

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 44419 A1** (51) Cl. internationale : **G06K 9/46; G06T 7/00**
- (43) Date de publication : **30.06.2020**

- 
- (21) N° Dépôt : **44419**
- (22) Date de Dépôt : **27.12.2018**
- (71) Demandeur(s) : **ATLAN Space, 9, Imm. 1180, Ouled Zaer, Ain El Aouda, Ain El Aouda (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **MOUMEN YOUNES ; ILHAM ZERROUK**
- (74) Mandataire : **IDRISSI BADR**

- 
- (54) Titre : **Méthode de détection de cibles en temps réel depuis des photos aériennes par système limité**
- (57) Abrégé : Les solutions actuelles de détection de cibles depuis des photos aériennes se basent sur des processeurs puissants déployés dans des serveurs ou stations au sol. Très peu de solutions utilisent des processeurs embarqués et ces solutions ou bien utilisent des algorithmes «hand made» non basés sur l'apprentissage machine, ou bien utilisent des photos de faible résolution. Nous publions une méthode de détection de cibles par inférences de réseaux de neurones, exécutée par un processeur embarqué sur un appareil aérien utilisant un capteur de photos à très haute résolution tout en respectant des contraintes de temps réel souple.

## Abrégé

Les solutions actuelles de détection de cibles depuis des photos aériennes se basent sur des processeurs puissants déployés dans des serveurs ou stations au sol. Très peu de solutions utilisent des processeurs embarqués et ces solutions ou bien utilisent des algorithmes « hand made » non basés sur l'apprentissage machine, ou bien utilisent des photos de faible résolution. Nous publions une méthode de détection de cibles par inférences de réseaux de neurones, exécutée par un processeur embarqué sur un appareil aérien utilisant un capteur de photos à très haute résolution tout en respectant des contraintes de temps réel souple.

## Méthode de détection de cibles en temps réel depuis des photos aériennes par système embarqué limité

### Description

- [1] La présente invention est relative au domaine général de l'analyse d'images par systèmes informatiques et plus spécifiquement par méthodes de vision par ordinateur utilisant l'apprentissage machine. Elle appartient au domaine particulier des opérations des appareils aériens avec système embarqué de traitement des données.
- [2] Les appareils aériens sont souvent utilisés pour détecter des cibles terrestres à cause de leur capacité de couvrir rapidement de larges zones géographiques et leur position élevée donnant des vues dégagées même sur des terrains difficiles. Les appareils aériens classiques pilotés par l'humain ont été progressivement remplacés par des satellites puis par des avions sans pilotes. Ces derniers se basent principalement sur des caméras embarquées stabilisées avec transmission vidéo vers une station au sol pour détecter efficacement des cibles par un opérateur humain.
- [3] Des méthodes de détection automatiques ont été développées principalement pour les satellites pour traitement embarqué à la réception des données au sol. Ces méthodes commencent à être utilisées pour les avions sans pilote, principalement appliquées aux flux de données reçues à la station au sol, ou plus récemment en embarqué dans les avions sans pilote eux-mêmes.
- [4] CHANGCHUN INST OPTICS FINE MECH & PHYSICS CAS proposent dans le brevet d'invention CN108109163 une méthode élaborée par l'humain (hand made) non basée sur l'apprentissage machine pour détecter de multiples cibles en temps réel depuis une vidéo. Les méthodes hand made souffrent de la contrainte d'efficacité limitée aux conditions pour lesquelles la méthode a été conçue. Une chute d'efficacité est enregistrée dès que ces conditions changent.
- [5] En effet, des méthodes basées sur l'apprentissage par réseaux de neurones améliorent considérablement les résultats de détection de cibles sur une photo ainsi que la position exacte ou approximative de la cible dans la photo. Les brevets d'invention US10013773 et US2018157938 de Waymo LLC, et de SAMSUNG ELECTRONICS CO. LTD./Suwon-si expliquent de tels procédés ainsi que la publication « YOLO9000: Better, Faster, Stronger » par Joseph Redmon, Ali Farhadi, CVPR 2017. Ces méthodes généralement se basent sur deux phases majeures : la phase d'apprentissage qui façonnent les poids du réseau de neurones en utilisant des données historiques, et la phase d'inférence qui permet de prédire et de détecter les cibles.
- [6] GEOSTAT Aerospace & Technology ont déposé le brevet d'invention US2018157911 qui décrit justement une méthode utilisant des appareils aériens pour récupérer une représentation numérique de surface de la terre et extraire des cibles en se basant sur des méthodes classiques de différentiel mais également sur l'apprentissage machine par classification d'images prétraitées. Toutefois, leur méthode implique implicitement un traitement de données en différé après la fin de mission.
- [7] NANJING CEEWA INTELLIGENT TECH CO LTD publient dans leur brevet d'invention CN107909600 une méthode utilisant une combinaison entre un traitement au sol par inférence depuis apprentissage machine utilisant le réseau de neurones YOLOv2 avec un traitement embarqué utilisant une méthode ORB basée sur la détection de caractéristiques et qui est beaucoup plus rapide pour respecter les contraintes de temps réel. Cette méthode peut être utilisée pour identifier une cible au sol puis utiliser ORB pour la suivre pour l'usage de l'atterrissage sur un point précis par exemple.
- [8] Aucune de ces méthodes ne propose une solution viable pour exécuter une analyse d'images performante basée sur l'apprentissage machine et en particulier sur l'inférence par réseaux de neurones tout en étant embarquée et respectant les contraintes du temps réel. En effet, il est possible d'embarquer des processeurs suffisamment puissants pour effectuer les traitements requis en temps

réel. Mais de tels processeurs nécessitent un volume, poids et consommation d'énergie importants qui limitent drastiquement les avions pouvant embarquer de tels processeurs.

- [9] Nous proposons ainsi une méthode qui permet de réaliser la détection de cibles (104) par utilisation d'apprentissage machine, en particulier la partie inférence par réseaux de neurones. Ces traitements embarqués sont adaptés aux contraintes de temps réel souple nécessaires à ce type d'analyse et peuvent utiliser des processeurs avec des capacités de calcul et de stockage limitées.
- [10] La méthode proposée se base sur 4 phases. La première phase (1) consiste à prétraiter l'image (100) et la découper pour obtenir plusieurs images (101) de moindre taille, gérables par la capacité limitée de mémoire et de traitement du processeur embarqué. La deuxième phase (2) consiste à exécuter l'inférence sur les images découpées par un réseau de neurones profond convolutionnel de classification rapide d'images tel que ResNet. Suite à cette classification, seules les images (102) appartenant à des classes spécifiques passent à la troisième phase, les autres (103) étant ignorées. La troisième phase (3) consiste à exécuter l'inférence sur les images restantes par un réseau de neurones convolutionnel de détection par régions tel que SSD. La quatrième phase (4) utilise la ou les régions (cadrages) éventuellement générées autour des cibles (104) par la phase précédente afin de procéder à l'identification des cibles (104) par des procédés présents dans l'état de la technique.
- [11] Durant la première phase (1), le processeur embarqué récupère des données (11) relatives à l'attitude, l'altitude et la vitesse de l'appareil (110). Ces données sont généralement retrouvées depuis l'autopilote (ou contrôleur de vol). Le processeur embarqué récupère ensuite les données (12) relatives au capteur d'images (111) (ou caméra) : sa résolution, son angle de vue, et son orientation si un système d'orientation est utilisé. Ces données sont combinées avec les données d'élévation (112) enregistrées dans le mémoire du processeur pour calculer (13) éventuellement les coordonnées géodésiques des pixels (113) ainsi que leur distance par rapport au capteur. Le processeur détermine (14) ensuite la taille de découpage des images (101) ainsi que leur redimensionnement et rotation optimales maximisant les performances des inférences dans les étapes suivantes, puis procède (15) au découpage, au redimensionnement et à la rotation des images (101). Le découpage prend en considération la taille physique des cibles (104) à détecter (en mètres) alors que le redimensionnement réajuste la taille numérique des images (101) (en pixels) pour s'adapter la mémoire limitée disponible dans le processeur. Ce dernier insère (16) ensuite des métadonnées d'identification de chaque image et l'injecte dans la deuxième phase.
- [12] Durant la deuxième phase (2), le processeur embarqué récupère (21) les images (101) découpées et prétraitées issues de la phase (1) et exécute une inférence (22) par réseau de neurones convolutionnel de classification d'images. Cette inférence de classification est beaucoup plus rapide que l'inférence de la phase (3). Son objectif est d'éviter des traitements lourds durant la phase (3) pour des zones inutiles. Selon le résultat de la classification, seules quelques classes d'images (102) sont sélectionnées (23) et passées à l'étape suivante alors que le reste des images (103) sont ignorés. Eventuellement, si l'option d'apprentissage est activée, le processeur enregistre (24) l'ensemble des images (sélectionnées et ignorées) ainsi que leur classe dans une structure de données permettant l'apprentissage ultérieur du réseau de neurones en utilisant cette structure de données lorsque l'avion sans pilote termine sa mission (pas en temps réel).
- [13] Durant la troisième phase (3), le processeur embarqué récupère (31) les images sélectionnées (102) lors de la phase (2) et exécute une inférence (32) par réseau de neurones convolutionnel de détection par région. Ces réseaux nécessitent généralement beaucoup plus de temps de traitement que les réseaux de classification. Son objectif est d'encadrer (105) les cibles présentes dans l'image afin de les identifier ou les compter. Le temps de traitement de la phase (3) dépend principalement de l'issue de la phase (2), et plus particulièrement du nombre d'images traitées. Toutefois, le processeur dispose d'un temps moyen limité pour traiter l'ensemble des images issues de la phase (2). Des mécanismes de limitation de temps de traitement moyens sont alors enclenchés (33) selon le type et les besoins de la mission. Parmi ces mécanismes nous pouvons citer : ignorer les images une fois la

limite de temps est atteinte, reclasser les images par ordre d'importance puis ignorer les images une fois la limite de temps est atteinte, reclasser les images par ordre d'importance puis déplacer les images restantes une fois la limite de temps est atteinte vers une pile secondaire qui sera traitée lorsque le budget de temps sera suffisant dans d'autres itérations, changer les paramètres des réseaux de neurones pour augmenter la vitesse de traitement aux dépens de l'efficacité de détection, etc. Selon le résultat de la détection, les données de cadrage des cibles sont combinées avec les métadonnées d'identification des images afin de calculer des informations d'identification des cibles encadrées (4). Eventuellement, si l'option d'apprentissage est activée, le processeur enregistre (34) l'ensemble des images (101) ainsi que leur cadrage (105) des régions détectées dans une structure de données permettant l'apprentissage ultérieur du réseau de neurones en utilisant cette structure de données lorsque l'avion sans pilote termine sa mission (pas en temps réel).

La figure 1 montre une vue synoptique d'un avion équipé d'un capteur pour la détection de cibles.

La figure 2 montre une image capturée avec les différents éléments qui la composent durant le traitement.

La figure 3 montre le flux des étapes du traitement.

## Revendications

1. Un procédé de détection de cibles depuis de photos aériennes caractérisé par l'exécution d'inférence par réseaux de neurones convolutionnels en temps réel souple par un processeur embarqué avec des capacités de traitement et de mémoire limitées.
2. Un procédé de détection selon la revendication 1 caractérisé par 4 phases : La première phase (1) consiste à prétraiter l'image (100) et la découper pour obtenir plusieurs images (101). La deuxième phase (2) consiste à exécuter l'inférence sur les images découpées par un réseau de neurones profond convolutionnel de classification rapide d'images. La troisième phase (3) consiste à exécuter l'inférence sur les images restantes par un réseau de neurones convolutionnel de détection par régions. La quatrième phase (4) utilise la ou les régions (105) (cadrages) éventuellement générées autour des cibles (104) par la phase précédente afin de procéder à l'identification des cibles (104) par des procédés présents dans l'état de la technique.
3. Un procédé de détection selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que durant la première phase (1), le processeur embarqué récupère des données (11) relatives à l'attitude, l'altitude et la vitesse de l'appareil (110). Le processeur embarqué récupère ensuite les données (12) relatives au capteur d'images (111). Ces données sont combinées avec les données d'élévation (112) enregistrées dans le mémoire du processeur pour calculer (13) éventuellement les coordonnées géodésiques des pixels (113) ainsi que leur distance par rapport au capteur. Le processeur détermine (14) ensuite la taille de découpage des images (101) ainsi que leur redimensionnement et rotation optimales maximisant les performances des inférences dans les étapes suivantes, puis procède (15) au découpage, au redimensionnement et à la rotation des images (101). Ce dernier insère (16) ensuite des métadonnées d'identification de chaque image et l'injecte dans la deuxième phase.
4. Un procédé de détection selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que durant la deuxième phase (2), le processeur embarqué récupère (21) les images (101) découpées et prétraitées issues de la phase (1) et exécute une inférence (22) par réseau de neurones convolutionnel de classification d'images. Selon le résultat de la classification, seules quelques classes d'images (102) sont sélectionnées (23) et passées à l'étape suivante alors que le reste des images (103) sont ignorés.
5. Un procédé de détection selon les revendications 1, 2 et 4 caractérisé par une option d'apprentissage qui, lorsqu'elle est activée, le processeur enregistre (24) à la fin de la phase (2) l'ensemble des images ainsi que leur classe dans une structure de données permettant l'apprentissage ultérieur du réseau de neurones en utilisant cette structure de données lorsque l'avion sans pilote termine sa mission.
6. Un procédé de détection selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que Durant la troisième phase (3), le processeur embarqué récupère (31) les images sélectionnées (102) lors de la phase (2) et exécute une inférence (32) par réseau de neurones convolutionnel de détection par région. Des mécanismes de limitation de temps de traitement moyens sont alors enclenchés (33) selon le type et les besoins de la mission.
7. Un procédé de détection selon les revendications 1, 2 et 6 caractérisé par une option d'apprentissage qui, lorsqu'elle est activée, le processeur enregistre (34) à la fin de la phase (3) l'ensemble des images (101) ainsi que leur cadrage (105) des régions détectées dans une structure de données permettant l'apprentissage ultérieur du réseau de neurones en utilisant cette structure de données lorsque l'avion sans pilote termine sa mission.

Dessins

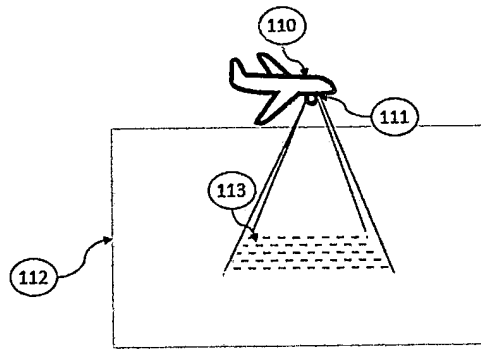


Figure 1

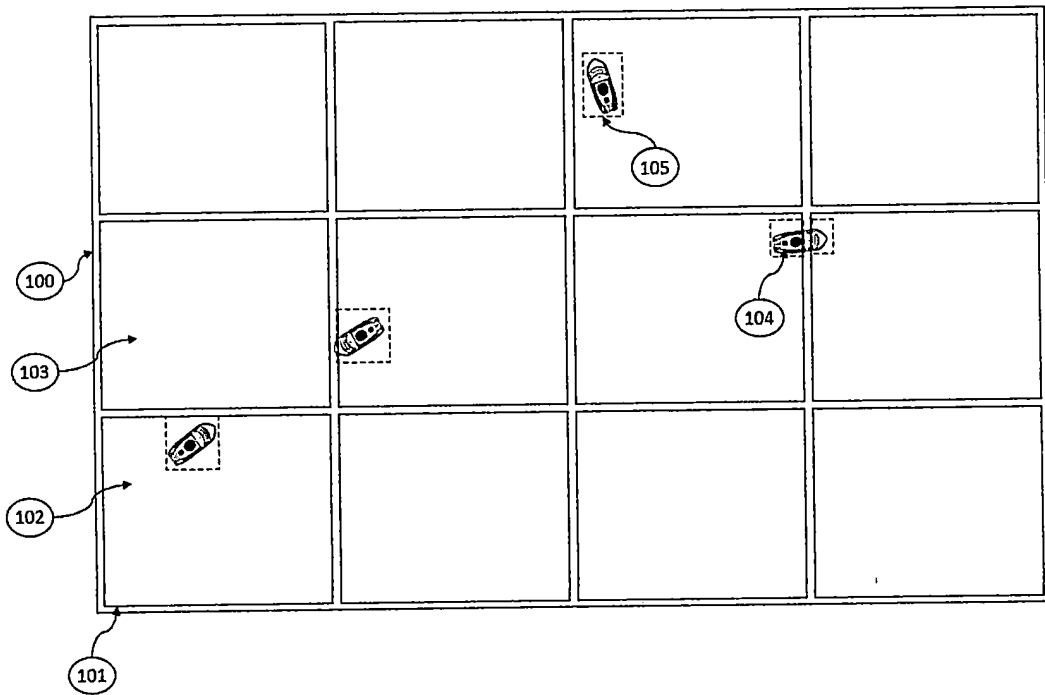


Figure 2

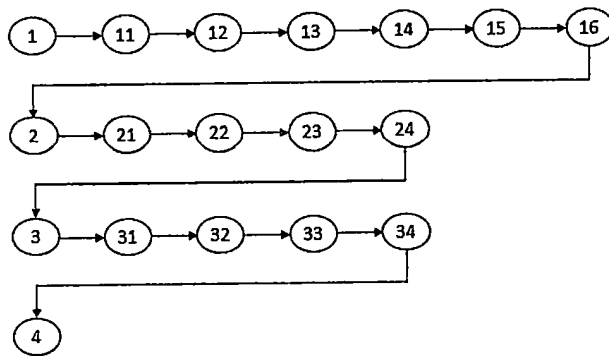
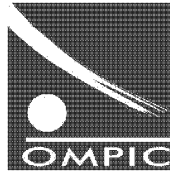


Figure 3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée  
par la loi 23-13)

Renseignements relatifs à la demande	
N° de la demande : 44419	Date de dépôt : 27/12/2018
Déposant : ATLAN Space	
Intitulé de l'invention : Méthode de détection de cibles en temps réel depuis des photos aériennes par système limité	
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.	
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés	
Partie 2 : Rapport de recherche	
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Ilham Oubiyi	Date d'établissement du rapport : 15/02/2019
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00	





<b>Partie 1 : Considérations générales</b>		
<b>Cadre 1 : base du présent rapport</b>		
Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Description</u> 3 Pages</li> <li>• <u>Revendications</u> 7</li> <li>• <u>Planches de dessin</u> 1 Page</li> </ul>		
<b>Partie 2 : Rapport de recherche</b>		
Classement de l'objet de la demande :		
CIB : G06T7/00 ; G06K9/46		
CPC : G06T2207/20112 ; G06K9/0063 ; G06K9/3233 ; G06K9/6267		
Plateformes et bases de données électroniques de recherche :		
EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, ORBIT		
Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	Multi-Class Object Detection from Aerial Images Using Mask R-CNN ; David Schweitzer ; Rajeev Agrawal ; 10-13 Dec. 2018 ; <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8622536">https://ieeexplore.ieee.org/document/8622536</a>	1-7
X	SEARCH AREA REDUCTION FAST-RCNN FOR FAST VEHICLE DETECTION IN LARGE AERIAL IMAGERY ; Lars Sommer ; Nicole Schmidt ; Arne Schumann ; Jürgen Beyerer ; 7-10 Oct. 2018 <a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/8451189">https://ieeexplore.ieee.org/document/8451189</a>	1-7
A	CN106203396A ; UNIV NANJING INFORMATION SCIENCE & TECH ; 07-12-2016	1-7
<b>*Catégories spéciales de documents cités :</b>		
<p>-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>-« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs</p> <p>-« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté</p>		

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité****Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 3, 5, 7 Revendications 1-2, 4, 6	Oui Non
Activité inventive	Revendications aucune Revendications 1-7	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-7 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

**D1** : Multi-Class Object Detection from Aerial Images Using Mask R-CNN ;  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8622536>

**1. Nouveauté et Activité inventive**

Un procédé de détection de cibles depuis de photos aériennes comprenant les phases suivantes :

- Prétraiter l'image et la découper pour obtenir plusieurs images ;
- Exécuter l'inférence sur les images découpées par un réseau de neurones profond convolutionnel de classification ;
- Exécuter l'inférence sur les images restantes par un réseau de neurones convolutionnel de détection par régions ;
- Utiliser les cadrages éventuellement générées autour des cibles par la phase précédente afin de procéder à l'identification des cibles.

Par conséquent, l'objet des revendications 1-2 n'est pas nouveau et n'implique pas une activité inventive au sens des articles 26 et 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications 3-7 ne contiennent pas de caractéristiques supplémentaires qui satisfont aux exigences des articles 26 et 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 concernant la nouveauté et l'activité inventive en étant combinées aux caractéristiques de l'une quelconque des revendications auxquelles lesdites revendications dépendantes sont liées. En effet, les caractéristiques supplémentaires desdites revendications sont soit divulguées dans les documents de l'état de la technique susmentionnés soit des pratiques courantes de l'homme du métier.

**2. Application industrielle**

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.