

(12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 41737 B1** (51) Cl. internationale : **H02J 3/46**

(43) Date de publication :
31.12.2019

(21) N° Dépôt :
41737

(22) Date de Dépôt :
29.12.2017

(71) Demandeur(s) :
Université Mohammed V - Rabat, Avenue des Nations Unies, Agdal, bp 8007 NU, Rabat, 10000 (MA)

(72) Inventeur(s) :
Maaroufi Mohammed ; KEBIR Nisrine

(74) Mandataire :
Kartit Zaid

(54) Titre : **Procédé de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des générations décentralisées**

(57) Abrégé : La présente invention propose un procédé de gestion active permettant de prédire le besoin en puissance à injecter par un poste Haute Tension / Moyenne Tension pour chaque ligne d'alimentation sortant de cette sous-station. Elle permet de soutenir les résultats de précision des prévisions par ajustement de la prévision de la demande de charge. La présente invention permet, d'une part, de minimiser les pertes d'énergie dans un réseau relié à des générations distribuées. Ce dernier peut être réalisé en gérant à l'avance le flux d'énergie entre les différentes alimentations moyenne tension et sous-stations pour chaque région. Ensuite, prédire l'ensemble de la production d'énergie à partir des sources conventionnelles au niveau de la répartition global. D'autre part, elle permet de satisfaire la demande de charge tout en évitant les pics et en augmentant la durée de vie des appareils électriques en optimisant le nombre d'opérations sur le réseau et en prévoyant les différentes réglemmentations appropriées.

Titre : *Procédé de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des générations décentralisées*

Abrégé :

La présente invention propose un procédé de gestion active permettant de prédire le besoin en puissance à injecter par un poste Haute Tension / Moyenne Tension pour chaque ligne d'alimentation sortant de cette sous-station. Elle permet de soutenir les résultats de précision des prévisions par ajustement de la prévision de la demande de charge. La présente invention permet, d'une part, de minimiser les pertes d'énergie dans un réseau relié à des générations distribuées. Ce dernier peut être réalisé en gérant à l'avance le flux d'énergie entre les différentes alimentations moyenne tension et sous-stations pour chaque région. Ensuite, prédire l'ensemble de la production d'énergie à partir des sources conventionnelles au niveau de la répartition global. D'autre part, elle permet de satisfaire la demande de charge tout en évitant les pics et en augmentant la durée de vie des appareils électriques en optimisant le nombre d'opérations sur le réseau et en prévoyant les différentes réglementations appropriées.

Description :

[0001] L'invention a trait à la gestion des réseaux de distribution moyenne et basse tension connectés à des générations décentralisées. Il s'agit plus précisément d'un procédé de prévision de la production d'énergie électrique au regard de la consommation tout en assurant la stabilité du réseau électrique.

[0002] La gestion des réseaux de distribution moyenne et basse tension n'est pas facile, elle nécessite la mise en place des dispositifs électriques adéquats pour l'acheminement du flux d'énergie à travers les lignes ainsi qu'un système de management pour la gestion de ce flux. Parmi ces dispositifs on trouve les différents systèmes de protection qui doivent être précis et bien dimensionnés respectant les spécifications techniques exigibles par chaque gestionnaire de réseau afin d'assurer une continuité de service et une qualité d'énergie meilleure. Aujourd'hui, ces réseaux se trouvent sujet à l'introduction d'autres équipements électriques, jadis méconnus, à savoir les installations de production à sources renouvelables. Or, ces sources de production sont soumises aux aléas climatiques, et par conséquent sont une source d'énergie instable, nous les qualifions alors de sources d'énergies intermittentes.

[0003] Plusieurs documents, publications scientifiques et brevets, ont traité ce problème, toutefois, les uns se focalisent juste sur la prévision de la production de l'un des moyens de production à sources renouvelables autonomes, ou bien couplées avec des systèmes de stockage, d'autres se concentrent uniquement sur la prévision de la demande etc. En plus, on voit dans d'autres travaux scientifiques que les auteurs se focalisent plutôt sur des micro-grids chose qui n'est pas trop fréquente en comparaison avec les réseaux de distribution avec des générations renouvelables «**On-Grid**» connectées au réseau, nécessitant une exploitation continue et en temps réel, et ayant un impact holistique sur le système électrique et dont différents pays se soucient de nos jours. D'ailleurs aujourd'hui en Europe on tend à uniformiser un «**Grid Code**» pour la gestion de ces types de réseaux évolués du siècle.

[0004] C'est dans ce contexte que notre invention apparaît afin d'aider les gestionnaires de réseau à faire face à ce problème et à avoir un produit clé en main prenant en considération l'ensemble des paramètres influents. Les résultats de ce système

évolueront aussi avec la généralisation des compteurs intelligents «**smart meters**». Ce procédé permet notamment une vérification «**Upstream**» et «**Downstream**» du processus de prévision en partant de la prévision de la charge, jusqu'à la prévision de la production des installations à sources renouvelables en passant par la prévision des pertes. Ceci dit, ce procédé permet d'une part d'économiser l'achat d'énergie auprès des gestionnaires des réseaux de distribution vis-à-vis des gestionnaires des réseaux de transport dans le cadre d'un système séparé «**Unbundling**» et permettre aussi de minimiser la production des centrales conventionnelles dans le cadre du monopole naturel «**Vertically Integrated**».

[0005] La présente invention s'articule principalement sur le développement de plusieurs méthodes de prévision adéquate pour chaque composante influente, ensuite les différentes méthodes sont liées par ledit procédé. Ces méthodes permettent d'une part, de définir les quantités optimales à produire en énergie d'origine conventionnel pour garder l'équilibre Offre/Demande et d'autre part d'éviter toute perturbation pouvant générer un déséquilibre, en tension ou en fréquence, ou un dysfonctionnement d'opération au niveau du système de protection. Chose qui fera de nos réseaux des «**Smarter**» plutôt que des «**Smart**» grids qui nécessitent un investissement et un temps de réalisation très important. Toutefois, cette méthode est prometteuse dans les réseaux intelligents.

Brève description des figures :

Figure 1 : Illustration du schéma électrique objet de l'invention

Figure 2 : Composantes du procédé de prévision du flux d'énergie dans un réseau à générations décentralisées

Description détaillée :

[0006] L'invention est sous forme d'un combiné de méthodes de prévision court-terme permettant de gérer l'intermittence d'un système solaire PV (13) connecté à un réseau de distribution moyenne tension, en présence des Batteries de stockage (12) et d'une centrale Biomasse (16) tel que illustré sur la figure 1. Ce processus passe par la prévision de la demande en énergie au sein de ce réseau, la prévision des pertes techniques du réseau et équipements électriques ainsi que les installations de production à sources renouvelables et leurs pertes techniques dans les prochaines 10 minutes. L'output du processus définit dans

cette invention est l'énergie prévue d'être appelée par le poste source Haute Tension / Moyenne Tension (11) dont ledit réseau est issue. L'actualisation de ce processus se fait sur un intervalle de temps de 10 minutes permettant de compenser l'erreur et d'améliorer la prévision suivante grâce à l'implémentation du «**Model Predictive Control**» dans le processus. La figure 2 décrit d'une façon macroscopique le processus développé dans cette invention.

[0007] Le procédé commence par la prévision de la production des différentes sources connectées au réseau (7). Cette prévision se base sur deux composantes principales : les caractéristiques techniques du réseau électrique et ces sources de production (4) ainsi que les conditions climatiques (3) notamment la température. En ce qui concerne la prévision de la production des générateurs hydroélectrique (7b) et biomasse (7c), un programme de production prédéfini est pris en considération, pour les batteries de stockage (7d) l'état de charge et de décharge joue un rôle important dans la définition de la prévision d'injection ou d'absorption de la batterie. Pour la prévision de la production solaire PV (7a), elle se base également sur les caractéristiques techniques des panneaux ainsi que sur les prévisions météorologiques (3). En ce qui concerne la prévision de la demande (6), elle prend en considération l'historique des charges ainsi que l'impact de la variation de la température sur le comportement des consommateurs. L'équation de prévision se résume comme suit :

$$r_t = r_{t, y_{t-1}} \times \left(1 + \frac{1}{g_{\ell-1,1}} \cdot N_t \right)^{g_{\ell, \ell-1}} \times F(T_{P,t})$$

$$\text{Avec } N_t = \sum_{i=1}^{\ell-1} \frac{1}{g_{i, i-1}} \left[\frac{r_{t, y_i} - r_{t, y_{i-1}}}{r_{t, y_{i-1}}} \right] \text{ et } \forall a, b \in \{1, 2, \dots, \ell\}, a > b: g_{a,b} = y_a - y_b$$

L'instant t peut appartenir à un jour normal ou jour spécial de l'année ℓ selon le calendrier des événements (1). Les y_i , où $i \in \{1, 2, \dots, \ell\}$, représentent les différents jours disponibles dans la base de données d'historique des charges (2) que ça soit pour les jours normaux ou spéciaux en commençant par y_1 le jour disponible dans la première année jusqu'à l'année y_ℓ objet de prévision de la charge r_t à l'instant t. $T_{P,t}$ est la température prévue pour l'instant t. La fonction F dépend directement de la variation de la température. Elle s'exprime comme suit :

$$F(T_{P,t}) = (1 + \alpha)^{\max(0, T_{P,t} - T_{moy})} \times (1 + \beta)^{\max(0, T_{moy} - T_{P,t})}$$

Où T_{moy} représente la moyenne des températures de l'instant t des années normales ou spéciales de $i=1$ jusqu'à ℓ . Les paramètres α et β représentent le pourcentage de hausse ou de baisse de la demande à l'instant t en se basant sur la variation de la température.

[0008] Après avoir défini le fonctionnement des modules de prévision de la demande et de la production des générations décentralisées, on passe au 3^{ème} module relatif à la prévision des pertes technique pour améliorer l'exactitude de la prévision. Dans la littérature, on trouve que l'impact des pertes techniques et non techniques sur la prévision du flux d'énergie dans un système distribué a été négligé malgré son importance dans l'amélioration de l'exactitude de la prévision. A travers ce module, nous avons élaboré les équations mathématiques nécessaires pour la prévision des pertes techniques dans les segments de distribution d'énergie (lignes, onduleurs, transformateurs et compteurs) et dans les segments de production (Batteries de stockages, systèmes PV, générateurs biomasse et centrales hydroélectriques au point d'injection).

[0009] Le dernier module c'est celui qui considère les sorties des trois module comme entrées, c'est le modules Model Prédictive Control (9). La rôle de ce module est primordiale du moment qu'il permet de réévaluer les résultats des différents modules et générer des matrices pouvant améliorer la prévision davantage et mémoriser les écart type bruit blanc ou d'autres écart à source inconnu ou récurrente afin de donner comme sortie la prévision de l'énergie devant être injectée par le transformateur dans le réseau de distribution pour alimenter les charges restantes au niveau du départ moyenne tension objet de l'étude. L'équation relative à ce module ce résume comme suit pour le cas de l'énergie active :

$$X_{t+1,(1)} = AX_{t,(1)} + B\Phi u_{t,(1)} + C \begin{pmatrix} v_{t,(1)} \\ v_{t,(2)} \end{pmatrix} + Ed_{t,(1)}$$

$x_{t,(1)}$: L'énergie active injectée par le transformateur

$v_{t,(1)}$: L'énergie produite par la central PV

$v_{t,(2)}$: Les pertes techniques au niveau des segments de distribution et de production

$d_{t,(1)}$: Les nuisances non calculées

$u_{t,(1)}$: L'énergie contenue au niveau des batteries

Φ : Ratio défini par le fabricant en W/Wh par module

A, B, C, E: State Space Models

[0010] Dans un mode de réalisation ,ce procédé peut être informatisé sous forme d'une application pouvant être utilisée par les gestionnaires des réseaux de distribution (GRD) afin de superviser la présence des générations décentralisés au niveau de leur réseau en se dotant d'un outils leur permettant d'anticiper les déséquilibres pouvant surgir au niveau de leur réseau et prévoir les solutions adéquates et moins coûteuse afin de les résoudre tout en respectant les Grid Code exigés par le pays.

techniques du réseau électrique et ces sources de production (4) ainsi que les conditions climatiques (3) notamment la température.

5. Le système selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que ledit module «Model Predictive Control» permet de réévaluer les résultats des différents modules et générer des matrices pouvant améliorer la prévision davantage et mémoriser les écarts type bruit blanc ou d'autres écart à source inconnu ou récurrente afin de donner comme sortie la prévision de l'énergie devant être injectée par le transformateur dans le réseau de distribution pour alimenter les charges restantes au niveau du départ moyenne tension.
6. Le système selon l'une quelconques des revendications précédentes caractérisé en ce que ledit procédé permet notamment une vérification «Upstream» et «Downstream» du processus de prévision en partant de la prévision de la charge, jusqu'à la prévision de la production des installations à sources renouvelables en passant par la prévision des pertes.
7. Le système selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que ledit procédé peut être informatisé sous forme d'une application pour superviser le réseau de distribution et ce pour anticiper les déséquilibres pouvant surgir au niveau dudit réseau et prévoir les solutions adéquates.

Partie 1 : Considérations générales

Cadre 1 : base du présent rapport

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

- Description
5 Pages
- Revendications
1-7
- Planches de dessin
1 Page

Partie 2 : Rapport de recherche

Classement de l'objet de la demande :

CPC : H02J3/46; H02J2003/003

Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :

EPOQUE, Orbit

| Catégorie* | Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | N° des revendications visées |
|------------|--|------------------------------|
| A | US8401709 ; CHERIAN SUNIL [US] ; 19-03-2013 | 1-7 |
| A | WO2011142296; MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; 17-11-2011 | 1-7 |
| A | Nisrine Kebir, Mohamed Maaroufi; Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 76, Pages 1011-1021 ; Septembre 2017 | 1-7 |

***Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

-« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

-« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

-« 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

-« 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

Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité*Cadre 4 : Remarques de clarté*

Les revendications 1, 3 et 4 portent sur un « système de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des sources de générations décentralisées ». les revendications de système sont considérées comme des revendications de dispositif, et non comme des revendications de méthode ou de procédé. Pour satisfaire à l'exigence de clarté énoncée à l'article 35 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, le système faisant l'objet de la revendication 1, 3 et 4 devrait par conséquent être défini en termes de caractéristiques de dispositif, et non par les étapes d'une méthode ou d'un procédé. La formulation « composé de plusieurs méthodes de prévision (13) pour gérer l'intermittence d'un système solaire PV; ledit système est un procédé » n'est alors pas appropriée.

Il serait alors fortement recommandé de reformuler l'objet des revendications 1, 3 et 4 pour correspondre soit à un système en termes de caractéristiques de dispositif (comme dans la revendication 2) et/ou à une méthode comprenant les étapes correspondantes.

Les revendications 5, 6 et 7 ne satisfont pas aux exigences de l'article 35 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13 car l'objet de la protection demandée n'est pas défini. Les revendications tentent de définir l'objet par le résultat recherché. Cette formulation n'est pas acceptable en l'espèce, puisqu'il semble possible de définir l'objet en des termes plus concrets, c'est-à-dire en exposant comment l'effet peut être obtenu.

Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

| | | |
|--|---|------------|
| Nouveauté (N) | Revendications 1-7 Revendications aucune | Oui Non |
| Activité inventive (AI) | Revendications 1-7 Revendications aucune | Oui Non |
| Possibilité d'application Industrielle (PAI) | 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 : US8401709

1. Nouveauté (N) :

Aucun document de l'état de la technique considéré ne divulgue un procédé de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des générations décentralisées pour gérer l'intermittence d'un système solaire PV tel que décrit par la revendication 1 de la présente demande.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 est nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-7 est également nouveau.

2. Activité inventive (AI) :

Le document D1 considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1 divulgue un procédé de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des sources de génération décentralisées composé de plusieurs méthodes de prévision pour gérer l'intermittence d'un système solaire PV, comprenant :

- Prévoir la demande en énergie au sein de ce réseau via un premier module de prévision
- Prévoir la production des différentes sources connectées au réseau via un second module de prévision;
- Définir l'énergie prévue d'être appelée par la source Haute tension/Moyenne tension dont ledit réseau est issue via un module «Model Predictive Control» qui reçoit les sorties des modules précédent.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère essentiellement de ce procédé connu par :

- Prévoir les pertes techniques du réseau et équipements électriques ainsi que les installations de production à sources renouvelables et leurs pertes techniques dans les prochaines 10 minutes via un troisième module de prévision;
- Relancer les étapes précédentes chaque 10 minutes pour compenser l'erreur et améliorer la prévision suivante.

Le problème technique objectif que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme améliorer la précision des prévisions relatives au flux d'énergie susceptible de circuler dans un réseau de distribution électrique.

La solution à ce problème, proposée dans la présente invention n'est ni décrite ni rendue évidente par l'art antérieur considéré, d'où l'objet de la revendication 1 est considéré comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Par conséquent, l'objet des revendications 2-7 implique également une activité inventive puisqu'il dépend de l'objet de la revendication 1.

3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :

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.

Revendications

1. Un système de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des générations décentralisées composé de plusieurs méthodes de prévision pour gérer l'intermittence d'un système solaire PV (13) ; ledit système est un procédé comprenant :
 - a- Un premier module pour Prévoir la demande en énergie au sein de ce réseau
 - b- Un second module pour prévoir la production des différentes sources connectées au réseau.
 - c- Un troisième module pour prévoir les pertes techniques du réseau et équipements électriques ainsi que les installations de production à sources renouvelables et leurs pertes techniques dans les prochaines 10 minutes.
 - d- Un quatrième module «Model Predictive Control» qui reçoit les sorties des modules précédents pour définir l'énergie prévue d'être appelée par le poste source Haute Tension /Moyenne Tension (11) dont ledit réseau est issue.
 - e- Relance les étapes précédentes chaque 10 minutes pour compenser l'erreur et améliorer la prévision suivante.
2. Le système selon la revendication 1 caractérisé en ce que les sources de production peuvent être des générateurs hydroélectrique, biomasse, PV solaire.
3. Le système selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que ladite prévision de la demande prend en considération l'historique des charges et l'impact de la variation de la température sur le comportement des consommateurs, ladite prévision est calculer par :

$$r_t = r_{t,y_{l-1}} \times \left(1 + \frac{1}{g_{l-1,1}} \cdot N_t \right)^{g_{l,l-1}} \times F(T_{P,t})$$

$$F(T_{P,t}) = (1 + \alpha)^{\max(0, T_{P,t} - T_{moy})} \times (1 + \beta)^{\max(0, T_{moy} - T_{P,t})}$$

4. Le système selon les revendications 1 et 2 caractérisé en ce que ladite prévision de la production est calculée selon les caractéristiques

Dessins :

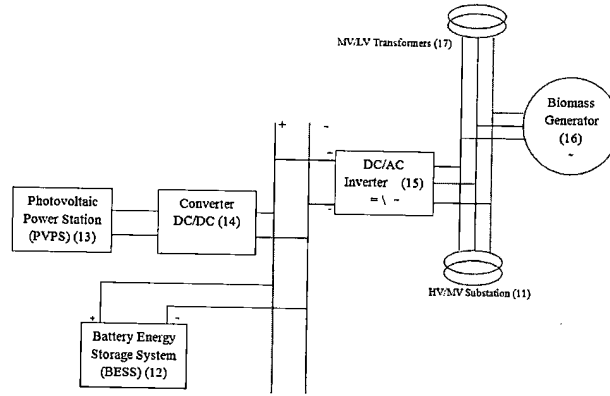


Figure 1.

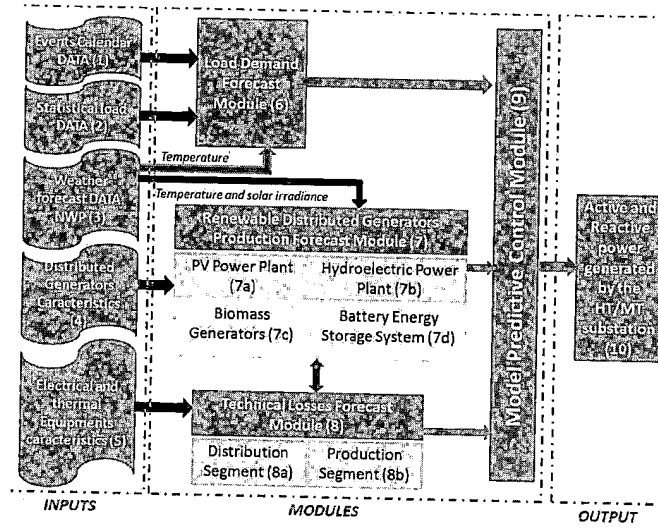


Figure 2.



**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 : 41737 | Date de dépôt : 29/12/2017 |
| Déposant : Université Mohammed V - Rabat | |
| Intitulé de l'invention : Procédé de prévision de la production d'un réseau électrique de distribution moyenne tension connecté à des générations décentralisées | |
| 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 http://worldwide.espacenet.com , 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 checked="" type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention | |
| Examineur: M. EL KINANI | Date d'établissement du rapport : 16/06/2018 |
| Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00 | |

