

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

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

**3 146 008**

②① N° d'enregistrement national : **23 01631**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 06 V 10/764 (2023.01)**

⑫

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ PROCÉDE DE CARACTERISATION D'UN DEFAUT D'UNE CANALISATION.

②② Date de dépôt : 22.02.23.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 23.08.24 Bulletin 24/34.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 20.06.25 Bulletin 25/25.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *VEOLIA ENVIRONNEMENT Société  
Anonyme — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *SAMPAIO Philippe Rodrigues,  
GAUDICHET-MAURIN Emmanuelle, BERNARD  
Marine, LACHAIZE Marie, MAITROT Aude et CHENU  
Damien.*

⑦③ Titulaire(s) : *VEOLIA ENVIRONNEMENT Société  
Anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *OAK & FOX.*

**FR 3 146 008 - B1**



## **Description**

### **Titre de l'invention : PROCÉDE DE CARACTERISATION D'UN DEFAUT D'UNE CANALISATION**

#### **Domaine de l'invention**

[0001] L'invention concerne le domaine des canalisations, notamment le domaine des canalisations des réseaux d'assainissement collectifs. L'invention concerne également le domaine des ouvrages accueillant ou permettant la circulation de fluides, notamment des châteaux d'eau, des réseaux de chaleur ou de froid. L'invention concerne le domaine de la maintenance desdits réseaux d'assainissement. Plus précisément, l'invention concerne le domaine de l'inspection desdites canalisations, notamment le domaine de la détection et de l'identification de défauts à l'intérieur desdites canalisations. L'invention concerne également le domaine de l'automatisation de la détection et de l'identification de défauts de canalisation. Enfin, l'invention concerne le domaine de la reconnaissance automatisée de défauts ou d'observations sur des images de canalisation.

#### **État de la technique**

- [0002] Il existe un besoin d'inspecter les canalisations des réseaux d'assainissement pour détecter des défauts dans celles-ci. De tels défauts sont notamment dus à l'usure et à l'encrassement de ces canalisations.
- [0003] On utilise habituellement en Europe la norme ISO EN-13508-2 pour classifier des défauts de canalisation. Cette norme définit un système de codage des défauts de canalisations sous forme de trigramme. Pour les réseaux et les collecteurs, la norme comprend un total de 36 trigrammes différents correspondant chacun à un type de défaut particulier ou à une observation particulière dans la canalisation.
- [0004] Habituellement, les canalisations sont inspectées de manière télévisée à l'aide de robots commandés à distance. Un tel robot comporte habituellement des roues et un moteur pour se déplacer au sein de la canalisation, une caméra pour prendre des images de l'intérieur de la canalisation, et un câble ombilical permettant la communication du robot avec une interface de contrôle qu'utilise un opérateur hors de la canalisation.
- [0005] Lors de l'inspection, l'opérateur contrôle l'avancée du robot. Il dispose sur l'interface d'un écran permettant l'affichage en temps réel des images issues de la caméra du robot. Ainsi, lorsque l'opérateur détecte un défaut sur la paroi interne de la canalisation, il arrête le mouvement du robot, fait pivoter la caméra afin de la placer de la meilleure manière pour effectuer une prise de vue du défaut détecté.
- [0006] Lors de cette inspection, l'opérateur attribue ensuite un code au défaut qu'il a détecté

selon la norme ISO EN-13508-2. De telles inspections permettent de connaître l'état du réseau de canalisations et de planifier des actions de maintenance de celles-ci.

- [0007] Un tel processus, bien qu'efficace, nécessite néanmoins beaucoup de temps d'inspection de la part des opérateurs. De plus, il existe des disparités, pour un même défaut détecté, du code qui est attribué par l'opérateur. Les résultats des opérations d'inspection ne sont donc pas toujours les mêmes selon les opérateurs qui effectuent l'inspection. Enfin, la formation des inspecteurs débutants est longue et coûteuse, pour arriver au niveau de qualité requis dans l'inspection.
- [0008] Certaines canalisations dites visitables, c'est-à-dire celles ayant généralement un diamètre nominal supérieur à 1600 millimètres, sont généralement inspectées directement par un opérateur qui manipule un dispositif de prise de vue et photographie les parties des canalisations qui concernent des points d'intérêt tels des défauts ou des observations à recenser.
- [0009] Il existe dans l'état de la technique des solutions dont le but est de permettre une détection automatisée de défauts de canalisation. Certaines de ces solutions proposent des systèmes permettant une reconstitution de la canalisation à partir d'une vidéo prise à l'intérieur de celle-ci par un robot à des fins de détection des défauts sur la vidéo. De telles solutions permettent une analyse a posteriori de la canalisation par un opérateur qui va pouvoir identifier les défauts présents sur la canalisation. De tels systèmes ne permettent pas une inspection en temps réel et automatique de la canalisation.
- [0010] Certaines de ces solutions utilisent des intelligences artificielles pour effectuer cette détection. De tels systèmes ne permettent pas de classifier les défauts détectés, ou ne permettent qu'une classification superficielle sur un nombre réduit de types de défauts de la canalisation. De tels systèmes ne permettent pas de caractériser de manière plus spécifique un défaut, c'est-à-dire d'affecter un niveau de caractérisation supplémentaire au type de défaut détecté.
- [0011] Il existe également des systèmes permettant une bonne classification des défauts. Ces systèmes nécessitent une exportation des données vers un système tiers pour traiter les données et effectuer la classification. De tels systèmes ne permettent pas une analyse en temps réel de la canalisation, car ils nécessitent la prise de la vidéo de la canalisation entière, avant que celle-ci ne soit exportée dans le "cloud" afin de mener l'analyse sur la vidéo. Ces systèmes posent donc des problèmes d'opérabilité dans un contexte d'inspection de canalisations sur le terrain.
- [0012] Un but de l'invention est de remédier aux inconvénients précités des solutions et des systèmes existants.

### **Résumé de l'invention**

- [0013] À cet effet, l'invention concerne un procédé mis en œuvre par ordinateur de caracté-

risation d'un défaut de canalisation qui comprend les étapes de :

- [0014] Génération d'une pluralité de probabilités de présence d'une pluralité de premières classes de défaut sur une première image de l'intérieur d'une canalisation à partir d'une première fonction apprenante de labellisation entraînée, ladite première fonction apprenante mettant en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné à partir d'un ensemble d'images comportant chacune une pluralité de premiers labels caractérisant au moins un défaut ;
- [0015] Comparaison pour chaque première classe de défaut de la valeur de la probabilité avec un seuil caractéristique de chaque première classe de défaut ;
- [0016] Sélection de chaque première classe de défaut pour laquelle la probabilité estimée est supérieure à la valeur seuil associée à ladite classe ;
- [0017] Sélection pour au moins une première classe de défaut sélectionnée, d'au moins une deuxième classe de spécification parmi une pluralité de deuxièmes classes de spécification, sur la première image, à partir d'une deuxième fonction apprenante de spécification ; et
- [0018] Génération d'au moins un label caractéristique de chaque première classe de défaut et de chaque deuxième classe de spécification sélectionnée.
- [0019] Le procédé selon l'invention permet avantageusement l'identification et la caractérisation, sur une image d'une canalisation, d'au moins un défaut de la canalisation. Le procédé selon l'invention permet la classification de ce défaut et sa labellisation de manière automatique. Le procédé selon l'invention permet également de définir un second niveau de classification à partir de la première classe du défaut sélectionné. Cette spécification supplémentaire permet une meilleure caractérisation et un niveau de détail et de précision n'étant pas disponibles dans les systèmes de l'art antérieur.
- [0020] Le procédé selon l'invention permet également une automatisation et une standardisation dans la caractérisation des défauts de canalisation. Enfin, le procédé selon l'invention permet de faciliter la formation de nouveaux opérateurs en permettant une proposition de caractérisation de défauts.
- [0021] Selon un aspect, l'invention concerne un procédé dans lequel une pluralité de premier label est générée, chaque premier label étant de préférence affiché sur un afficheur avec sa probabilité de présence.
- [0022] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification est entraînée, ladite deuxième fonction apprenante de spécification mettant en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné à partir de l'ensemble d'images comportant chacune une pluralité de deuxièmes labels caractérisant au moins une classe de spécification.
- [0023] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification sélectionne la deuxième classe de spécification en fonction d'une règle prédéfinie

permettant d'associer ladite deuxième classe de spécification à la première classe de défauts.

- [0024] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape de sélection d'une sous-classe spécifique d'une deuxième classe de spécification, ladite étape de sélection d'une sous-classe spécifique comportant les étapes de :
- Sélection d'au moins une règle au sein d'une base de règles en fonction de la valeur du premier label, chaque règle définissant une association entre une valeur caractéristique de ladite première image et un deuxième label prédéfini d'une sous-classe spécifique ; et
  - Génération d'une donnée comportant la valeur du premier label et la valeur du second label.
- [0025] Selon un mode de réalisation, la valeur caractéristique de la première image est son premier label.
- [0026] Selon un mode de réalisation, la valeur caractéristique de la première image est générée à partir d'un algorithme de traitement d'image appliquée à la première image.
- [0027] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de réception d'une donnée associée à la première image, ladite donnée étant acquise au moyen d'un interface utilisateur, ladite donnée étant enregistrée dans une mémoire de manière à être associée à la valeur caractéristique de la première image, ladite donnée étant comparée à une pluralité de valeurs d'attributs associée à chaque premier label, ladite comparaison aboutissant à l'exclusion d'au moins un premier label de la liste de premiers labels générés lorsque la valeur d'un attribut dudit premier label exclu est supérieure ou inférieure à un seuil donné.
- [0028] Selon un mode de réalisation, la donnée associée à la première image est modélisée en au moins un symbole discret dans une langue naturelle et normalisée au sein d'un troisième label adjoint au premier label et/ou au deuxième label comportant une pluralité de symboles discrets dans une langue naturelle, ladite modélisation et ladite normalisation permettant un réapprentissage de la première fonction apprenante de labellisation entraînée et/ou de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée.
- [0029] Selon un mode de réalisation, une pluralité de premiers labels est générée, chaque premier label étant affiché sur une interface graphique d'un afficheur, l'interface graphique comportant un composant de validation de la présence de chaque premier label affiché par un opérateur et un composant de saisie d'un nouveau premier label permettant de corriger la valeur d'un premier label affiché, une donnée significative du nombres de différences entre les défauts identifiés par le procédé de l'invention et les défauts identifiés par les opérateurs sur des mêmes images étant calculée.
- [0030] Selon un mode de réalisation, le dépassement, par la donnée significative du nombre

de différences entre les défauts identifiés par le procédé de l'invention et les défauts identifiés par les opérateurs, d'un seuil de performance caractéristique, entraîne le ré-entraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante et/ou du modèle d'apprentissage machine de la seconde fonction apprenante.

[0031] Selon un mode de réalisation, la modification du premier label par un opérateur comprend une analyse du nombre de symboles du label ayant changé, une analyse de la position du symbole dans le label ayant changé et le type du au moins un symbole qui a été modifié, ladite analyse permettant de générer une action de réentraînement d'au moins un modèle d'une seconde fonction apprenante.

[0032] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend, avant l'étape de génération, les étapes de :

- Réception d'au moins une image brute de l'intérieur d'une canalisation ;
- Redimensionnement de l'image pour obtenir une image redimensionnée ;
- Traitement de normalisation de la teinte, de la saturation et/ou de la luminosité de l'image redimensionnée pour obtenir la première image.

[0033] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée et/ou la deuxième fonction apprenante de classification entraînée est entraînée à partir d'un réseau de neurones convolutif entraîné comprenant une pluralité de couches, dont au moins une des couches est ré-entraînée à partir de l'ensemble d'images comportant chacune une pluralité de premiers labels caractérisant au moins un défaut.

[0034] Selon un mode de réalisation le réseau de neurones convolutif pré-existant utilisé pour l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée et/ou pour la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée est un réseau de type MobileNet, ResNet, EfficientNet, TRansformeur ou DenseNet.

[0035] Selon un mode de réalisation, l'ensemble d'images comportant la pluralité de premiers labels est augmenté par ajout d'un deuxième ensemble d'images issues de la transformation géométrique et/ou photométrique d'au moins une partie de l'ensemble d'images comportant la pluralité de premiers labels.

[0036] Selon un mode de réalisation, une fonction de perte quantifiant un écart entre des prévisions de la première fonction apprenante et les premiers labels est une fonction de l'un des types suivants :

- Entropie croisée binaire,
- Entropie croisée pondérée,
- soft F1-score ou dice loss,
- macro soft F1-score, ou
- double macro soft F1-score.

[0037] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape d'affichage

sur une interface utilisateur de chaque premier label.

[0038] L'invention concerne également un système de caractérisation d'un défaut de canalisation, le système comportant :

- Un dispositif d'exploration de canalisation comportant au moins un capteur optique ;
- Une interface utilisateur configurée pour afficher en temps réel un flux de données issu du capteur optique du dispositif d'exploration de canalisation,

[0039] le système étant configuré pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention.

### **Brève description des figures**

[0040] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description détaillée qui suit, en référence aux figures annexées, qui illustrent :

[0041] [Fig.1] : un logigramme illustrant un procédé de caractérisation d'un défaut d'une canalisation selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0042] [Fig.2] : un logigramme illustrant le traitement d'une image brute selon un mode de réalisation de l'invention ;

[0043] [Fig.3] : un logigramme illustrant l'étape de sélection d'une règle dans une base de règles selon un mode de réalisation de l'invention ; et

[0044] [Fig.4] : un schéma de principe illustrant le fonctionnement d'un système selon un mode de réalisation de l'invention.

### **Description de l'invention**

[0045] La [Fig.1] représente un logigramme illustrant un procédé de caractérisation d'un défaut de surface de canalisation selon un mode de réalisation de l'invention.

[0046] Dans la description qui suit, on désignera par canalisation tout élément, par exemple d'un système d'assainissement, permettant de charrier des fluides, plus particulièrement des eaux évacuées par ledit système d'assainissement. Les canalisations sont généralement des éléments tubulaires fermés, qui peuvent comporter des raccordements entre plusieurs éléments tubulaires. La section des canalisations est généralement circulaire. Entreront également dans le cadre d'une canalisation les ouvrages accueillant ou permettant la circulation de fluides, notamment des châteaux d'eau, des réseaux de chaleur ou de froid.

[0047] On entend par défaut de canalisation, ou défaut de surface de canalisation, toute singularité de surface de canalisation, toute détérioration ou altération de l'état de surface de l'intérieur d'une canalisation qui est observable. Plus précisément, ces défauts sont des caractères visibles de l'intérieur de la canalisation. Le défaut de canalisation peut être par exemple et de manière non restrictive une fissure dans la surface intérieure de ladite canalisation, un raccordement avec une autre canalisation, un élément obstruant déposé sur la surface interne de ladite canalisation, une altération de la surface interne

de la canalisation, de la corrosion de la surface interne de la canalisation.

[0048] Le procédé selon l'invention vise à caractériser un défaut détecté de la canalisation pour déterminer de quel type de défaut il s'agit.

[0049] Le procédé selon l'invention comporte une étape de génération GEN1 d'une pluralité de probabilité de présence PROB1 d'une pluralité de premières classes de défauts DEF1 sur une première image IM1 de l'intérieur d'une canalisation à partir d'une première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1. La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 met en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné à partir d'un ensemble d'images comportant chacune une pluralité de premiers labels caractérisant au moins un défaut.

[0050] Cette étape de génération GEN1 utilise une première image IM1 de l'intérieur d'une canalisation. Avantageusement, l'image de l'intérieur d'une canalisation est une image sélectionnée, car elle comporte la présence sur la canalisation et dans le champ de l'image d'au moins un défaut. La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 analyse la première image IM1 pour générer une probabilité de présence PROB1 d'une première classe de défaut DEF1 sur la première image IM1. En d'autres termes, la première fonction apprenante FONC1 détermine la probabilité qu'au moins un défaut appartenant à la première classe de défaut soit présent sur ladite première image IM1. Lors de cette étape de génération GEN1 de la pluralité de probabilités PROB1, une probabilité de présence est de préférence générée pour chaque première classe de défaut DEF1 existante. Ainsi, on dispose pour chaque première classe de défaut DEF1 d'une probabilité de présence sur la première image IM1. L'ensemble de ces probabilités de présence PROB1 forme la pluralité de probabilités de présence. La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 est une fonction qui donne une probabilité de présence d'une première classe de défaut à partir de la première image IM1. En d'autres termes, la première fonction apprenante analyse la première image IM1 et fournit la pluralité de probabilités de présence PROB1. La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 met en œuvre un modèle issu d'un apprentissage subi par la fonction. La première fonction apprenante FONC1 est entraînée à partir d'un ensemble d'images. Cet ensemble d'images comprend des images d'intérieur de canalisation. Chaque image est associée à un label caractérisant un défaut de canalisation. En d'autres termes, la première fonction apprenante FONC1 est obtenue à partir d'un apprentissage supervisé basé sur un ensemble d'images labellisées.

[0051] La méthode selon l'invention comporte ensuite une étape de comparaison de la valeur des probabilités de présence PROB1 avec une valeur seuil qui est propre à chaque première classe de défaut DEF1. En d'autres termes, pour chaque première classe de défaut DEF1 pour laquelle la première fonction apprenante FONC1 fournit

une probabilité de présence PROB1, ladite probabilité est comparée avec le seuil associé à ladite première classe de défaut DEF1. Ainsi, on peut avoir des seuils différents suivant les types de première singularité DEF1 qui composent la pluralité de premières classes de défaut DEF1.

- [0052] La méthode selon l'invention comporte ensuite une étape de sélection SEL1 de premières classes de défauts DEF1. Les premières classes de défaut DEF1 sélectionnées sont les premières classes de défaut dont la probabilité de présence PROB1 associée est supérieure au seuil caractéristique de ladite classe de défaut DEF1. En d'autres termes, la méthode sélectionne un ensemble de premières classes de défauts DEF1 pour lesquelles la probabilité de présence PROB1 est suffisamment haute. Cette étape permet donc l'établissement d'une liste de types de défauts correspondant aux premières classes de défaut DEF1 sélectionnées.
- [0053] La méthode selon l'invention comporte ensuite une étape de sélection SEL2 pour au moins une première classe de défaut DEF1 sélectionnée précédemment d'au moins une deuxième classe de spécification SPE2. La deuxième classe de spécification SPE2 correspond à un niveau supplémentaire de classification du défaut de la canalisation par rapport à la première classe de défaut DEF1. La deuxième classe de spécification SPE2 est sélectionnée parmi un ensemble de deuxièmes classes de spécification SPE2 qui sont caractéristiques à la première classe de défaut DEF1 qui a été sélectionnée précédemment. En d'autres termes, la sélection SEL2 de la deuxième classe de spécification SPE2 est faite en fonction de la ou des premières classes de défaut qui ont été sélectionnées précédemment. La sélection de la deuxième classe de spécification est effectuée par une deuxième fonction apprenante de spécification FONC2.
- [0054] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 met en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné. Le modèle d'apprentissage machine est entraîné à partir d'un ensemble d'images comportant une pluralité de seconds labels qui correspondent chacun à au moins une deuxième classe de spécification SPE2.
- [0055] La méthode comprend ensuite une étape de génération GEN2 d'au moins un label LAB1 caractéristique de chaque première classe de défaut DEF1 et de chaque deuxième classe de spécification SPE2 sélectionnée. En d'autres termes, la méthode permet de générer un label LAB1 qui spécifie un couple d'une première classe de défaut DEF1 et d'une deuxième classe de spécification SPE2. De cette manière, la méthode permet une génération automatique, à partir d'une image d'une canalisation comportant un défaut, d'un label permettant de classer ce défaut selon deux niveaux de spécification. Avantageusement, la méthode selon l'invention permet également de générer plusieurs labels lorsque plusieurs défauts différents sont présents sur la première image IM1 de l'intérieur de la canalisation.

## Traitement de l'image

- [0056] Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention comporte une étape de réception d'une image brute IMBR de l'intérieur d'une canalisation. L'image brute IMBR est préférentiellement acquise par un dispositif d'exploration 20 de canalisation qui est préférentiellement équipé d'un dispositif de prise d'image ou capteur optique 22. Nous reviendrons plus loin sur la description de ces dispositifs. La [Fig.2] est un logigramme illustrant les différentes étapes de traitement de l'image brute IMBR.
- [0057] L'image brute IMBR, qui correspond à une prise de vue de l'intérieur d'une canalisation est donc réceptionnée lors de cette étape du procédé. L'image brute IMBR comprend un ensemble de pixels qui permettent une représentation de l'intérieur de la canalisation. De préférence, l'image brute IMBR comprend dans son champ de vue une ou plusieurs parois de la canalisation. L'image brute IMBR peut être prise de manière à représenter sensiblement de face une paroi de la canalisation. Selon un mode de réalisation, l'image brute IMBR comprend une représentation qui est inclinée par rapport à une paroi de la canalisation. Selon un mode de réalisation, l'image brute IMBR est une image d'une portion de canalisation. La portion de canalisation sur l'image brute IMBR comprend de préférence au moins un défaut de canalisation ou un défaut de surface de canalisation. L'image brute IMBR représente donc au moins un défaut de la canalisation. Selon un mode de réalisation, la portion de canalisation l'image brute IMBR comprend plusieurs défauts.
- [0058] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend ensuite une étape de redimensionnement RED de l'image brute IMBR pour obtenir une image redimensionnée IMRED. L'étape de redimensionnement peut comprendre la conversion de l'image brute dans un format qui sera plus facile à traiter par les différentes fonctions apprenantes mises en œuvre par le procédé. Par exemple, lors du redimensionnement, la résolution en pixels de l'image peut être changée pour être une résolution standard. De préférence, la résolution standard correspond à une résolution des images qui ont servi pour l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1. Cette disposition permet d'augmenter l'efficacité de la fonction et d'augmenter la précision des probabilités de présence PROB1 générées par celle-ci. Selon un mode de réalisation, la résolution standard est la résolution des images qui ont été utilisées pour l'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2. Cette disposition permet d'augmenter la fiabilité de la sélection effectuée par la deuxième fonction apprenante FONC2. Selon un mode de réalisation, les images ayant servi pour l'entraînement de la première fonction apprenante FONC1 et pour l'entraînement de la deuxième fonction apprenante FONC2 ont la même définition, qui est la même que la définition de l'image redimensionnée IMRED. De cette manière, une même image redimensionnée IMRED permet d'obtenir

des résultats optimisés avec la première fonction apprenante FONC1 et avec la deuxième fonction apprenante FONC2.

- [0059] Selon un mode de réalisation, l'étape de redimensionnement de l'image brute IMBR comprend une étape de troncature de l'image. Cette étape permet de retirer de l'image une ou plusieurs parties de celle-ci, par exemple des parties qui ne seraient pas pertinentes pour l'analyse de celle-ci par les fonctions apprenantes FONC1, FONC2. Par exemple, la troncature de l'image brute IMBR permet le retrait d'une bande latérale de celle-ci. Cette disposition est particulièrement avantageuse lorsque le ou les défauts de canalisation ne sont pas présents sur une partie de l'image, ou lorsque celle-ci n'est pas bien centrée. La troncature permet également de modifier, par exemple diminuer, la résolution de l'image brute IMBR. Cette disposition permet également d'obtenir la résolution standard.
- [0060] Selon un mode de réalisation, l'étape de redimensionnement de l'image brute IMBR comprend une étape de transformation géométrique de l'image. Par exemple, la transformation géométrique de l'image peut comprendre une étape de rotation de l'image brute IMBR. Cette rotation de l'image brute permet avantageusement de placer l'image dans une orientation angulaire optimale pour son traitement par la première fonction apprenante FONC1 et par la deuxième fonction apprenante FONC2. Par exemple, cette rotation permet de replacer l'image de manière à ce que son orientation soit conforme à l'orientation de la canalisation dans laquelle l'image est prise. En effet, si l'optique du dispositif de prise de vue est orientée obliquement par rapport à la verticale, une rotation de l'image permet d'obtenir une image redimensionnée qui est orientée selon un axe vertical.
- [0061] Selon un mode de réalisation, l'image subit une étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse. Par étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse, on entend une étape durant laquelle le contraste de l'image est ajusté pour permettre un meilleur traitement par la suite par les différentes fonctions apprenantes. Selon un mode de réalisation l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'écâtage des fortes intensités. Selon un mode de réalisation, l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'ajustement de la saturation de l'image. L'ajustement de la saturation peut comprendre une diminution de la saturation ou une augmentation de la saturation. Selon un mode de réalisation, l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'augmentation de l'intensité lumineuse. Selon un mode de réalisation, l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'analyse de l'image permettant de déduire les traitements à effectuer sur l'image pour la normaliser.

### **Classification multilabels**

- [0062] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 prend en entrée une première image IM1 de l'intérieur d'une canalisation. Comme vu précédemment, cette première image IM1 peut être issue d'une image brute IMBR qui est directement obtenue par le dispositif de prise de vue. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante traite en entrée directement l'image brute IMBR de la canalisation.
- [0063] La première fonction apprenante de labellisation entraînée prend en entrée une image sélectionnée par un opérateur qui déclenche la prise de l'image brute IMBR. Préférentiellement, la première image comprend au moins une singularité ou défaut de canalisation. Ainsi, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 n'a qu'à identifier le ou les défauts présents sur l'image.
- [0064] La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 génère un ensemble de premières probabilités de présence PROB1 de premières classes de défaut DEF1 sur la première image IM1. En d'autres termes, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 teste, pour tous les types de défauts qui existent dans une classification, la probabilité de présence de celles-ci sur la première image IM1. Ainsi, cette première fonction apprenante de labellisation entraînée prend en entrée la première image IM1 et donne en sortie une pluralité de probabilités de présence PROB1, chaque probabilité de présence PROB1 étant associée à une classe de défaut DEF1 précise dans l'ensemble de classe de défaut. Pour ce faire, la première fonction apprenante de labellisation entraînée met en œuvre une méthode d'estimation basée sur une analyse de la première image IM1.
- [0065] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 comprend une architecture en réseau de neurones. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée comprend un réseau de neurones multicouches. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 comprend un réseau de neurones convolutif. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 comprend un réseau de neurones de type Transformeur.
- [0066] La première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 a été entraînée précédemment à la mise en œuvre du procédé. Selon un mode de réalisation, l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 comprend un entraînement supervisé. Lors de l'entraînement, une base d'images d'entraînement est utilisée. La base d'images d'entraînement comprend une pluralité d'images, qui sont de préférences des images de l'intérieur de canalisations, qui comprennent des défauts. Chaque image utilisée pour l'entraînement comprend un label qui a été de préférence attribué par un opérateur à la ou les singularités présentes sur l'image. Le label comprend au moins une information sur la ou les premières classes

de défaut DEF1 présents sur l'image. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 1000 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 10000 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 100000 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 500000 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 1000000 images de l'intérieur de canalisation labellisées.

[0067] Selon un mode de réalisation, les images de la base d'images d'entraînement sont des images brutes IMBR qui ont subi au moins une étape de redimensionnement RED tel que décrit précédemment. Selon un mode de réalisation, les images brutes IMBR ont additionnellement ou alternativement subi une étape de troncature de l'image. Selon un mode de réalisation, les images brutes IMBR ont additionnellement ou alternativement subi une étape de transformation géométrique de l'image telle que précédemment décrite. Selon un mode de réalisation, les images ont subi une étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse telle que décrite précédemment. De cette manière, l'image peut avoir subi une étape d'ajustement de la luminosité, du contraste, d'écrêtage de la luminosité, et/ou une étape d'ajustement de la saturation. Toutes ces étapes permettent d'obtenir un ensemble d'images d'entraînement de la fonction apprenante qui est homogène et permet donc un meilleur entraînement de la fonction. Selon un mode de réalisation, l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'analyse de l'image permettant de déduire les traitements à effectuer sur l'image pour la normaliser.

[0068] Selon un mode de réalisation, le nombre d'images de la base d'images d'entraînement est augmenté en utilisant des techniques d'augmentation de données. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement est augmentée en y ajoutant des images de ladite base qui ont subi des transformations géométriques. Selon un mode de réalisation, les transformations géométriques comprennent des rotations des images de la base d'images. Chaque image qui a subi une rotation est ajoutée à la base d'images d'entraînement. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement est augmentée en effectuant un traitement sur les couleurs présentes sur les images. Plus précisément, des traitements de modifications des couleurs comprennent non limitativement des traitements de la saturation des images, de la luminosité des images, ou du contraste des images. Les images ainsi traitées sont réincorporées dans la base d'images d'entraînement en plus des images de base non traitées. De cette manière, le nombre d'images de la base d'images d'entraînement est augmenté avec des images ayant des défauts et des caractéristiques de couleurs dif-

férentes des images initiales de la base. Cette disposition permet d'augmenter l'efficacité de l'entraînement de la fonction apprenante.

- [0069] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 est entraînée grâce à une méthode de « transfer learning » ou autrement appelée apprentissage par transfert. Une méthode d'apprentissage par transfert permet d'utiliser un modèle de reconnaissance d'image pré-entraîné sur des problèmes de reconnaissance d'image tiers comme base au départ de l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1. Les images tiers de pré-entraînement de la première fonction apprenante comprennent des images qui ne sont pas issues de canalisations. Selon un exemple, les images tiers comprennent des images de visages, des images d'objets de la vie courante et/ou des images d'animaux ou d'êtres vivants. Le modèle pré-entraîné est ré-entraîné en utilisant la base d'images d'entraînement précédemment décrite. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est entraîné sur de la reconnaissance d'images qui ne sont pas des images de l'intérieur de canalisation. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un réseau de neurones convolutif. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un réseau de neurones convolutif de type « MobileNet », « ResNet », « EfficientNet » ou « DenseNet ». Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un modèle de type « Transformeur ». Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un modèle tel que décrit précédemment qui comporte au moins une couche de type « Dense ». Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné comporte plusieurs couches supplémentaires de type « Dense ». Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est ré-entraîné en ré-entraînant seulement une partie des couches du réseau de neurones sur la base d'images d'entraînement.
- [0070] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 est entraînée en utilisant un modèle hybride qui assemble une architecture convolutive et une architecture récurrente dans un seul réseau de neurones. Un tel mode d'entraînement permet de mieux exploiter les corrélations entre les différents défauts qui sont présents sur une même première image IM1.
- [0071] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante au moins un modèle. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante utilise au moins deux modèles différents. Selon un exemple, la fonction apprenante utilise un premier modèle pour la génération GEN1 des probabilités de présence PROB1 et un second modèle pour effectuer également une génération GEN1 des probabilités de présence PROB1. Selon un exemple, la probabilité qui va être utilisée lors de l'étape de comparaison COMP avec le seuil est une moyenne de la probabilité PROB1 générée par le premier modèle et de la probabilité PROB1 générée par le second modèle. Selon un exemple, la probabilité utilisée lors de l'étape de comparaison COMP est une moyenne

pondérée de la probabilité générée par le premier modèle et de la probabilité générée par le deuxième modèle. Par exemple, la pondération affectée à la probabilité PROB1 du premier modèle est de 0,8 et celle affectée à la probabilité PROB1 du deuxième modèle est de 0,2. Cette disposition est particulièrement avantageuse pour tirer à profit d'une meilleure identification par un modèle plutôt qu'un autre. Selon un mode de réalisation, la pondération de la moyenne n'est utilisée que pour la génération de la probabilité PROB1 relative à une première classe de défaut DEF1 prédéterminée. Cette disposition permet de tirer profit de la performance d'identification d'un modèle pour une classe de défaut DEF1 donnée. Selon un mode de réalisation, plusieurs pondérations différentes sont utilisées pour plusieurs premières classes de défaut DEF1. De cette manière, la pondération d'un modèle est plus importante pour les premières classes de défauts DEF1 pour lesquelles ses performances d'identification sont meilleures et peut être abaissées pour les premières classes de défaut DEF1 pour lesquelles les performances d'identification sont plus basses.

[0072] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 fournit également une information de localisation du ou des défauts identifiés sur la première image IM1. Une telle information pourra par la suite être fournie à un opérateur pour l'assister dans le processus d'inspection de la canalisation. Selon un mode de réalisation, l'information de localisation est associée à la première image IM1. Selon un mode de réalisation, l'information de localisation comprend une information de localisation angulaire du défaut. Cette information angulaire comprend de préférence une information d'angle par rapport à une droite verticale. L'information comprend de préférence une indication de localisation horaire de la singularité. Selon un mode de réalisation, la localisation du ou des défauts sur l'image est basée sur un algorithme d'explicabilité de l'intelligence artificielle. Un tel algorithme utilise le processus de décision de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 pour tirer des informations relatives aux défauts. Par exemple, la localisation angulaire ou localisation horaire du ou des défauts est déterminée par utilisation d'une carte d'activation de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1. Selon cet exemple, une telle carte fournit les pixels de la première image IM1 sur lesquels se base la décision de la première fonction apprenante FONC1. De cette manière, les défauts sont localisés sur la première image IM1. On peut donc déterminer la localisation angulaire ou la localisation horaire de l'image. Additionnellement ou alternativement, la localisation spatiale du ou des défauts est également déterminée. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée fournit directement l'information de localisation. Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1 a été entraînée, au moins partiellement, à partir d'images comprenant des labels comprenant

des informations de localisation des défauts. Ainsi, la première fonction apprenante, en plus de fournir des probabilités PROB1 de présence de défaut, fournit également au moins une information de localisation du défaut. Cette information de localisation comprend par exemple une information de localisation horaire, une information de localisation angulaire, et/ou une information de localisation spatiale.

[0073] Selon un mode de réalisation, la première fonction apprenante FONC1 est ajustée à l'aide d'une fonction de perte. En d'autres termes, des paramètres de la première fonction apprenante et/ou la réponse de la première fonction apprenante FONC1 sont ajustés grâce à la fonction de perte. Une fonction de perte est une fonction quantifiant l'écart entre les prévisions du modèle et les observations réelles du jeu de données utilisé pendant l'entraînement. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte utilisée est une fonction de type entropie croisée binaire. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte utilisée est une fonction de type entropie croisée pondérée. Avantageusement, la fonction de perte permet de prendre en compte un déséquilibre dans la base d'images d'entraînement. Par exemple, une classe de défaut peut n'être représentée que par un nombre d'images faibles dans la base d'images par rapport aux autres classes de défaut. Dans ce cas, un poids peut être affecté à de telles images afin de les faire peser plus dans l'entraînement de la première fonction apprenante FONC1. Cette disposition permet de rendre la fonction apprenante FONC1 apte à détecter une classe de défaut DEF1 qui est sous-représentée dans la base d'images d'apprentissage, et qui pourrait autrement ne pas être détectée. Une fonction de perte de type entropie croisée binaire pondérée permet de mettre en œuvre cette disposition. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte utilisée est une fonction de type soft F1-score ou de type « dice loss », généralement nommée ainsi selon un terme de langue anglaise. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte utilisée est une fonction de type macro soft F1-score ou de type double macro soft F1-score. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte prend en compte au moins un indicateur de performance de l'identification. Selon un mode de réalisation, la fonction de perte permet de choisir un ou plusieurs indicateurs de performances et diminuer ou augmenter l'influence desdits indicateurs sur la fonction de perte.

[0074] L'étape de comparaison COMP est effectuée pour chaque première classe de défaut DEF1. En effet, la première fonction apprenante FONC1 génère un ensemble de probabilités de présence PROB1 correspondant chacune à une première classe de défaut DEF1. Chaque valeur de la probabilité de présence est comparée avec une valeur seuil qui est spécifique à ladite première classe de défaut DEF1 en question. Chaque valeur seuil est ajustée en fonction de l'intérêt ou non d'avoir des fausses détections ou des défauts manqués. Par exemple, pour une première classe de défaut donnée, il peut être souhaitable d'éviter de manquer le type de défaut associé à la première classe de défaut

DEF1 en question, car cette singularité correspond à un défaut critique de canalisation. Dans ce cas, le seuil de détection est volontairement fixé assez bas, pour éviter que le classifieur ne passe à côté d'un défaut de ce type. Un tel mode d'identification peut générer des faux positifs. À l'inverse, pour des défauts faciles à identifier, un seuil plus haut, c'est-à-dire plus strict est utilisé. De cette manière, on évite à un opérateur effectuant le contrôle par la suite des images d'être submergé par un grand nombre de défauts et de fausses détections.

[0075] Avantageusement, le seuil utilisé pour une classe de défaut DEF1 donnée est adapté à la récurrence de ladite classe de défaut DEF1 dans la base d'images d'entraînement de la première fonction apprenante FONC1. Avantageusement, le seuil relatif à au moins une classe de défaut DEF1 est fixé en fonction de la performance d'identification du type de défaut relatif à ladite classe de défaut DEF1 lors de l'entraînement supervisé de la première fonction apprenante FONC1. En d'autres termes, le seuil est fixé pour chaque classe de défaut DEF1 en fonction de la performance d'identification de ladite classe de défaut DEF1 lors de l'entraînement de la première fonction apprenante FONC1. Selon un mode de réalisation, le seuil relatif à au moins une classe de défaut DEF1 est fixé en fonction de retour d'utilisateurs et/ou d'opérateur utilisant la méthode selon l'invention. De tels retours permettent l'ajustement du seuil en fonction de la proportion de faux positifs identifiés en augmentant le seuil lorsque de nombreux faux positifs sont détectés. De la même manière, le seuil pourra être abaissé si pour une première classe de défaut DEF1, ledit défaut n'est pas identifié à plusieurs reprises. Selon un mode de réalisation, on fixe les seuils à 0,4. Selon ce mode de réalisation, lorsque la probabilité de présence PROB1 associée à la première classe de défaut DEF1 est supérieure à 40%, alors ladite classe de défaut est sélectionnée lors de l'étape de sélection SEL1. Selon un exemple, le seuil associé à une première classe de défaut DEF1 correspondant à une fissure dans la canalisation est abaissé par rapport au seuil des autres premières classes de défaut DEF1. Par exemple, ce seuil est abaissé à 0,3 ou bien 0,2. Un tel abaissement du seuil associé à la classe relative à la fissure est avantageux, car il permet d'augmenter l'identification de cette classe de défaut DEF1 pour être sûr que celle-ci soit détectée.

[0076] Selon un mode de réalisation, le seuil caractéristique d'au moins une première classe de défaut DEF1 est adaptatif. Par exemple, le seuil est adapté au cours des utilisations successives du procédé en fonction d'un taux de réussite de l'identification de la première classe de défaut DEF1. Le taux de réussite peut par exemple être déterminé en fonction de retours utilisateurs. Selon un mode de réalisation, le seuil caractéristique est défini en fonction d'au moins une probabilité de présence PROB1 d'une première classe de défaut DEF1. Par exemple, le seuil caractéristique peut être égal à la valeur de la plus haute probabilité de présence PROB1 de toutes les classes de défaut pour

lesquelles une probabilité de présence est calculée. Selon un exemple, une seule classe de défaut DEF1 est sélectionnée parmi les classes de défaut DEF1 pour lesquelles une probabilité de présence PROB1 est calculée. Selon cet exemple, seule la classe de défaut DEF1 avec la probabilité de présence PROB1 la plus haute est sélectionnée. Selon un mode de réalisation, le seuil caractéristique d'au moins une classe de défaut DEF1 est défini à partir d'une troisième fonction apprenante FONC3. Selon un mode de réalisation, la troisième fonction apprenante FONC3 est entraînée à partir d'un ensemble d'images de canalisation labellisées. Selon un exemple, le seuil caractéristique d'au moins une classe de défaut DEF1 est adapté en fonction d'une donnée mesurée sur la première image. Par exemple, le seuil peut être adapté en fonction d'une donnée de luminosité mesurée sur la première image. Cette adaptation permet d'adapter le seuil en fonction des performances de la première fonction apprenante FONC1 sur l'identification en fonction de la donnée mesurée.

- [0077] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend cinq premières classes de défauts DEF1. Selon un mode de réalisation, le procédé comprend dix premières classes de défauts DEF1. Selon un mode de réalisation, le procédé comprend quinze premières classes de défauts DEF1. Préférentiellement, le procédé comprend vingt-et-une premières classes de défauts DEF1. Ces classes de défauts correspondent à des types de défauts de canalisations tels que décrits dans la norme européenne EN-13508.
- [0078] Selon un mode de réalisation, le procédé concerne un ensemble de premières classes de défauts DEF1 qui apprécient un défaut de canalisation. Parmi les premières classes de défauts DEF1 disponibles dans le procédé, on retrouve par exemple une fissure dans la canalisation, une rupture de la canalisation, un branchement pénétrant, un branchement défectueux. On retrouve également les joints d'étanchéité apparents, les déplacements d'assemblage, les racines visibles sur une image. On retrouve également la présence de dépôts dans la canalisation, qui peuvent être adhérents ou non, la présence d'une entrée de terre, d'un branchement ou bien d'une courbure du collecteur. Cette liste de défauts constatés formant les différentes premières classes de défauts DEF1 est non limitative et peut être complétée par tout défaut qu'il apparaîtra pertinent d'identifier à l'homme du métier.

### **Classification multiclassés**

- [0079] Le procédé selon l'invention comporte une étape de sélection SEL2 pour au moins une première classe de défauts DEF1 sélectionnée précédemment, d'au moins une deuxième classe de spécification SPE2.
- [0080] Chaque première classe de défauts ne comprend pas forcément de deuxième classe de spécification SPE2. Ainsi, l'étape de sélection SEL2 d'une deuxième classe de spécification SPE2 peut comprendre ou non la sélection d'une deuxième classe de spécification SPE2.

- [0081] Chaque deuxième classe de spécification SPE2 comprend une spécification du label correspondant à la première classe de défauts DEF1 sélectionnée. En d'autres termes, la première classe de défauts DEF1 correspond à un premier niveau de spécification du défaut, et la deuxième classe de spécification vient fournir un deuxième niveau d'analyse concernant ledit défaut. De cette manière, une deuxième classe de spécification SPE2 est spécifique à la première classe de défaut DEF1 en question. Selon un mode de réalisation, pour la première classe de défaut correspondant aux branchements de canalisations, les deuxièmes classes de spécification SPE2 disponibles comprennent le type de branchement parmi sept types de branchements disponibles. Selon un exemple, les types de branchement disponibles sont les branchements de type culotte, de type selle carottée, de type selle burinée, de type piquage direct carotté, de type piquage direct buriné, de type raccord inconnu, et de type autre. Selon un mode de réalisation, le type raccord inconnu est déterminé lorsque la deuxième fonction apprenante FONC2 ne détecte pas l'un des autres types de raccords. Avantagement, plusieurs deuxièmes classes de spécifications peuvent être associées à une même première classe de défaut DEF1 pour générer le premier label LAB1. Par exemple, dans le cas de la première classe de défaut correspondant au branchement, une deuxième classe de spécification SPE2 relative à la localisation du branchement peut être déterminée. On peut par exemple avoir une deuxième classe de spécification SPE2 relative au placement du branchement à gauche de la canalisation, une deuxième classe de spécification SPE2 relative au placement du branchement à droite de la canalisation. On peut également avoir une deuxième classe de spécification SPE2 relative au positionnement horaire du branchement dans la canalisation, par exemple un branchement positionné à 10h ou bien un branchement positionné à 2h.
- [0082] Selon un exemple, dans la première classe de défaut DEF1 correspondant au déplacement d'assemblage, une deuxième classe de spécification SPE2 est relative au type de déplacement d'assemblage. Par exemple, trois deuxièmes classes de spécification SPE2 sont disponibles parmi lesquelles la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 sélectionne la classe relative au défaut présent sur la première image IM1. Selon un exemple, les deuxièmes classes de spécification SPE2 disponibles pour le déplacement d'assemblage sont le déplacement longitudinal, le décentrage et la déviation.
- [0083] Selon un exemple, dans la première classe de défaut DEF1 correspondant à la présence de racines, une deuxième classe de spécification SPE2 est relative au type de racine présente sur l'image. Par exemple, trois deuxièmes classes de spécification SPE2 sont disponibles parmi lesquelles la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 sélectionne la classe relative au défaut présent sur la première image IM1. Ces trois deuxièmes classes de spécification SPE2 sont la présence de radicelles,

la présence d'une grosse racine, ou la présence d'un ensemble complexe de racines.

- [0084] L'étape de sélection SEL2 de la deuxième classe de spécification utilise une deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2. Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 utilise en entrée la première image IM1. Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 détermine, à partir d'une analyse de la première image IM1, la deuxième classe de spécification SPE2 correspondant au défaut pour laquelle la première classe de défaut DEF1 a été déterminée.
- [0085] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 comprend une architecture en réseau de neurones. Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 comprend un réseau de neurones multicouches. Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 comprend un réseau de neurones convolutif. Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 comprend un réseau de neurones de type Transformeur.
- [0086] La deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 a été entraînée précédemment à la mise en œuvre du procédé. Selon un mode de réalisation, l'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 comprend un entraînement supervisé. Lors de l'entraînement, une base d'image d'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification SPE2 est utilisée. La base d'images d'entraînement de la deuxième fonction apprenante FONC2 comprend une pluralité d'images, qui sont de préférences des images de l'intérieur de canalisations, qui comprennent des défauts labellisés. Avantagusement, chaque défaut de la base d'entraînement de la deuxième fonction apprenante FONC2 appartient à la même première classe de défaut DEF1. De cette manière, la deuxième fonction apprenante FONC2 est entraînée sur une base lui permettant d'effectuer la spécification d'un défaut donné de parmi les premières classes de défauts DEF1.
- [0087] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend plusieurs deuxièmes fonctions apprenantes de spécification entraînées FONC2. Chaque deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 correspond à une première classe de défaut DEF1. En d'autres termes, à chaque fois que le procédé fait appel à une deuxième fonction apprenante de spécification entraînée SPE2, celle-ci est relative à la classe de défaut DEF1 qui a été sélectionnée.
- [0088] Chaque deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 est entraînée grâce à une base d'images spécifique. La base d'images d'entraînement spécifique comprend un ensemble d'images labellisées comprenant un défaut de la première classe de défaut DEF1 à laquelle la deuxième classe de spécification SPE2

est relative. Les labels des images comprennent des informations spécifiques à la première classe de défaut DEF1 et à la deuxième classe de spécification SPE2 qui est présente sur les images en question.

- [0089] Le label de spécification de chaque image utilisée pour l'entraînement a été de préférence attribué par un opérateur à l'un ou les défauts présents sur l'image. Le label de spécification comprend une information sur la ou les deuxièmes classes de spécification SPE1 présentes sur l'image. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique comprend au moins 10 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique comprend au moins 50 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique comprend au moins 100 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 1000 images de l'intérieur de canalisation labellisées. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement comprend au moins 10000 images de l'intérieur de canalisation labellisées.
- [0090] Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 est la même base que la base d'images d'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée FONC1.
- [0091] Selon un mode de réalisation, les images de la base d'images d'entraînement spécifique de la deuxième fonction FONC2 apprenante sont un sous-ensemble de la base d'images d'entraînement de la première fonction apprenante FONC1. Selon ce mode de réalisation, seules les images de la base d'images d'entraînement de la première fonction apprenante ayant comme label la première classe de défaut DEF1 à laquelle est relative la deuxième classe de spécification SPE2 sont utilisées dans la base d'images d'entraînement spécifique. De cette manière, la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 est entraînée à partir d'images qui comportent chacune un ou plusieurs défauts de la première classe de défaut DEF1 que l'on cherche à assigner une classe de spécification SPE2. Cette disposition permet d'améliorer l'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 par une meilleure sélection des images d'entraînement.
- [0092] Selon un mode de réalisation, les images de la base d'images d'entraînement spécifique sont des images brutes IMBR qui ont subi au moins une étape de redimensionnement RED tel que décrit précédemment. Selon un mode de réalisation, les images brutes IMBR ont additionally ou alternativement subi une étape de troncature de l'image. Selon un mode de réalisation, les images brutes IMBR ont additionally ou alternativement subi une étape de transformation géométrique de l'image telle que précédemment décrite. Selon un mode de réalisation, les images ont

subi une étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse telle que décrite précédemment. De cette manière, l'image peut avoir subi une étape d'ajustement de la luminosité, du contraste, d'écèlement de la luminosité, et/ou une étape d'ajustement de la saturation. Toutes ces étapes permettent d'obtenir un ensemble d'images d'entraînement spécifique de la deuxième fonction apprenante de spécification SPE2 qui est homogène et permet donc un meilleur entraînement de la fonction. Selon un mode de réalisation, l'étape de traitement TRAIT de normalisation de l'intensité lumineuse comprend une étape d'analyse de l'image permettant de déduire les traitements à effectuer sur l'image pour la normaliser.

[0093] Selon un mode de réalisation, le nombre d'images de la base d'images d'entraînement spécifique de la deuxième fonction apprenante FONC2 est augmenté en utilisant des techniques d'augmentation de données. Cette disposition est particulièrement avantageuse quand la base d'images d'entraînement spécifique est un sous-ensemble de la base d'images d'entraînement de la première fonction apprenante, car elle permet d'augmenter un nombre plus restreint d'images de la base. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique est augmentée en y ajoutant des images de ladite base qui ont subi des transformations géométriques. Selon un mode de réalisation, les transformations géométriques comprennent des rotations des images de la base d'images d'entraînement spécifique. Chaque image qui a subi une rotation est ajoutée à la base d'images d'entraînement spécifique. Selon un mode de réalisation, la base d'images d'entraînement spécifique est augmentée en effectuant un traitement sur les couleurs présentes sur les images. Plus précisément, des traitements de modification des couleurs comprennent non limitativement des traitements de la saturation des images, de la luminosité des images, ou du contraste des images. Les images ainsi traitées sont réincorporées dans la base d'images d'entraînement spécifique en plus des images de base non traitées. De cette manière, le nombre d'images de la base d'images d'entraînement spécifique est augmenté avec des images ayant des défauts et des caractéristiques de couleurs différentes des images initiales de la base. Cette disposition permet d'augmenter l'efficacité de l'entraînement de la fonction apprenante.

[0094] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 est entraînée grâce à une méthode de « transfer learning » ou autrement appelée apprentissage par transfert. Une méthode d'apprentissage par transfert permet d'utiliser un modèle de reconnaissance d'image pré-entraîné sur des problèmes de reconnaissance d'image comme base au départ de l'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2. Le modèle pré-entraîné est ré-entraîné en utilisant la base d'images d'entraînement spécifique précédemment décrite. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est entraîné

sur de la reconnaissance d'images qui ne sont pas des images de l'intérieur de canalisation. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un réseau de neurones convolutif. Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un réseau de neurones convolutif de type « MobileNet », « ResNet », « EfficientNet » ou « DenseNet ». Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est un réseau de neurones de type Transformeur.

[0095] Selon un mode de réalisation, le modèle pré-entraîné est ré-entraîné en ré-entraînant seulement une partie des couches du réseau de neurones sur la base d'images d'entraînement spécifique.

[0096] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée FONC2 est entraînée en utilisant un modèle hybride qui assemble une architecture convolutive et une architecture récurrente dans un seul réseau de neurones. Un tel mode d'entraînement permet de mieux exploiter les corrélations entre les différents défauts qui sont présents sur une même première image IM1.

[0097] Selon un mode de réalisation, la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2 sélectionne la deuxième classe de spécification SPE2 en fonction d'une règle prédéfinie. Selon un exemple, la règle prédéfinie permet d'associer une deuxième classe de spécification SPE2 à une première classe de défaut. Cette association peut être réalisée de manière automatique. Cette disposition est particulièrement avantageuse lorsqu'une deuxième classe de spécification SPE2 représente une grande majorité des cas associés à une première classe de défaut DEF1. Selon un exemple, la règle prédéfinie associée à la deuxième fonction apprenante FONC2 permet la modification de la première classe de défaut DEF1 sélectionnée précédemment.

### **Règles métier**

[0098] Selon un mode de réalisation, le procédé comporte une étape de sélection SEL3 d'une sous-classe spécifique SPE3 de deuxième classe de spécification SPE2 sélectionnée. La [Fig.3] est un logigramme illustrant la sélection d'une règle dans une base de règles REG1. La base de règles peut être enregistrée dans une mémoire de l'équipement utilisé ou dans une mémoire distante accessible depuis un réseau de données. La sous-classe spécifique SPE3 représente un troisième niveau de description du défaut de canalisation qui est identifié sur la première image IM1. L'étape de sélection SEL3 de la sous-classe spécifique SPE3 comprend avantageusement une étape de sélection SEL4 d'au moins une règle au sein d'une base de règles REG1 en fonction de la valeur du premier label LAB1. Ainsi, dans cette étape on sélectionne une règle qui est relative à la première classe de défaut DEF1 et/ou à la deuxième classe de spécification qui ont été identifiées précédemment. On sélectionne donc une règle, qui peut correspondre à une règle métier qui peut être prédéfinie à partir d'une connaissance d'un ou plusieurs opérateurs, ou par la littérature technique d'un domaine

de connaissance, qui est caractéristique de la nature du type de défaut identifié. La base de règle comporte avantageusement un ensemble de règles qui sont relatives aux premiers labels LAB1. Cette base de règle comporte avantageusement au moins une règle par premier label LAB1. La règle définit une association entre une valeur caractéristique Vc de la première image IM1 et une valeur prédéfinie définissant un deuxième label LAB2. Le deuxième label LAB2 est avantageusement caractéristique de la sous-classe spécifique SPE3. Par valeur caractéristique Vc de la première image IM1, on entend toute valeur ou donnée qui est associée, issue ou déduite de la première image ou de l'un de ses attributs. La valeur caractéristique Vc de la première image peut par exemple être une métadonnée associée à ladite première image IM1. La valeur prédéfinie définit le deuxième label LAB2 et est obtenue par association avec la valeur caractéristique Vc de la première image IM1. Le deuxième label LAB2 labellise la sous-classe spécifique SPE3 qui est sélectionnée dans cette étape du procédé. L'étape de sélection SEL3 de la sous-classe spécifique comprend ensuite une étape d'attribution de la valeur prédéfinie à la valeur du deuxième label LAB2. L'étape de sélection SEL3 d'une sous-classe spécifique permet donc la génération d'un deuxième label LAB2 venant spécifier encore plus le type de défaut identifié dans la première image IM1.

[0099] Selon un mode de réalisation, la valeur caractéristique Vc de la première image IM1 est son premier label LAB1. Selon ce mode de réalisation, la règle sélectionnée est caractéristique de la première classe de défaut DEF1 identifiée et/ou de la deuxième classe de spécification SPE2 qui a été identifiée précédemment. Cette disposition est particulièrement avantageuse, car elle permet d'utiliser une règle permettant la génération du deuxième label LAB2 qui est relative au type de défaut qui est identifié. De plus, cette disposition permet aussi la sélection d'une règle de génération du deuxième label LAB2 en fonction de la deuxième classe de spécification SPE2 qui a été identifiée. Selon un premier exemple, une deuxième classe de spécification SPE2 identifiée par le procédé de l'invention correspond à une classe de défaut de type « branchement ». Une règle donnée est alors sélectionnée automatiquement en fonction de cette classe de spécification. La règle permet dans ce cas d'attribuer automatiquement une valeur de « branchement ouvert ». On comprend dans ce cas que la valeur de la seconde classe de spécification peut être complétée par une règle qui attribue une caractéristique supplémentaire au défaut qui ne peut être que d'un seul type dans un cas donné et/ou qui ne peut être déduit directement de l'image. Un autre cas est de permettre de représenter une valeur prépondérante d'un label parmi un ensemble de valeurs possibles. Cette représentation permet avantageusement d'aider un opérateur dans la validation de la caractérisation du défaut dans un grand nombre de cas.

- [0100] En effet, un intérêt est de donner à un opérateur un descripteur supplémentaire lui permettant d'apprécier plus simplement la qualification du défaut. Un avantage est de favoriser la qualification, la discrimination ou l'écartement d'un défaut parmi une liste de défauts présentés par le classifieur.
- [0101] Selon un second exemple, une deuxième classe de spécification SPE2 identifiée par le procédé de l'invention correspond à une classe de défaut de type « fissure », la règle permet dans ce cas d'attribuer automatiquement une valeur de « fissure ouverte ». On comprend dans ce cas que la valeur de la seconde classe de spécification peut être complétée par une règle qui attribue une caractéristique supplémentaire au défaut. Un intérêt est de donner à un opérateur un descripteur supplémentaire lui permettant d'apprécier plus simplement la qualification du défaut ou d'invalider le défaut si cette caractéristique n'est pas présente. Un avantage est de favoriser la qualification, la discrimination ou l'écartement d'un défaut parmi une liste de défauts présentés.
- [0102] De ce fait, on peut spécifier la manière de sélectionner le deuxième label LAB2 en fonction d'une sous-caractéristique du défaut. Cette disposition permet une plus grande finesse dans la génération du deuxième label LAB2.
- [0103] Selon un mode de réalisation, la valeur caractéristique  $V_c$  de la première image IM1 est générée à partir d'un algorithme de traitement d'image effectué sur la première image IM1. Selon ce mode de réalisation, une analyse de la première image IM1 est effectuée pour en tirer la valeur caractéristique  $V_c$ . Cette disposition permet de définir une règle de génération du deuxième label LAB2 en fonction de caractéristiques de la première image IM1. Selon un exemple, l'analyse de l'image permet de déterminer si une zone sombre ou particulièrement sombre est située dans une partie basse de la première image IM1. Cette disposition peut permettre de définir si un trou de la canalisation est visible sur l'image IM1. Cette donnée extraite de l'image permet, grâce au procédé de l'invention, d'attribuer une valeur caractéristique à l'image et donc au défaut. En conséquence, la classification du défaut peut être enrichie puisque cette valeur caractéristique du défaut peut être attribuée au second label LAB2 de la sous-classe de spécification SPE3. Un intérêt est d'améliorer l'entraînement d'une fonction apprenante notamment par l'enrichissement de la caractérisation des défauts.
- [0104] Selon un autre cas, une analyse de la luminosité permet de générer une valeur caractéristique de l'image relative à un degré de confiance issue de la prise d'image afin de caractériser le contexte du défaut.
- [0105] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de réception d'une donnée DON1 associée à la première image IM1. La donnée DON1 associée à la première image IM1 est acquise au moyen d'une interface utilisateur 30. La donnée DON1 associée à la première image IM1 est donc une donnée qui est définie suivant une observation ou un rapport effectué(s) par un utilisateur. La donnée associée à la

première image IM1 comprend par exemple une indication suite à une observation effectuée sur la première image IM1 ou sur une autre image de la même canalisation par l'utilisateur. Selon un exemple, la donnée DON1 associée à la première image IM1 est une donnée renseignant le matériau de ladite canalisation. Cette donnée permet avantageusement d'écarter d'office certains types de défauts qui ne sont pas compatibles avec un type de matériau de la canalisation. La donnée est enregistrée dans une mémoire de manière à être associée à la valeur caractéristique Vc de la première image IM1. De cette manière, l'observation saisie dans l'interface utilisateur entre dans le processus de décision pour l'attribution des premiers labels LAB1 et deuxième label LAB2. Selon un exemple, lorsque l'utilisateur renseigne le fait que la canalisation ne comporte pas de matériau de revêtement, la première classe de défaut DEF1 correspondant à la présence d'un défaut de revêtement n'est pas sélectionnable lors de l'étape de sélection SEL1 de la première classe de défaut DEF1.

[0106] Dans cet exemple, la première donnée DON1 peut correspondre à une valeur caractéristique Vc d'un descripteur d'un défaut. Si le descripteur est encodé dans la description du défaut, une règle peut être utilisée pour écarter une classe de défaut incompatible avec la valeur du descripteur. Selon un exemple, la donnée DON1 permet de faire appel à une règle écartant une première classe de défaut DEF1 et/ou une seconde classe de spécification SPE2 déjà sélectionnée. Selon cet exemple, le premier label LAB1 généré correspondant à la première classe de défaut DEF1 et/ou à la seconde classe de spécification SPE2 écartée peut être supprimé. Ces dispositions permettent d'écarter des labels et des classes de la classification. Selon un exemple, la donnée utilisateur DON1 est une information sur le matériau de la canalisation. Cette information permet d'écarter la première classe de défaut DEF1 correspondant au défaut de revêtement. Selon un exemple, si cette classe a déjà été sélectionnée, elle est retirée de la sélection de premières classes de défauts. Avantageusement, le premier label LAB1 associé à cette classe est supprimé. Avantageusement, la donnée collectée DON1 peut permettre un réentraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante et/ou du modèle de la seconde fonction apprenante. Selon un mode de réalisation, l'opérateur peut sélectionner une action de réentraînement automatique lors de l'ajout d'une donnée DON1. Selon un exemple, l'opérateur peut choisir le modèle à réentraîner.

[0107] Selon un mode de réalisation, la valeur caractéristique Vc est saisie par un utilisateur sur l'interface utilisateur. Selon un exemple, la règle sélectionnée entraîne l'affichage d'un message à l'utilisateur lui demandant de sélectionner le deuxième label LAB2. Selon un exemple, la règle entraîne la sélection par l'utilisateur d'une première classe de défaut DEF1. Par exemple, lorsque l'une des premières classes de défaut DEF1 telles que la rupture, la fissure, le déplacement d'assemblage ou le branchement dé-

fectueux est sélectionnée, alors un message est affiché sur l'interface utilisateur lui demandant de choisir entre l'ajout d'une des deux premières classes de défaut DEF1 suivantes : sol visible par défaut ou vide visible par défaut. Une telle disposition est particulièrement avantageuse, car elle permet de solliciter l'utilisateur sur la présence ou non d'une première classe de défaut DEF1 qui peut être critique dans la maintenance de la canalisation. En effet, si un vide est visible, cela signifie qu'un trou est présent dans la canalisation et qu'une maintenance doit rapidement être effectuée. Selon un exemple, la règle sélectionnée dépend de la valeur de plusieurs premières classes de défaut DEF1 qui ont été identifiées. Selon un exemple, la règle sélectionnée influence la sélection de la ou des premières classes de défaut DEF1. Selon un exemple, les premières classes de défauts correspondant au branchement défectueux et au branchement pénétrant ne peuvent être sélectionnées dans l'étape de sélection de SEL1 que lorsque la première classe de défaut DEF1 correspondant à la présence d'un branchement a précédemment été sélectionnée. En d'autres termes, certaines premières classes de défaut ne peuvent être sélectionnées que lorsque le premier label LAB1 est caractéristique de la présence d'une autre première classe de défaut DEF1 caractéristique. Selon un exemple, la règle comprend une indication de ne pas sélectionner au moins une première classe de défaut DEF1. Selon un exemple, une première classe de défaut DEF1 ne peut plus être sélectionnée lorsqu'une autre première classe de défaut DEF1 a été sélectionnée. Selon un exemple, la règle comprend une indication de ne pas sélectionner au moins une deuxième classe de spécification SPE2 lors de l'étape de sélection SEL2.

[0108] Selon un mode de réalisation, la donnée saisie par l'utilisateur est utilisée comme donnée de labellisation lors de l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation FONC1 et/ou lors de l'entraînement de la deuxième fonction apprenante de spécification FONC2. Cette disposition permet de faire entrer dans l'apprentissage des données qui ne sont pas comprises dans le premier label LAB1 et ainsi permet une augmentation de l'efficacité de l'apprentissage.

[0109] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de labellisation automatique. Selon cet exemple, pour au moins une classe de défaut DEF1, la sélection SEL2 de la deuxième classe de spécification est effectuée automatiquement pour attribuer une deuxième classe de spécification SPE2 prédéterminée. Selon un exemple, lorsque la première classe de défaut DEF1 correspondant à la présence d'un branchement est sélectionnée, la deuxième classe de spécification SPE2 correspondant au branchement ouvert est automatiquement sélectionnée. Cette disposition permet avantageusement de rendre compte du fait que 90% des branchements sont ouverts. Avantagement, un utilisateur peut confirmer, par exemple après une observation visuelle de la première image IM1, que cette deuxième classe de spécification SPE2 est

justifiée. Pour ce faire, l'observateur utilise l'interface utilisateur.

[0110] Un avantage de l'invention est de présenter à un opérateur différentes classes de défaut susceptibles de caractériser au moins un défaut dans une image. L'opérateur peut alors sélectionner une classe présentée sur une interface pour valider au moins l'une des classes du défaut. Un intérêt de l'invention est de présenter différentes classes de défauts dans une approche hiérarchique, c'est-à-dire de présenter des classes hétérogènes avec des niveaux de spécificité différents. Cette approche permet un bon compromis entre une approche très générique ne permettant pas d'aider suffisamment un opérateur lors de la validation de la classe de défaut et une approche très spécifique susceptible de comporter des erreurs. L'invention permet une approche mixte permettant de présenter à un opérateur différents labels : DEF1, LAB1, LAB2 provenant de deux classifieurs et d'un moteur de règle.

[0111] **Système de caractérisation d'un défaut de canalisation**

[0112] L'invention concerne également un système conçu pour mettre en œuvre la méthode décrite précédemment. Le système selon l'invention comporte un dispositif d'exploration de canalisation. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration comporte au moins un moyen de saisie lui permettant d'être tenu en main par un utilisateur. Cette disposition est avantageuse lorsque la canalisation est dite visitable, c'est-à-dire lorsqu'un utilisateur peut se déplacer dans celle-ci. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration comporte un moyen d'attache permettant de l'attacher à l'utilisateur. Par exemple, le dispositif comporte une sangle ou une pince permettant l'attache du dispositif sur un vêtement de l'utilisateur. De tels moyens permettent également l'attache du dispositif sur un sac à dos de l'utilisateur par exemple. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration de canalisation comporte un robot d'exploration 20. Par robot d'exploration 20, on entend tout type de dispositif apte à se déplacer dans la canalisation. Selon un exemple, le robot d'exploration comporte des roues lui permettant de rouler dans la canalisation. Selon un exemple, le robot d'exploration comporte au moins un moteur, de préférence électrique, lui permettant d'actionner le mouvement dudit robot 20. Le dispositif d'exploration 20 comporte au moins un capteur optique 22. Le dispositif optique 22 permet la prise d'images de l'intérieur de la canalisation, notamment de la première image IM1 et/ ou de l'image brute IMBR.

[0113] Le système de caractérisation comporte au moins une interface utilisateur 30. L'interface utilisateur 30 est configurée pour afficher des données envoyées par le dispositif d'exploration 20. Selon un exemple, l'interface utilisateur est configurée pour afficher des images reçues d'un système externe, par exemple des images reçues d'un appareil connecté en réseau, par exemple via le réseau internet, à l'interface utilisateur. Selon un exemple, les données envoyées par le dispositif d'exploration 20 sont

reçues par un système externe. Le système externe traite ces données et peut mettre en œuvre le procédé selon l'invention, avant d'envoyer des données d'affichages sur l'interface utilisateur 30. Ces données d'affichage peuvent comprendre des images de la canalisation. Selon un mode de réalisation, l'interface est configurée pour afficher des images prises par le capteur optique 22 du dispositif d'exploration 20. Selon un mode de réalisation, l'interface utilisateur 30 affiche en temps réel les images captées par le capteur optique 22. Selon un mode de réalisation, l'interface utilisateur 30 est configurée pour permettre le pilotage du dispositif d'exploration 20 en temps réel. De cette manière, l'interface utilisateur 30 permet le contrôle du moteur du robot d'exploration et sa direction. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration 20 comporte un moyen d'orientation du capteur optique 22. Le moyen d'orientation permet l'orientation du capteur optique 22 afin de placer au moins le champ de vue du capteur afin de prendre les meilleures images possibles. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration comporte au moins un moyen d'éclairage. Le moyen d'éclairage permet d'éclairer l'intérieur de la canalisation pour faciliter la visibilité lors de la direction du dispositif d'exploration 20. Le moyen d'éclairage permet également d'éclairer la zone de prise de vue pour fournir une première image IM1 une image brute IMBR ayant une luminosité suffisante pour son analyse.

[0114] Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration 20 comporte un câble ombilical. Le câble ombilical est un câble reliant le dispositif d'exploration 20 à une base comportant l'interface utilisateur ou à l'interface utilisateur 30, qui sont de préférence situées hors de la canalisation. Le câble sert avantageusement à transmettre des données du dispositif d'exploration 20 à la base et inversement. Selon un mode de réalisation, le câble sert également à transmettre une alimentation électrique au dispositif d'exploration 20. Selon un mode de réalisation, la liaison entre l'interface utilisateur 30 et le dispositif d'exploration 20 est effectuée par une liaison sans fil, par exemple une liaison radio. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration 20 comporte au moins une mémoire configurée pour enregistrer les images captées par le capteur optique 22. Cette disposition permet par exemple d'effectuer les prises d'image de l'intérieur de la canalisation et d'enregistrer les images dans la mémoire. De cette manière, l'analyse peut être effectuée plus tard après la prise de vue, sans liaison avec l'interface utilisateur 30. Selon un mode de réalisation, le dispositif d'exploration 20 est piloté par l'utilisateur au moyen de l'interface utilisateur 30. Selon un mode de réalisation, les informations de pilotage du robot d'exploration 20 sont envoyées par le câble. Selon un mode de réalisation, les informations de pilotage du robot d'exploration 20 sont envoyées à travers la liaison sans fil.

[0115] Selon un mode de réalisation, l'interface utilisateur 30 est configurée pour permettre à l'utilisateur d'entrer des instructions lors du procédé selon l'invention.

- [0116] Nous allons maintenant décrire l'utilisation du système selon l'invention par l'utilisateur.
- [0117] Lorsqu'il effectue une inspection d'une canalisation, l'utilisateur prend des images de l'intérieur de la canalisation au moyen du capteur optique 22 du dispositif d'exploration 20, qu'il commande de préférence à distance au moyen de l'interface utilisateur. Préférentiellement, l'utilisateur a, précédemment à l'inspection, entré dans l'interface utilisateur une ou plusieurs informations ou données relatives à la canalisation inspectée, telles que le matériau de la canalisation par exemple. Lorsque l'utilisateur identifie une zone de l'intérieur de la canalisation qui semble comporter au moins un défaut, il prend une image de ladite portion de canalisation au moyen du capteur optique 22. Il lance ensuite le procédé selon l'invention pour identifier le ou les défauts sur l'image acquise. Selon un mode de réalisation, le procédé est automatiquement lancé suite à la prise de l'image de l'intérieur de la canalisation. Au cours du procédé, l'utilisateur peut être amené à entrer des informations ou faire des choix sur l'interface utilisateur 30. Par exemple, l'utilisateur peut être amené à confirmer le ou les premiers labels LAB1 et/ou le ou les deuxièmes labels LAB2 qui ont été générés lors du procédé de caractérisation de défaut de canalisation.
- [0118] Selon un mode de réalisation, une pluralité de premiers labels LAB1 est générée lors du procédé. Chaque premier label LAB1 et/ou chaque second label LAB2 est affiché sur une interface graphique d'un afficheur de l'interface utilisateur 30. L'interface graphique comporte un composant de validation de la présence de chaque premier label LAB1 et/ou chaque second label LAB2 affiché. Ce composant peut par exemple être une boîte de dialogue ou un tableau listant les premiers labels LAB1 et/ou les seconds labels LAB2 générés. Chaque premier label LAB1 et/ou chaque second label LAB2 généré peut être corrigé ou supprimé par l'utilisateur, de préférence grâce à un composant de saisie. Cette disposition permet à l'utilisateur de modifier ou supprimer des labels générés qui ne sont pas corrects. Avantageusement, un rapport est généré qui comporte une liste des labels générés. Selon un mode de réalisation, la modification de la valeur d'un premier label LAB1 affiché entraîne le réentraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante FONC1 et/ou du modèle d'apprentissage machine de la seconde fonction apprenante FONC2. Cette disposition est particulièrement avantageuse, car elle permet de continuer l'apprentissage supervisé des fonctions apprenantes en fonction des retours directs des utilisateurs. Plus précisément, lorsque les performances d'identification d'un type de défaut sont faibles ou baissent, un réentraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante FONC1 et/ou du modèle d'apprentissage machine de la seconde fonction apprenante FONC2 peut être effectué. Par exemple, une donnée est calculée qui est significative du nombre de différences entre les défauts identifiés par

le procédé de l'invention et les défauts identifiés par les opérateurs sur des mêmes images. Lorsque cette donnée indique une trop grande différence entre les identifications par le procédé et les identifications effectuées manuellement, alors un réentraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante FONC1 et/ou du modèle d'apprentissage machine de la seconde fonction apprenante FONC2 est effectué. Par exemple, la donnée calculée est comparée à un seuil de performance caractéristique. Selon un exemple, la donnée calculée est un pourcentage d'identifications justes réalisées par le procédé. Selon un exemple, le seuil de performance caractéristique est de 60%. Selon cet exemple, le procédé identifie justement moins de 60% d'un défaut donné, par rapport aux identifications réalisées manuellement par l'utilisateur, alors le modèle est réentraîné.

[0119] Selon un mode de réalisation, la modification du premier label LAB1 par un opérateur comprend une analyse du nombre de symboles du label LAB1 ayant changé, une analyse de la position du symbole dans le label ayant changé et le type d'au moins un symbole qui a été modifié, ladite analyse permettant de générer une action de réentraînement d'au moins un modèle d'une seconde fonction apprenante. Selon un exemple, le premier label LAB1 comprend une suite de symboles. Les premiers symboles de la suite de symboles définissent un code caractéristique de la première classe de défaut DEF1 associée audit premier label LAB1. Les symboles suivants définissent un code caractéristique de la deuxième classe de spécification SPE2 associée audit premier label LAB1. L'analyse de quels symboles ont changé dans la suite de symboles permet de définir par exemple que l'action de correction concerne la deuxième fonction apprenante FONC2 relative audit premier label LAB1 si ce sont les symboles de fin du premier label LAB1 qui ont été changés par l'utilisateur. De la même manière, si ce sont les symboles de début du premier label LAB1 qui ont été changés, l'action de correction concerne la première fonction apprenante FONC1.

[0120] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation présentés et d'autres modes de réalisation apparaîtront clairement à l'homme du métier.

### **Nomenclature :**

- [0121] 20 : appareil d'exploration de canalisation
- [0122] 22 : capteur optique
- [0123] 30 : interface utilisateur
- [0124] 40 : système de caractérisation d'une singularité de surface d'une canalisation
- [0125] GEN1 : étape de génération
- [0126] COMP : étape de comparaison de la valeur de la probabilité
- [0127] SEL1 : étape de sélection de premières classes de singularité
- [0128] SEL2 : étape de sélection de deuxièmes classes de spécification
- [0129] SEL3 : étape de sélection d'une sous-classe spécifique

- [0130] SEL4 : étape de sélection d'une règle
- [0131] RED : étape de redimensionnement de l'image brute
- [0132] TRAIT : étape de traitement de normalisation de l'intensité
- [0133] PROB1 : probabilité de présence de première classe de singularité
- [0134] LAB : label
- [0135] DON1 : donnée associée à la première image
- [0136] FONC1 : première fonction apprenante
- [0137] FONC2 : deuxième fonction apprenante
- [0138] DEF1 : première classe de défaut
- [0139] SPE2 : deuxième classe de spécification
- [0140] SPE3 : sous-classe spécifique d'une deuxième classe de spécification
- [0141] CLASS : classification de spécification
- [0142] REG1 : base de règles
- [0143] IM1 : première image de l'intérieur d'une canalisation
- [0144] IMRED : image redimensionnée
- [0145] IMBR : image brute

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé mis en œuvre par ordinateur de caractérisation d'un défaut de canalisation caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :
- Génération (GEN1) d'une pluralité de probabilités de présence (PROB1) d'une pluralité de premières classes de défaut (DEF1) sur une première image (IM1) de l'intérieur d'une canalisation à partir d'une première fonction apprenante de labellisation entraînée (FONC1), ladite première fonction apprenante (FONC1) mettant en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné à partir d'un ensemble d'images comportant chacune une pluralité de premiers labels caractérisant au moins un défaut ;
  - Comparaison (COMP) pour chaque première classe de défaut (DEF1) de la valeur de la probabilité avec un seuil caractéristique de chaque première classe de défaut (DEF1) ;
  - Sélection (SEL1) de chaque première classe de défaut (DEF1) pour laquelle la probabilité estimée est supérieure à la valeur seuil associée à ladite classe ;
  - Sélection (SEL2) pour au moins une première classe de défaut (DEF1) sélectionnée, d'au moins une deuxième classe de spécification (SPE2) parmi une pluralité de deuxièmes classes de spécification (SPE2), sur la première image (IM1), à partir d'une deuxième fonction apprenante de spécification (FONC2) ; et
  - Génération (GEN2) d'au moins un premier label (LAB1) caractéristique de chaque première classe de défaut (DEF1) et de chaque deuxième classe de spécification (SPE2) sélectionnée.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'une pluralité de premier label (LAB1) est générée, chaque premier label (LAB1) étant de préférence affiché sur un afficheur avec sa probabilité de présence (PROB1).
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la deuxième fonction apprenante de spécification (FONC2) est entraînée, ladite deuxième fonction apprenante de spécification (FONC2) mettant en œuvre un modèle d'apprentissage machine entraîné

à partir de l'ensemble d'images comportant chacune une pluralité de deuxièmes labels caractérisant au moins une classe de spécification (SPE2).

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2 dans lequel la deuxième fonction apprenante de spécification (FONC2) sélectionne la deuxième classe de spécification (SPE2) en fonction d'une règle prédéfinie permettant d'associer ladite deuxième classe de spécification à la première classe de défauts.

[Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes qui comprend en outre une étape de sélection (SEL3) d'une sous-classe spécifique (SPE3) d'une deuxième classe de spécification (SPE2), ladite étape de sélection (SEL3) d'une sous-classe spécifique (SPE3) comportant les étapes de :

- Sélection (SEL4) d'au moins une règle au sein d'une base de règles (REG1) en fonction de la valeur du premier label (LAB1), chaque règle définissant une association entre une valeur caractéristique (Vc) de ladite première image (IM1) et un deuxième label (LAB2) prédéfini d'une sous-classe spécifique (SPE3) ; et
- Génération d'une donnée comportant la valeur du premier label (LAB1) et la valeur du second label (LAB2).

[Revendication 6] Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que la valeur caractéristique (Vc) de la première image (IM1) est son premier label (LAB1).

[Revendication 7] Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce que la valeur caractéristique (Vc) de la première image (IM1) est générée à partir d'un algorithme de traitement d'image appliquée à la première image (IM1).

[Revendication 8] Procédé selon la revendication 5 caractérisé en ce qu'il comprend une étape de réception d'une donnée (DON1) associée à la première image (IM1), ladite donnée étant acquise au moyen d'un interface utilisateur (30), ladite donnée étant enregistrée dans une mémoire de manière à être associée à la valeur caractéristique (Vc) de la première image (IM1), ladite donnée (DON1) étant comparée à une pluralité de valeurs d'attributs associée à chaque premier label (LAB1), ladite comparaison aboutissant à l'exclusion d'au moins un premier label (LAB1) de la liste de premiers labels générés (LAB1) lorsque la valeur d'un attribut dudit

- premier label exclu est supérieure ou inférieure à un seuil donné.
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication précédente dans lequel la donnée (DON1) associée à la première image (IM1) est modélisée en au moins un symbole discret dans une langue naturelle et normalisée au sein d'un troisième label (LAB3) adjoint au premier label (LAB1) et/ou au deuxième label (LAB2) comportant une pluralité de symboles discrets dans une langue naturelle, ladite modélisation et ladite normalisation permettant un réapprentissage de la première fonction apprenante de labellisation entraînée (FONC1) et/ou de la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée (FONC2).
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce qu'une pluralité de premiers labels (LAB1) est générée, chaque premier label (LAB1) étant affiché sur une interface graphique d'un afficheur, l'interface graphique comportant un composant de validation de la présence de chaque premier label (LAB1) affiché par un opérateur et un composant de saisie d'un nouveau premier label (LAB1) permettant de corriger la valeur d'un premier label affiché, une donnée significative du nombre de différences entre les défauts identifiés par le procédé de l'invention et les défauts identifiés par les opérateurs sur des mêmes images étant calculée.
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication précédente dans lequel le dépassement, par la donnée significative du nombre de différences entre les défauts identifiés par le procédé de l'invention et les défauts identifiés par les opérateurs, d'un seuil de performance caractéristique, entraîne le réentraînement du modèle d'apprentissage machine de la première fonction apprenante et/ou du modèle d'apprentissage machine de la seconde fonction apprenante.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une des revendications 10 et 11 caractérisé en ce que la modification du premier label (LAB1) par un opérateur comprend une analyse du nombre de symboles du label (LAB1) ayant changé, une analyse de la position du symbole dans le label (LAB1) ayant changé et le type du au moins un symbole qui a été modifié, ladite analyse permettant de générer une action de réentraînement d'au moins un modèle d'une seconde fonction apprenante.
- [Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes qui comprend, avant l'étape de génération (GEN1), les étapes de :
- Réception (REC) d'au moins une image brute (IMBR) de

l'intérieur d'une canalisation ;

- Redimensionnement (RED) de l'image pour obtenir une image redimensionnée (IMRED) ;
- Traitement (TRAIT) de normalisation de la teinte, de la saturation et/ou de la luminosité de l'image redimensionnée (IMRED) pour obtenir la première image (IM1).

- [Revendication 14] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel la première fonction apprenante de labellisation entraînée (FONC1) et/ou la deuxième fonction apprenante de classification entraînée (FONC2) est entraînée à partir d'un réseau de neurones convolutif entraîné comprenant une pluralité de couches, dont au moins une des couches est ré-entraînée à partir de l'ensemble d'images comportant chacune une pluralité de premiers labels (LAB1) caractérisant au moins un défaut.
- [Revendication 15] Procédé selon la revendication précédente dans lequel le réseau de neurones convolutif pré-existant utilisé pour l'entraînement de la première fonction apprenante de labellisation entraînée (FONC1) et/ ou pour la deuxième fonction apprenante de spécification entraînée (FONC2) est un réseau de type MobileNet, ResNet, EfficientNet, TTransformeur ou DenseNet.
- [Revendication 16] Procédé selon l'une des revendications précédentes dans lequel l'ensemble d'images comportant la pluralité de premiers labels (LAB1) est augmenté par ajout d'un deuxième ensemble d'images issues de la transformation géométrique et/ou photométrique d'au moins une partie de l'ensemble d'images comportant la pluralité de premiers labels (LAB1).
- [Revendication 17] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel une fonction de perte quantifiant un écart entre des prévisions de la première fonction apprenante et les premiers labels est une fonction de l'un des types suivants :
- Entropie croisée binaire,
  - Entropie croisée pondérée,
  - soft F1-score ou dice loss,
  - macro soft F1-score, ou
  - double macro soft F1-score.

- [Revendication 18] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes qui comprend en outre une étape d'affichage sur une interface utilisateur (30) de chaque premier label (LAB1).
- [Revendication 19] Système de caractérisation d'un défaut de canalisation (40) caractérisé en ce qu'il comporte :
- Un dispositif d'exploration (20) de canalisation comportant au moins un capteur optique (22) ;
  - Une interface utilisateur (30) configurée pour afficher en temps réel un flux de données issu du capteur optique (22) du dispositif d'exploration (20) de canalisation,
  - Le système (10) étant configuré pour mettre en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

[Fig. 1]

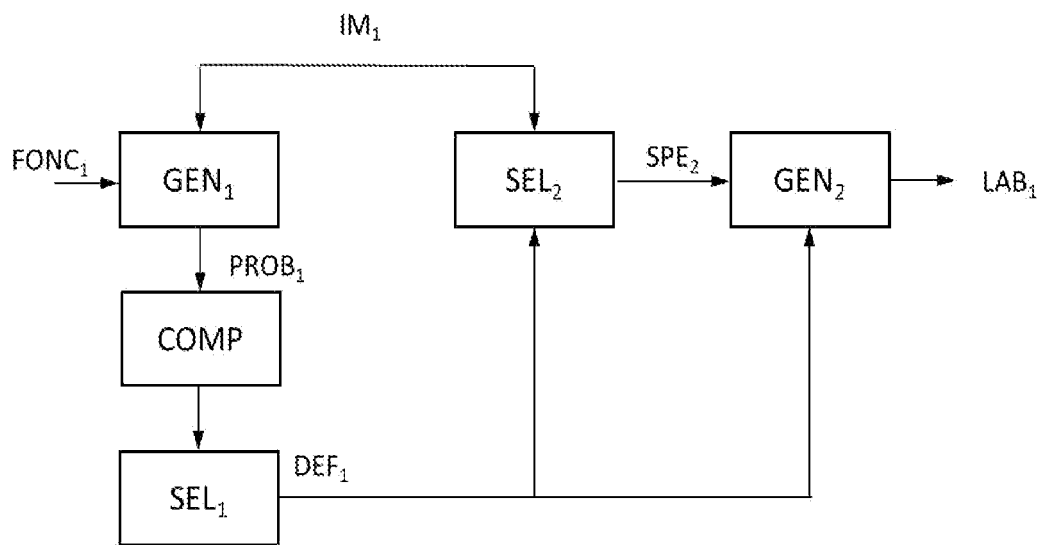


Fig. 1

[Fig. 2]

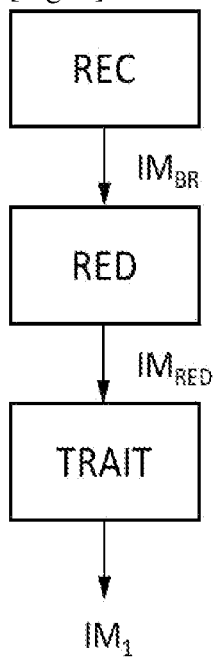


Fig. 2

[Fig. 3]

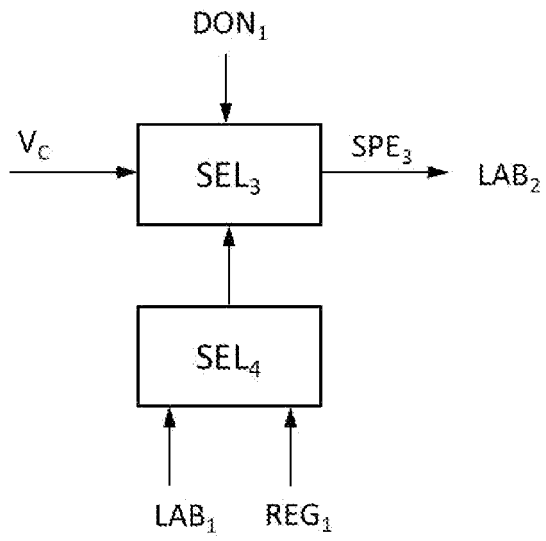


Fig. 3

[Fig. 4]

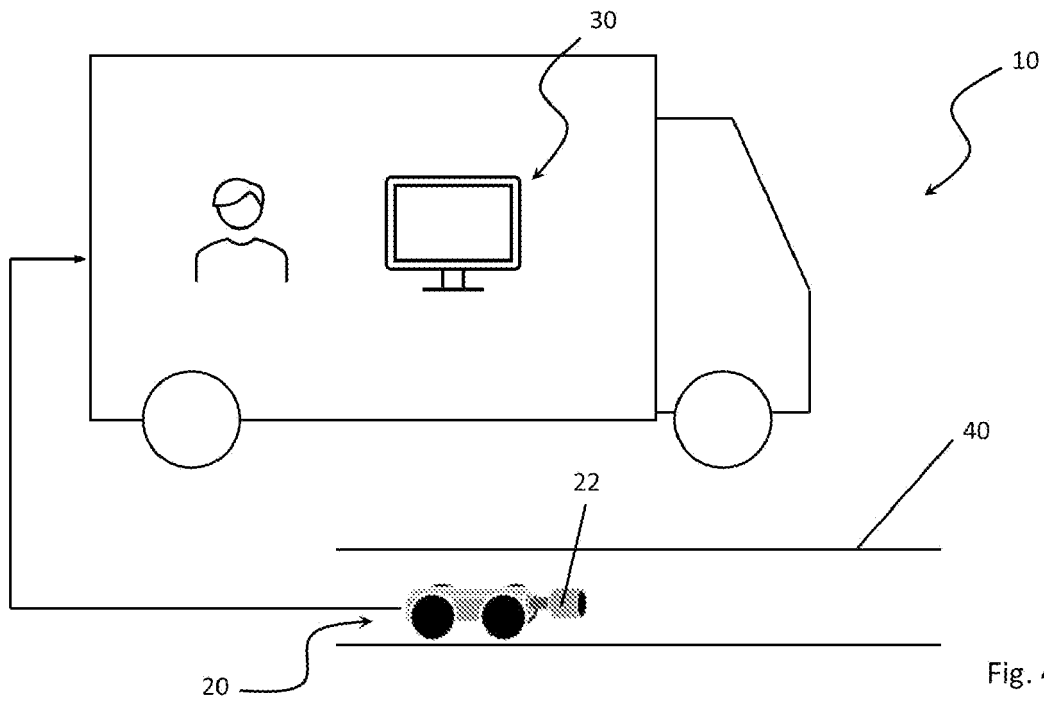


Fig. 4

# RAPPORT DE RECHERCHE

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

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

WO 2022/160040 A1 (MUSASHI AUTO PARTS  
CANADA INC [CA]) 4 août 2022 (2022-08-04)

CN 111 222 551 A (CHENGDU YUNSHANG IOT  
ENVIRONMENT TECH CO LTD)  
2 juin 2020 (2020-06-02)

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

NEANT