

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : 2 985 151

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 11 62327

51 Int Cl⁸ : H 04 W 72/12 (2013.01), H 04 W 16/22

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 22.12.11.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.06.13 Bulletin 13/26.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : FRANCE TELECOM Société ano-
nyme — FR.

72 Inventeur(s) : GRIMAUD SEBASTIEN.

73 Titulaire(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme.

74 Mandataire(s) : FRANCE TELECOM Société ano-
nyme.

54 PROCEDE DE CONFIGURATION DE STATIONS D'UN RESEAU DE COMMUNICATIONS SANS-FIL.

57 L'invention concerne un procédé de configuration de
stations d'un réseau de communications sans-fil, lesdites
stations recevant selon un protocole prédéterminé les résul-
tats de mesures d'interférences de la part de dispositifs-
clients auxquels elles sont connectées, ledit procédé com-
prenant l'étape suivante :

a) lesdites stations transmettent (E1, E2) des données
représentatives desdits résultats de mesure à une entité
centrale de gestion à laquelle elles sont reliées.

Ledit procédé est remarquable en ce qu'il comprend en
outre les étapes suivantes :

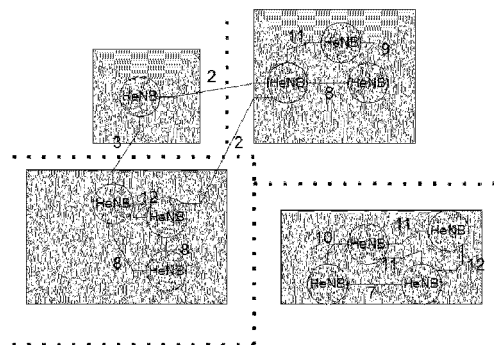
b) ladite entité de gestion agrège (E3) lesdites données
pour construire un graphe d'interférences global,

c) l'entité de gestion segmente (E4) le graphe en com-
munautés de stations,

d) on effectue (E5, E6, E7) un calcul d'optimisation pour
chaque communauté, et

e) chaque station applique (E8) le résultat du calcul d'op-
timisation qui la concerne.

Application notamment aux réseaux femto ou pico.



FR 2 985 151 - A1



PROCEDE DE CONFIGURATION DE STATIONS D'UN RESEAU DE COMMUNICATIONS SANS-FIL

L'invention se rapporte au domaine des télécommunications. Plus particulièrement, l'invention concerne la minimisation des interférences
5 entre stations sans-fil voisines, ces stations pouvant opérer dans le domaine radiofréquences ou dans un autre domaine de fréquences (par exemple l'infrarouge).

L'invention concerne notamment la problématique du « déchargement » (« *off-loading* » en anglais), dans laquelle des stations
10 radio, dites « de déchargement », traitent une partie du trafic de communications de manière à décharger d'autres stations et réduire la congestion dans les zones de forte charge, particulièrement aux moments de la journée où le trafic de communications est élevé.

L'invention est compatible en particulier avec toutes les
15 technologies d'accès radio connues (TDMA, CDMA, W-CDMA, OFDMA, et ainsi de suite). Elle s'applique notamment aux réseaux cellulaires utilisant la technologie GSM/GPRS, telle que définie dans la version 97 et les versions ultérieures de la norme GSM, ou la technologie UMTS (« *Universal Mobile Telecommunications System* »), telle que définie
20 notamment dans les normes 23.002, 23.003 et 29.060 du projet 3GPP (« *Third-Generation Partnership Project* »), la norme LTE (« *Long Term Evolution* »), ou encore la norme HSPA (« *High Speed Packet Access* »).

On rappelle que, alors que le GSM utilise un support de transmission de données par commutation en mode circuit (« *circuit-switched* » en anglais), le GPRS y ajoute un nouveau support de
25 transmission de données par commutation en mode paquets (« *packet-switched* » en anglais), qui permet de fournir à une station mobile une connectivité IP (« *Internet Protocol* ») disponible en permanence, mais

dans laquelle les ressources radio sont allouées uniquement quand des données doivent être transférées. Les abonnés d'un opérateur mobile peuvent ainsi accéder à des services utilisant le protocole IP, tels que la messagerie électronique, le téléchargement de fichiers, la consultation de sites Web ou WAP.

L'UMTS utilise la commutation en mode circuit et la commutation en mode paquets. L'UMTS utilise la technologie W-CDMA, normalisée par le 3GPP, et constitue la mise en œuvre européenne des spécifications IMT-2000 de l'UIT (« Union Internationale des Télécommunications ») pour les systèmes radio cellulaires 3G. L'UMTS permet d'échanger des données contenues dans des paquets IP avec des serveurs appartenant à un réseau extérieur au réseau UMTS, tel que le réseau Internet.

La norme LTE fait partie de la norme UMTS, mais y incorpore de nombreuses modifications et améliorations, notamment l'utilisation de la modulation OFDM pour la liaison descendante et de la modulation SC-FDMA pour la liaison montante (au lieu de W-CDMA pour l'UMTS). Le LTE nécessite une couverture radio dédiée, distincte de la couverture UMTS.

Le HSPA est la combinaison des protocoles HSDPA (« *High Speed Downlink Packet Access* ») pour la voie descendante, et HSUPA (« *High Speed Uplink Packet Access* ») pour la voie montante.

L'explosion du trafic de données multimédia dans les réseaux mobiles cellulaires constitue un nouveau défi pour les opérateurs, notamment dans les zones de trafic élevé. Une solution connue pour augmenter la capacité d'un réseau consiste à mettre en place des stations supplémentaires (« *hot spots* » en anglais) dans les zones de trafic élevé. On utilise notamment des stations gérant des cellules de taille relativement faible ou très faible en plus des cellules « macro » de taille classique. On appelle généralement « microcellule » une cellule couvrant une zone présentant une largeur de moins de deux kilomètres,

« picocellule » une cellule couvrant une zone de l'ordre de 200 mètres, et « femtocellule » une cellule couvrant une zone de l'ordre de 10 mètres. La zone de couverture de chaque station peut être limitée en contrôlant sa puissance.

5 En effet, la souplesse en termes de taille cellulaire est une caractéristique de la technologie mobile 2G et des technologies suivantes, et représente un facteur significatif de l'accroissement de capacité des réseaux. Les contrôles de puissance mis en œuvre dans les réseaux
10 voisins utilisant les mêmes fréquences. En subdivisant des cellules et en créant plus de cellules (on parle de densification du réseau) pour pouvoir desservir des zones à haute densité, un opérateur de réseau cellulaire peut optimiser l'utilisation du spectre et faire en sorte que la capacité puisse augmenter.

15 On peut ainsi, au moyen d'une station de base de faible puissance, couvrir une zone limitée. Cela permet d'augmenter la capacité d'un réseau dans des zones d'accès difficile ou coûteux dans l'approche « macrocellulaire » classique.

20 Plus précisément, une microcellule peut couvrir une zone comme un centre commercial, un hôtel, ou un centre de transport. Les microcellules sont souvent déployées temporairement pendant des événements sportifs et d'autres occasions dans lesquelles on sait à l'avance que l'on aura besoin d'une capacité supplémentaire à un emplacement spécifique.

25 Une picocellule couvre généralement une zone de petite taille, par exemple à l'intérieur d'un bâtiment (bureaux, centres commerciaux), ou, plus récemment, à l'intérieur d'un avion. Les picocellules sont généralement utilisées pour étendre la couverture aux zones intérieures, c'est-à-dire là où les signaux extérieurs ne pénètrent pas bien, ou pour
30 augmenter la capacité de réseau dans des zones à haute densité

d'utilisation du téléphone, comme dans les gares de train. Une station de base de picocellule est généralement une unité à bas prix, de petite taille, et relativement simple. On trouve des picocellules pour la plupart des technologies cellulaires telles que le GSM/GPRS, l'UMTS et le LTE.

5 Dans les réseaux GSM/GPRS, en particulier, chaque station de base de picocellule est connectée à un BSC (initiales des mots anglais « *Base station Controller* » signifiant « Contrôleur de stations de Base »). En fait, de nombreuses picocellules sont connectées à chaque BSC ; le BSC assure la gestion des ressources radio et des fonctions de
10 « *handover* » (migration d'un terminal mobile d'une cellule à une cellule voisine), et agrège des données aux fins de transmission vers le Centre de Commutation Mobile (en anglais, « *Mobile Switching Center* », ou MSC) et/ou le Nœud de Support de Passerelle GPRS (en anglais, « *Gateway GPRS Support Node* », ou GGSN). La connectivité entre les
15 unités de picocellule et le BSC est généralement réalisée au moyen d'un câblage intérieur à un bâtiment ; les systèmes les plus récents utilisent un câblage Ethernet ; les avions utilisent des liaisons par satellite.

 Les développements les plus récents concernent une unité contenant non seulement une station de picocellule, mais aussi apte à
20 assurer beaucoup de fonctions du BSC et quelques-unes du MSC. Ce type de picocellule est parfois appelé une « station de base de point d'accès » ou une « femtocellule d'entreprise ». Dans ce cas, l'unité contient tous les moyens requis pour se connecter directement à Internet, sans avoir besoin de l'infrastructure BSC/MSC. C'est potentiellement une
25 approche plus rentable.

 Quant aux réseaux UMTS, ils peuvent comprendre des réseaux privés (par exemple des réseaux domestiques) constitués de cellules de faible taille appelées « femto NodeB », dans lesquelles les stations de base, appelées « *Home NodeB* » (HNB), combinent chacune les fonctions
30 de NodeB et de RNC (initiales des mots anglais « *Radio Network*

Controller » signifiant « Contrôleur des Ressources Radio »). Chaque HNB est relié à une passerelle (« *HNB Gateway* ») située à l'extérieur du réseau privé dans le réseau d'accès radio de l'opérateur ; la HNB Gateway gère le HNB et le trafic des abonnés, et sert d'intermédiaire avec le réseau cœur. On notera que les réseaux GSM comprennent eux aussi des passerelles HNB Gateway dotées de fonctionnalités analogues.

Outre les technologies décrites ci-dessus, l'invention s'applique en particulier aux architectures « femto 3G » telles que définies dans le document TR 25.820 V8.2.0 (2008-09) du 3GPP, ainsi qu'aux futures architectures « femto LTE ». Ces architectures utilisent des femtocellules dans lesquelles on peut déployer un réseau mobile domestique à faible coût en utilisant l'infrastructure haut-débit déjà présente chez l'abonné ; le « *backhaul* » (lien entre les stations et le cœur de réseau) est assuré par une connexion filaire, par exemple une connexion ADSL. Ce contexte est du plus haut intérêt pour les opérateurs : en effet, de récentes études ont montré que les appels téléphoniques prennent majoritairement place au domicile de l'utilisateur où l'environnement n'est pas favorable à une bonne propagation des ondes provenant des stations macro ; il en résulte une plus grande consommation de ressources radio du fait des mécanismes d'ajustement automatique des MCS (initiales des mots anglais « *Modulation and Coding Schemes* » signifiant « Schémas de Modulation et de Codage ») dans les stations, un niveau d'interférences plus important du fait du contrôle automatique de puissance, ainsi qu'une possible dégradation du débit utilisateur et, *in fine*, de la QoS (initiales des mots anglais « *Quality of Service* » signifiant « Qualité de Service »). On notera par ailleurs que les femtocellules deviendront incontournables dans les bâtiments respectant la nouvelle norme HQE (Haute Qualité Environnementale), la diminution de puissance du signal radio franchissant les murs de ces bâtiments pouvant dépasser 20 dB. On prévoit donc qu'une proportion significative des futures offres

téléphoniques comprendra une femtocellule. De plus, ces femtocellules auront la possibilité d'ouvrir leur accès à d'autres utilisateurs (accès ouvert ou accès hybride).

L'invention concerne donc préférentiellement, mais pas
5 exclusivement, les stations gérant des cellules de type « pico » ou « femto », utilisées dans un environnement domestique ou au sein d'une entreprise.

Si l'idée d'un déploiement massif de telles stations est séduisante, sa mise en œuvre se heurte à de nombreuses difficultés. En effet, le
10 nombre de sites envisagés (un par foyer, et par entreprise) et leur localisation au domicile de l'utilisateur ou dans une entreprise, rendent impossible la planification du déploiement. Ainsi, il est inévitable que certains sites, une fois déployés, interfèrent fortement sans qu'il soit possible d'ajuster leurs puissances manuellement, à l'image des accès
15 WiFi domestiques. Les stations domestiques sont utilisées pour diminuer la charge des réseaux macro et doivent donc assurer un niveau supérieur ou égal de QoS en réutilisant les étroites bandes de spectre sous license du réseau macro. Ces deux contraintes (QoS et bande étroite) créent un contexte encore plus exigeant que ne l'est celui du WiFi actuellement. En
20 particulier, il est difficile pour un opérateur de gérer les interférences dans un réseau en perpétuelle évolution, et constitué de millions de nœuds dont la situation de déploiement est inconnue de l'opérateur puisque ce déploiement est réalisé par les abonnés.

La présente invention concerne donc, selon un premier aspect, un
25 procédé de configuration de stations d'un réseau de communications sans-fil, lesdites stations recevant selon un protocole prédéterminé les résultats de mesures d'interférences de la part de dispositifs-clients auxquels elles sont connectées, ledit procédé comprenant l'étape suivante :

- a) lesdites stations transmettent des données représentatives desdits résultats de mesure à une entité centrale de gestion à laquelle elles sont reliées.

Ledit procédé est remarquable en ce qu'il comprend en outre les étapes
5 suivantes :

- b) ladite entité de gestion agrège lesdites données pour construire un graphe d'interférences global,
- c) l'entité de gestion segmente le graphe en communautés de stations,
- 10 d) on effectue un calcul d'optimisation pour chaque communauté, et
- e) chaque station applique le résultat du calcul d'optimisation qui la concerne.

Ainsi, le procédé selon l'invention permet d'ajuster les niveaux de puissance des stations de manière à limiter l'impact des interférences
15 mutuelles. Avantageusement, ce procédé est automatique et très bien adapté à une mise en œuvre au sein d'un ensemble comprenant un très grand nombre de stations.

La solution proposée permet de décharger efficacement le réseau macro-cellulaire des communications réalisées au domicile des utilisateurs
20 ou au sein d'une entreprise.

La QoS des utilisateurs attachés aux stations est également améliorée car la solution proposée permet une planification autonome des fréquences au sein du réseau des stations. Ainsi les utilisateurs bénéficient de performances stables indépendamment de l'activité des
25 stations voisins.

Enfin, la nature partiellement centralisée de la solution offre à l'opérateur un moyen de superviser son réseau de stations, et facilite par conséquent la détection de pannes.

L'invention s'applique aux réseaux mobiles cellulaires, mais
30 également aux réseaux sans-fil (radiofréquences ou autres), tels que les

réseaux Wi-Fi, dans lesquels on peut mettre en place une transmission aux stations de mesures d'interférences effectuées par les terminaux.

Selon des caractéristiques particulières :

- 5 - lors de ladite étape a), chacune desdites stations agrège lesdits résultats reçus pour obtenir une distribution conjointe d'interférences sous forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, puis envoie son sous-graphe d'interférences à ladite entité centrale de gestion, et
- 10 - lors de ladite étape b), l'entité de gestion assemble les sous-graphes d'interférences reçus pour construire ledit graphe d'interférences global.

Grâce à ces dispositions, les tâches conduisant à la construction du graphe d'interférences global sont partagées entre les stations et l'entité de gestion.

15 Selon d'autres caractéristiques particulières, lors de ladite étape d) :

- l'entité de gestion informe chaque station de la structure de sa communauté et d'un calcul distribué qui lui incombe,
- chaque station effectue un calcul d'optimisation, et
- 20 - chaque station dissémine la configuration de stations obtenue suite à son calcul auprès des autres membres de sa communauté si cette configuration est plus performante qu'une configuration précédente ou prédéterminée,

et, lors de ladite étape e), chaque station applique la configuration de stations la plus performante parmi l'ensemble comprenant la configuration obtenue et les configurations reçues.

Grâce à ces dispositions, le calcul d'optimisation est distribué entre les stations d'une même communauté (plutôt que d'être confié à l'entité de gestion ou à un centre de calcul associé), afin d'augmenter la vitesse de calcul tout en réduisant la quantité de signalisation dans le réseau.

Selon un deuxième aspect, l'invention concerne un dispositif de configuration de station d'un réseau de communications sans-fil, ladite station étant apte à recevoir selon un protocole prédéterminé les résultats de mesures d'interférences de la part de dispositifs-clients auxquels elle est connectée. Ledit dispositif est remarquable en ce qu'il comprend des
5 moyens pour :

- agréger lesdits résultats reçus pour obtenir une distribution conjointe d'interférences sous forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, et
- 10 - envoyer ledit sous-graphe d'interférences à une entité centrale de gestion à laquelle elle est reliée.

Selon des caractéristiques particulières, ledit dispositif comprend en outre des moyens pour :

- 15 - recevoir de la part d'une entité centrale de gestion à laquelle ladite station est reliée des informations concernant la structure d'une communauté de stations à laquelle la station appartient et un calcul distribué qui lui incombe,
- effectuer un calcul d'optimisation,
- disséminer la configuration de stations obtenue suite à son
20 calcul auprès des autres membres de ladite communauté si cette configuration est plus performante qu'une configuration précédente ou prédéterminée, et
- appliquer la configuration de stations la plus performante parmi l'ensemble comprenant la configuration obtenue et les
25 configurations reçues.

On notera qu'il est possible de réaliser ces dispositifs de configuration de station dans le contexte d'instructions logicielles et/ou dans le contexte de circuits électroniques.

Selon un troisième aspect, l'invention concerne une entité centrale
30 de gestion dans un réseau de communications sans-fil, ladite entité de

gestion comprenant des moyens pour recevoir de la part de stations auxquelles elle est reliée des données représentatives d'une distribution conjointe d'interférences associée à chacune de ces stations. Ladite entité de gestion est remarquable en ce qu'elle comprend en outre des moyens
5 pour :

- agréger lesdites données reçues pour construire un graphe d'interférences global, et

- segmenter le graphe en communautés de stations.

Selon des caractéristiques particulières, lesdites données reçues
10 de la part de chacune desdites stations se présentant sous la forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, elle comprend en outre des moyens pour assembler lesdits sous-graphes d'interférences pour construire ledit graphe d'interférences global.

Selon d'autres caractéristiques particulières, ladite entité de
15 gestion comprend en outre des moyens pour informer chacune desdites stations de la structure de sa communauté et d'un calcul distribué qui incombe à cette station.

On notera qu'il est possible de réaliser ces entités de gestion dans le contexte d'instructions logicielles et/ou dans le contexte de circuits
20 électroniques.

Les avantages offerts par ces dispositifs et ces entités de gestion sont essentiellement les mêmes que ceux offerts par les procédés corrélatifs succinctement exposés ci-dessus.

L'invention vise également un programme d'ordinateur
25 téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou stocké sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un microprocesseur. Ce programme d'ordinateur est remarquable en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes de l'un quelconque des procédés de configuration de stations succinctement exposés ci-dessus, lorsqu'il est
30 exécuté sur un ordinateur.

Les avantages offerts par ce programme d'ordinateur sont essentiellement les mêmes que ceux offerts par lesdits procédés.

D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-dessous de modes de réalisation particuliers, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins qui l'accompagnent, dans lesquels :

- la figure 1 illustre schématiquement la représentation d'un ensemble de stations interférentes sous forme de graphe,
- la figure 2 illustre les étapes d'un procédé de configuration selon un mode de réalisation de l'invention, et
- la figure 3 illustre certains paramètres du calcul d'optimisation des puissances d'émission des stations, selon un mode de réalisation de l'invention.

La **figure 1** montre un ensemble de stations sans-fil (désignées par « HeNB » sur les figures 1 et 2). Ces stations sont ici considérés comme les nœuds d'un graphe. Certaines paires de stations sont reliées par un arc auprès duquel on a indiqué une mesure de la propension qu'ont les deux stations reliées par cet arc à s'interférer. De par la distribution géographique des habitations, ce graphe d'une taille pouvant être de l'ordre de grandeur du million de nœuds, possède une structure communautaire qui tend à mailler plus densément les nœuds à l'intérieur d'un même bâtiment, d'un ensemble de bâtiments mitoyens, d'un lotissement, et ainsi de suite. C'est naturellement à l'intérieur de ces communautés (ou « *clusters* » en anglais) que les phénomènes d'interférence sont les plus gênants.

Selon le présent mode de réalisation de l'invention, on obtient le graphe des stations, et on le découpe en communautés de taille maximale prédéterminée de telle sorte qu'un algorithme d'optimisation distribué puisse être calculé par les stations dans chaque communauté.

On considère un réseau sans-fil comprenant les éléments suivants :

- des UEs (initiales des mots anglais « *User Equipment* » signifiant « Equipement d'Utilisateur »),
- des stations sans-fil, et
- une entité centrale de gestion de ces stations.

5 On suppose que, de manière connue, chaque UE participant à la mise en œuvre de l'invention (il en faut au moins un pour chaque station) possède des moyens pour :

- mettre en œuvre un protocole au cours duquel il effectue des mesures de champ reçu sur un canal de référence de sa station serveuse et des stations voisines, et
- 10 - transmettre les résultats de ces mesures à sa station serveuse.

Optionnellement, ledit UE possède en outre des moyens pour stocker les résultats de ces mesures avant de les transmettre à sa station serveuse.

15 Selon le présent mode de réalisation de l'invention, illustré sur la **figure 2**, on met en œuvre les étapes suivantes.

Initialement, soit les stations se trouvent dans une configuration résultant d'une application précédente de l'invention, soit l'on applique une configuration par défaut.

20 Au cours d'une étape E1, chaque station agrège les résultats de mesure reçus de la part des UEs, pour obtenir une distribution conjointe d'interférences sous forme d'un sous-graphe (« *subgraph* » en anglais) d'interférences dont cette station est le centre (étape marquée « *statistical aggregation* » sur la figure 2).

25 Les mesures remontées par les UEs doivent mesurer le degré d'interférence entre les stations. Cependant il est important que cette mesure intègre la notion de gêne occasionnée en incorporant une notion de fréquence d'occurrence. Ainsi, le niveau d'interférence d'un station peut être élevé mais très rare, alors que celui d'un autre station peut s'avérer moyen mais permanent. Afin de tenir compte de cet aspect, il est possible

30 de demander aux UEs d'effectuer des mesures périodiques, durant leurs

phases d'activités, des signaux de référence provenant des stations voisins en activité.

Au niveau de chaque station, cette collection de mesures permet d'estimer la distribution conjointe de son niveau de puissance et des interférences engendrées par les stations voisins. Pour une station
5 d'indice 0 entourée de n stations voisines détectables, on désignera par $D_0(i_0, i_1, \dots, i_n)$ cette distribution conjointe, où i_0 représente le niveau de puissance de la station d'indice 0, et i_k , où $k = 1, \dots, n$, représente le niveau de puissance (interférences) provenant de la k -ième voisine.

10 A partir de cette distribution conjointe, on peut aisément calculer l'espérance mathématique du rapport entre le niveau d'interférence émanant d'une station voisine et le signal utile, à savoir :

$$E\left(\frac{i_k}{i_0}\right) = \int \frac{i_k}{i_0} D_0(i_0, i_1, \dots, i_n) \partial i_0 \dots \partial i_n . \quad (1)$$

On peut utiliser cette métrique (ou une autre analogue) pour construire les
15 sous-graphes d'interférences. Bien entendu, ces estimateurs évoluent dans le temps, et il convient de mettre en place une stratégie de mise à jour pertinente.

Au cours d'une étape E2, chaque station envoie son sous-graphe d'interférences à ladite entité centrale de gestion (étape marquée
20 « *subgraph report* » sur la figure 2).

Au cours d'une étape E3, l'entité de gestion assemble les sous-graphes pour construire un graphe d'interférences global (étape marquée
« *data aggregation* » sur la figure 2).

De manière générale, l'assemblage des sous-graphes donne
25 naissance à un graphe orienté, car les interférences ne sont pas nécessairement réciproques, comme illustré par les liens entre station1 et station 2 sur la figure 2. Cependant, pour simplifier la mise en œuvre de l'invention, on peut se contenter d'une approximation dans laquelle on

remplace ce graphe orienté par un graphe non orienté. Voici, à titre d'exemples, deux méthodes pour réaliser cette approximation :

- l'on prend, comme poids du lien entre deux nœuds, la valeur maximale des deux liens orientés ; cette méthode tend à protéger au maximum les nœuds les plus affectés par les interférences ; ou
- l'on prend, comme poids du lien entre deux nœuds, la somme des deux liens ; cette méthode signifie que l'on considère que les interférences sont moins graves si l'une des deux stations subit moins d'interférences.

10 Au cours d'une étape E4, l'entité de gestion segmente le graphe en communautés (étape marquée « *clustering* » sur la figure 2).

 Cette segmentation en communautés requiert le choix d'une taille maximale N , qui est limitée par la complexité de l'algorithme d'optimisation distribué (voir ci-dessous) qui sera appliqué dans chacune de ces communautés. Par ailleurs, le nombre de coupes dans le graphe doit être minimisé, de manière à ce que les stations en situation d'interférences sévère aient leurs puissances optimisées conjointement.

 La segmentation d'un tel graphe est un problème difficile, mais il existe cependant des heuristiques puissantes qui donnent de bons résultats. On retiendra en particulier les techniques dites « spectrales » (cf. l'article de U. von Luxburg intitulé « *A Tutorial on Spectral Clustering* », *Statistics and Computing*, 17 (4), 2007), et les techniques dites « gloutonnes » (cf. l'article de V. Blondel, J.-L. Guillaume, R. Lambiotte et E. Lefebvre intitulé « *Fast Unfolding of Communities in Large Networks* », *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008). Dans ce dernier document, les communautés engendrées ne possèdent pas de taille limite, mais il est possible de modifier l'algorithme proposé pour imposer une taille maximale N , en effectuant les actions suivantes après chaque étape de regroupement :

- 30 - les communautés de taille N sont retirées du graphe,

- pour chaque nœud appartenant à une communauté de taille supérieure à N , on calcule la « perte de modularité » (telle que définie dans ledit document) engendrée par le mouvement du nœud vers une communauté de taille inférieure à N ,
- 5 - on applique le mouvement d'un nœud engendrant la plus faible perte, et
- le processus ci-dessus est réitéré tant qu'il existe des communautés de taille supérieure à N .

Après la segmentation du graphe en communautés de taille au
 10 maximum N , un algorithme d'optimisation de puissances est mis en œuvre, par exemple en maximisant une fonction d'utilité pour chaque communauté.

Cette optimisation peut par exemple être mise en œuvre par l'entité de gestion ou par un centre de calcul associé. Toutefois, en variante, il
 15 peut être avantageux de distribuer ce calcul entre les stations (nœuds) d'une même communauté, afin d'augmenter la vitesse de calcul tout en réduisant la quantité de signalisation dans le réseau.

Cette deuxième variante peut être mise en œuvre de la façon suivante.

20 Au cours d'une étape E5, l'entité de gestion informe chaque station de la structure de sa communauté et du calcul distribué qui lui incombe. Plus précisément :

- les distributions conjointes (mentionnées ci-dessus) sont distribuées à l'intérieur d'une même communauté, et
- 25 • les différentes initialisations du calcul d'optimisation sont distribuées à l'intérieur d'une même communauté.

Au cours d'une étape E6, chaque station effectue un calcul d'optimisation, et s'arrête selon un critère de convergence prédéterminé.

En considérant une communauté de taille C , on note p_k^j le niveau du décalage de puissance (« *offset* » en anglais) du nœud k par rapport à une puissance maximum prédéterminée p_{max} pour une sous-bande de fréquence centrale f_j . On note p_k le vecteur de composantes p_k^j . La

5 **figure 3** illustre ces définitions dans un exemple où $C = 3$.

On définit la fonction d'utilité suivante :

$$u(p_1, p_2, \dots, p_C) = \sum_j \sum_{k=1}^C \int t \left(\frac{i_k - p_k^j}{\sum_{k' \neq k} i_{k'} - p_{k'}^j} \right) D_k(i_1, i_2, \dots, i_C) \partial i_1 \dots \partial i_C, \quad (2)$$

où la fonction $t()$ est une « courbe de lien » classique donnant le débit instantané descendant pour un utilisateur en fonction du rapport signal sur
10 interférences. Comme défini ci-dessus, $D_k(i_1, i_2, \dots, i_C)$ est la distribution conjointe des interférences perçue par la k -ième station de la communauté et i_k représente le niveau de puissance utile de ladite station.

Intuitivement, la fonction d'utilité représente les débits agrégés sur
15 la communauté considérée (cette quantité donne une importance égale à tous les nœuds, en ne prenant pas en compte leur durée d'utilisation). En discrétisant les valeurs des vecteurs p_k , il est possible d'effectuer une recherche combinatoire de l'optimum de la fonction d'utilité $u(p_1, p_2, \dots, p_C)$. Le nombre de valeurs à tester est cependant
20 extrêmement élevé (q^{Cr} , où q est le nombre d'offsets possibles et r le nombre de fréquences). Il est donc nécessaire d'utiliser une heuristique pour résoudre ce problème, par exemple effectuer une optimisation génétique. Ces méthodes ont la bonne propriété d'être aisément parallélisable, en utilisant par exemple des initialisations différentes. Il est

naturellement possible d'utiliser des solutions alternatives reposant sur une plus grande coopération entre les nœuds.

5 Au cours d'une étape E7, chaque station dissémine la configuration de stations obtenue suite à son calcul auprès des autres membres de sa communauté si cette configuration est plus performante qu'une configuration précédente ou prédéterminée.

10 Enfin, au cours d'une étape E8, chaque station applique (pour chaque sous-bande de fréquences) la configuration la plus performante parmi l'ensemble comprenant la configuration obtenue et les configurations reçues.

15 On notera pour terminer que l'utilisation d'un graphe d'interférences, comme enseigné dans la présente invention, permet également de représenter l'influence des stations sur le réseau macro. Il est possible d'intégrer des contraintes d'interférences sur le réseau macro, ce qui facilite la réutilisation des fréquences de ce dernier, tout en maintenant son niveau de QoS.

20 Comme indiqué ci-dessus, la présente invention concerne également un système informatique mettant en œuvre le procédé de configuration de stations décrit ci-dessus. Ce système informatique comporte de manière classique une unité centrale de traitement commandant par des signaux une mémoire, ainsi qu'une unité d'entrée et une unité de sortie.

25 De plus, ce système informatique peut être utilisé pour exécuter un programme d'ordinateur comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé de configuration de stations selon l'invention.

En effet, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication comprenant des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de configuration de stations selon l'invention, lorsqu'il est exécuté sur un ordinateur. Ce

programme d'ordinateur peut être stocké sur un support lisible par ordinateur et peut être exécutable par un microprocesseur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation, et se présenter en tant que code source, code objet, ou
5 code intermédiaire entre code source et code objet, sous une forme partiellement compilée ou sous toute autre forme souhaitable.

L'invention vise aussi un support d'informations, inamovible, ou partiellement ou totalement amovible, lisible par un ordinateur, et comportant des instructions d'un programme d'ordinateur tel que
10 mentionné ci-dessus.

Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen
15 d'enregistrement magnétique, par exemple une clé USB (« *USB flash drive* » en anglais) ou un disque dur.

D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le
20 programme d'ordinateur selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur un réseau de type Internet.

En variante, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme d'ordinateur est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé
25 selon l'invention.

REVENDICATIONS

1. Procédé de configuration de stations d'un réseau de communications sans-fil, lesdites stations recevant selon un protocole prédéterminé les résultats de mesures d'interférences de la part de dispositifs-clients auxquels elles sont connectées, ledit procédé comprenant l'étape suivante :

a) lesdites stations transmettent (E1, E2) des données représentatives desdits résultats de mesure à une entité centrale de gestion à laquelle elles sont reliées,

ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :

b) ladite entité de gestion agrège (E3) lesdites données pour construire un graphe d'interférences global,

c) l'entité de gestion segmente (E4) le graphe en communautés de stations,

d) on effectue (E5, E6, E7) un calcul d'optimisation pour chaque communauté, et

e) chaque station applique (E8) le résultat du calcul d'optimisation qui la concerne.

2. Procédé de configuration de stations selon la revendication 1, caractérisé en ce que :

- lors de ladite étape a), chacune desdites stations agrège (E1) lesdits résultats reçus pour obtenir une distribution conjointe d'interférences sous forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, puis envoie (E2) son sous-graphe d'interférences à ladite entité centrale de gestion, et

- lors de ladite étape b), l'entité de gestion assemble (E3) les sous-graphes d'interférences reçus pour construire ledit graphe d'interférences global.

3. Procédé de configuration de stations selon la revendication 1
5 ou la revendication 2, caractérisé en ce que, lors de ladite étape d) :

- l'entité de gestion informe (E5) chaque station de la structure de sa communauté et d'un calcul distribué qui lui incombe,
- chaque station effectue (E6) un calcul d'optimisation, et
- chaque station dissémine (E7) la configuration de stations
10 obtenue suite à son calcul auprès des autres membres de sa communauté si cette configuration est plus performante qu'une configuration précédente ou prédéterminée,

et en ce que, lors de ladite étape e), chaque station (E8) applique la configuration de stations la plus performante parmi l'ensemble
15 comprenant la configuration obtenue et les configurations reçues.

4. Dispositif de configuration de station d'un réseau de communications sans-fil, ladite station étant apte à recevoir selon un protocole prédéterminé les résultats de mesures d'interférences de la part de dispositifs-clients auxquels elle est connectée, ledit dispositif étant
20 caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour :

- agréger lesdits résultats reçus pour obtenir une distribution conjointe d'interférences sous forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, et
- envoyer ledit sous-graphe d'interférences à une entité centrale
25 de gestion à laquelle elle est reliée.

5. Dispositif de configuration de station selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens pour :

- recevoir de la part d'une entité centrale de gestion à laquelle ladite station est reliée des informations concernant la structure

- d'une communauté de stations à laquelle la station appartient et un calcul distribué qui lui incombe,
- effectuer un calcul d'optimisation,
 - disséminer la configuration de stations obtenue suite à son calcul auprès des autres membres de ladite communauté si cette configuration est plus performante qu'une configuration précédente ou prédéterminée, et
 - appliquer la configuration de stations la plus performante parmi l'ensemble comprenant la configuration obtenue et les configurations reçues.

6. Circuit électronique, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de configuration de station selon la revendication 4 ou la revendication 5.

7. Entité centrale de gestion dans un réseau de communications sans-fil, ladite entité de gestion comprenant des moyens pour recevoir de la part de stations auxquelles elle est reliée des données représentatives d'une distribution conjointe d'interférences associée à chacune de ces stations, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre des moyens pour :
- agréger lesdites données reçues pour construire un graphe d'interférences global, et
 - segmenter le graphe en communautés de stations.

8. Entité centrale de gestion selon la revendication 7, caractérisée en ce que, lesdites données reçues de la part de chacune desdites stations se présentant sous la forme d'un sous-graphe d'interférences dont cette station est le centre, elle comprend en outre des moyens pour assembler lesdits sous-graphes d'interférences pour construire ledit graphe d'interférences global.

9. Entité centrale de gestion selon la revendication 7 ou la revendication 8, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre des moyens

pour informer chacune desdites stations de la structure de sa communauté et d'un calcul distribué qui incombe à cette station.

10. Circuit électronique, caractérisé en ce qu'il comprend une entité centrale de gestion selon l'une quelconque des revendications 7 à 9.

11. Moyen de stockage de données inamovible, ou partiellement ou totalement amovible, comportant des instructions de code de programme informatique pour l'exécution des étapes d'un procédé de configuration de stations selon l'une quelconque des revendications 1 à 3.

10 12. Programme d'ordinateur téléchargeable depuis un réseau de communication et/ou stocké sur un support lisible par ordinateur et/ou exécutable par un microprocesseur, caractérisé en ce qu'il comprend des instructions pour l'exécution des étapes d'un procédé de configuration de stations selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, lorsqu'il est
15 exécuté sur un ordinateur.

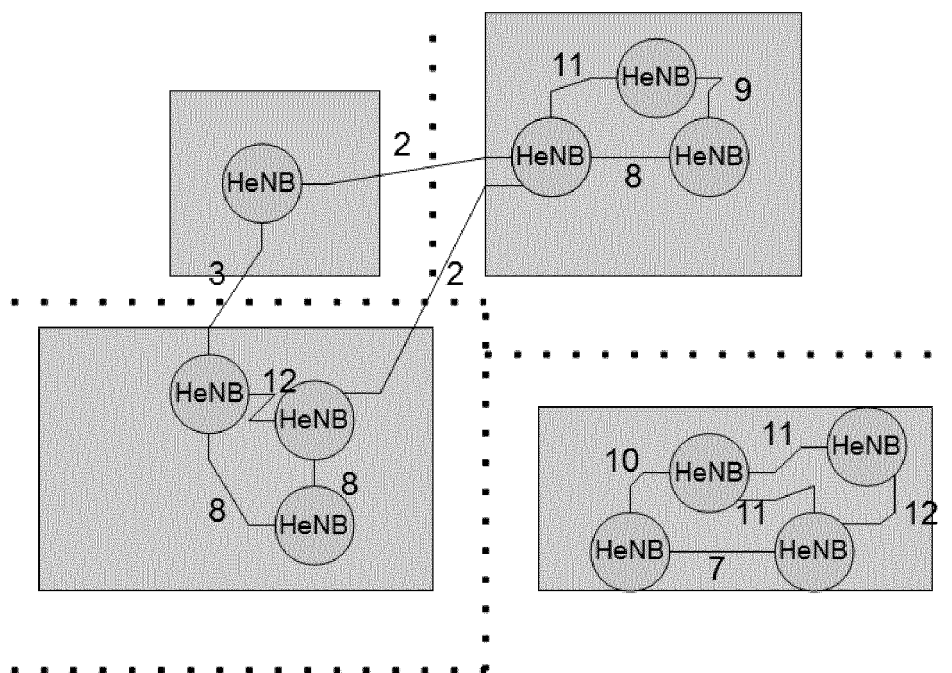


FIG. 1

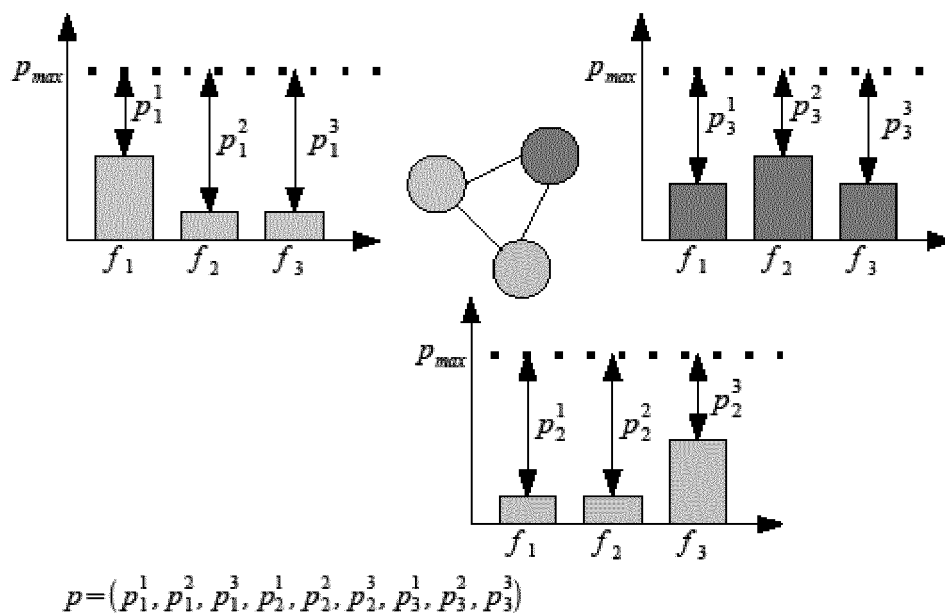


FIG. 3

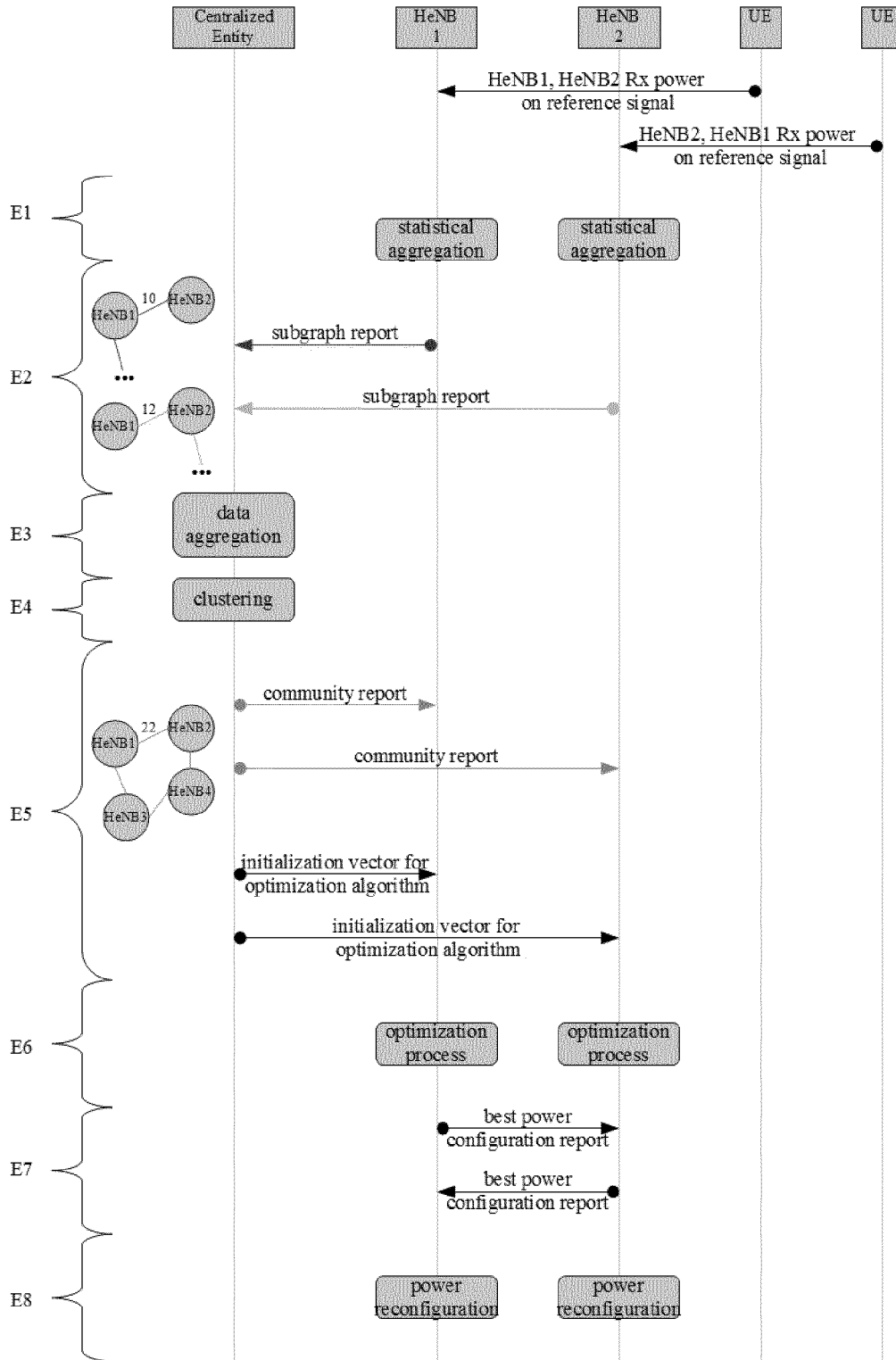


FIG. 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 759742
FR 1162327

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	HONGJIA LI ET AL: "Clustering strategy based on graph method and power control for frequency resource management in femtocell and macrocell overlaid system", JOURNAL OF COMMUNICATIONS AND NETWORKS, KOREAN INSTITUTE OF COMMUNICATION SCIENCES, SEOUL, KR, vol. 13, no. 6, 1 décembre 2011 (2011-12-01), pages 664-677, XP011423904, ISSN: 1229-2370, DOI: 10.1109/JCN.2011.6157483	1,2,4, 6-12	H04W72/12 H04W16/22
A	* abrégé * * Sections II et III *	3,5	
A	ABBAS HATOUM ET AL: "FCRA: Femtocell Cluster-Based Resource Allocation Scheme for OFDMA Networks", ICC 2011 - 2011 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS - 5-9 JUNE 2011 - KYOTO, JAPAN, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 5 juin 2011 (2011-06-05), pages 1-6, XP031908466, DOI: 10.1109/ICC.2011.5962705 ISBN: 978-1-61284-232-5 * abrégé * * Sections II et III *	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04W
A	WO 2010/121825 A1 (NEC EUROPE LTD [DE]; ZHOU JUN [GB]; FAN LINGHANG [GB]; ZEIN NADER [GB]) 28 octobre 2010 (2010-10-28) * abrégé * * page 4, ligne 1 - ligne 15 * * page 6, ligne 13 - page 7, ligne 6 * * figure 2 * ----- -/--	1-12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 juin 2012		Aulló Navarro, A	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 759742
FR 1162327

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2011/086636 A1 (LIN TZU-MING [TW]) 14 avril 2011 (2011-04-14) * abrégé * * alinéas [0007], [0010] * * alinéa [0035] - alinéa [0052] * * alinéa [0065] - alinéa [0075] * * alinéa [0081] - alinéa [0084] * -----	1-12	
A	WO 2009/153289 A1 (IP ACCESS LTD [GB]; NEIL DAVID [GB]) 23 décembre 2009 (2009-12-23) * page 3, ligne 1 - page 4, ligne 2 * * page 8, ligne 8 - page 9, ligne 30 * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		26 juin 2012	Aulló Navarro, A
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1162327 FA 759742**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-06-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2010121825 A1	28-10-2010	EP 2399411 A1	28-12-2011
		US 2012088506 A1	12-04-2012
		WO 2010121825 A1	28-10-2010

US 2011086636 A1	14-04-2011	CN 102045733 A	04-05-2011
		TW 201114276 A	16-04-2011
		US 2011086636 A1	14-04-2011

WO 2009153289 A1	23-12-2009	EP 2305000 A1	06-04-2011
		GB 2461254 A	30-12-2009
		WO 2009153289 A1	23-12-2009
