la trappe de sortie du marin pour réguler la quantité de marin excavé et pour s'adapter à la nature du marin rencontré au front.
- [0014] Grâce au procédé selon l'invention, le pilote peut rapidement adapter la conduite du tunnelier.
- [0015] En outre, grâce au procédé selon l'invention, la reconnaissance de la consistance du marin ne repose plus exclusivement sur l'expérience du pilote de tunnelier.
- [0016] Le dispositif d'affichage peut être un écran d'ordinateur, de téléphone portable (en anglais *smartphone*) ou de tablette.
- [0017] Le réseau de neurones peut avoir été entraîné au moins une fois à partir d'une base d'apprentissage comportant des images classées en fonction de la consistance du marin présent sur l'image. Les classes sont par exemple choisies parmi : absence de marin, liquide, pâteuse, rocheuse, état transitoire entre liquide et pâteux ou état transitoire entre pâteux et rocheux.
- [0018] Les images peuvent être classées entre trois classes. En variante, les images peuvent être classées entre quatre classes. En variante encore, les images peuvent être classées entre cinq ou six classes.

- [0019] Les classes liquide, pâteuse et rocheuse correspondent à trois états de consistance de marins possibles. La classification des images de marins entre ces trois classes permet donc de s'adapter à un grand nombre de types de sols. Par conséquent, le procédé selon l'invention peut s'adapter à différents chantiers.
- [0020] En particulier, les classes de consistance du marin choisies peuvent être absence de marin, liquide et pâteuse. La répartition des images de marin dans ces trois classes permet un pilotage satisfaisant du tunnelier sans rendre trop complexe l'apprentissage du réseau de neurones.
- [0021] Dans une variante de réalisation, les classes de consistance du marin choisies peuvent être absence de marin, liquide, pâteuse et rocheuse.
- [0022] Le réseau de neurones peut être entraîné de manière supervisée. Il peut comporter une ou plusieurs couches de convolution, notamment entre 4 et 100 couches de convolutions, mieux entre 10 et 90 couches de convolutions, par exemple 89 couches de convolution. Chaque couche de convolution peut comporter plusieurs filtres convolutifs
- [0023] En sortie des couches de convolution, le réseau de neurones peut donner la classe de consistance identifiée et la probabilité d'appartenance à cette classe.
- [0024] Le réseau de neurones utilisé permet de modéliser la répartition spatiale et colorimétrique des pixels. Il peut ensuite identifier la modélisation des pixels et ainsi attribuer une classe à l'image acquise. Les différentes consistances de marin peuvent ainsi être identifiées sans qu'il soit nécessaire de repérer des formes spécifiques présentes sur l'image.
- [0025] Le réseau de neurones peut être configuré pour traiter au moins une image par seconde, en particulier pour traiter une image par seconde.
- [0026] De préférence, toutes les couches de convolution ne sont pas entraînées. Par exemple, les paramètres des premières couches de convolution peuvent être fixes. Par exemple au moins les 5 premières couches, mieux au moins les 10 premières couches, mieux au moins les 20 premières couches, en particulier les 23 premières couches peuvent être fixes. Le paramétrage des couches fixes peut se faire en appliquant une méthode d'apprentissage par transfert (en anglais *transfer learning*). L'apprentissage par transfert peut se faire à partir d'un modèle préexistant.
- [0027] Le réseau de neurones peut être entraîné une ou plusieurs fois. Par exemple, le réseau de neurones peut être entraîné à partir d'une première base d'apprentissage préalablement à son utilisation sur un chantier. Le réseau de neurones peut également être entraîné à plusieurs reprises après le début de son utilisation sur un chantier donné. Ces nouveaux entraînements peuvent par exemple être faits à partir de nouvelles images classées dans la base d'apprentissage. Ces nouvelles images classées peuvent notamment avoir été prises sur le chantier où le réseau de neurones est en cours

d'utilisation.

- [0028] Le réseau de neurones peut comporter entre 1 et 10 millions de paramètres à régler lors de l'apprentissage, mieux entre 2 et 8 millions, mieux entre 3 et 6 millions, par exemple de l'ordre de 4,5 millions de paramètres.
- [0029] Le taux d'apprentissage du réseau de neurones peut être inférieur à 0,1, mieux inférieur à 0,01, par exemple de l'ordre de 0,001.
- [0030] Le nombre de cycle d'apprentissage peut être compris entre 1 et 20, mieux entre 2 et 15, par exemple de l'ordre de 2 ou de 10.
- [0031] On désigne par « patience » le nombre de cycle d'apprentissage qu'il faut réaliser avant d'interrompre de manière anticipée le réseau de neurones si celui-ci ne montre pas de progrès de performance. Dans le cadre de l'invention, la patience peut être comprise entre 1 et 20, par exemple, elle peut être de l'ordre de 2.
- [0032] On peut utiliser un algorithme d'optimisation notamment un algorithme d'optimisation d'Adam.
- [0033] La base d'apprentissage peut comporter au moins 3 000 images classées, mieux au moins 5 000 images classées, mieux au moins 8 000, mieux au moins 10 000 images classées par exemple de l'ordre de 15 000 images classées.
- [0034] Chaque classe de la base d'apprentissage peut comporter au moins 500 images classées, mieux au moins 1 000 images classées, mieux au moins 2 000 images classées, mieux au moins 3 000, mieux au moins 4 000 images classées, par exemple de l'ordre de 5 000 images classées.
- [0035] De préférence les images de la base d'apprentissage et/ou les images acquises sont en couleurs. L'identification de la consistance du marin peut ainsi se faire plus précisément.
- [0036] La base d'apprentissage peut être enrichie au moyen de méthodes d'augmentation de données (en anglais *data augmentation*). On peut par exemple appliquer une transformation géométrique aux images, notamment une rotation ou une symétrie par rapport à un axe de symétrie. On peut également appliquer une modification des couleurs, un bruitage, un rognage, un recadrage et/ou un effaçage aléatoire. L'enrichissement de la base d'apprentissage de cette manière permet d'améliorer la robustesse et la performance du réseau de neurones sans qu'il soit nécessaire d'acquérir de nouvelles images ou de les analyser manuellement pour les classer.
- [0037] La base d'apprentissage peut être sensiblement équilibré.
- [0038] On désigne par « base sensiblement équilibré » une base d'images dans laquelle le nombre d'images appartenant aux différentes classes est reparti de manière sensiblement équivalente dans chaque classe. Dans le cadre de l'invention, cela signifie que pour chaque classe, le rapport entre le nombre d'image d'une classe sur le nombre d'image total, multiplié par le nombre de classes et exprimé en pourcentage, est

compris entre 70 et 130%, mieux entre 75 et 115%. Plus le pourcentage de ce rapport s'éloigne de la valeur 100% et plus la base est déséquilibrée.

- [0039] Grâce à cette base d'apprentissage équilibrée, le réseau de neurones présente une bonne précision générale, et non pas seulement une bonne précision sur certaines classes uniquement.
- [0040] L'information relative à la présence de marin et à sa consistance peut comporter une indication choisie parmi : absence de marin, consistance du marin liquide, pâteuse, rocheuse, état transitoire entre liquide et pâteux ou état transitoire entre pâteux et rocheux.
- [0041] L'indication peut être choisie parmi absence de marin, consistance du marin liquide, pâteuse.
- [0042] En variante, l'indication peut être choisie parmi absence de marin, consistance du marin liquide, pâteuse ou rocheuse. Les consistances liquide, pâteuse et rocheuse correspondent à trois états de consistance de marins possibles. La reconnaissance de ces trois consistances permet donc de s'adapter à un grand nombre de types de sols. Par conséquent, le procédé selon l'invention peut s'adapter à différents chantiers.
- [0043] Le procédé selon l'invention permet non seulement de détecter la présence de marin, mais également, lorsque du marin est présent sur l'image, d'en identifier la consistance.
- [0044] Le procédé selon l'invention permet de reconnaître des images présentant un marin ayant un état transitoire entre deux consistances. En particulier, il est ainsi possible de reconnaître des images sur lesquelles il y a du marin sous deux consistances. L'intégration de ces états transitoires, et des indications correspondantes, permet d'améliorer la précision de la reconnaissance de la consistance du marin excavé et permet également au pilote de pouvoir anticiper les changements de consistance du marin.
- [0045] De préférence, le marin peut occuper au moins 40%, voire au moins 50%, mieux au moins 60%, mieux au moins 70%, mieux encore au moins 80%, par exemple de l'ordre de 90% des pixels des images traitées par le réseau de neurones.
- [0046] Une telle répartition sur les images permet de réduire l'occupation des images par des éléments extérieurs qui ne participent pas à la classification du marin par le réseau de neurones. La quantité de marin qui peut être analysée sur une image est ainsi augmentée. La performance du réseau de neurones est ainsi améliorée.
- [0047] L'information relative à la présence de marin et à sa consistance peut comporter également un indice de confiance généré par le réseau de neurones.
- [0048] Cet indice de confiance généré par le réseau de neurones dépend des données de la base d'apprentissage. Plus la base d'apprentissage est riche en images, plus l'indice de confiance augmente. L'indice de confiance correspond à la probabilité d'appartenance

à une classe donnée. L'indice de confiance est fourni par le réseau de neurones. La performance du réseau de neurones peut être évalué à l'aide d'une matrice de confusion, notamment à l'aide d'une matrice de confusion de type 3x3.

- [0049] L'indice de confiance peut être affiché dans le poste de pilotage. Le pilote du tunnelier peut ainsi consulter rapidement cet indice de confiance lorsqu'il pilote et ainsi adapter la conduite du tunnelier.
- [0050] Si l'indice de confiance est bas, il peut permettre au pilote de détecter les états transitoires.
- [0051] La diffusion de l'information relative à la présence de marin et à sa consistance ne peut être réalisée que si l'indice de confiance dépasse un seuil minimum prédéterminé, qualifié de seuil de classification.
- [0052] Le procédé selon l'invention offre la possibilité à l'utilisateur de fixer un seuil de classification des images identifiées. Le seuil de classification correspond à l'indice minimum de confiance à atteindre pour que l'image acquise soit attribuée à une classe donnée. Ainsi, en fonction du chantier, et en particulier en fonction du temps d'utilisation du réseau de neurones sur le chantier, l'utilisateur peut réduire ou augmenter le seuil de classification. Par exemple, si la qualité du marin est inédite pour le réseau de neurones, on peut baisser le seuil de classification pour qu'une classe puisse être plus facilement attribuée.
- [0053] Le procédé selon l'invention peut comporter l'émission d'une alerte, notamment une alerte sonore et/ou visuelle, lorsque la consistance du marin présent sur les images acquises change.
- [0054] Grâce à ces émissions d'alertes, la réactivité du pilote du tunnelier est accrue puisque la transmission de l'information du changement de la nature du marin est quasiment instantanée.
- [0055] L'invention a également pour objet, selon un autre de ses aspects, un système pour la détection et la reconnaissance du marin excavé par un tunnelier, le système comportant un dispositif d'acquisition d'image, notamment une caméra, un processeur, un serveur permettant l'archivage de données et un dispositif d'affichage disposé dans le poste de pilotage du tunnelier, le processeur comportant un programme comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées réalisent :
- l'acquisition d'images de marin excavé en temps réel par le dispositif d'acquisition,
  - le traitement des images par au moins un réseau de neurones, notamment un réseau de neurones du type convolutif, entraîné pour détecter la présence de marin et en reconnaître la consistance, et pour générer au moins une information relative à la présence de marin et à sa consistance,
  - la diffusion, notamment par affichage sur le dispositif d'affichage disposé dans le poste de pilotage du tunnelier, de ladite information, de manière à permettre à un pilote

du tunnelier d'en prendre connaissance.

- [0056] Le processeur est de préférence connecté au réseau de communication interne du tunnelier, en particulier par une liaison filaire, notamment via un câble Ethernet.
- [0057] Le réseau de neurones peut être exécuté sur tous types de machines adaptées, notamment sur un ou plusieurs processeurs et/ou microprocesseurs comportant des mémoires adaptées.
- [0058] L'axe de prise de vue du dispositif d'acquisition d'image peut faire, dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier, un angle  $\alpha$  compris entre 45 et 135 °, mieux entre 55 et 110 °, par un exemple un angle de l'ordre de 60 ° avec une droite parallèle à l'axe transversal du tapis convoyeur et contenue dans le plan perpendiculaire à l'axe longitudinal du tapis.
- [0059] L'axe de prise de vue du dispositif d'acquisition d'image peut faire avec un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier un angle  $\beta$  inférieur à 5°, mieux inférieur à 3°, mieux inférieur à 1°, par exemple de l'ordre de 0°, notamment étant égale à 0°.
- [0060] Le dispositif d'acquisition d'images peut être disposé à une distance d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier comprise entre 0,2 m et 1,20 m, mieux entre 0,40 m et 0,80 m, par exemple de l'ordre de 0,60 m.
- [0061] Le dispositif d'acquisition peut être disposé de façon à acquérir des images couvrant une longueur suffisante d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier, comprise entre 1 à 8 m, mieux entre 1,5 et 7 m, voire entre 2 et 6 m, mieux entre 2,5 et 5 m de la longueur d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier, étant par exemple d'environ 3 m.
- [0062] Une telle disposition du dispositif d'acquisition d'images permet qu'une longueur de tapis convoyeur suffisante soit sur les images. Il y a alors suffisamment de marin sur l'image pour permettre de détecter de manière satisfaisante la consistance du marin. Par exemple, avec une telle disposition, il est possible de bien distinguer les éventuels morceaux et donc d'identifier la consistance rocheuse.
- [0063] Le dispositif d'acquisition d'image peut être une caméra, notamment une caméra couleur et/ou une caméra noir/blanc.
- [0064] Le dispositif d'acquisition d'image peut avoir un temps d'exposition compris entre 1 et 15 ms, mieux entre 4 et 10 ms, par exemple de l'ordre de 8 ms. Le temps d'exposition correspond au temps nécessaire pour que le dispositif d'acquisition convertisse les photons de lumières perçus en électrons. Il permet de contrôler le débit lumineux entrant dans la caméra.
- [0065] Le gain du dispositif d'acquisition d'image peut être compris entre 10 et 60 dB, mieux entre 15 et 50 dB, mieux entre 20 et 40 dB, par exemple de l'ordre de 36dB. Le gain correspond à une amplification électronique du signal lumineux. L'augmentation du gain permet d'améliorer les qualités de l'image dans son ensemble, notamment la

luminosité, la couleur, la netteté.

- [0066] La netteté du dispositif d'acquisition d'image peut également être configurée, par exemple à l'aide d'une molette présente sur la caméra.
- [0067] Le dispositif d'acquisition d'image peut être configuré pour acquérir entre 1 et 50 images par seconde, mieux entre 5 et 40 images par seconde, mieux entre 15 et 30 images par seconde, par exemple de l'ordre de 25 images par seconde. Une telle fréquence d'acquisition d'image permet d'assurer une continuité des prises de vues du marin excavé du tunnelier et permet au réseau de neurones d'avoir suffisamment de temps entre chaque image à identifier pour leur classification. La fréquence d'acquisition permet de pouvoir détecter suffisamment rapidement les changements dans la consistance du marin excavé et ainsi permet un bon pilotage du tunnelier.
- [0068] L'invention a également pour objet selon un autre de ses aspects, un produit programme d'ordinateur comportant un support sur lequel est enregistré des instructions de code destinées à être exécutées sur un équipement informatique tel qu'un ordinateur, une tablette ou un téléphone portable, ces instructions lorsqu'exécutées conduisant à mettre en œuvre le procédé selon l'invention.
- [0069] L'invention a encore pour objet, selon un autre de ses aspects, un procédé de creusement d'un tunnel à l'aide d'un tunnelier, procédé dans lequel la consistance du marin est détectée par un procédé de détection selon l'invention.

### **Brève description des dessins**

- [0070] L'invention pourra être mieux comprise à la lecture de la description détaillée qui va suivre, d'exemples non limitatifs de mise en œuvre de celle-ci, et à l'examen du dessin annexé sur lequel :
- [0071] [fig.1] la [fig.1] est un schéma illustrant l'architecture des couches de convolutions d'un réseau de neurones utilisable pour mettre en œuvre le procédé de détection selon l'invention,
- [0072] [fig.2a] la [fig.2a] est un exemple d'une image de marin appartenant à la classe « absence de marin »,
- [0073] [fig.2b] la [fig.2b] est une vue analogue à la [fig.2a] d'une image de marin appartenant à la classe « liquide »,
- [0074] [fig.2c] la [fig.2c] est une vue analogue à la [fig.2a] d'une image de marin appartenant à la classe « pâteux »,
- [0075] [fig.3] la [fig.3] est une vue d'un dispositif d'acquisition d'image utilisable pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention,
- [0076] [fig.4a] la [fig.4a] est un schéma illustrant l'installation du dispositif d'acquisition d'image vu de face,
- [0077] [fig.4b] la [fig.4b] est un schéma analogue à la [fig.4a] en vue de dessus, et

[0078] [fig.5] la [fig.5] est un exemple d'affichage de résultat du classement.

### **Description détaillée**

[0079] On a illustré à la [fig.1] un exemple d'architecture des couches de convolution d'un réseau neurones 1 pouvant être utilisé pour la mise en œuvre du procédé de détection. Ce réseau de neurones comporte une succession de couches de convolution 10. La succession de couches peut comporter une couche de décrochage (en anglais dropout). Par exemple, la couche de décrochage peut être l'avant dernière couche. Dans l'exemple de réalisation illustré, la dernière couche est une couche dense mettant en œuvre une fonction exponentielle normalisée (en anglais softmax). Cette succession de ces différentes couches de convolution permet d'identifier la consistance du marin présent sur les images en couleurs qui sont fournies au réseau de neurones.

[0080] Le réseau de neurones utilisé permet de reconnaître la consistance du marin sur les images acquises et de leur attribuer une des indications suivantes : « absence de marin », « liquide », « pâteux » et « rocheux » avec un certain taux de confiance. Les figures 2a, 2b et 2c représentent des exemples d'images acquises qui sont fournies au réseau de neurones pour être traitées. La [fig.2a] est une image représentant le cas où il n'y pas de marin présent sur le tapis de convoyage. L'indication affichée est donc « absence de marin ». La [fig.2b] est une image représentant le cas où la consistance du marin sur le tapis de convoyage est liquide. L'indication affichée est donc « liquide ». La [fig.2c] est une image représentant le cas où la consistance du marin sur le tapis de convoyage est pâteuse. L'indication affichée est donc « Pâteux ».

[0081] La [fig.3] illustre une configuration d'installation possible d'un dispositif d'acquisition d'images 2. Dans l'exemple illustré, le dispositif d'acquisition est une caméra 2.

[0082] Les figures 4a et 4b illustrent la position d'installation du dispositif d'acquisition d'image 2. Sur ces figures, un tapis de convoyage 3 s'étend suivant son axe longitudinal X.

[0083] La [fig.4a] est une vue de face du tapis de convoyage 3. Le plan de la feuille est un plan P perpendiculaire à l'axe longitudinal X du tapis. Le plan P comprend la caméra 2. La droite D est comprise dans le plan P perpendiculaire à l'axe longitudinal X du tapis et est une droite parallèle à l'axe transversal Y du tapis 3. La caméra a un axe de prise de vue V qui est dirigé vers le tapis 3. Dans l'exemple représenté, l'angle  $\alpha$  entre la droite D et l'axe de prise de vue V est de l'ordre de  $60^\circ$ .

[0084] La [fig.4b] est une vue de dessus du tapis de convoyage 3. Dans l'exemple représenté, l'angle  $\beta$  entre l'axe de prise de vue V et le plan P perpendiculaire à l'axe longitudinal X du tapis est de l'ordre de  $0^\circ$ .

[0085] Une telle disposition de la caméra 2 permet d'acquérir des images couvrant entre 2 et

3 m du tapis de convoyage 3. La quantité de marin présente sur l'image est ainsi suffisante pour permettre une bonne reconnaissance de sa consistance.

[0086] La [fig.5] est un exemple de fenêtre de résultat 4 affichée sur un dispositif d'affichage du poste de pilotage. Sur la fenêtre de résultat 4, l'indication 40 de consistance du marin qui est attribuée par le réseau de neurones est affichée. La fenêtre de résultat 4 permet également l'affichage d'un indice de confiance 41 de l'attribution de la classe, c'est-à-dire la probabilité, exprimée en pourcentage, qu'a le marin de l'image d'appartenir effectivement à la classe indiquée.

### Exemples

[0087] Dans un exemple de réalisation, la détection de la consistance du marin a été réalisée à l'aide d'un réseau de neurones entraîné à partir d'une base d'apprentissage équilibrée comportant environ 5000 images de la classe « liquide », 5000 images de la classe « absence de marin » et 5500 images de la classe « pâteux ».

[0088] On évalue ensuite le rappel, la précision et le score  $f$  du réseau de neurones pour chaque classe.

[0089] Le rappel  $r$  correspond à la proportion de résultats positifs qui ont été correctement identifiés. Il est calculé de la manière suivante :

[0090] [Math.1]

$$r = \frac{Vp}{Vp + Fn}$$

[0091] Où  $Vp$  correspond au nombre de Vrais Positifs et  $Fn$  correspond au nombre de Faux Négatifs.

[0092] La précision  $p$  correspond à la proportion de classification qui était effectivement correcte. Elle est calculée de la manière suivante :

[0093] [Math.2]

$$p = \frac{Vp}{Vp + Fp}$$

[0094] Où  $Vp$  correspond au nombre de Vrais Positifs et  $Fp$  correspond au nombre de Faux positifs.

[0095] Enfin on évalue le score  $f$ , qui correspond à la moyenne entre le rappel et la précision. Le score  $F$  est calculé de la manière suivante :

[0096] [Math.3]

$$f = 2 * \frac{p}{p + r}$$

[0097] Les valeurs de la précision, du rappel et du score  $f$  du réseau de neurones utilisé dans cet exemple sont indiquées pour chaque classe dans le tableau 1 ci-dessous.

[0098]

[Tableaux1]

|                  | Rappel | Précision | Score f |
|------------------|--------|-----------|---------|
| Absence de marin | 1,00   | 0,65      | 0,79    |
| Liquide          | 1,00   | 0,97      | 0,99    |
| Pâteux           | 0,73   | 1,00      | 0,84    |

[0099] Le réseau de neurones utilisé pour la mise en œuvre de cet exemple de réalisation de l'invention permet une bonne détection de la consistance du marin et aide ainsi au pilotage du tunnelier.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de détection et de reconnaissance du marin excavé par un tunnelier, le procédé comportant :
- l'acquisition d'images du marin excavé en temps réel par un dispositif d'acquisition (2), notamment une caméra,
  - le traitement des images par au moins un réseau de neurones, notamment un réseau de neurones du type convolutif, entraîné pour détecter la présence de marin et en reconnaître la consistance, et pour générer au moins une information relative à la présence de marin et à sa consistance,
  - la diffusion, notamment par affichage sur un dispositif d'affichage dans le poste de pilotage du tunnelier, de ladite information, de manière à permettre à un pilote du tunnelier d'en prendre connaissance.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, le réseau de neurones ayant été entraîné au moins une fois à partir d'une base d'apprentissage comportant des images classées en fonction de la consistance du marin présent sur l'image, les classes étant choisies parmi : absence de marin, liquide, pâteuse, rocheuse, état transitoire entre liquide et pâteux ou état transitoire entre pâteux et rocheux.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, la base d'apprentissage comportant au moins 3 000 images classées, mieux au moins 5 000 images classées, mieux au moins 8 000 images classées, mieux au moins 10 000 images classées, par exemple de l'ordre de 15 000 images classées.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3, la base d'apprentissage étant sensiblement équilibrée.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite information comportant une indication (40) choisie parmi : absence de marin, consistance du marin liquide, pâteuse, rocheuse, état transitoire entre liquide et pâteux ou état transitoire entre pâteux et rocheux.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, le marin occupant au moins 40%, mieux au moins 60%, mieux au moins 70%, mieux au moins 80% des pixels des images traitées par le réseau neurones.
- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite information comportant également un indice de confiance (41) généré par le réseau de neurones.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

comportant l'émission d'une alerte, notamment une alerte sonore et/ou visuelle, lorsque la consistance du marin présent sur les images acquises change.

- [Revendication 9] Système pour la détection et la reconnaissance du marin excavé par un tunnelier, le système comportant un dispositif d'acquisition d'image (2), notamment une caméra, un processeur, un serveur permettant l'archivage de données et un dispositif d'affichage disposé dans le poste de pilotage du tunnelier, le processeur comportant un programme comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées réalisent :
- l'acquisition d'images de marin excavé en temps réel par le dispositif d'acquisition (2),
  - le traitement des images par au moins un réseau de neurones, notamment un réseau de neurones du type convolutif, entraîné pour détecter la présence de marin et en reconnaître la consistance, et pour générer au moins une information relative à la présence de marin et à sa consistance,
  - la diffusion, notamment par affichage sur le dispositif d'affichage disposé dans le poste de pilotage du tunnelier, de ladite information, de manière à permettre à un pilote du tunnelier d'en prendre connaissance.
- [Revendication 10] Système selon la revendication précédente, l'axe de prise de vue (V) du dispositif d'acquisition d'image (2) faisant, dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal (X) d'un tapis convoyeur (3) de marin du tunnelier, un angle  $\alpha$  compris entre 45 et 135 °, mieux entre 55 et 110 °, avec une droite (D) parallèle à l'axe transversal du tapis convoyeur et contenue dans le plan perpendiculaire à l'axe longitudinal du tapis.
- [Revendication 11] Système selon l'une des deux revendications précédentes, le dispositif d'acquisition d'images (2) étant disposé à une distance d'un tapis convoyeur (3) de marin du tunnelier comprise entre 0,20 m et 1,20m, mieux entre 0,40 m et 0,80 m.
- [Revendication 12] Système selon l'une quelconque des trois revendications précédentes, le dispositif d'acquisition (2) étant disposé de façon à acquérir des images couvrant une longueur suffisante d'un tapis convoyeur (3) de marin du tunnelier, comprise entre 1 à 8 m, mieux entre 1,5 et 7 m, voire entre 2 et 6 m, mieux entre 2,5 et 5 m de la longueur d'un tapis convoyeur de marin du tunnelier.
- [Revendication 13] Produit programme d'ordinateur comportant un support sur lequel est enregistré des instructions de code destinées à être exécutées sur un équipement informatique tel qu'un ordinateur, une tablette ou un

téléphone portable, ces instructions lorsqu'exécutées conduisant à mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

[Fig. 1]

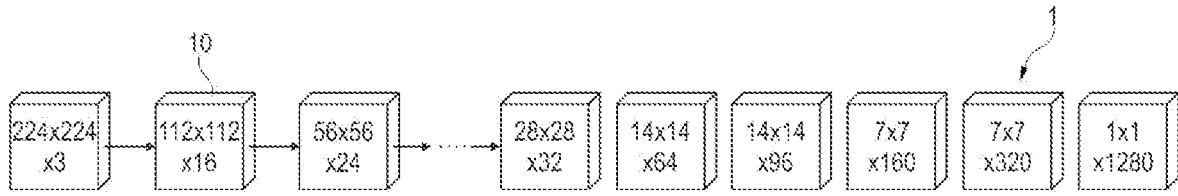
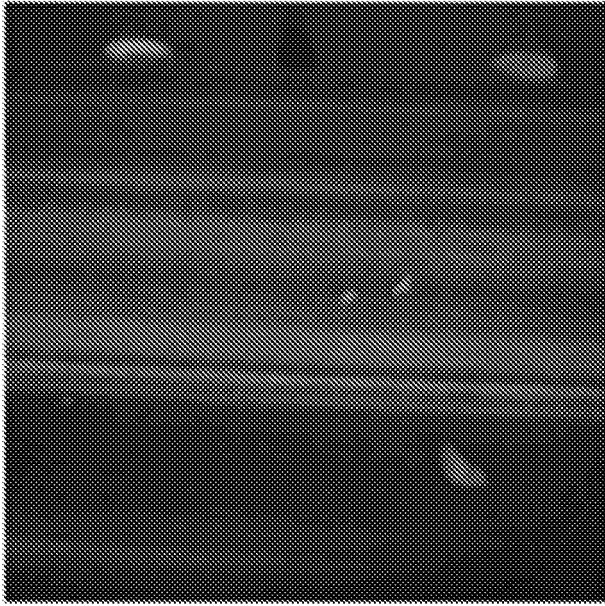
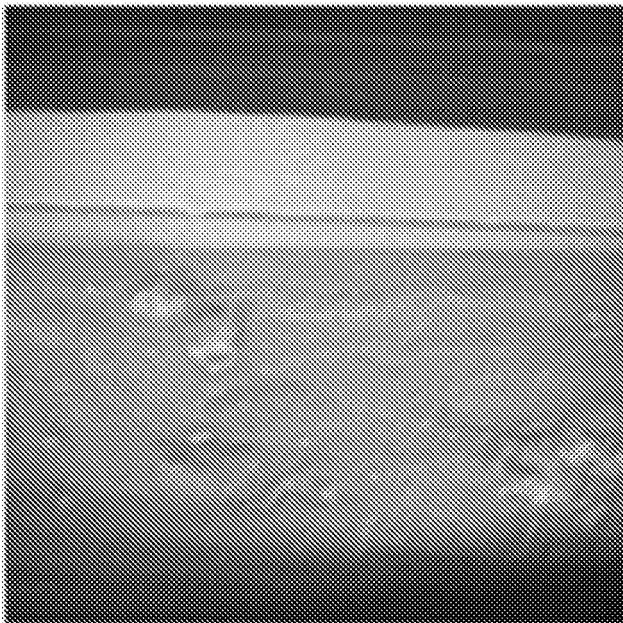


Fig. 1

[Fig. 2a]

Fig. 2a

[Fig. 2b]

Fig. 2b

[Fig. 2c]

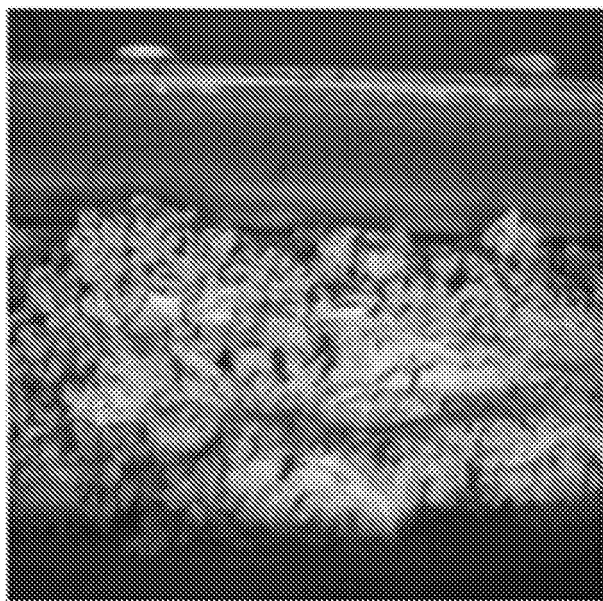


Fig. 2c

[Fig. 3]

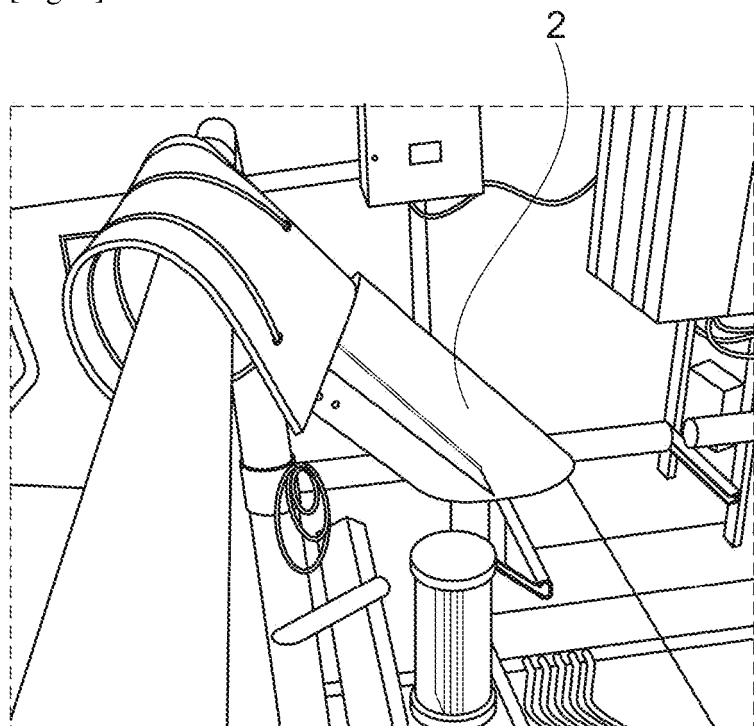


Fig. 3

[Fig. 4a]

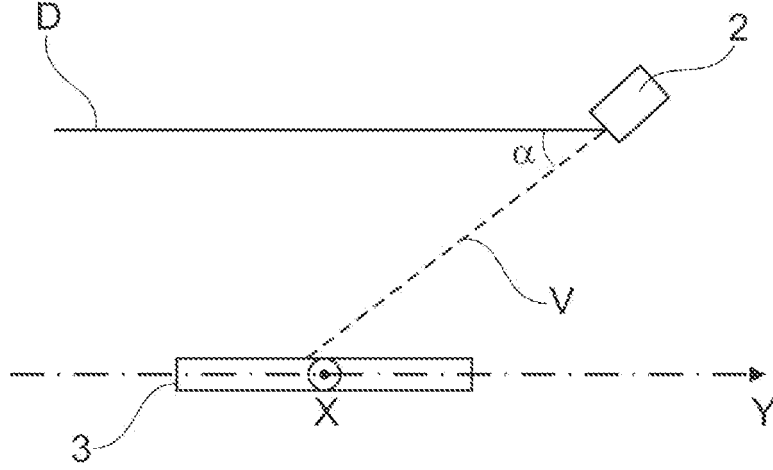


Fig. 4a

[Fig. 4b]

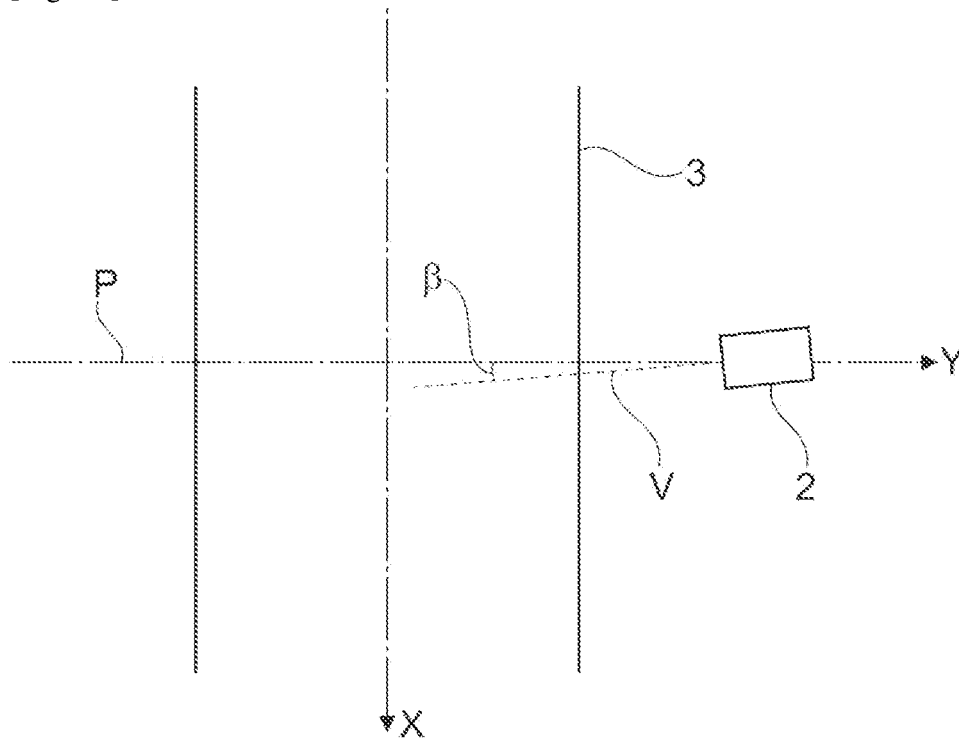


Fig. 4b

[Fig. 5]

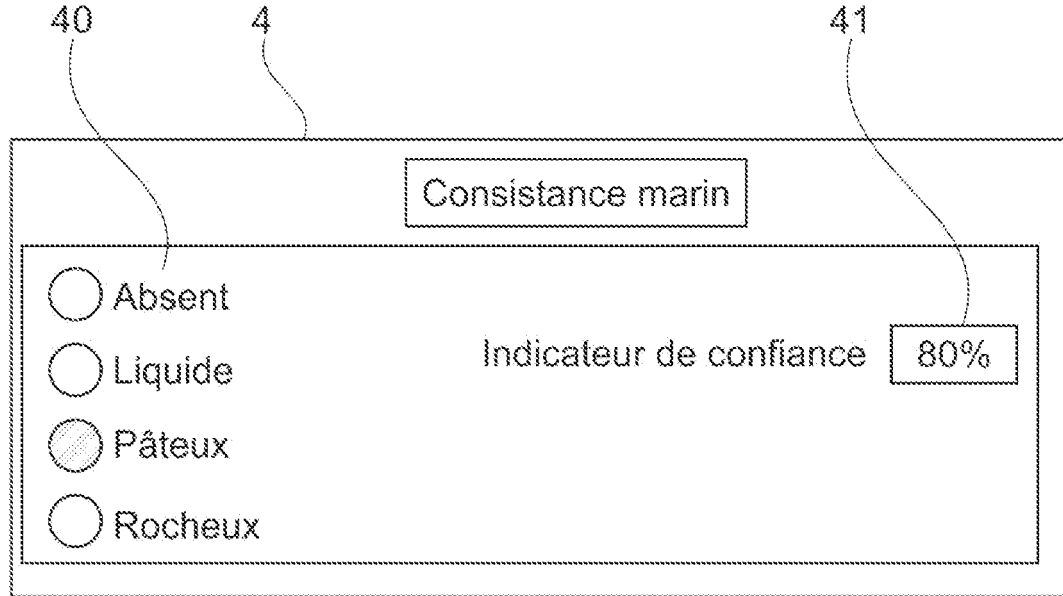


Fig. 5

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 891870**  
**FR 2103512**

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS  |  | Revendication(s)<br>concernée(s)   | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|--|--|--|---|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes   |  |   |
| X  | WO 2020/199290 A1 (UNIV SHANDONG [CN])<br>8 octobre 2020 (2020-10-08)<br>* alinéas [0005], [0014], [0024],<br>[0029], [0054], [0061]; revendication 6;<br>figure 1 * | 1-13   | E21C39/00<br>E21D9/10<br>G01N21/00              |
| X  | CN 111 881 811 A (UNIV ZHEJIANG)<br>3 novembre 2020 (2020-11-03)<br>* alinéas [0002], [0003]; figure 1 *   | 1, 9, 13   |   |
| A  | FR 3 060 827 A1 (BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS<br>[FR]) 22 juin 2018 (2018-06-22)<br>* figures 1, 3 *   | 1-13   |   |
|  |  |  | <b>DOMAINES TECHNIQUES<br/>RECHERCHÉS (IPC)</b> |
|  |  |  | <b>E21D</b>                                     |
|  |  | Date d'achèvement de la recherche<br><b>13 décembre 2021</b>   | Examineur<br><b>Georgescu, Mihnea</b>           |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS  |  | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |   |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |  |  |   |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2103512 FA 891870**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **13-12-2021**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

| Document brevet cité au rapport de recherche | Date de publication | Membre(s) de la famille de brevet(s) | Date de publication |
|--|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| <b>WO 2020199290 A1</b>                      | <b>08-10-2020</b>   | <b>AU 2019439936 A1</b>              | <b>07-01-2021</b>   |
|  |                     | <b>CN 110043267 A</b>                | <b>23-07-2019</b>   |
|  |                     | <b>WO 2020199290 A1</b>              | <b>08-10-2020</b>   |
| -----  |                     |                                      |                     |
| <b>CN 111881811 A</b>                        | <b>03-11-2020</b>   | <b>AUCUN</b>                         |                     |
| -----  |                     |                                      |                     |
| <b>FR 3060827 A1</b>                         | <b>22-06-2018</b>   | <b>AUCUN</b>                         |                     |
| -----  |                     |                                      |                     |