

(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 47342 B1** (51) Cl. internationale : **G06F 19/00; G01R 31/00**

(43) Date de publication :
29.07.2022

(21) N° Dépôt :
47342

(22) Date de Dépôt :
04.11.2019

(71) Demandeur(s) :
**Université internationale de Rabat, PARC TECNOPOLIS RABAT-SHORE CAMPUS
UNIVERSITAIRE UIR ROCADE RABAT-SALE 11100 (MA)**

(72) Inventeur(s) :
**El ouahabi Mohamed ; Ghogho Mounir ; Ahajjam Mohamed Aymane ; Kobbane
Abdellatif ; Bonilla Licea Daniel**

(74) Mandataire :
Bouya Mohsine

(54) Titre : **Système intelligent pour détection et notification instantanée des
perturbations de la qualité du signal électrique**

(57) Abrégé : La présente invention porte sur un système intelligent pour détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par : • Un système incorporant des connecteurs d'entrée pour câbles électriques, un adaptateur électromagnétique, une unité de traitement et un système de transmission sans fil. • Ledit adaptateur électromagnétique adapte sans altération la tension d'entrée à la tension d'entrée de ladite unité de traitement. • Ladite unité de traitement gère l'exécution et le stockage des résultats du pré-traitement du signal électrique et du modèle de classification. • Le prétraitement dudit signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal. • Ledit modèle de classification prend ladite image pour identifier l'existence des défauts en utilisant une architecture de deep learning se basant sur une classification multi-label. Ce système permet la détection de plusieurs défauts seules ou en combinaisons, d'une manière instantanée, intelligente et intuitive des signaux électriques. Ce produit est fondé sur une méthode d'intelligence artificielle, plus précisément de deep learning, se basant sur l'idée qu'une inspection visuelle par l'humain du domaine temporel et fréquentiel du signal permet l'identification du (des) défaut(s).

Intitulé

Système intelligent pour détection et notification instantanée des perturbations de la qualité du signal électrique.

Abrégé

La présente invention porte sur un système intelligent pour détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par :

- Un système incorporant des connecteurs d'entrée pour câbles électriques, un adaptateur électromagnétique, une unité de traitement et un système de transmission sans fil.
- Ledit adaptateur électromagnétique adapte sans altération la tension d'entrée à la tension d'entrée de ladite unité de traitement.
- Ladite unité de traitement gère l'exécution et le stockage des résultats du pré-traitement du signal électrique et du modèle de classification.
- Le prétraitement dudit signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal.
- Ledit modèle de classification prend ladite image pour identifier l'existence des défauts en utilisant une architecture de deep learning se basant sur une classification multi-label.

Ce système permet la détection de plusieurs défauts seules ou en combinaisons, d'une manière instantanée, intelligente et intuitive des signaux électriques. Ce produit est fondé sur une méthode d'intelligence artificielle, plus précisément de deep learning, se basant sur l'idée qu'une inspection visuelle par l'humain du domaine temporel et fréquentiel du signal permet l'identification du (des) défaut(s).

Description

L'étude de la qualité du signal se rapporte à l'étude des occurrences électromagnétiques déviant les signaux électriques. Ainsi, la détection de ces défauts est essentielle pour améliorer la qualité du signal. Plusieurs efforts ont été faites pour l'analyse et la classification de ces défauts. En fait, le processus d'identification des défauts de la qualité de la puissance s'effectue par deux étapes principales. La première étape est l'extraction des caractéristiques des défauts par le biais d'une technique de traitement du signal (e.g., Transformée de Fourier[1], [2], transformée d'ondelette[3]–[5], WVD[6], S-transformée[7], etc.). La deuxième étape est la classification de ces défauts par une méthode spécifique (e.g., Support Vector Machine (SVM)[8], Artificial Neural Network (ANN)[7][9], Arbres de décisions[10], etc.).

La classification se basant sur des modèles de deep learning devient très courante dans plusieurs domaines et applications[11], [12]. Les auteurs dans [6] ont entraîné un modèle de Convolution Neural Network (CNN) pour classer six défauts seuls et trois de leurs combinaisons avec des images de taille 200x200 pixels générées par l'algorithme Wigner-Ville distribution appliqué sur chaque signal de défaut.

L'approche deep learning, contrairement aux approches standards, ne nécessite pas une extraction manuelle des caractéristiques de chaque défaut, ce qui minimise l'interaction de l'humain à extraire et choisir les meilleures caractéristiques des défauts en permettant au modèle de créer ses propres caractéristiques.

La présente invention vise donc à :

- Couvrir un plus grand nombre de défauts.
- Développer une nouvelle représentation du signal en image, tout en maintenant l'automatisation de l'extraction de ses caractéristiques.
- Minimiser la taille de l'image d'entrée et ainsi la complexité et le temps de calcul nécessaires pour les générer et les traiter.

Plus particulièrement, la présente invention porte sur un système intelligent pour détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par :

- Un système incorporant des connecteurs d'entrée pour câbles électriques, un adaptateur électromagnétique, une unité de traitement et un système de transmission sans fil.
- Ledit adaptateur électromagnétique adapte sans altération la tension d'entrée à la tension d'entrée de ladite unité de traitement.
- Ladite unité de traitement gère l'exécution et le stockage des résultats du pré-traitement du signal électrique et du modèle de classification.
- Le pré-traitement dudit signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal.
- Ledit modèle de classification prend ladite image pour identifier l'existence des défauts en utilisant une architecture de deep learning se basant sur une classification multi-label.

Un système intelligent pour détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par :

- Un système incorporant des connecteurs d'entrée pour câbles électriques, un adaptateur électromagnétique, une unité de traitement et un système de transmission sans fil.

- Ledit adaptateur électromagnétique adapte sans altération la tension d'entrée à la tension d'entrée de ladite unité de traitement.
- Ladite unité de traitement gère l'exécution et le stockage des résultats du pré-traitement du signal électrique et du modèle de classification.
- Le prétraitement dudit signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal.
- Ledit modèle de classification prend ladite image pour identifier l'existence des défauts en utilisant une architecture de deep learning se basant sur une classification multi-label.

Nous avons utilisé plusieurs types du modèle ResNet : ResNet-18, ResNet-34, ResNet-50, ResNet-101 pour une classification multi-label de la qualité du signal. La différence entre ces modèles est leur profondeur de 18 à 101 couches.

L'apprentissage est fait sur 500 images par classe (un total de 14500 images), en utilisant la méthode cross-validation de 5 groupes stratifiés qui réorganise ces images en 5 groupes d'une façon aléatoire afin de garantir une meilleure représentation de chaque classe dans chaque groupe. Lesdits modèles sont testés sur une dataset de 100 images par classe (un total de 2900 images) jamais vues durant l'apprentissage, pour quantifier leur performance et degré de généralisation.

Descriptions des figures

-Tel que représenté sur la **figure 1**, l'élément (1) est ledit système, l'élément (2) est lesdits connecteurs, l'élément (3) est ledit adaptateur électromagnétique, l'élément (4) est ladite unité de traitement qui peut prendre en entrée une carte mémoire (5), et l'élément (6) est ledit système de transmission sans fil.

-En référence à la **figure 2**, le processus de développement dudit modèle de classification se fait en trois phases : la génération de la dataset des signaux, le prétraitement des signaux, et l'apprentissage et la sélection du meilleur modèle performant. La génération des signaux se fait par le biais de plusieurs modèles mathématiques faisant parties d'un modèle publique développé sous MATLAB [13], et définissant plusieurs classes

- Classe 1 - Pure sinusoidal
- Classe 2 - Sag
- Classe 3 - Swell
- Classe 4 - Interruption
- Classe 5 - Transient/Impulse/Spike
- Classe 6 - Oscillatory transient
- Classe 7 - Harmonics
- Classe 8 - Harmonics with Sag
- Classe 9 - Harmonics with Swell
- Classe 10 - Flicker
- Classe 11 - Flicker with Sag
- Classe 12 - Flicker with Swell
- Classe 13 - Sag with Oscillatory transient
- Classe 14 - Swell with Oscillatory transient
- Classe 15 - Sag with Harmonics
- Classe 16 - Swell with Harmonics
- Classe 17 - Notch
- Classe 18 - Harmonics with Sag with Flicker
- Classe 19 - Harmonics with Swell with Flicker
- Classe 20 - Sag with Harmonics with Flicker
- Classe 21 - Swell with Harmonics with Flicker
- Classe 22 - Sag with Harmonics with Oscillatory transient
- Classe 23 - Swell with Harmonics with Oscillatory transient
- Classe 24 - Harmonics with Sag with Oscillatory transient

- Classe 25 - Harmonics with Swell with Oscillatory transient
- Classe 26 - Harmonics with Sag with Flicker with Oscillatory transient
- Classe 27 - Harmonics with Swell with Flicker with Oscillatory transient
- Classe 28 - Sag with Harmonics with Flicker with Oscillatory transient
- Classe 29 - Swell with Harmonics with Flicker with Oscillatory transient

-En référence à la **figure 3**, le prétraitement des signaux transforme chacun en une image de taille 128x128pixels (nommée image FTS) qui contient la superposition de sa représentation temporelle et sa représentation fréquentielle décrit en trois niveaux de gris distincts :

- Un niveau de gris pour les pixels de la représentation temporel uniquement,
- Un niveau de gris pour les pixels de représentation fréquentiel uniquement,
- Un niveau de gris pour les pixels d'intensité mutuelles appartenant aux deux représentations en même temps.

-En référence à la **figure 4**, la détection des défauts existants au signal se fait en injectant l'image issue du prétraitement à ledit modèle de classification appris.

Bibliography :

- [1] G. T. Heydt, P. S. Fjeld, C. C. Liu, D. Pierce, L. Tu, and G. Hensley, "Applications of the windowed FFT to electric power quality assessment," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 4, pp. 1411–1416, Oct. 1999.
- [2] Y. Gu and M. H. J. Bollen, "Time-frequency and time-scale domain analysis of voltage disturbances," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 15, no. 4, pp. 1279–1284, Oct. 2000.
- [3] F. Ucar, O. F. Alcin, B. Dandil, and F. Ata, "Power quality event detection using a fast extreme learning machine," *Energies*, vol. 11, no. 1, Jan. 2018.
- [4] F. Jandan, S. Khokhar, S. Abid, A. Shaha, and F. Abbasi, "Recognition and Classification of Power Quality Disturbances by DWT-MRA and SVM Classifier," 2019.
- [5] A. M. Gaouda, M. M. A. Salama, M. R. Sultan, and A. Y. Chikhani, "Power quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 14, no. 4, pp. 1469–1476, Oct. 1999.
- [6] K. Cai, W. Cao, L. Aarniovuori, H. Pang, Y. Lin, and G. Li, "Classification of Power Quality Disturbances Using Wigner-Ville Distribution and Deep Convolutional Neural Networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 119099–119109, Aug. 2019.
- [7] K. Daud, A. F. Abidin, A. P. Ismail, M. D. A. Hasan, M. A. Shafie, and A. Ismail, "Evaluating windowing-based continuous S-transform with neural network classifier for detecting and classifying power quality disturbances," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 1136–1142, Mar. 2019.
- [8] Z. Liu, Y. Cui, and W. Li, "A Classification Method for Complex Power Quality Disturbances Using EEMD and Rank Wavelet SVM," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 4, pp. 1678–1685, Jul. 2015.
- [9] R. Kumar, B. Singh, D. T. Shahani, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Recognition of Power-Quality



Disturbances Using S-Transform-Based ANN Classifier and Rule-Based Fuzzy Logic
Ind. Appl., vol. 51, no. 2, pp. 1249–1258, Mar. 2015.

- [10] M. Biswal and P. K. Dash, “Measurement and classification of simultaneous power signal patterns with an s-transform variant and fuzzy decision tree,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 9, no. 4, pp. 1819–1827, 2013.
- [11] S. M. Islam, H. Mahmood, A. A. Al-Jumaily, and S. Claxton, “Deep learning of facial depth maps for obstructive sleep apnea prediction,” in *Proceedings - International Conference on Machine Learning and Data Engineering, iCMLDE 2018*, 2019, pp. 154–157.
- [12] A. Sevik, P. Erdogmus, and E. Yalein, “Font and Turkish Letter Recognition in Images with Deep Learning,” in *International Congress on Big Data, Deep Learning and Fighting Cyber Terrorism, IBIGDELFT 2018 - Proceedings*, 2019, pp. 61–64.
- [13] R. Igual, C. Medrano, F. J. Arcega, and G. Mantescu, “Integral mathematical model of power quality disturbances,” in *Proceedings of International Conference on Harmonics and Quality of Power, ICHQP*, 2018, vol. 2018-May, pp. 1–6.

Revendications

1. Un système intelligent pour détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par :
 - Un système incorporant des connecteurs d'entrée pour câbles électriques, un adaptateur électromagnétique, une unité de traitement et un système de transmission sans fil.
 - Ledit adaptateur électromagnétique adapte sans altération la tension d'entrée à la tension d'entrée de ladite unité de traitement.
 - Ladite unité de traitement gère l'exécution et le stockage des résultats du pré-traitement du signal électrique et du modèle de classification.
 - Le prétraitement dudit signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal.
 - Ledit modèle de classification prend ladite image pour identifier l'existence des défauts en utilisant une architecture de deep learning se basant sur une classification multi-label.
2. Un système de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ladite image à trois niveaux de gris distinguant les pixels appartenant uniquement à la représentation temporelle, des pixels appartenant uniquement à la représentation fréquentielle, et des pixels à mutuelles intensités.
3. Un système de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit modèle de classification a appris à détecter, en plus de l'état sain, différents défauts de qualité du signal électrique.
4. Un système de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique selon la revendication 1 et 3, caractérisé en ce que ledit modèle de classification est capable de classifier des combinaisons de défauts.
5. Un système de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ladite unité de traitement stocke les instants de détection des défauts et leurs labels dans un fichier en mémoire interne et optionnellement dans ladite carte mémoire.
6. Un système de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique selon la revendication 1 caractérisé en ce que ledit système de transmission sans fil envoie des notifications et reçoit des requêtes.
7. Procédé de détection et notification instantanée des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par :
 - Adaptation sans altération de la tension d'entrée à la tension d'entrée de l'unité de traitement
 - Prétraitement du signal électrique consistant à convertir par superposition la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal en une image FTS.
 - Stockage de l'image instantanée obtenue
 - Identification de l'existence des défauts par le modèle de classification stocké.
 - Obtention de la classe du signal.

Dessins

Figure 1 : Décomposition des principaux composants de l'invention proposée

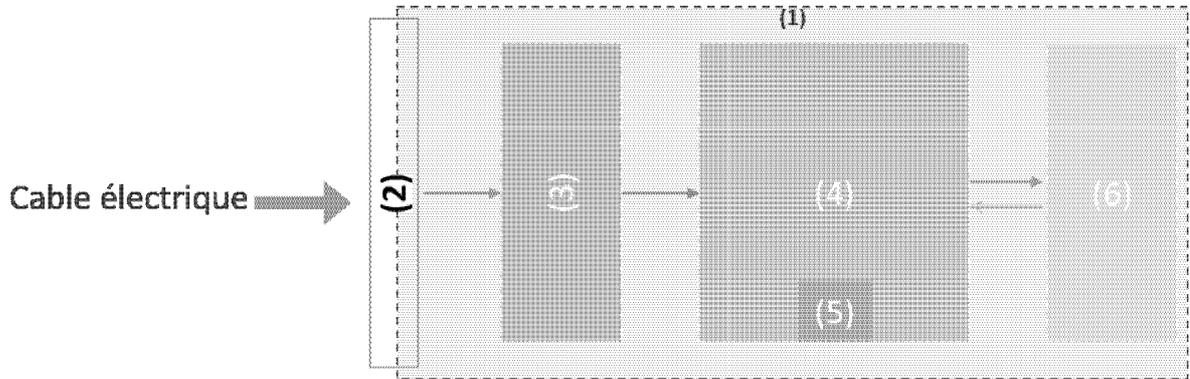


Figure 2 : Processus des phases principales pour développer le modèle de classification.

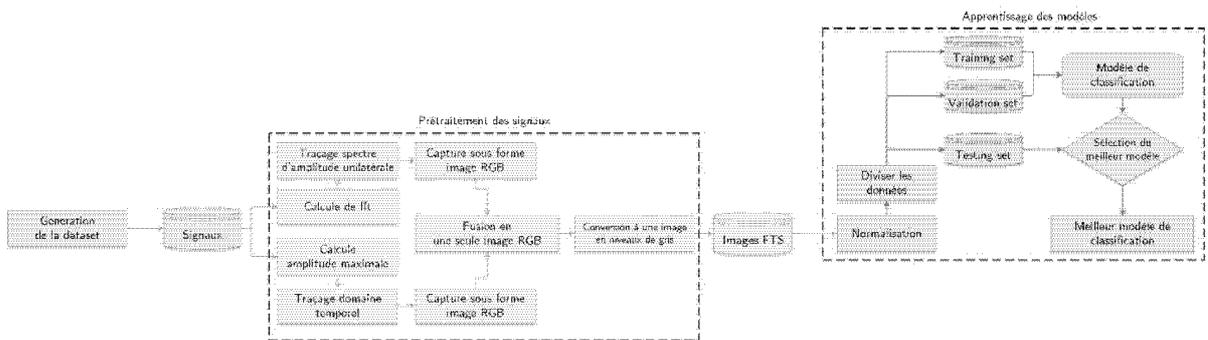


Figure 3 : Exemple d'image FTS issue du prétraitement d'un signal avec Swell et Harmonics et Oscillatory transient.

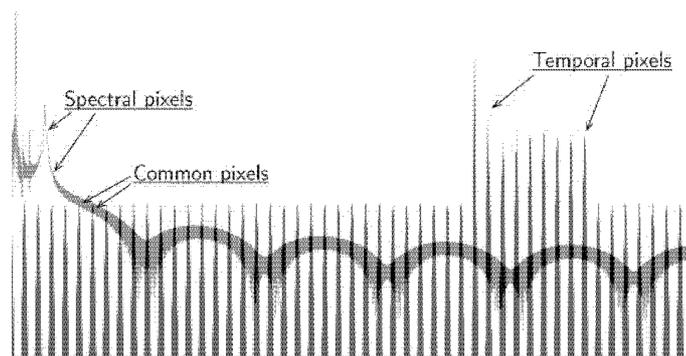
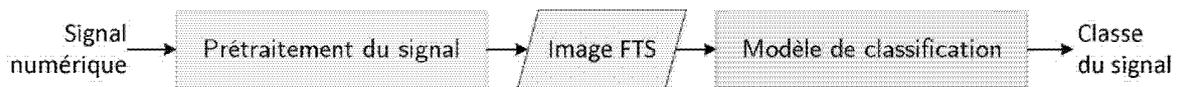


Figure 4 : Etapes pour la détection des défauts d'un signal numérique en utilisant le modèle de classification appris.



**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR
LA BREVETABILITE**

Établi conformément à l'article 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 : 47342	Date de dépôt : 04/11/2019
Déposant : Université internationale de Rabat	
Intitulé de l'invention : Système intelligent pour détection et notification instantanée des perturbations de la qualité du signal électrique	
Classement de l'objet de la demande : CIB : G06F19/00 ; G01R31/00 CPC : G06F19/00 ; G01R31/00	
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 Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <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 : 14/07/2022
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	

Partie 1 : Considérations générales**Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
 - Revendications
7
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
 - Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)
 - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité**Cadre 3 : Remarques de clarté**

1. Les caractéristiques énoncées dans les revendications de système 2-4, portent sur un mode d'utilisation dudit système, au lieu de le définir clairement en termes de caractéristiques techniques. De plus, l'énumération des fonctions réalisées par le système revendiqué ne permet pas à l'homme du métier de déterminer quelles caractéristiques techniques sont nécessaires à l'exécution de ces fonctions.
2. Certaines caractéristiques des revendications 5-6 ne se fondent pas sur la description. En effet, la description ne divulgue en aucun passage que « ...l'unité de traitement stocke les instants de détection des défauts et leurs labels dans un fichier en mémoire interne... » ou que « ...le système sans fil envoie des notifications et reçoit des requêtes ». Ainsi, ces caractéristiques ne seront pas prises en compte pour l'examen de la demande.

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

Nouveauté	Revendications 1-7 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-7 Revendications aucune	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-7 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants :

D1 : EP1153379A1
D2 : KR20180103632A

1. Nouveauté

Aucun des documents susmentionnés ne divulgue l'ensemble des caractéristiques des revendications 1-7, d'où l'objet desdites revendications est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Activité inventive

Le document D1 qui est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la présente demande, divulgue un système et un procédé de détection et notification des défauts de la qualité du signal électrique caractérisé par (D1 : Revendication 1) :

- Connecteurs d'entrée pour câbles électriques
- Unité de traitement
- Un système de transmission sans fil
- Un adaptateur électromagnétique (caractéristique implicite).

L'utilisation de l'adaptateur électromagnétique pour adapter la tension d'entrée à la tension d'entrée de l'unité de traitement est une caractéristique implicite car essentielle au fonctionnement du dispositif D1.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de l'état de la technique le plus proche D1 en ce que le système et son procédé comprend :

- Le prétraitement du signal électrique permet de le convertir en une image superposant la représentation temporelle et la représentation fréquentielle du signal.
- Un modèle de classification

L'effet technique lié à l'utilisation d'un modèle de classification est l'automatisation de la détection et la classification des différents défauts de qualité pouvant survenir sur une ligne électrique.

Le problème technique que la présente demande tente de résoudre peut être considéré comme suit : comment automatiser l'extraction des caractéristiques qui déterminent les défauts de la

qualité d'un signal électrique.

La solution à ce problème proposée dans la revendication indépendante de la présente demande est considérée comme impliquant une activité inventive. En effet, l'homme du métier ne serait pas parvenu d'une manière évidente à reproduire l'invention revendiquée en partant de D1. Aussi, aucun enseignement n'a été trouvé dans le reste de l'état de la technique disponible qui aurait incité la personne du métier, en partant du document D1, à atteindre le résultat recherché. Par conséquent, l'objet de la revendication 1 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications 2-6 dépendent de la revendication 1 dont l'objet est considéré inventif, comme indiqué auparavant, et elles satisfont donc également, en tant que telles, aux exigences de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 concernant l'activité inventive.

Le même raisonnement s'applique, en tenant compte des différences, à l'objet de la revendication indépendante du procédé 7 qui est donc également considéré comme inventif.

3. Application industrielle

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