

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 112 260**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **20 06950**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 04 B 3/54 (2019.12), H 04 L 27/26, 29/06**

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 01.07.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 07.01.22 Bulletin 22/01.

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 :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SAGEMCOM ENERGY & TELECOM  
SAS SAS — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BAROIS Jérôme, ROTER Ziv,  
BARTHES Julien, TERRIEN Clément et BACRI Guil-  
laume.

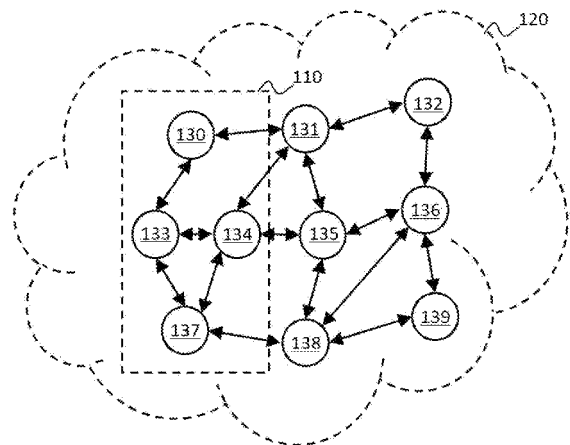
⑦3 Titulaire(s) : SAGEMCOM ENERGY & TELECOM  
SAS SAS.

⑦4 Mandataire(s) : LE GUEN & ASSOCIES.

⑤4 **PROCEDE DE TRANSMISSION DANS PLUSIEURS BANDES FREQUENTIELLES ENTRE DEUX DISPOSITIFS VOISINS D'UN RESEAU.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de transmission de données, sous forme de messages, dans un réseau de communication (120) par courants porteurs en ligne, le procédé étant exécuté dans un premier dispositif nœud (133) dudit réseau (120) configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud (134) dudit réseau (120), le procédé comprenant une émission d'un message dans un mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes. Ainsi, il est possible de disposer d'une bande passante plus large en utilisant différentes bandes fréquentielles disjointes en parallèle. L'invention concerne également un dispositif nœud de communication configuré pour exécuter le procédé précité.

Figure à publier avec l'abrégié : Fig. 1



FR 3 112 260 - A1



## **Description**

### **Titre de l'invention : PROCEDE DE TRANSMISSION DANS PLUSIEURS BANDES FREQUENTIELLES ENTRE DEUX DISPOSITIFS VOISINS D'UN RESEAU.**

#### **Domaine technique**

[0001] Au moins un mode de réalisation de la présente invention concerne un procédé de transmission d'un message à partir d'un premier dispositif nœud vers un second dispositif nœud appartenant à un voisinage réseau du premier dispositif nœud, lesdits premier et second dispositifs nœuds appartenant à un réseau utilisant des communications par courants porteurs en ligne. Au moins un mode de réalisation de la présente invention concerne un dispositif mettant en œuvre le procédé.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

[0002] Les communications par courants porteurs en ligne PLC (sigle signifiant « Power Line Communications », en anglais) se développent, notamment dans le cadre des réseaux d'alimentation électrique de type AMM (sigle signifiant « Automated Meter Management », en anglais). Des réseaux de communication sont ainsi implémentés dans des réseaux d'alimentation électrique pour la collecte automatisée par un dispositif nœud de base (aussi appelé « concentrateur de données ») du réseau, auprès de compteurs électriques intelligents (« smart electricity meters » en anglais), de données de relevés de consommation énergétique que lesdits compteurs électriques intelligents sont respectivement en charge de surveiller.

[0003] La norme de communication G3-PLC est définie pour permettre aux différents dispositifs nœuds (notamment concentrateur de données et compteurs électriques intelligents) d'un tel réseau de communiquer entre eux. La norme est spécifiée dans la recommandation ITU-T G.9903 laquelle décrit notamment la couche physique (PHY) et la couche liaison de données (DLL, sigle de « Data Link Layer », en anglais) du modèle OSI (acronyme de « Open Systems Interconnection », en anglais). La norme G3-PLC est destinée à être exploitée dans des bandes fréquentielles allant de 10 à 490 kHz. Elle supporte plus particulièrement les bandes fréquentielles suivantes : la bande fréquentielle CENELEC A, qui va approximativement de 35 kHz à 91 kHz ; la bande fréquentielle FCC, qui va approximativement de 150 kHz à 480 kHz ; la bande fréquentielle ARIB, qui va approximativement de 150 kHz à 400 kHz ; et la bande fréquentielle CENELEC B, qui va approximativement de 98 kHz à 122 kHz. Ces différentes bandes fréquentielles présentent des caractéristiques différentes en termes de débit, de portée, et de résistance aux perturbateurs, notamment.

[0004] Toutefois, la norme G3-PLC ne permet l'utilisation que d'une seule desdites bandes

fréquentielles pour un dispositif nœud donné. Plus exactement, les dispositifs nœuds récents peuvent parfois supporter plusieurs bandes fréquentielles, mais pas en même temps. Une reconfiguration est alors nécessaire pour passer d'une première bande fréquentielle à une seconde bande fréquentielle. Ainsi, lorsque dans un réseau de communication il est nécessaire de reconfigurer, dans une nouvelle bande fréquentielle, un ensemble de dispositifs concentrateurs de données et un ensemble de compteurs électriques qui lui sont associés, une reconfiguration peut se montrer particulièrement complexe. Par exemple, un dispositif compteur n'ayant pas pu réceptionner un message lui indiquant de changer de bande fréquentielle peut devenir incapable de communiquer avec le dispositif concentrateur de données auquel il est associé, après que ce dernier ait pu, quant à lui, changer de bande fréquentielle.

[0005] Or, les besoins en termes de ressources des réseaux de communication, notamment dans le déploiement des réseaux d'alimentation électrique de type AMM, grandissent de jour en jour. La bande fréquentielle, pour laquelle les éléments constitutifs d'un réseau ont été certifiés, peut se retrouver en limite de capacité, ce qui fait obstacle à une augmentation du nombre d'échanges dans le réseau, par exemple pour introduire de nouvelles fonctionnalités ou encore de nouveaux besoins applicatifs, par exemple.

[0006] Il est souhaitable de pallier ces différents inconvénients de l'état de la technique. Il est ainsi notamment souhaitable de proposer une solution de communication par courant porteur en ligne permettant d'augmenter la capacité de nombre d'échanges dans le réseau de communication. Il est notamment souhaitable de proposer une solution applicable aux réseaux d'alimentation électrique de type AMM.

### **Exposé de l'invention**

[0007] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de transmission de données, sous forme de messages ou de trames de données, dans un réseau de communication par courants porteurs en ligne, le procédé étant exécuté dans un premier dispositif nœud dudit réseau configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud dudit réseau, le procédé comprenant une émission d'un message dans un mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes.

[0008] Avantageusement, il est ainsi possible de disposer d'une bande passante plus large en utilisant différentes bandes fréquentielles disjointes en parallèle.

[0009] Les termes « bande fréquentielle disjointe » désignent ici une bande fréquentielle disjointe d'une autre bande fréquentielle.

[0010] Les avantages découlant d'une utilisation simultanée de plusieurs bandes fréquentielles sont par exemple, une augmentation de la vitesse moyenne des trans-

missions entre deux nœuds voisins, et donc plus largement, à travers le réseau de communication, une répartition optimisée de la charge du réseau sur plusieurs bandes fréquentielles, et une meilleure communication en milieu perturbé.

[0011] Le procédé selon l'invention peut également comporter les caractéristiques suivantes, considérées seules ou en combinaison :

[0012] – L'émission d'un message dans un mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes comprend une utilisation d'une bande fréquentielle dite « bande fréquentielle étendue » comprenant au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes, chaque bande fréquentielle disjointe comprenant une pluralité de sous-porteuses, le procédé comprenant en outre une étape d'entrelacer des données d'un message à transmettre adaptée à une émission desdites données réparties sur l'ensemble desdites sous-porteuses.

[0013] Avantageusement, il est ainsi possible d'exploiter plusieurs bandes fréquentielles simultanément tout en adressant les moyens matériels utilisés en faisant référence à une bande fréquentielle étendue, de façon similaire à ce qui est réalisé pour des communications dans une bande fréquentielle unique.

[0014] Avantageusement encore, un adressage d'une bande fréquentielle unique, c'est-à-dire de la bande étendue qui comprend plusieurs bandes fréquentielles disjointes, permet une simplification de la gestion des perturbations. Ainsi, il est possible de s'affranchir d'éventuelles perturbations temporelles (mise en route d'un équipement, par exemple) ou fréquentielles (présence de perturbations électromagnétiques à certaines fréquences uniquement).

[0015] – L'opération d'entrelacement des données précitée comprend :

[0016] i. obtenir une première table d'entrelacement  $T [m, n]$  d'éléments binaires représentatifs des données à transmettre, la première table comprenant autant de secondes tables d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  d'éléments binaires que de bandes fréquentielles disjointes comprises dans la bande étendue, chaque seconde table d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  étant attribuée à une seule des au moins deux bandes fréquentielles disjointes de la bande fréquentielle étendue, les dimensions  $m_i, n_i$  de chacune des secondes tables d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  étant définies selon un type de modulation utilisé pour l'émission des données dans la bande fréquentielle disjointe à laquelle une seconde table d'entrelacement est attribuée, des éventuelles différences de dimensions entre des secondes tables d'entrelacement étant susceptibles de générer une ou plusieurs positions dites invalides comprises dans la première table d'entrelacement mais non comprises dans l'une au moins des secondes tables

- d'entrelacement,
- ii. entrelacer les éléments binaires par décalages successifs des lignes  $m$  et des colonnes  $n$  de la première table  $T [m, n]$  d'entrelacement, les décalages successifs étant réalisés sous forme de permutations circulaires des éléments binaires respectivement par ligne et par colonne,
  - iii. déplacer tout élément binaire détecté comme présent à une position invalide de la première table d'entrelacement vers une position d'une dite seconde table d'entrelacement qui est disponible après l'entrelacement des éléments binaires de la première table d'entrelacement, de sorte que chaque seconde table d'entrelacement comprenne des éléments binaires affectés à l'un desdits groupes de données,
  - iv. orienter les éléments binaires de chacun des groupes de données vers une circuiterie électronique configurée pour moduler et transmettre lesdits éléments binaires.
- [0017] – L'étape ii) pour entrelacer les éléments binaires, et les dimensions des secondes tables d'entrelacement, sont conformes à la recommandation ITU-T G.9903.
- [0018] Ainsi, il est possible d'adresser une bande fréquentielle étendue comprenant plusieurs bandes fréquentielles disjointes en utilisant des dispositifs nœuds dont l'architecture est proche de l'architecture des dispositifs nœuds existants, compatible avec la norme de communication dite G3-PLC.
- [0019] – L'émission dans le mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes utilise un mode de communication dit mode « hyper robuste » comprenant les étapes, mises en œuvre par le premier dispositif nœud :
- transmettre, au second dispositif nœud, le message sur une première bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bande fréquentielles disjointes, le message étant modulé selon le mode robuste, une modulation selon le mode robuste comprenant successivement un codage Reed-Solomon, un codage convolutif, un codage par répétition de codes et une modulation BPSK; et,
  - transmettre, au second dispositif nœud, le message sur au moins une deuxième bande fréquentielle disjointe parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes, le message étant modulé selon le mode robuste et les première et deuxième bandes fréquentielles disjointes étant différentes.
- [0020] Ainsi, en cas de fortes perturbations sur une bande fréquentielle disjointe, le message peut être malgré tout transmis avec succès sur une autre bande fréquentielle disjointe. En effet, le second dispositif nœud n'a besoin de recevoir le message que sur une seule des bandes fréquentielles disjointes sur lesquelles il a été parallèlement transmis. Ce

mode de transmission est donc particulièrement avantageux en cas de fortes perturbations.

- [0021] - Le procédé comprend un mode de transmission d'un message sous forme de fragments, et comprend pour ce faire des étapes de :
- [0022] - fragmenter le message à transmettre entre le premier dispositif nœud et le deuxième dispositif en au moins un premier fragment et un second fragment ;
- [0023] - associer, au premier fragment, une première bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes et associer, au second fragment, une seconde bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes, les première et seconde bandes fréquentielles disjointes étant différentes ; et,
- [0024] - transmettre chacun des premier et second fragments sur la bande fréquentielle à laquelle il est associé.
- [0025] Ainsi, l'utilisation de plusieurs bandes fréquentielles pour envoyer un message permet de bénéficier des caractéristiques des différentes bandes fréquentielles en termes de débit, de portée et de résistance aux perturbateurs. Le procédé de transmission permet alors d'augmenter la capacité de nombre d'échanges dans le réseau.
- [0026] - Le procédé comprenant les étapes de :
- [0027] - recevoir, depuis un troisième dispositif nœud, un fragment d'un message dans une première bande fréquentielle disjointe parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes,
- [0028] - sélectionner une bande fréquentielle autre que la première bande fréquentielle parmi l'ensemble des bandes fréquentielles et qui est une bande fréquentielle sur laquelle un deuxième dispositif nœud est apte à émettre et recevoir des messages,
- [0029] - relayer le fragment dans la deuxième bande fréquentielle disjointe sélectionnée vers le second dispositif nœud.
- [0030] Ainsi, la latence de la transmission de messages liée à l'utilisation d'une unique bande fréquentielle pour une zone géographique donnée est grandement réduite.
- [0031] Le procédé comprend, préalablement à la transmission du message, les étapes de :
- [0032] - estimer, pour chaque bande fréquentielle disjointe, une durée de transmission dudit message dans cette bande fréquentielle,
- [0033] - obtenir d'une base de données, des résultats d'intégration de taux d'occupation de chaque bande fréquentielle, déterminés pendant plusieurs échelles de temps correspondant à la durée d'émission théorique du message dans chaque bande fréquentielle,
- [0034] - sélectionner, à partir des résultats d'intégration de taux d'occupation de chaque bande fréquentielle déterminés pendant plusieurs échelles de temps obtenus, une bande fréquentielle, et

- [0035] - transmettre le message dans la bande fréquentielle sélectionnée.
- [0036] Cela permet de bénéficier des avantages, en termes de débit, de portée, et de résistance aux perturbateurs, des différentes bandes fréquentielles.
- [0037] – Le second dispositif nœud est atteignable depuis le premier dispositif nœud par au moins deux routes de communication différentes et le procédé comprend :
- obtenir un coût de route pour chacune desdites routes de communication ; et
  - sélectionner parmi lesdites routes de communication, la route de communication correspondant au coût de route le plus petit.
- [0038] Cela permet de traduire de façon paramétrable le gain de coût de route dû à une approche multi-bandes. En effet, un coût de lien dans une direction donnée dépend du coût du lien, dans la direction donnée, calculé pour chaque bande fréquentielle.
- [0039] – Le procédé comprend des étapes de :
- transmettre un exemplaire d'un premier message vers le second dispositif nœud dans chacune desdites au moins deux bandes fréquentielles disjointes, le premier message comprenant une information selon laquelle une estimation de canal est demandée au second dispositif nœud par le premier dispositif nœud,
  - recevoir un second message émis par le second dispositif nœud sur chaque bande fréquentielle disjointe via laquelle le second dispositif nœud a reçu un dit exemplaire du premier message, chaque second message comprenant des informations représentatives d'une estimation de canal pour la bande fréquentielle disjointe via laquelle ledit second message est reçu,
  - enregistrer, par le premier dispositif nœud, les informations représentatives de l'estimation de canal contenues dans chaque second message reçu, et
  - déterminer, à partir des informations enregistrées, un mode de transmission d'un troisième message à émettre ultérieurement depuis le premier dispositif nœud vers le second dispositif nœud.
- [0040] Il est ainsi possible, pour un dispositif nœud donné, de déterminer quelles sont les capacités de transmission de ses dispositifs nœuds voisins, et en fonction de la capacité des dispositifs nœuds voisins, d'exploiter plusieurs bandes fréquentielles simultanément pour optimiser les performances de communication dans le réseau.
- [0041] – Les au moins deux bandes fréquentielles disjointes sont choisies parmi le groupe : bande fréquentielle CENELEC A, bande fréquentielle CENELEC B, et bande fréquentielle FCC ou bande fréquentielle ARIB.
- Le réseau de communication par courants porteurs en ligne est un réseau maillé de type G3-PLC.
- [0042] L'invention a également pour objet un dispositif nœud destiné à être utilisé dans un

réseau de communication par courants porteurs en ligne, le dispositif nœud étant configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud dudit réseau et étant configuré pour appliquer un mode de transmission dans, parallèlement, au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi une pluralité de bandes fréquentielles disjointes.

- [0043] Avantageusement, le dispositif nœud est configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud du réseau et pour appliquer un mode de transmission dans une bande fréquentielle dite « bande fréquentielle étendue », la bande fréquentielle étendue comprenant au moins deux bandes fréquentielles parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes, chaque bande fréquentielle disjointe comprenant une pluralité de sous-porteuses, le dispositif nœud comprenant une circuiterie électronique configurée pour :
- [0044] – répartir en plusieurs groupes de données, via une opération d'entrelacement, des données à transmettre dans la bande fréquentielle étendue, chaque groupe étant attribué à une seule desdites au moins deux bandes fréquentielles disjointes, et des données de chacun des groupes étant attribuées à chacune des sous porteuses de la bande fréquentielle à laquelle le groupe est attribué,
- transmettre les données de chacun des plusieurs groupes de données dans la bande fréquentielle disjointe auquel le groupe est attribué de sorte que la transmission des données soit opérée conjointement sur l'ensemble des sous-porteuses des au moins deux bandes fréquentielles.
- [0045] Avantageusement, les au moins deux bandes fréquentielles disjointes dans lesquelles le dispositif nœud peut communiquer sont choisies parmi le groupe : bande fréquentielle CENELEC A, bande fréquentielle CENELEC B, et bande fréquentielle FCC ou bande fréquentielle ARIB et dans lequel les dimensions des secondes tables d'entrelacement sont conformes à la recommandation ITU-T G.9903.
- [0046] L'invention a également pour objet un réseau de communication par courants porteurs en ligne comprenant une pluralité de dispositifs nœuds tels que précédemment décrits.
- [0047] L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de codes de programme pour exécuter des étapes du procédé précédemment décrit lorsque le programme est exécuté par un processeur, ainsi qu'un support de stockage d'informations comprenant un tel produit programme d'ordinateur.

### **Brève description des dessins**

- [0048] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'au moins un exemple

de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

- [0049] [fig.1] illustre un réseau d'alimentation électrique utilisant des communications par courants porteurs en ligne comprenant un dispositif mettant en œuvre le procédé selon l'invention ;
- [0050] [fig.2] est un ordinogramme illustrant un premier mode de réalisation utilisant une transmission en bande fréquentielle étendue ;
- [0051] [fig.3] est une représentation schématique d'un entrelacement de données adapté à une communication en bande fréquentielle étendue, selon le premier mode de réalisation ;
- [0052] [fig.4] est un ordinogramme illustrant un deuxième mode de réalisation utilisant une transmission dans un mode de communication robuste en multi-bandes ;
- [0053] [fig.5] est un ordinogramme illustrant un troisième mode de réalisation utilisant une transmission d'un message fragmenté sur plusieurs bandes fréquentielles disjointes ;
- [0054] [fig.6] est un ordinogramme illustrant un quatrième mode de réalisation visant à optimiser le temps de transmission d'un message en multi-bandes ;
- [0055] [fig.7] est un ordinogramme illustrant un cinquième mode de réalisation visant à optimiser la bande passante pour une transmission en multi-bandes ;
- [0056] [fig.8] est un ordinogramme illustrant un sixième mode de réalisation comprenant un calcul de coûts de routes pour une communication en multi-bandes ;
- [0057] [fig.9] est un ordinogramme illustrant un septième mode de réalisation comprenant une détermination par un dispositif nœud des capacités de communication d'un dispositif nœud voisin en vue d'une communication en multi-bandes ;
- [0058] [fig.10] illustre schématiquement l'architecture interne d'un dispositif nœud du réseau de communication déjà illustré sur la Fig. 1 ;
- [0059] [fig.11] illustre schématiquement un exemple d'architecture d'une chaîne de réception d'un dispositif nœud configuré pour opérer un mode de réception en multi-bandes.

[0060] EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION

- [0061] La **Fig. 1** illustre schématiquement un réseau de communication 120. Le réseau de communication 120 s'appuie sur des communications par courants porteurs en ligne PLC. Le réseau de communication 120 est par exemple un réseau d'alimentation électrique de type AMM permettant à un dispositif nœud de base (aussi appelé « concentrateur de données ») de collecter, auprès de compteurs électriques intelligents, des données de relevés de consommation énergétique d'installations électriques que les compteurs électriques intelligents sont respectivement en charge de surveiller. Le concentrateur de données et les compteurs électriques intelligents sont ainsi des dispositifs nœuds du réseau de communication 120. Le réseau de commu-

nication 120 peut comporter d'autres dispositifs nœuds, par exemple installés au niveau de transformateurs électriques.

- [0062] Le réseau de communication 120 a une structure maillée. La structure maillée du réseau de communication 120 est représentée schématiquement sur la Fig. 1 grâce à des flèches représentant les liens de communication entre deux nœuds voisins et où des dispositifs nœuds jouent le rôle de relais pour augmenter la portée des communications dans le réseau de communication 120. Un même compteur électrique intelligent dispose ainsi potentiellement de plusieurs routes pour atteindre le concentrateur de données, et vice versa.
- [0063] La présente invention est donc particulièrement adaptée au contexte de la technologie G3-PLC.
- [0064] Le réseau de communication 120 comporte ainsi une pluralité de dispositifs nœuds 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139. A chacun des dispositifs nœuds du réseau de communication 120 est associé un voisinage réseau. Par exemple, le dispositif nœud 133 de la Fig. 1 est associé à un voisinage réseau 110 englobant les dispositifs nœuds 130, 134 et 137. Dans le réseau de communication 120, un signal ou un message diffusé par un dispositif nœud, tel que par exemple, le dispositif nœud 133, n'est généralement pas visible en tout point du réseau de communication 120. Chaque dispositif nœud émetteur de signaux ou de messages dispose alors d'un voisinage réseau, c'est-à-dire d'un sous-ensemble du réseau de communication 120 dans lequel tout dispositif nœud peut recevoir de manière intelligible les signaux ou messages directement en provenance du dispositif nœud ayant diffusé ces signaux ou messages. Le voisinage réseau correspond à la portée des signaux émis, en fonction de paramètres prédéterminés de transmission (*e.g.* puissance, schéma de modulation et de codage, topologie réseau...) du dispositif nœud à la source des signaux et aussi potentiellement en fonction de caractéristiques du canal de communication telles que, par exemple, une atténuation, un niveau de bruit, une impédance.
- [0065] Le réseau de communication 120 s'appuie sur un protocole de routage de type réactif, tel que, par exemple, le protocole LOADng (« Lightweight On-demand Ad hoc Distance-vector Routing Protocol – Next Generation » en anglais). Contrairement aux protocoles de routage de type proactif qui s'appuient sur une connaissance globale de topologie réseau, les protocoles de routage de type réactif s'appuient sur des découvertes de routes à la demande, chaque dispositif nœud du réseau ayant alors besoin uniquement d'avoir connaissance de son propre voisinage réseau pour router des données dans le réseau de communication 120.
- [0066] Pour découvrir une route appropriée dans le réseau de communication 120 depuis un dispositif nœud source (par exemple le dispositif nœud 133) jusqu'à un dispositif nœud destination (par exemple le dispositif nœud 132), il est connu que le dispositif nœud

source diffuse (« broadcast » en anglais) une requête de découverte de route, appelée RREQ (« Route REQuest » en anglais). Cette requête de découverte de route est reçue par chaque dispositif nœud dans le voisinage réseau dudit dispositif nœud source. Chaque dispositif nœud dans le voisinage réseau dudit dispositif nœud source relaie, par diffusion, ladite copie de la requête si ledit dispositif nœud en question n'est pas le dispositif nœud destination. Par diffusion de proche en proche, plusieurs copies de la requête de découverte de route sont typiquement reçues par le dispositif nœud destination, chacune de ces copies ayant suivi un chemin différent dans le réseau de communication 120.

- [0067] L'utilisation de tables de routage mémorisées dans les dispositifs nœuds permet d'effectuer des communications point-à-point (« unicast » en anglais) entre toute paire de dispositifs nœuds du réseau de communication 120. Des dispositifs nœuds intermédiaires servent donc de relais lorsque les dispositifs nœuds de ladite paire ne sont pas dans le voisinage réseau l'un de l'autre, les communications s'opèrent ainsi de proche en proche, chaque dispositif nœud s'appuyant sur un de ses propres voisins pour faire suivre des messages jusqu'à leurs destinataires respectifs.
- [0068] Pour communiquer entre dispositifs nœuds voisins (c'est-à-dire des dispositifs nœuds qui sont dans le voisinage réseau l'un de l'autre), les messages sont transmis sous forme de trames modulées. Lorsqu'une trame modulée est spécifiquement adressée à un dispositif nœud voisin et qu'elle est correctement démodulée par celui-ci, ledit dispositif nœud voisin retransmet un acquittement ACK au dispositif nœud qui lui a adressé ladite trame modulée. L'acquiescement ACK est transmis sur la même bande fréquentielle que la trame modulée à laquelle ledit acquiescement ACK est associé.
- [0069] Plusieurs bandes fréquentielles sont définies pour supporter la transmission de ces trames modulées, un schéma de modulation adapté étant associé avec chacune de ces bandes fréquentielles. Chaque trame transmise sous forme de signaux modulés débute par un préambule prédéfini en fonction du schéma de modulation selon lequel lesdits signaux ont été modulés. Le préambule est adapté pour permettre de se synchroniser en réception sur ladite trame, c'est-à-dire de pouvoir déterminer un instant effectif de début de trame. Pour ce faire, le préambule comporte typiquement une pluralité de copies successives d'un même symbole. Le contenu effectif et la durée du préambule sont ainsi prédéfinis et dépendent du schéma de modulation utilisé. Les préambules de plusieurs trames sont identiques lorsque le même schéma de modulation est appliqué, et différent sinon.
- [0070] Les schémas de modulation applicables (et des schémas de démodulation correspondants) sont préférentiellement des schémas de modulation (respectivement schémas de démodulation) multi-porteuse de type OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplex » en anglais).

- [0071] En termes de bandes fréquentielles utilisables dans le cadre de la mise en œuvre du réseau de communication 120, on peut citer : la bande fréquentielle CENELEC A, qui va approximativement de 35 kHz à 91 kHz ; la bande fréquentielle FCC, qui va approximativement de 150 kHz à 480 kHz ; la bande fréquentielle ARIB, qui va approximativement de 150 kHz à 400 kHz ; et la bande fréquentielle CENELEC B, qui va approximativement de 98 kHz à 122 kHz. Il est alors possible d'utiliser : un premier schéma de modulation à trente-six porteuses dans la bande fréquentielle CENELEC A ; un second schéma de modulation à soixante-douze porteuses dans la bande fréquentielle FCC ; un troisième schéma de modulation à cinquante-quatre porteuses dans la bande fréquentielle ARIB ; et un quatrième schéma de modulation à seize porteuses dans la bande fréquentielle CENELEC B. Il apparaît de ce qui précède, qu'un dispositif nœud peut utiliser simultanément plusieurs bandes fréquentielles disjointes pour communiquer avec un ou plusieurs de ses voisins, en appliquant un mécanisme de transmission adapté. Toutefois, il apparaît que les bandes fréquentielles ARIB et FCC ne peuvent pas être utilisées simultanément par un même dispositif nœud, étant donné qu'elles se recouvrent.
- [0072] Avantagement, au moins certains des dispositifs nœuds 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139 sont configurés pour communiquer dans plusieurs bandes fréquentielles disjointes. Il est dès lors important, pour un dispositif nœud donné, de pouvoir déterminer quels sont les modes de communication supportés par un dispositif nœud dans son voisinage réseau. Les termes « modes de communications supportés » désignent un ou plusieurs modes de communication natifs d'un dispositif nœud, c'est-à-dire que ce dernier est capable d'implémenter du fait de ses configurations possibles, et impliquent aussi que ce ou ces modes de communication natifs soient utilisables à un instant donné, compte tenu des éventuelles perturbations qui peuvent exister. Les perturbations peuvent être issues, par exemple, d'un environnement bruité.
- [0073] Un échange de messages selon un protocole prédéfini permet, par exemple, à un premier dispositif nœud d'obtenir des informations quant aux capacités de communication d'un second dispositif nœud voisin. Par exemple, le premier dispositif nœud adresse au second dispositif nœud voisin un exemplaire d'un premier message dans chacune des bandes fréquentielles dans lesquelles il peut communiquer du fait de sa configuration, et le dispositif nœud voisin est configuré pour reconnaître un tel message et y répondre par un second message dans chacune des bandes fréquentielles dans laquelle il a pu le recevoir.
- [0074] Dans un contexte G3-PLC, par exemple, les exemplaires du premier message contiennent une information selon laquelle une estimation de canal est sollicitée auprès du dispositif nœud voisin, pour la bande fréquentielle dans laquelle il a reçu le message (requête dite « Tone Map »). Avantagement, l'information selon laquelle une es-

timisation canal est sollicitée auprès du second dispositif nœud voisin par le premier dispositif nœud est alors un indicateur *Tone Map Request* d'un entête de contrôle de trame défini selon la recommandation ITU-T G9903. Ainsi, le second dispositif nœud voisin répondra à la requête *Tone Map Request* en envoyant au premier dispositif nœud, dans chacune des bandes fréquentielles dans laquelle il a reçu un exemplaire du premier message, un second message comprenant des informations représentatives d'au moins une estimation de canal sous la forme d'un bloc de données *Tone Map Response* tel que défini selon la recommandation ITU-T G9903.

- [0075] Le premier dispositif pourra donc connaître et mémoriser des informations quant aux bandes fréquentielles qu'il peut utiliser pour communiquer avec le second dispositif nœud voisin.
- [0076] Avantagement, certains des dispositifs nœuds 130 à 139 sont configurés pour opérer au moins un mode de communication utilisant parallèlement plusieurs bandes fréquentielles disjointes. Ainsi le dispositif nœud 133, par exemple, est configuré pour communiquer dans une seule bande fréquentielle disjointe, parallèlement dans plusieurs bandes fréquentielles disjointes (multi-bandes) ou encore en bande fréquentielle étendue.
- [0077] Selon un mode de réalisation de l'invention, au moins une partie des dispositifs nœuds 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139 supportant des modes de communication dans plusieurs bandes fréquentielles disjointes supporte en outre un mode de communication en bande fréquentielle dite « bande fréquentielle étendue ». Une bande fréquentielle étendue comprend avantagement plusieurs bandes fréquentielles disjointes. Ainsi une bande fréquentielle étendue peut comprendre deux, trois ou quatre bandes fréquentielles disjointes, par exemple, ou plus encore. Chaque bande fréquentielle disjointe utilise une pluralité de sous porteuses.
- [0078] La détermination de la capacité d'un dispositif nœud voisin à communiquer dans une bande fréquentielle étendue est similaire à ce qui est précédemment décrit pour la détermination des différents modes de communication supportés par un dispositif, dès lors que la bande fréquentielle étendue est communément définie entre les différents dispositifs nœuds voisins du réseau de communication. Ainsi, selon un mode de réalisation, la bande fréquentielle étendue peut être définie comme comprenant la bande fréquentielle CENELEC A, la bande fréquentielle CENELEC B et la bande FCC. Selon une variante, la bande fréquentielle étendue peut être définie comme comprenant la bande fréquentielle CENELEC A, la bande fréquentielle CENELEC B et la bande fréquentielle ARIB. Un premier dispositif nœud peut donc émettre une requête en estimation de canal (requête dite « TONE MAP ») dans la bande fréquentielle étendue pour déterminer si un second dispositif nœud voisin supporte des communications dans la bande fréquentielle étendue.

- [0079] La **Fig. 2** illustre un procédé de transmission dans une bande fréquentielle étendue selon un premier mode de réalisation. Le procédé illustré est exécuté dans l'un, premier, des dispositifs nœuds du réseau de communication 120, configuré de sorte à supporter un mode de transmission en bande fréquentielle étendue, et qui communique avec un second dispositif nœud voisin, lui aussi configuré pour communiquer en bande fréquentielle étendue. Le premier dispositif nœud dans lequel est exécuté le procédé est, par exemple, le dispositif nœud 133 qui communique avec le second dispositif nœud, voisin, 134.
- [0080] Au terme d'une étape d'initialisation **S20**, les premier et second dispositifs nœuds 133 et 134 sont configurés pour communiquer l'un avec l'autre selon au moins un mode de communication dans au moins une bande fréquentielle. Il est considéré que les dispositifs sont alors normalement opérationnels, à ce stade, et qu'un échange de messages peut être initié.
- [0081] Selon un mode de réalisation, le premier dispositif nœud 133 est configuré lors d'une étape **S21** pour opérer des communications dans une bande fréquentielle étendue. Cette configuration est par exemple réalisée par une écriture, par un module de contrôle du premier dispositif nœud 133, d'un indicateur de validation de bande fréquentielle étendue. Selon un mode de réalisation, cet indicateur est un élément binaire (bit) positionné à « 1 » dans un registre de configuration du dispositif nœud 133 qui contrôle un entrelacement de données à émettre selon un mode d'entrelacement propre à une transmission en bande fréquentielle étendue.
- [0082] La configuration du premier dispositif nœud 133 dans un mode de communication en bande fréquentielle étendue peut être réalisée, par exemple, après que le premier dispositif nœud 133 ait adressé une requête en estimation de canal, laquelle requête comprend un indicateur selon lequel une bande fréquentielle étendue est concernée par cette requête, et que le second dispositif nœud voisin 134 ait alors répondu à cette requête en indiquant au premier dispositif nœud 133 qu'il est bien comptable avec une communication en bande fréquentielle étendue. La réponse du second dispositif nœud voisin 134 est, par exemple, réalisée sous la forme d'un message contenant des informations représentatives d'une estimation de canal, sur chacune des bandes fréquentielles comprises dans la bande fréquentielle étendue telle que définie par le premier dispositif nœud 133.
- [0083] Selon une variante, le premier dispositif nœud 133 est nativement conçu pour opérer des communications en bande fréquentielle étendue, telle que la bande fréquentielle est définie dans la présente description et aucune configuration particulière du premier dispositif nœud 133 n'est requise après une phase d'initialisation suite à une mise sous tension.
- [0084] Ainsi, il est considéré que le dispositif nœud 133 est configuré pour communiquer en

bande fréquentielle étendue au terme de l'étape d'initialisation S20 et applique un mode de communication en bande fréquentielle étendue, que cela ait requis une configuration particulière (sélection d'un mode de communication, par exemple) ou encore que cette configuration soit native, c'est-à-dire inhérente à la conception du premier dispositif nœud 133 et aux différents circuits électroniques qui le composent.

- [0085] Bien évidemment le premier dispositif nœud 133 est configuré pour opérer tout échange de messages ou de signaux protocolaires destiné à organiser et gérer le partage du réseau avec d'autres dispositifs nœuds. De tels échanges ont ainsi vocation à solliciter un accès au réseau, ou encore à enregistrer des informations relatives aux capacités de communications des dispositifs nœuds voisins, tels que le second dispositif nœud 134, par exemple.
- [0086] Une répartition des données à transmettre en bande fréquentielle étendue, dans chacune des bandes fréquentielles disjointes de la bande étendue définie, est opérée lors d'une étape **S22**. Lors de cette étape S22, les données sont réparties en différents groupes de données. Les données de chacun des différents groupes sont destinées à être émises dans une bande fréquentielle unique attribuée au groupe. Il est considéré ici, indifféremment, qu'un groupe de données est attribué à une seule des bandes fréquentielles comprises dans la bande fréquentielle étendue, ou vice-versa. Selon un mode de réalisation, les groupes de données réparties sont des ensembles d'éléments binaires  $b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_i, \dots, b_n$  en provenance d'un flux sériel d'éléments binaires. Par exemple, les données ainsi présentées sous la forme d'un flux sériel proviennent d'un encodeur convolutionnel, tel qu'un encodeur Viterbi.
- [0087] Avantageusement, la répartition des données à transmettre dans une bande fréquentielle étendue, en plusieurs groupes, est réalisée lors d'une étape d'entrelacement des données. L'étape d'entrelacement des données est réalisée par une circuiterie dite « entrelaceur ». Selon un mode de réalisation, l'entrelacement est avantageusement opéré à partir d'une table d'entrelacement d'entrée comprenant une pluralité de tables d'entrelacement de sortie, comme cela est expliqué plus loin dans la présente description.
- [0088] Après l'entrelacement décrit et réalisé dans le premier dispositif nœud 133, les données regroupées (réparties) dans autant de tables d'entrelacement de sortie de l'entrelaceur que de bandes fréquentielles disjointes comprises dans la bande fréquentielle étendue, sont adressées à des modulateurs du premier dispositif nœud 133 opérant chacun dans l'une des différentes bandes fréquentielles disjointes. Ainsi les données sont transmises au second dispositif nœud voisin 134, parallèlement et simultanément, par les différents modulateurs du premier dispositif nœud 133.
- [0089] Le second dispositif nœud 134, configuré pour la réception des données en bande étendue, c'est-à-dire simultanément dans les mêmes bandes fréquentielles disjointes

que celles utilisées pour la transmission, opère de façon inverse. En d'autres termes, le second dispositif nœud 134 démodule les données reçues dans chacune des bandes fréquentielles disjointes, désentrelace les données de façon inverse à ce qui est réalisé par l'entrelaceur du premier dispositif nœud 133, puis délivre un flux sériel d'éléments binaires à destination d'un décodeur Viterbi, le cas échéant, du second dispositif nœud 134.

- [0090] L'ordinogramme de la Fig.2 rebouclant en début d'étape S22, illustre une continuité de traitement entre des opérations successives d'entrelacement de données à l'étape S22 et la transmission de ces mêmes données réparties en groupes, en bande fréquentielle étendue à l'étape S23, c'est-à-dire parallèlement sur plusieurs bandes fréquentielles disjointes et en utilisant conjointement toutes les sous-porteuses de chacune des bandes fréquentielles disjointes de la bande étendue. Ainsi, le flux d'éléments binaires en entrée de l'entrelaceur est traité par tronçons successifs d'éléments binaires. Pendant que des éléments binaires sont entrelacés, des éléments précédemment entrelacés sont transmis par les modulateurs.
- [0091] Selon un mode de réalisation, en cas de problème de transmission, le premier dispositif nœud 133 peut être reconfiguré dans un mode de communication distinct d'un mode de communication en bande étendue, ou encore peut transmettre via un dispositif nœud voisin autre que le second dispositif nœud voisin 134. Les différentes étapes de détermination de la qualité de la transmission et/ou de reconfiguration du premier dispositif nœud 133 ne sont pas représentées sur la Fig. 2, n'étant pas utiles à la compréhension de l'invention.
- [0092] Comme indiqué, la répartition des données à transmettre en bande fréquentielle étendue est astucieusement réalisée lors d'une opération d'entrelacement, de sorte, notamment, à simplifier l'adaptation de dispositifs nœuds existants pour supporter une transmission en bande fréquentielle étendue.
- [0093] La **Fig.3** représente une table d'entrelacement T configurée pour opérer un entrelacement de données pour une communication en bande fréquentielle étendue. La table d'entrelacement T est obtenue par concaténation d'une première table d'entrelacement T1 et une seconde table d'entrelacement T2.
- [0094] La première table d'entrelacement T est la table d'entrée de l'entrelaceur utilisée par le procédé de transmission décrit sur la Fig.2 et les tables d'entrelacement T1 et T2 sont des tables de sortie de l'entrelaceur utilisées pour la transmission des groupes de données réparties vers les différents modulateurs, par le procédé exécuté. Dans l'exemple décrit, deux modulateurs sont utilisés pour la transmission des données dans deux bandes fréquentielles disjointes de la bande fréquentielle étendue telle que définie.
- [0095] Astucieusement, les tables d'entrelacement T1 et T2 présentent des dimensions res-

pectives (nombre de lignes  $m_i$  et de colonnes  $n_i$ ) définies à partir des types de modulation utilisés dans chacune des bandes fréquentielles disjointes de la bande fréquentielle étendue. Selon un mode de réalisation, un premier modulateur utilise une modulation BPSK (sigle de « Binary Phase Shift Keying », en anglais) pour la première bande fréquentielle et un second modulateur utilise une modulation de type QPSK (sigle de « Quadrature Phase Shift Keying », en anglais). Ainsi la table d'entrelacement T1 correspond à une table d'entrelacement telle que définie, par exemple, selon la norme G3-PLC pour une modulation BPSK et ses dimensions sont définies par 2 lignes et 3 colonnes. De façon similaire, la table d'entrelacement T2 correspond à une table d'entrelacement telle que définie, par exemple, selon la norme G3-PLC pour une modulation QPSK et ses dimensions sont définies par 4 lignes et 5 colonnes. Selon la norme G3-PLC, les dimensions d'une table d'entrelacement sont définies de sorte que le nombre de colonnes est égal au nombre de sous-porteuses utilisées dans la bande fréquentielle utilisée pour la transmission des données et le nombre de lignes dépend du nombre d'éléments binaires à entrelacer. Ce nombre d'éléments binaires à entrelacer est donc déterminé selon le nombre d'éléments binaires codés par un symbole selon le type de modulation utilisée, et par le nombre de sous-porteuses utilisées pour la transmission des symboles.

[0096] Astucieusement, selon l'exemple de définition de la première table d'entrelacement T, la première table d'entrelacement T est obtenue par une concaténation des secondes tables d'entrelacement T1 et T2 qui seraient utilisées pour l'entrelacement des données en vue de la transmission dans une bande fréquentielle disjointe unique, respectivement en BPSK pour la seconde table d'entrelacement T1 et en QPSK pour la seconde table d'entrelacement T2. Des indices T1-11 à T1-13 indexent les différentes positions de la première ligne de la seconde table d'entrelacement T1, et des indices T1-21 à T1-23 indexent les différentes positions de la deuxième ligne de la seconde table d'entrelacement T1. De la même façon, des indices T2-11 à T2-15 indexent les différentes positions de la première ligne de la seconde table d'entrelacement T2, des indices T2-21 à T2-25 indexent les différentes positions de la deuxième ligne de la seconde table d'entrelacement T2, des indices T2-31 à T2-35 indexent les différentes positions de la troisième ligne de la seconde table d'entrelacement T2 et des indices T2-41 à T2-45 indexent les différentes positions de la quatrième ligne de la seconde table d'entrelacement T2. Les indices précités ne sont pas représentés sur la Fig.3 mais peuvent être utilisés pour une bonne compréhension de l'utilisation des tables selon le mode de réalisation décrit ici. Ainsi, plus généralement, un indice  $T_i [m_i, n_i]$  indexe, dans la présente description, une position à la  $m_i^{\text{ème}}$  ligne et la  $n_i^{\text{ème}}$  colonne d'une table  $T_i$ . Les indices précédemment cités indexent donc les différentes positions de la table d'entrelacement T obtenue par concaténation des tables d'entrelacement T1 et T2, de

la Fig. 3 pour mieux illustrer le mode de concaténation utilisé. Selon un mode de réalisation, la concaténation des secondes tables d'entrelacement T1 et T2 est opérée de sorte que la table dont les colonnes correspondent à des bandes sous-porteuses de fréquences les plus basses est située à gauche. Les secondes tables d'entrelacement T1 et T2 sont concaténées pour définir la première table T en faisant concorder la première ligne de la seconde table d'entrelacement T1 avec la première ligne de la seconde table d'entrelacement T2, puis la deuxième ligne de la seconde table d'entrelacement T1 avec la deuxième ligne de la seconde table d'entrelacement T2. Ainsi la définition de la première table d'entrelacement T correspond à l'addition de la seconde table d'entrelacement T1 et de la seconde table d'entrelacement T2 auxquelles s'ajoute une troisième table entrelacement T' (représentée en grisé sur la Fig. 3) de sorte que la première table d'entrelacement T présente un même nombre de positions dans chacune de ses colonnes et dans chacune de ses lignes. Afin de simplifier les opérations d'entrelacement selon le mode de réalisation décrit, les positions comprises dans la table T' (positions qui apparaissent en grisé sur la Fig. 3), comprises dans la première table d'entrelacement T mais non comprises dans l'une au moins des secondes tables d'entrelacement T1 et T2, sont dites « invalides » puisque, après un entrelacement opéré dans la première table d'entrelacement T, des données (éléments binaires) pourraient être déplacées dans l'une de ces positions.

[0097] En effet, une opération d'entrelacement dans une table d'entrelacement consiste usuellement à décaler un certain nombre de fois le contenu de chacune des lignes et des colonnes par permutations circulaires des éléments binaires contenus dans les positions de la table. Chaque ligne étant classiquement décalée un nombre de fois différent des autres lignes et chaque colonne étant classiquement décalée un nombre de fois différent que les autres colonnes.

[0098] Des éléments binaires b1 à b26 d'un flux d'éléments binaires sont d'abord « chargés » de gauche à droite et de haut en bas dans la première table d'entrelacement T, préalablement à une opération d'entrelacement, de sorte que les positions invalides soient ignorées. L'élément binaire b1 est chargé dans la position T-11, b2 est chargé dans la position T-12, ... b13 dans la position T-25, ... et b26 dans la position T-48. Les positions invalides T-31, T-32, T-33, T-41, T-42 et T-43 de la première table d'entrelacement T sont ignorées pour le chargement des éléments binaires b1 à b26. On obtient ainsi la première table d'entrelacement T comprenant les secondes tables d'entrelacement T1 et T2, prêtes pour une opération d'entrelacement visant à répartir les données chargées (éléments binaires b1 à b26) en plusieurs groupes de données attribués chacun à une bande fréquentielle disjointe. Après l'opération globale d'entrelacement, l'élément binaire b22 occupe par exemple la position occupée par l'élément binaire b1 avant l'entrelacement, l'élément binaire b24 occupe par exemple

la position occupée par l'élément binaire  $b_2$  avant l'entrelacement, l'élément binaire  $b_{23}$  occupe par exemple la position occupée par l'élément  $b_5$  avant l'entrelacement, ..., et ainsi de suite. L'entrelacement ayant été réalisé dans des lignes et des colonnes entières de la première table d'entrelacement  $T$ , il en résulte que des positions invalides peuvent comprendre des éléments binaires suite à l'entrelacement. Selon le mode de réalisation, ces éléments sont alors déplacés vers des positions valides de la première table d'entrelacement  $T$ .

- [0099] Selon un mode de réalisation, ces déplacements sont réalisés en parcourant les positions invalides de la table  $T'$  de haut en bas et de gauche à droite. Dès qu'une position invalide comprend un élément binaire  $b_i$ , celui-ci est déplacé vers la première position valide disponible rencontrée en parcourant la première table d'entrelacement  $T$  de haut en bas et de gauche à droite.
- [0100] Astucieusement, chacune des secondes tables d'entrelacement  $T_1$  et  $T_2$  comprend un groupe d'éléments binaires des données réparties en groupes correspondant chacun à une bande fréquentielle disjointe comprise dans la bande fréquentielle étendue. En d'autres termes et selon l'exemple décrit, les éléments binaires compris dans la seconde table d'entrelacement  $T_1$  sont transmis au premier modulateur en vue d'une transmission en BPSK dans une première bande fréquentielle disjointe de la bande étendue, et les éléments binaires compris dans la seconde table d'entrelacement  $T_2$  sont transmis au second modulateur en vue d'une transmission en QPSK dans une deuxième bande fréquentielle disjointe de la bande étendue. Chacune des colonnes des secondes tables d'entrelacement correspond à une sous porteuse de la bande fréquentielle attribuée au groupe de données. Ainsi, l'entrelacement opère également une répartition des données de chaque groupe sur les différentes sous porteuses de la bande fréquentielle utilisée pour la transmission des données du groupe.
- [0101] Selon un mode de réalisation, les éléments binaires sont respectivement transmis par le biais de flux sériels vers les modulateurs, via des zones mémoires tampons (encore appelées buffers ou registres). Selon une variante, les éléments binaires sont transmis de fait vers des buffers d'entrée respectivement associés aux modulateurs, les buffers d'entrée des modulateurs étant directement les secondes tables d'entrelacement  $T_1$  et  $T_2$ .
- [0102] La Fig.3 illustre en réalité la répartition en groupes de la première table d'entrelacement  $T$  en deux secondes tables d'entrelacement  $T_1$  et  $T_2$  après les opérations d'entrelacement et de traitement (déplacement) des éléments binaires présents à des positions invalides, le cas échéant. Cette décomposition correspond avantageusement à la fin de l'entrelacement utile à la répartition des données à transmettre dans la bande fréquentielle étendue, dans les deux bandes fréquentielles disjointes utilisées selon l'exemple décrit.

- [0103] La décomposition illustrée de la première table d'entrelacement T en deux secondes tables d'entrelacement T1 et T2, au terme de l'entrelacement, constitue une orientation des données sous forme d'éléments binaires de chacun des groupes de données (donc de chacune des secondes tables d'entrelacement T1 et T2) vers une circuiterie électronique configurée pour moduler et transmettre les éléments binaires. La circuiterie électronique dédiée à chacune des bandes fréquentielles disjointes comprend notamment le modulateur opérant pour une transmission dans cette bande fréquentielle disjointe.
- [0104] Si le mode de réalisation décrit ci-avant illustre une transmission en bande fréquentielle étendue comprenant deux bandes fréquentielles disjointes, le raisonnement est similaire pour ce qui concerne une répartition de données à transmettre dans trois, quatre ou plus encore de bandes fréquentielles disjointes. Ainsi la première table d'entrelacement T (la plus grande) comprend autant de secondes tables d'entrelacement T1, T2, Ti que de bandes fréquentielles disjointes comprises dans la bande fréquentielle étendue. Selon un mode de réalisation préféré, les secondes tables d'entrelacement T1, T2, Ti, dont les dimensions respectives sont définies selon le type de modulation utilisé sur chacune des bandes fréquentielles disjointes comprises dans la bande fréquentielle étendue, sont concaténées de sorte que la table qui comprend les sous porteuses les plus basses soit positionnée à gauche dans la première table d'entrelacement T, et la table qui comprend les sous porteuses les plus hautes soit positionnée à droite dans la première table d'entrelacement. Les éventuelles secondes tables d'entrelacement intermédiaires sont disposées de gauche à droite, par ordre de fréquence croissante des sous porteuses qu'elles comprennent. En outre, les premières lignes de chacune des secondes tables T1, T2, Ti sont alignées en première ligne supérieure de la première table d'entrelacement T.
- [0105] Bien évidemment, la représentation matricielle des tables d'entrelacement T, T1, T2 et de la table T' a vocation à simplifier la compréhension de l'agencement des données pour les opérations d'entrelacement décrites, et chacune des tables pourrait être représentée sous forme d'un vecteur d'éléments binaires, par exemple horizontal ou vertical comprenant des segments délimitant les lignes et les colonnes précédemment décrites. La représentation des positions des éléments binaires traités peut être quelconque, pour peu que les opérations réalisées sur les éléments binaires correspondent aux principes d'entrelacement précédemment décrits. En effet, les positions des éléments binaires dans les tables correspondent classiquement à des cellules de registres, ou de mémoire vive d'une circuiterie électronique d'entrelacement.
- [0106] La **Fig. 4** illustre un procédé de transmission d'un message M ou d'une trame de données dans un mode de communication hyper robuste dit « H-ROBO », selon un deuxième mode de réalisation. Le message M doit être transmis selon le mode H-

ROBO par un dispositif nœud source (par exemple le dispositif nœud 133) à un dispositif nœud destinataire appartenant à son voisinage réseau (par exemple le dispositif nœud 134). Dans ce mode de réalisation, les deux dispositifs nœuds 133 et 134 sont configurés pour opérer des communications en mode multi-bandes et ont opéré des échanges protocolaires aboutissant à un choix de communication en mode de communication hyper robuste H-ROBO.

- [0107] Le procédé démarre lors d'une étape **S400**. Lors d'une étape **S410**, le dispositif nœud source 133 transmet au dispositif nœud destinataire 134 le message M sur une première bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes comprenant au moins deux bandes fréquentielles, le message M étant modulé selon le mode de communication robuste.
- [0108] Lors d'une étape **S420**, le dispositif nœud source 133 transmet au dispositif nœud destinataire 134 le même message M sur une seconde bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes, le message M étant, là encore, modulé selon le mode robuste. Il est à noter que la seconde bande fréquentielle disjointe est différente de la première bande fréquentielle disjointe.
- [0109] Les première et seconde bandes fréquentielles disjointes sont par exemple sélectionnées dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes définies dans la norme G3-PLC, i.e. CENELEC A, CENELEC B, et ARIB ou FCC. Selon une variante, les première et seconde bandes fréquentielles disjointes sont sélectionnées dans un sous-ensemble des bandes fréquentielles définies dans la norme G3-PLC, le sous-ensemble comprenant au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi toutes les bandes définies dans la norme G3-PLC.
- [0110] Le procédé se termine lors d'une étape S430.
- [0111] Le mode hyper-robuste H-ROBO utilise donc différentes bandes fréquentielles disjointes en transmettant un même message M, ou une trame de données, simultanément sur ces différentes bandes fréquentielles. Dans chaque bande fréquentielle, le mode robuste est utilisé. De manière avantageuse, le mode hyper-robuste est utilisé quand la communication entre des nœuds voisins est difficile, e.g. quand une valeur d'un indicateur de qualité LQI pour le lien en question est inférieure à une valeur de seuil prédéterminée.
- [0112] Le dispositif nœud source 133 et le dispositif nœud destinataire 134 se basent en effet chacun sur des valeurs de LQI reçues dans des informations *tone map response* telles que définies dans la norme G3-PLC pour choisir un mode de transmission parmi les modes de communications multi-bande (en mode ROBO dans chaque bande) ou bien en mode hyper-robuste, et peuvent donc opter pour des modes de communications différents. Dans ce cas, l'un des dispositifs nœuds doit adapter son mode de transmission de sorte qu'il soit alors compatible avec le mode de configuration choisi

par l'autre nœud. Ainsi, il doit être capable de passer du mode de transmission multi-bande par fragmentation avec modulation de type ROBO dans chaque bande au mode hyper-robuste, s'il détecte que l'autre dispositif nœud communique en mode hyper-robuste H-ROBO.

- [0113] La **Fig. 5** illustre schématiquement un procédé de transmission d'un message selon un troisième mode de réalisation. Un message M doit être transmis par un dispositif nœud source (par exemple le dispositif nœud 133) à un dispositif nœud destinataire appartenant à son voisinage réseau (par exemple le dispositif nœud 134). Ce mode de réalisation est décrit notamment en lien avec la norme de communication G3-PLC. Toutefois, il ne se limite pas à cette seule norme et pourrait être appliqué à d'autres normes, e.g. aux spécifications PRIME (pour « PowerLine Intelligent Metering Evolution » en anglais), c'est-à-dire notamment dans un réseau de communication par courants porteurs en ligne qui ne présente pas de structure maillée mais qui présente une structure en arbre. Le procédé démarre à une étape **S500**. Lors d'une étape **S510**, le message M, qui est par exemple encapsulé dans un paquet IP, e.g. un paquet IPv6 (paquet de taille jusqu'à 1500 octets), est fragmenté en au moins deux fragments afin de l'adapter aux contraintes de la couche MAC, et notamment à la taille des trames MAC.
- [0114] A cet effet, la norme G3-PLC incorpore le protocole 6LoWPAN, lequel permet d'adapter des paquets de données IPv6 aux contraintes de la norme de communication G3-PLC, notamment en les fragmentant. En effet, les trames MAC utilisées par la norme G3-PLC sont de tailles bien inférieures aux paquets IPv6 de 1500 octets (soit 400 octets disponibles au maximum par paquet pour la partie IP).
- [0115] La couche adaptation de 6LoWPAN se situe entre la couche réseau et la sous-couche MAC du modèle OSI. Elle reçoit de la couche réseau des paquets IPv6 de 1 280 octets et le cas échéant les fragmente. Bien entendu, dans le cas d'un paquet IPv6 suffisamment petit pour être contenu dans une seule trame MAC G3-PLC, aucune fragmentation n'est effectuée. Le procédé s'applique donc dans le cas où le message M présente une longueur telle qu'il requiert d'être fragmenté.
- [0116] Chaque fragment est généralement précédé d'un en-tête de fragmentation, par exemple un en-tête comprenant 4 ou 5 octets. Cet en-tête contient par exemple les informations suivantes :
- [0117] Cinq bits permettant d'identifier qu'il s'agit d'un fragment. Le premier fragment aura la valeur « 11000 » et les suivants « 11100 » ; onze bits pour indiquer la taille du paquet IP avant fragmentation (champ « datagram\_size ») ; seize bits pour indiquer un identifiant (champ « datagram\_tag ») commun à tous les fragments d'un même paquet IP ; et huit bits pour indiquer la position (champ « datagram\_offset ») du fragment dans le paquet IP (uniquement présent dans les fragments suivant le premier). Il est à

noter que la fragmentation est décrite dans la section 5.3 de la recommandation RFC 4944 (publiée en septembre 2007).

- [0118] Lors d'une étape **S520**, une première bande fréquentielle disjointe est associée à un premier fragment parmi lesdits au moins deux fragments issus de la fragmentation du message M, et une seconde bande fréquentielle disjointe, différente de la première bande fréquentielle, est associée à l'autre desdits au moins deux fragments. Les premières et secondes bandes fréquentielles associées sont par exemple sélectionnées parmi la pluralité de bandes fréquentielles définies dans la norme de communication G3-PLC, i.e. CENELEC A, CENELEC B, et ARIB ou FCC. Selon une variante, les premières et secondes bandes fréquentielles disjointes associées sont sélectionnées dans un sous-ensemble des bandes fréquentielles définies dans la norme de communication G3-PLC, le sous-ensemble comprenant au moins deux bandes parmi toutes les bandes autorisées par G3-PLC. Ainsi, selon l'invention, des fragments issus d'un même paquet IP peuvent être associés en vue de leur transmission à des bandes fréquentielles différentes.
- [0119] Le mode de réalisation décrit pour deux fragments peut être étendu à des cas pour lesquels plus de deux fragments sont définis, e.g. N fragments où N est un entier naturel. Dans ce cas, une même bande fréquentielle disjointe peut être associée à différents fragments. Cependant, des bandes fréquentielles disjointes différentes sont alors associées à au moins deux fragments du message M parmi les N fragments.
- [0120] Dans un mode de réalisation particulier, les bandes fréquentielles disjointes sont associées de manière alternative aux fragments. Par exemple, dans le cas où deux bandes fréquentielles sont à associer, la première bande fréquentielle est associée aux fragments impairs (i.e. les fragments 1, 3, 5, etc.) et la seconde bande fréquentielle est associée aux fragments pairs (i.e. les fragments 2, 4, 6, etc.). Dit autrement, deux fragments qui se suivent dans le message M sont transmis dans des bandes fréquentielles disjointes différentes.
- [0121] Lors d'une étape **S530**, le fragment est transmis sur la bande fréquentielle qui lui est associée. Ainsi, les différents fragments peuvent avantageusement être transmis en parallèle sur des bandes fréquentielles différentes. La transmission d'un fragment sur le médium, i.e. sur la ligne de courant, comprend classiquement différentes étapes, notamment une segmentation des fragments afin de les adapter à la couche physique et une modulation OFDM du signal. La segmentation consiste à partitionner une trame MAC (acronyme anglais de « Media Access Control ») en PSDUs (acronyme anglais de « PHY Service Data Unit »). Tous les PSDU issus d'un même fragment sont modulés en utilisant un même schéma de modulation.
- [0122] Lors d'une étape **S540**, si tous les fragments ont été transmis, alors le procédé est terminé (**S550**). Sinon, le procédé reprend à l'étape S520 avec le prochain fragment à

transmettre.

- [0123] La **Fig. 6** illustre schématiquement un procédé de relayage d'un message M reçu par le premier dispositif nœud 133 depuis un troisième dispositif nœud vers le deuxième dispositif nœud 134, selon un quatrième mode de réalisation. Selon ce quatrième mode de réalisation, au moins deux bandes fréquentielles disjointes sont utilisées dans une même zone géographique déterminée. Selon un mode de réalisation, l'algorithme décrit par l'ordinogramme de la Fig.6 est susceptible d'être exécuté par chacun des dispositifs nœuds du réseau de communication 120.
- [0124] Le présent algorithme est ainsi décrit ci-après selon un exemple dans lequel il est exécuté par le premier dispositif nœud 133, le second dispositif nœud étant le dispositif nœud 134 et le troisième dispositif nœud étant le dispositif nœud 137.
- [0125] A l'étape **S60**, le dispositif nœud 133 reçoit du dispositif nœud 137 un fragment dans une première bande fréquentielle disjointe. La transmission d'un fragment sur le médium, i.e. sur la ligne de courant, comprend classiquement différentes étapes notamment une segmentation des fragments afin de les adapter à la couche physique et une modulation OFDM du signal. La segmentation consiste à partitionner une trame MAC (acronyme anglais de « Media Access Control ») en PSDUs (acronyme anglais de « PHY Service Data Unit »). Tous les PSDU issus d'un même fragment sont modulés en utilisant un même schéma de modulation.
- [0126] Lors d'une étape **S61**, le dispositif nœud 133, après démodulation et décodage du fragment reçu selon le schéma de démodulation et de décodage de la première bande fréquentielle, disjointe, émet un message d'acquiescement au dispositif nœud 137. Lors d'une étape **S62**, le dispositif nœud 133 sélectionne, parmi l'ensemble des bandes fréquentielles disjointes, une deuxième bande fréquentielle, différente de la première bande fréquentielle et qui est une bande fréquentielle sur laquelle le deuxième dispositif nœud 134 est apte à émettre et recevoir des messages. Puis, lors d'une étape **S63**, le premier dispositif nœud 133 relaie le fragment reçu du troisième dispositif nœud 137 vers le deuxième dispositif nœud 134, après avoir opéré une modulation et un codage du fragment décodé et démodulé, selon le schéma de codage et de modulation de la bande fréquentielle disjointe sélectionnée.
- [0127] Finalement, lors d'une étape **S64**, le premier dispositif nœud 133 reçoit un message d'acquiescement du deuxième dispositif nœud 134, destinataire du message relayé.
- [0128] La **Fig. 7** illustre schématiquement un procédé de sélection d'au moins une bande fréquentielle du réseau de communication pour l'émission d'un message selon un cinquième mode de réalisation. Le procédé décrit ici peut être exécuté à chaque envoi d'un message M par chaque dispositif nœud qui est apte à émettre et recevoir des messages sur plusieurs bandes fréquentielles disjointes du réseau de communication 120.

- [0129] Les bandes fréquentielles disjointes associées sont par exemple sélectionnées dans la pluralité de bandes fréquentielles disjointes définies dans la norme de communication G3-PLC, i.e. CENELEC A, CENELEC B, et ARIB ou FCC.
- [0130] Lors d'une étape **S71**, un dispositif nœud, par exemple le dispositif nœud 133, a un message à envoyer sur le réseau de communication 120. Lors d'une étape **S72**, le dispositif nœud 133 obtient un débit théorique pour chacune des bandes fréquentielles disjointes sur laquelle le dispositif nœud 133 est apte à émettre et recevoir des messages. Comme mentionné précédemment, chaque bande fréquentielle disjointe présente, pour chaque type de modulation utilisée dans cette bande fréquentielle disjointe, un débit théorique déterminé. Le dispositif nœud 133 obtient le débit théorique de chaque bande fréquentielle sur laquelle le dispositif nœud 133 est apte à émettre et recevoir des messages correspondant à la modulation utilisée pour l'envoi du message au nœud vers lequel le message doit être transféré. Lors d'une étape **S73**, le dispositif nœud 133 estime, pour chacune des bandes fréquentielles disjointes, la durée d'émission théorique du message dans cette bande fréquentielle disjointe, puis lors d'une étape **S74**, le dispositif nœud 133 interroge une base de données pour obtenir des résultats d'intégration de taux d'occupation de la bande fréquentielle disjointe correspondant à la durée d'émission théorique du message dans chaque bande fréquentielle. Ainsi, le dispositif nœud 133 obtient, pour chaque bande fréquentielle disjointe, un nombre de résultats d'intégration pendant une première échelle de temps correspondant à la durée d'émission théorique du message dans la bande fréquentielle disjointe concernée. Le dispositif nœud 133 obtient aussi un nombre de résultats d'intégration pendant une deuxième échelle de temps correspondant à l'heure à laquelle le message doit être envoyé. Le dispositif nœud 133 obtient enfin un nombre de résultats d'intégration pendant une troisième échelle de temps correspondant au jour auquel le message doit être envoyé.
- [0131] Lors d'une étape **S75**, le dispositif nœud 133 sélectionne la bande fréquentielle disjointe parmi les bandes fréquentielles disjointes pour laquelle les résultats d'intégration de taux d'occupation sont les plus faibles. Par exemple, le dispositif nœud 133 calcule, pour chaque bande fréquentielle disjointe, la moyenne des résultats d'intégration pendant les première, deuxième et troisième échelles de temps et sélectionne la bande fréquentielle disjointe pour laquelle la moyenne calculée est la plus faible. Selon une variante, un coefficient de pondération est affecté aux résultats d'intégration pendant les première, deuxième et troisième échelles de temps avant le calcul de la moyenne. A titre d'exemple, un coefficient de pondération de 10 est affecté aux résultats d'intégration pendant la première échelle de temps, un coefficient de pondération de 12 est affecté aux résultats d'intégration pendant la deuxième échelle de temps et un coefficient de pondération de 7 est affecté aux résultats

d'intégration pendant la troisième échelle de temps. Finalement, lors d'une étape, le dispositif nœud 133 transfère le message dans la bande fréquentielle disjointe sélectionnée.

[0132] La **Fig. 8** illustre schématiquement un procédé de sélection d'une route de communication entre un premier dispositif nœud et un second dispositif nœud du réseau de communication 120, de type réseau maillé d'alimentation électrique utilisant des communications par courants porteurs en ligne, selon un sixième mode de réalisation.

[0133] Le second dispositif nœud, e.g. le nœud 132, est atteignable depuis le premier dispositif nœud, e.g. 133, par au moins une première route de communication, e.g. la route passant par les nœuds 130, 131 et une seconde route de communication, e.g. la route passant par les nœuds 134, 135 et 136, différente de ladite première route de communication. De manière générale, le second dispositif nœud est atteignable depuis le premier dispositif nœud par une pluralité de N routes de communication, N étant un entier positif. Dans la suite, pour faciliter les notations, chaque route possible est identifiée par un indice k avec k nombre entier variant de 0 à N-1.

[0134] Le procédé démarre à une étape S800 où k est égal à zéro.

[0135] Lors d'une étape S810, le second dispositif nœud obtient un coût de route  $RC_k$  pour une route de communication d'indice k parmi la pluralité de N routes de communication. Le coût de route  $RC_k$  est égal à la somme des coûts de liens  $LC_{ij}$  entre deux dispositifs nœuds successifs i et j, i.e. situés dans le même voisinage réseau. Par exemple, dans le cas de la première route de communication, le coût de la route  $RC_1 = L_{133,130} + L_{130,131} + L_{131,132}$ , et le coût  $RC_2$  de la seconde route de communication sont égaux à  $L_{133,134} + L_{134,135} + L_{135,136} + L_{136,132}$ .

[0136] Le coût d'un lien  $LC_{ij}$  entre deux dispositifs nœuds successifs est fonction de la valeur maximale parmi un coût du lien  $LC_{i \rightarrow j}$  dans la direction avant, i.e. du dispositif nœud émetteur vers le dispositif nœud récepteur, et un coût du lien  $LC_{j \rightarrow i}$  dans la direction arrière, i.e. du dispositif nœud récepteur vers le dispositif nœud émetteur.

[0137] Ainsi, dans un mode particulier de réalisation, le coût du lien  $LC_{i,j}$  entre un dispositif nœud i et un dispositif nœud j appartenant à son voisinage réseau est égal à une somme pondérée entre une valeur maximale parmi un coût du lien dans une direction avant  $LC_{i \rightarrow j}$  et un coût du lien dans une direction arrière  $LC_{j \rightarrow i}$  et un rapport entre un nombre de routes actives et un nombre maximal de routes actives. Par exemple, le coût du lien  $LC_{ij}$  est calculé comme suit :

$$[0138] \quad LC_{i,j} = \max(LC_{i \rightarrow j}, LC_{j \rightarrow i}) + \text{adpKrt} * \frac{\text{NumberOf ActiveRoutes}}{\text{MaximumNumberOf ActiveRoutes}} + \text{adpKh}$$

[0139] où  $LC_{i \rightarrow j}$  and  $LC_{j \rightarrow i}$  sont les coûts des liens directionnels (directions avant et arrière,

respectivement) entre le dispositif nœud i et le dispositif nœud j ;

[0140]  $\max(a,b)$  est une fonction qui retourne la valeur a si  $a>b$  et b sinon,

[0141] *NumberOfActiveRoutes* est le nombre de routes actives dans la table de routage interne du dispositif nœud j ;

[0142] *MaximumNumberOfActiveRoutes* est le nombre maximal de routes actives dans la table de routage interne du dispositif nœud j ;

[0143]  $adpKh$  est un facteur de pondération (« weight » en anglais) représentatif du coût d'un saut;

[0144] et  $adpKrt$  est un facteur de pondération associé au nombre de routes actives dans la table de routage du dispositif nœud j.

[0145] A titre d'exemple,  $adpKrt$  a pour valeur 0 et  $adpKh$  a pour valeur 4.

[0146] Il est à noter que la valeur  $adpKh$  s'ajoute à chaque étape S810. A la fin, le second dispositif nœud pourra comparer les routes potentielles, et définir une préférence pour celle qui présente le moins de sauts.

[0147] Selon un mode de réalisation particulier, une métrique spécifique est définie pour déterminer les coûts des liens directionnels afin de s'adapter à des dispositifs nœuds qui présentent des capacités de transmission de type multi-bandes. Un dispositif nœud a des capacités multi-bandes dans le cas où il est configuré pour pouvoir utiliser simultanément plusieurs bandes fréquentielles disjointes, e.g. CENELEC-A et FCC, au lieu de choisir et d'opérer dans une bande fréquentielle disjointe unique. Par exemple, le dispositif nœud en question peut fragmenter le message en différents fragments selon le protocole 6LoWPAN. Le procédé de fragmentation est plus particulièrement décrit dans la section 5.3 de la recommandation RFC 4944 (publiée en septembre 2007). Chaque fragment est alors envoyé indépendamment des autres fragments sur des bandes fréquentielles qui peuvent être différentes. Les bandes fréquentielles associées sont par exemple sélectionnées dans l'ensemble des bandes fréquentielles autorisées par G3-PLC, i.e. CENELEC A, CENELEC B, ARIB et FCC. Dans une variante, les premières et secondes bandes fréquentielles associées sont sélectionnées dans un sous-ensemble des bandes fréquentielles autorisées par G3-PLC, le sous-ensemble comprenant au moins deux bandes parmi toutes les bandes autorisées par G3-PLC.

[0148] Dans un autre mode de réalisation, un dispositif nœud ayant des capacités multi-bandes peut transmettre le même message simultanément dans toutes les bandes fréquentielles de l'ensemble de bandes fréquentielles prises en charge (par l'émetteur et le récepteur). Ce mode de transmission est appelé dans la suite le mode hyper-robuste. Dans chaque bande fréquentielle, le mode robuste de G3-PLC est alors utilisé. De cette façon, en cas de large perturbation fréquentielle sur une bande fréquentielle, le message peut malgré tout parvenir à passer sur une autre bande fréquentielle. En effet, le récepteur n'a besoin de réussir à capter le message que sur une seule des bandes fré-

- quentielles sur lesquelles il a été émis. Le mode hyper-robuste est un mode particulier nouvellement défini pour le cas de dispositifs nœuds ayant des capacités multi-bandes.
- [0149] Dans un autre mode de réalisation, un dispositif nœud ayant des capacités multi-bandes peut transmettre un message sur l'ensemble des bandes fréquentielles, lesquelles constituent alors une bande fréquentielle dite étendue.
- [0150] Dans tous ces modes de réalisation, la capacité multi-bandes d'un dispositif nœud est caractérisée par le fait que le nœud est capable d'exploiter plusieurs bandes fréquentielles simultanément au lieu d'une seule et unique bande comme c'est le cas classiquement dans le cas de la norme G3-PLC. Un dispositif ayant des capacités multi-bandes peut bénéficier des caractéristiques des différentes bandes fréquentielles en termes de débit, portée, résistance aux perturbateurs.
- [0151] Le coût de route tel que défini par G3-PLC dans son annexe D ne permet pas de tenir compte de ces capacités multi-bandes de dispositif nœud. En effet, la norme de communication G3-PLC ne permet l'utilisation que d'une seule bande fréquentielle pour un réseau donné. Selon un mode de réalisation particulier, le coût du lien  $LC_{i \rightarrow j}$  dans une direction donnée, i.e. dans la direction avant ou arrière, dépend du coût du lien, dans ladite direction donnée, calculé pour chaque bande fréquentielle  $LC_{i \rightarrow j}[m]$  de l'ensemble de bandes fréquentielles utilisé par lesdits deux dispositifs nœuds successifs  $i$  et  $j$  pour communiquer, ledit ensemble comprenant au moins deux bandes fréquentielles différentes.
- [0152] L'indice  $k$  est incrémenté de 1 et comparé à  $N-1$  lors d'une étape S820,  $k$  est incrémenté de 1 et comparé à  $N-1$ . Si  $k$  est inférieur ou égal à  $N-1$  alors le procédé continue à l'étape S810, sinon il continue à l'étape S830.
- [0153] Lors d'une étape S830, le second dispositif nœud sélectionne, parmi lesdites  $N$  routes de communication, la route de communication correspondant au coût de route le plus petit.
- [0154] Le procédé de la Fig. 8 se termine à l'étape S840.
- [0155] Selon ce mode de réalisation, un coût  $LC_{i \rightarrow j}$  d'un lien directionnel entre un premier dispositif nœud et un second dispositif nœud est calculé à partir d'un coût  $LC_{i \rightarrow j}[m]$  de lien directionnel par bande fréquentielle disjointe,  $m$  étant un indice identifiant la bande fréquentielle, et  $m$  est un entier variant de 0 à  $NBP-1$ , où  $NBP$  est un entier égal au nombre de bandes fréquentielles disjointes utilisables. Par exemple,  $NBP$  peut être égal à 4. Selon un exemple, un indice  $m$  égal à 0 correspond à la bande CENELEC-A, un indice  $m$  égal à 1 correspond à la bande FCC, un indice  $m$  égal à 2 correspond à la bande CENELEC-B et un indice  $m$  égal à 3 correspond à la bande ARIB.
- [0156] Ce procédé commence à une étape **S8100** lorsque  $m$  a une valeur nulle.

[0157] Lors d'une étape **S8110** suivante, le coût de lien  $LC_{i \rightarrow j} [m]$  est calculé comme suivant :

$$\begin{aligned}
 [0158] \quad LC_{i \rightarrow j} [m] = & \text{adpKr} * \text{MOD}_{Kr} + \text{adpKm} * \text{MOD}_{Km} \\
 & + \text{adpKc} [m] * \frac{(\text{MaximumNumberOfTones} - \text{NumberOfActiveTones})}{\text{MaximumNumberOfTones}} \\
 & + \text{adpKq} * \text{MAX} \left( 0, \text{MIN} \left( 1, \frac{\text{adpHighLQIValue} - \text{LQI}}{\text{adpHighLQIValue} - \text{adpLowLQIValue}} \right) \right)
 \end{aligned}$$

[0159] où:

[0160] •  $\text{MOD}_{Kr} = 1$  pour le mode robuste et 0 pour les autres modulations,

[0161] •  $\text{MOD}_{Km} = 3$  pour les modulations DBPSK or BPSK (y compris le mode robuste), 2 pour les modulations DQPSK ou QPSK, 1 pour les modulations D8PSK ou 8-PSK et 0 pour les modulations. 16-QAM,

[0162] •  $\text{adpKr}$ ,  $\text{adpKm}$ ,  $\text{adpKq}$  sont des facteurs de pondération dont les valeurs sont pré-définies ;

[0163] •  $\text{adpKr}$  est un facteur de pondération associé au mode robuste ;

[0164] •  $\text{adpKm}$  est un facteur de pondération associé à la modulation ; et

[0165] •  $\text{adpKc}[m]$  est un facteur de pondération défini pour chaque bande fréquentielle et est associé au nombre de sous-porteuses actives par rapport au nombre total de sous-porteuses disponibles.

[0166] A titre d'exemple illustratif,  $\text{adpKc}[0] = 2$  et  $\text{adpKc}[1] = 1$ ,  $\text{adpKc}[0]$  étant associé à la bande CENELEC-A et  $\text{adpKc}[1]$  étant associé à la bande FCC. En effet, la bande FCC offre plus de sous-porteuses que la bande CENELEC-A, il est donc logique d'avoir un  $\text{adpKc}[1]$  inférieur au  $\text{adpKc}[0]$  pour le prendre en compte et ainsi obtenir un résultat comparable entre les différentes bandes.

[0167] • LQI (acronyme anglais de « Link Quality Indicator ») est une valeur représentative de la qualité du lien entre les dispositifs nœuds  $i$  et  $j$ , le nœud  $j$  étant le nœud courant ;

[0168] •  $\text{adpHighLQIValue}$  est une valeur représentative d'un seuil au-dessus duquel une valeur de LQI est considérée comme traduisant un lien considéré comme étant « fiable » ;

[0169] •  $\text{adpLowLQIValue}$  est une valeur représentative d'un seuil en-dessous duquel une valeur de LQI est considérée comme traduisant un lien considéré comme étant « non fiable » ;

[0170] •  $\text{adpKq}$  est un facteur de pondération associé à l'indicateur LQI ;

[0171] •  $\text{MaximumNumberOfTones}$  est le nombre de tonalités/sous-porteuses disponibles, e.g.  $\text{MaximumNumberOfTones}$  est égal à 36 pour CENELEC-A et 72 pour FCC. Une carte des tonalités (« tone map » en anglais) est une liste de sous-porteuses utilisées pour communiquer dans une bande fréquentielle disjointe donnée. Ces sous-porteuses

sont choisies pour subir le moins d'interférences possibles au vu de l'environnement ;  
et

[0172] • NumberOfActiveTones est le nombre de tonalités/sous-porteuses actives. Il est à noter que la carte des tonalités indique un nombre de « groupes de sous-porteuses » actives (par un positionnement de bits à 1 correspondants). Le nombre de sous-porteuses actives est obtenu en multipliant ce nombre de « groupes de sous-porteuses » par le nombre de sous-porteuses par groupe, e.g. 3 en FCC et 6 en CENELEC-A.

[0173] Il est à noter également que les valeurs des différents paramètres adpX, avec X=Kq, HighLQIValue, LowLQIValue, Kc[m], etc, mentionnés peuvent être ajustées en fonction de l'expérience du terrain et transmises via la couche applicative des équipements. Certaines de ces valeurs peuvent être égales à 0.

[0174] Lors d'une étape **S8120**, m est incrémenté de 1 et comparé au nombre NBP-1. Si m est inférieur ou égal à NBP-1 alors le procédé continue à l'étape **S8110**, sinon il continue en séquence à une étape **S8130**.

[0175] Une fois que le coût d'un lien  $LC_{i \rightarrow j}[m]$  est calculé pour toutes les bandes fréquentielles disjointes utilisables, la valeur la plus petite  $Min\_LC_{i \rightarrow j}$  est déterminée lors d'une étape **S8130**.  $Min\_LC_{i \rightarrow j}$  correspond à  $m=m_0$  i.e.  $Min\_LC_{i \rightarrow j} = LC_{i \rightarrow j}[m_0]$ .

[0176] Lors d'une étape **S8140** postérieure à l'étape 8130, le coût directionnel  $LC_{i \rightarrow j}$  global est calculé.

[0177] Selon un premier mode de réalisation, pour chaque  $LC_{i \rightarrow j}[m]$  différent de  $Min_{LC_{i \rightarrow j}}$ , sa contribution à l'amélioration du coût de lien directionnel global (i.e.  $LC_{i \rightarrow j}$ ) est calculée en utilisant la formule suivante:  $Min_{LC_{i \rightarrow j}} * adpKmb$ .

$$\frac{Min_{LC_{i \rightarrow j}} * adpKmb}{LC_{i \rightarrow j}[m] * 255}$$

[0178] Le coût directionnel  $LC_{i \rightarrow j}$  global est donc calculé comme suit :

$$[0179] \quad LC_{i \rightarrow j} = adpKhr * MOD_{Khr} + \frac{Min_{LC_{i \rightarrow j}} * adpKmb}{1 + \sum_{m=0, m \neq m_0}^{NBP-1} \left( \frac{Min_{LC_{i \rightarrow j}} * adpKmb}{LC_{i \rightarrow j}[m] * 255} \right)}$$

(Eq. 1)

[0180] où:

[0181] •  $MOD_{Khr} = 1$  pour le mode hyper-robuste, 0 sinon ;

[0182] • adpKhr est un facteur de pondération associé au mode hyper-robuste dans le calcul du coût de lien, e.g. adpKhr = 4 ;

- [0183] •  $adpKmb$  est un facteur de pondération pour le calcul de route dans le cas multi-bandes, e.g.  $adpKmb = 130$ .
- [0184] Pour illustrer numériquement le résultat de ce premier mode de réalisation, prenons par exemple le cas d'un  $LC_{i \rightarrow j}[0]=50$  pour la bande CENELEC-A et  $LC_{i \rightarrow j}[1]=100$  pour la bande FCC (sans mode hyper-robuste). Soit un facteur de pondération faible  $adpKmb=55$ , le  $LC_{i \rightarrow j}$  global est alors égal à  $50 / (1 + 50/100*55/255) = 45$  (en arrondissant).
- [0185] L'ajout de la bande FCC, même avec un coût de route élevé, permet donc d'améliorer le coût de route par rapport au cas CENELEC-A seul, mais de façon modérée (compte tenu du facteur de bonification faible).
- [0186] Selon un second mode de réalisation, la formule suivante est utilisée au lieu de la formule donnée par (Eq. 1) pour calculer le coût directionnel  $LC_{i \rightarrow j}$  global :
- [0187] 
$$LC_{i \rightarrow j} = adpKhr * MOD_{Khr} + \frac{1}{\sum_{m=0}^{NBP-1} \left( \frac{1}{LC_{i \rightarrow j}[m]} \right)}$$
 (Eq. 2)
- [0188] Cette formule est plus simple que celle de (Eq.1) mais ne permet pas une pondération par le facteur de pondération  $adpKmb$ . Pour illustrer numériquement le résultat de ce second mode de réalisation, prenons par exemple le cas d'un  $LC_{i \rightarrow j}[0]=50$  pour la bande CENELEC-A et  $LC_{i \rightarrow j}[1]=100$  pour la bande FCC (sans mode hyper-robuste). Le  $LC_{i \rightarrow j}$  global est alors égal à  $1 / (1/50+1/100) = 33$  (en arrondissant). L'ajout de la bande FCC, même avec un coût de route élevé, permet donc d'améliorer le coût de route global par rapport au cas CENELEC -A seul.
- [0189] Dans un mode particulier de réalisation, le mode hyper-robuste n'est pas utilisé dans les équations (1) et (2) et  $adpKhr$  a une valeur nulle.
- [0190] Le procédé de calcul se termine ensuite à une étape finale **S8150**.
- [0191] Les étapes S8100 à S8150 sont répétées pour calculer le coût directionnel global  $LC_{j \rightarrow i}$  et ainsi en déduire le coût  $LC_{i, j}$ .
- [0192] Les étapes S8100 à S8150 ne sont pas représentées sur la Fig. 8 mais peuvent servir comme références pour une bonne compréhension du procédé de calcul du coût  $LC_{i, j}$  d'un lien décrit ci-avant, notamment du fait du rebouclage possible entre les étapes S8120 et S8110.
- [0193] La **Fig. 9** illustre un procédé de détermination d'un mode de communication entre deux dispositifs nœuds voisins l'un de l'autre dans le réseau de communication 120, selon un septième mode de réalisation. Ces dispositifs nœuds sont, à titre d'exemple, le dispositif nœud 133 opérant comme un dispositif nœud initiateur et le dispositif nœud voisin 134, opérant comme un dispositif nœud cible.

- [0194] Au terme d'une étape d'initialisation S90, les dispositifs nœuds 133 et 134 sont configurés pour communiquer l'un avec l'autre selon au moins un mode de communication dans au moins une bande fréquentielle disjointe. Il est considéré que les dispositifs nœuds 133 et 134 sont alors normalement opérationnels à ce stade et qu'un échange de messages peut être initié.
- [0195] Selon le mode de réalisation illustré sur la Fig. 9, le dispositif nœud initiateur 133 envoie, à l'étape S91, un message comprenant une information selon laquelle une requête en estimation de canal dans une bande fréquentielle étendue EB est sollicitée vers le dispositif nœud cible, et attend pendant un temps prédéterminé un éventuel message en réponse. Au terme du délai prédéterminé, le dispositif nœud initiateur 133 vérifie à l'étape S912, si une réponse a bien été reçue sous la forme d'un message comprenant des informations représentatives d'une estimation de canal dans la bande fréquentielle EB. Dans l'affirmative, le dispositif nœud initiateur 133 enregistre à l'étape S95 les informations reçues et représentatives d'une estimation de canal dans la bande fréquentielle étendue EB, dans sa table de voisinage NT-REC, et détermine un mode de communication préférentiel, compte tenu notamment des différentes informations disponibles dans la table de voisinage NT-REC. Par exemple, le dispositif nœud initiateur 133 détermine que le mode de communication en bande fréquentielle étendue EB est le mode de communication le plus avantageux à cet instant pour communiquer avec le dispositif nœud cible 134, et initie une transmission dans ce mode là, dans la bande fréquentielle étendue EB, à l'étape S96.
- [0196] Selon le mode de réalisation, en l'absence de réponse de la part du dispositif nœud cible 134 après un temps prédéterminé, le dispositif nœud initiateur 133 considère que le dispositif nœud cible 134 ne supporte pas une communication selon un mode de communication dans la bande étendue et envoie, lors des étapes S92 et S93, des messages comprenant respectivement une requête en estimation de canal dans la bande fréquentielle B1 et une requête en estimation de canal dans la bande fréquentielle B2. Le dispositif nœud initiateur 133 attend alors une éventuelle réponse à l'un au moins de ces deux messages, ou à chacun de ces deux messages, et enregistre les informations représentatives d'une ou plusieurs estimations de canal, reçues en réponse, dans une ou plusieurs tables de voisinage NT-REC, avant que de ne communiquer ultérieurement à l'étape S6. Dans le cas où aucun message n'est reçu en réponse à une requête en estimation de canal émise par le dispositif nœud initiateur, à l'étape S942, le procédé reprend à l'étape S92 et le dispositif nœud initiateur envoie à nouveau des messages au dispositif nœud cible, jusqu'à ce qu'une réponse soit obtenue dans l'une au moins des deux bandes fréquentielles B1 et B2. Un nouveau message comprenant une requête en estimation de canal (indicateur TMR positionné à 1, par exemple, en G3-PLC) peut être envoyé dès lors que des données doivent être transmises au

dispositif nœud cible 134.

- [0197] Lorsque des communications sont établies à l'étape S6, dans un mode de communication déterminé entre les deux dispositifs nœuds, et en l'absence de problème de communication détecté lors d'une étape S962 visant à définir un niveau de qualité de communication, les communications continuent selon le mode de communication sélectionné. A contrario, si un problème de qualité des communications est détecté, le procédé de détermination est relancé à partir de l'étape S91.
- [0198] Avantagement, la détermination du mode de transmission comprend une étape de comparaison de premiers indicateurs de qualité de transmission respectivement déterminés, pour chacune des bandes fréquentielles, à partir des informations enregistrées associées à chacune des au moins deux bandes fréquentielles B1 et B2. Dans le cas où les informations reçues, représentatives d'une ou plusieurs estimations de canal indiquent que les bandes fréquentielles disjointes disponibles présentent des perturbations importantes, la détermination du mode de transmission peut comprendre en outre une sélection d'un mode de transmission dit « robuste » utilisant une modulation BPSK et une répétition systématique des bits transmis (par exemple, chaque bit est répété quatre fois ou six fois au cours d'une transmission). La sélection d'un mode de transmission dit « robuste » dépend, par exemple, d'un niveau de qualité de transmission défini à partir d'une estimation d'un canal de transmission établi via une transmission multi-bandes dans lesdites au moins deux bandes fréquentielles B1 et B2.
- [0199] La **Fig. 10** illustre schématiquement un exemple d'architecture interne de tout dispositif nœud du réseau de communication 120. Considérons à titre illustratif que la Fig. 10 illustre un agencement interne du dispositif nœud 133. Un tel dispositif nœud est qualifié de multi-bande car capable de transmettre un message sur plusieurs bandes fréquentielles disjointes utilisées en parallèle. On note que la Fig. 10 pourrait aussi illustrer schématiquement un exemple d'architecture matérielle d'un module de traitement compris dans le dispositif nœud 133.
- [0200] Selon l'exemple d'architecture matérielle représenté à la Fig. 10, le dispositif nœud 133 comprend alors, reliés par un bus de communication 1300 : un processeur ou CPU (« Central Processing Unit » en anglais) 1331 ; une mémoire vive RAM (« Random Access Memory » en anglais) 1332 ; une mémoire morte ROM (« Read Only Memory » en anglais) 1333 ; une unité de stockage telle qu'un disque dur (ou un lecteur de support de stockage, tel qu'un lecteur de cartes SD (« Secure Digital » en anglais) 1334 ; au moins une interface de communication 1335 permettant au dispositif nœud 133 de communiquer avec les dispositifs nœuds appartenant à son voisinage réseau, tels que, par exemple, les dispositifs nœuds 134 et 137.
- [0201] Le processeur 1301 est capable d'exécuter des instructions chargées dans la RAM 1332 à partir de la ROM 1333, d'une mémoire externe (non représentée), d'un support

de stockage (tel qu'une carte SD), ou d'un réseau de communication. Lorsque le dispositif nœud est mis sous tension, le processeur 1331 est capable de lire de la RAM 1332 des instructions et de les exécuter. Ces instructions forment un programme d'ordinateur causant la mise en œuvre, par le processeur 1331, de tout ou partie des échanges et procédés décrits en relation avec les figures précitées illustrant un procédé selon un mode de réalisation précédemment décrit.

[0202] Tout ou partie des échanges et procédés décrits en relation avec des figures précitées peuvent être implémentés sous forme logicielle par exécution d'un ensemble d'instructions par une machine programmable, par exemple un DSP (« Digital Signal Processor » en anglais) ou un microcontrôleur, ou être implémenté sous forme matérielle par une machine ou un composant dédié, par exemple un FPGA (« Field-Programmable Gate Array » en anglais) ou un ASIC (« Application-Specific Integrated Circuit » en anglais). En général, le dispositif nœud 133 comprend de la circuiterie électronique configurée pour mettre en œuvre les procédés décrits en relation avec le dispositif nœud 133 (de même pour le dispositif nœud 134).

[0203] La **Fig. 11** illustre schématiquement un exemple d'architecture en réception multi-bandes. Plus particulièrement, est illustrée une chaîne de traitement en réception 1120 d'un dispositif nœud, tel que le dispositif nœud 134. La chaîne de traitement en réception 1120 comprend deux démodulateurs DEM 1 1124 et DEM2 1126 et peut donc traiter une réception en mono-bande, en multi-bande ou en bande fréquentielle étendue (avec ici la conjonction de deux bandes fréquentielles disjointes). La chaîne de traitement 1120 comprend un étage de gain programmable AMP 1121 configuré pour supporter toute la dynamique d'entrée des multiples bandes fréquentielles et éviter une saturation éventuelle des signaux de l'une des bandes fréquentielles disjointes. Un étage de conversion analogique-numérique ECH 1122 opère la conversion et contrôle le gain de l'étage de gain programmable AMP 21. L'étage de conversion ECH 22 est mutualisé et la fréquence d'échantillonnage est définie par rapport à la fréquence d'échantillonnage requise dans la bande fréquentielle disjointe présentant la fréquence la plus élevée. La séparation des données transmises dans les différentes bandes fréquentielles est ensuite réalisée avec des filtres numériques F1 1123 et F2 1125 respectifs. Les bandes fréquentielles étant disjointes, leurs signaux respectifs peuvent être distingués aisément de la sorte. Les données en sortie de chacun des filtres numériques F1 et F2 sont alors respectivement transmises aux démodulateurs DEM1 1124 et DEM2 1126. La sortie des démodulateurs DEM1 1124 et DEM2 1126 est traitée par un décodeur FEC 1128, par l'intermédiaire d'une première mémoire MEM1 1127, dite mémoire de désentrelacement. Les données sont chargées selon un agencement prédéfini de sorte à pouvoir les désentrelacer selon plusieurs modes de désentrelacement qui correspondent à l'inverse des opérations d'entrelacement ef-

fectuées à l'émission. Un circuit de désentrelacement du décodeur FEC 1128 lit les données dans la première mémoire de désentrelacement MEM1 1127 et est configuré pour vérifier si les données désentrelacées apparaissent cohérentes. Dans le cas où les données désentrelacées apparaissent cohérentes, elles sont enregistrées dans une seconde mémoire MEM2 1129, dite mémoire de réception de la sous-couche de liaison MAC. Les données ainsi stockées dans la mémoire de réception MEM2 1129 constituent des trames de données prêtes à être traitées par la couche MAC du modèle ISO. La cohérence des données désentrelacées selon un mode de désentrelacement propre à une transmission en bande fréquentielle étendue est d'abord vérifiée. Si les données ne sont pas cohérentes, cela signifie qu'un autre mode de transmission a été utilisé pour la transmission des données et une seconde opération de désentrelacement, par le biais de chacune des tables de désentrelacement mono-bande est opérée. L'architecture présentée n'est pas limitative, et un dispositif nœud peut comprendre, par exemple, trois démodulateurs ou plus (et leurs filtres correspondants), en fonction du nombre de bandes fréquentielles dans lesquelles il doit pouvoir opérer une réception de données.

[0204] Les procédés décrits ci-avant selon les différents modes de réalisation sont particulièrement avantageux dans le contexte d'un réseau maillé de type G3-PLC pour augmenter les performances de communication entre des dispositifs nœuds d'un tel réseau.

[0205] Bien évidemment, les modes de réalisation décrits ne sont pas exclusifs, et peuvent être combinés. Ainsi, par exemple, un dispositif nœud étant configuré pour émettre en bande fréquentielle étendue peut en outre utiliser un mode de communication en multi-bandes mettant en œuvre une fragmentation d'un message, chaque fragment étant susceptible d'être transmis sur une bande fréquentielle disjointe parmi celles utilisables. Selon un autre exemple, un dispositif nœud configuré pour implémenter un procédé d'optimisation du temps de transmission peut également être configuré pour optimiser la bande passante sur du réseau de communication dans lequel il opère.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de transmission de données, sous forme de messages, dans un réseau de communication (120) par courants porteurs en ligne, le procédé étant exécuté dans un premier dispositif nœud (133) dudit réseau (120) configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud (134) dudit réseau (120), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend une émission d'un message dans un mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'émission d'un message dans un mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes comprend une utilisation d'une bande fréquentielle dite « bande fréquentielle étendue » comprenant au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes, chaque bande fréquentielle disjointe comprenant une pluralité de sous-porteuses, le procédé comprenant en outre une étape d'entrelacer des données d'un message à transmettre adaptée à une émission desdites données réparties sur l'ensemble desdites sous-porteuses.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'opération d'entrelacer des données comprend :
- obtenir une première table d'entrelacement  $T [m, n]$  d'éléments binaires représentatifs des données à transmettre, la première table d'entrelacement comprenant autant de secondes tables d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  d'éléments binaires que de bandes fréquentielles disjointes comprises dans la bande étendue, chaque seconde table d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  étant attribuée à une seule des au moins deux bandes fréquentielles disjointes de la bande fréquentielle étendue, les dimensions  $m_i, n_i$  de chacune des secondes tables d'entrelacement  $T_i [m_i, n_i]$  étant définies selon un type de modulation utilisé pour l'émission des données dans la bande fréquentielle disjointe à laquelle une seconde table d'entrelacement est attribuée, des éventuelles différences de dimensions entre des secondes tables d'entrelacement étant susceptibles de générer une ou plusieurs positions dites

- invalides comprises dans la première table d'entrelacement mais non comprises dans l'une au moins des secondes tables d'entrelacement,
- entrelacer les éléments binaires par décalages successifs des lignes  $m$  et des colonnes  $n$  de la première table  $T [m, n]$  d'entrelacement, les décalages successifs étant réalisés sous forme de permutations circulaires des éléments binaires respectivement par ligne et par colonne,
  - déplacer tout élément binaire détecté comme présent à une position invalide de la première table d'entrelacement vers une position d'une dite seconde table d'entrelacement qui est disponible après l'entrelacement des éléments binaires de la première table d'entrelacement, de sorte que chaque seconde table d'entrelacement comprenne des éléments binaires affectés à l'un desdits groupes de données,
  - orienter les éléments binaires de chacun des groupes de données vers une circuiterie électronique configurée pour moduler et transmettre lesdits éléments binaires.

[Revendication 4]

Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'émission dans le mode de transmission utilisant parallèlement au moins deux bandes fréquentielles disjointes utilise un mode de communication dit mode « hyper robuste » comprenant les étapes, mises en œuvre par le premier dispositif nœud (133) :

- transmettre, audit second dispositif nœud (134), le message sur une première bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bande fréquentielles disjointes, ledit message étant modulé selon le mode robuste, une modulation selon ledit mode robuste comprenant successivement un codage Reed-Solomon, un codage convolutif, un codage par répétition de codes et une modulation BPSK; et,
- transmettre, audit second dispositif nœud (134), le message sur au moins une deuxième bande fréquentielle disjointe parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes, ledit message étant modulé selon ledit mode robuste et lesdites première et deuxième bandes fréquentielles étant différentes.

- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 1, le procédé comprenant les étapes de :
- fragmenter le message à transmettre entre le premier dispositif nœud (133) et le deuxième dispositif nœud (134) en au moins un premier fragment et un second fragment ;
  - associer, audit premier fragment, une première bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes et associer, audit second fragment, une seconde bande fréquentielle disjointe parmi la pluralité de bandes fréquentielles disjointes, lesdites première et seconde bandes fréquentielles étant différentes ; et,
  - transmettre chacun desdits premier et second fragments sur la bande fréquentielle à laquelle il est associé.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 1, le procédé comprenant les étapes de :
- recevoir, depuis un troisième dispositif nœud (137), un fragment d'un message dans une première bande fréquentielle disjointe parmi ladite pluralité de bandes fréquentielles disjointes,
  - sélectionner une bande fréquentielle autre que la première bande fréquentielle parmi l'ensemble des bandes fréquentielles et qui est une bande fréquentielle sur laquelle un deuxième dispositif nœud (134) est apte à émettre et recevoir des messages,
  - relayer le fragment dans la deuxième bande fréquentielle disjointe sélectionnée vers le second dispositif nœud (134).
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 1, le procédé comprenant, préalablement à la transmission du message, les étapes de :
- estimer, pour chaque bande fréquentielle disjointe, une durée de transmission dudit message dans cette bande fréquentielle,
  - obtenir d'une base de données, des résultats d'intégration de taux d'occupation de chaque bande fréquentielle, déterminés pendant plusieurs échelles de temps correspondant à la durée d'émission théorique du message dans chaque bande fréquentielle,
  - sélectionner, à partir des résultats d'intégration de taux d'occupation de chaque bande fréquentielle déterminés pendant plusieurs échelles de temps obtenus, une bande fréquentielle, et
- transmettre le message dans la bande fréquentielle sélectionnée.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel le second

dispositif nœud (134) est atteignable depuis le premier dispositif nœud (133) par au moins deux routes de communication différentes, le procédé comprenant :

- obtenir un coût de route pour chacune desdites routes de communication ; et
- sélectionner parmi lesdites routes de communication, la route de communication correspondant au coût de route le plus petit.

[Revendication 9] Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, le procédé comprenant les étapes de :

- transmettre un exemplaire d'un premier message vers le second dispositif nœud (134) dans chacune desdites au moins deux bandes fréquentielles disjointes, ledit premier message comprenant une information selon laquelle une estimation de canal est demandée au second dispositif nœud (134) par ledit premier dispositif nœud (133),
- recevoir un second message émis par le second dispositif nœud (134) sur chaque bande fréquentielle disjointe via laquelle le second dispositif nœud (134) a reçu un dit exemplaire du premier message, chaque second message comprenant des informations représentatives d'une estimation de canal pour la bande fréquentielle disjointe via laquelle ledit second message est reçu,
- enregistrer, par le premier dispositif nœud (133), les informations représentatives de l'estimation de canal contenues dans chaque second message reçu, et
- déterminer, à partir des informations enregistrées, un mode de transmission d'un troisième message à émettre ultérieurement depuis le premier dispositif nœud (133) vers le second dispositif nœud (134).

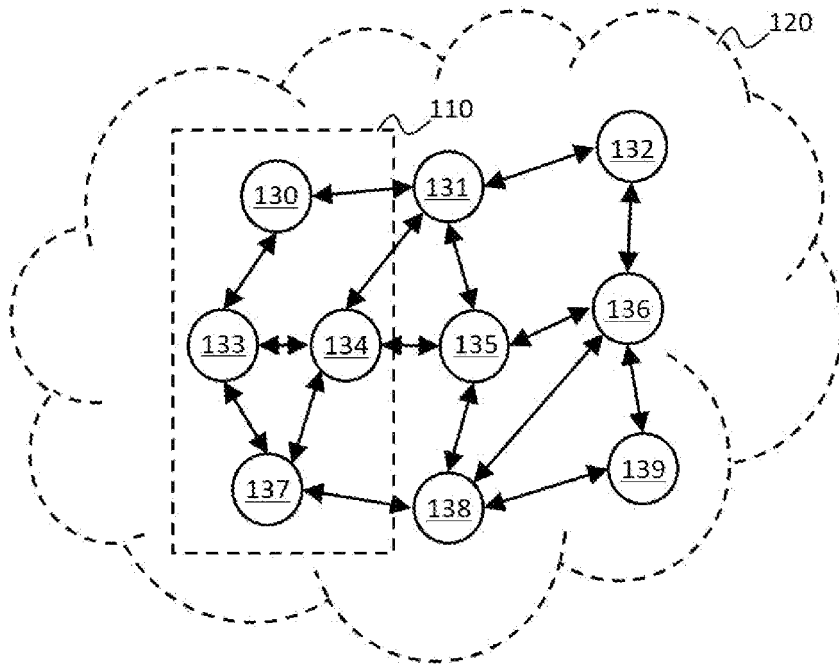
[Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel lesdites au moins deux bandes fréquentielles disjointes sont parmi le groupe : bande fréquentielle CENELEC A, bande fréquentielle CENELEC B, et bande fréquentielle FCC ou bande fréquentielle ARIB.

[Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans

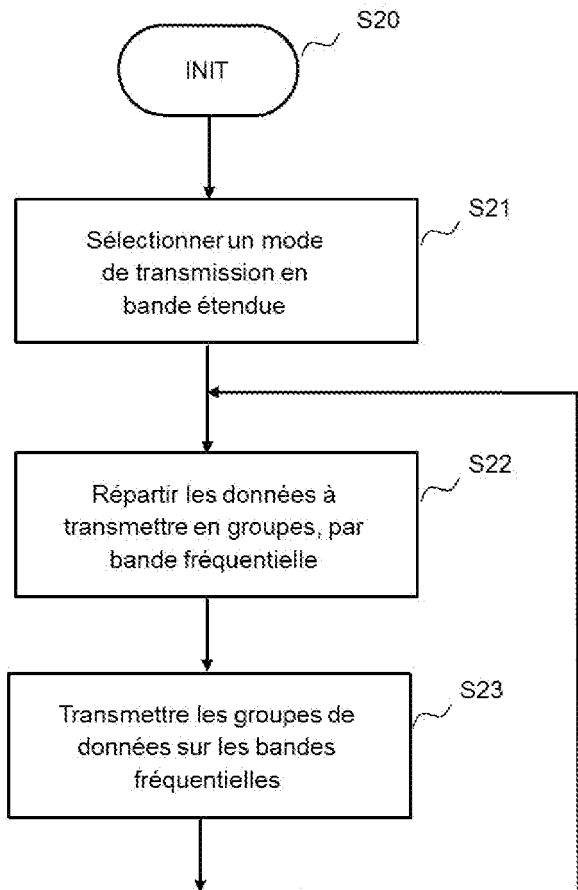
lequel ledit réseau de communication par courants porteurs en ligne est un réseau maillé de type G3-PLC.

- [Revendication 12] Dispositif nœud (133) destiné à être utilisé dans un réseau de communication (120) par courants porteurs en ligne, le dispositif nœud (133) étant configuré pour communiquer dans une pluralité de bandes fréquentielles disjointes avec un second dispositif nœud (134) dudit réseau (120) et étant caractérisé en ce qu'il est configuré pour appliquer un mode de transmission dans, parallèlement, au moins deux bandes fréquentielles disjointes parmi une pluralité de bandes fréquentielles disjointes.
- [Revendication 13] Réseau de communication (120) par courants porteurs en ligne comprenant une pluralité de dispositifs nœuds selon l'une des revendications 12 et 13.
- [Revendication 14] Produit programme d'ordinateur caractérisé en ce qu'il comprend des instructions de codes de programme pour exécuter les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, lorsque ledit programme est exécuté par un processeur.
- [Revendication 15] Support de stockage d'informations comprenant un produit programme d'ordinateur selon la revendication précédente.

[Fig. 1]

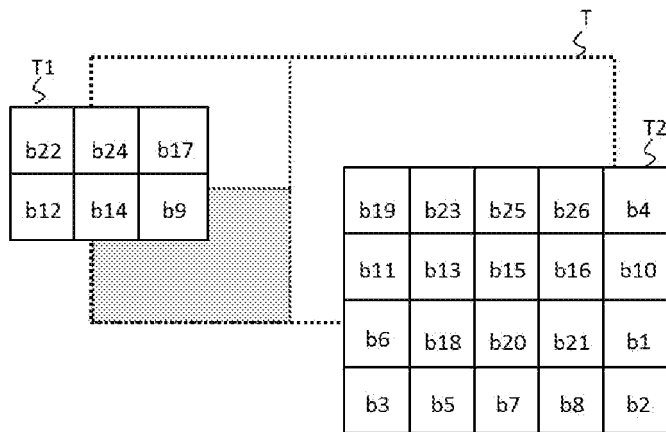


[Fig. 2]

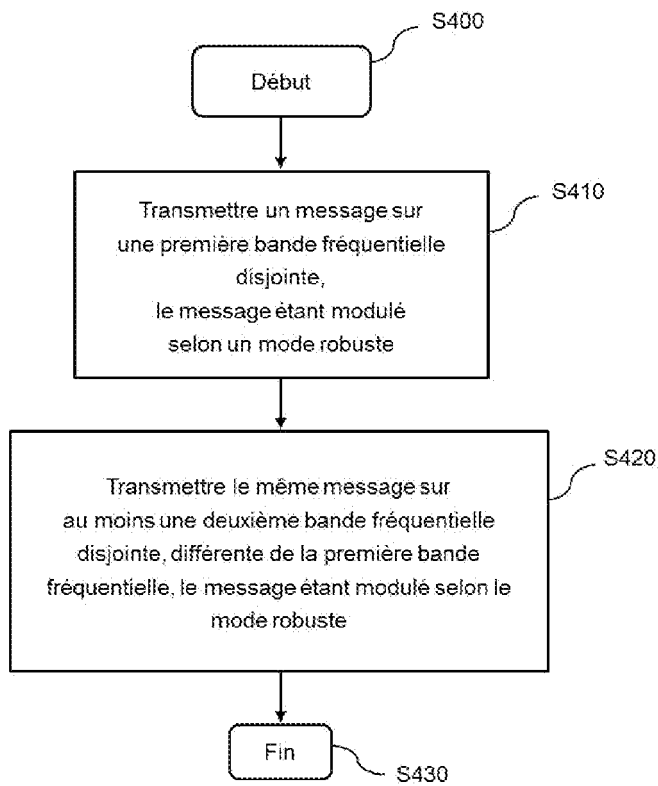


[Fig. 3]

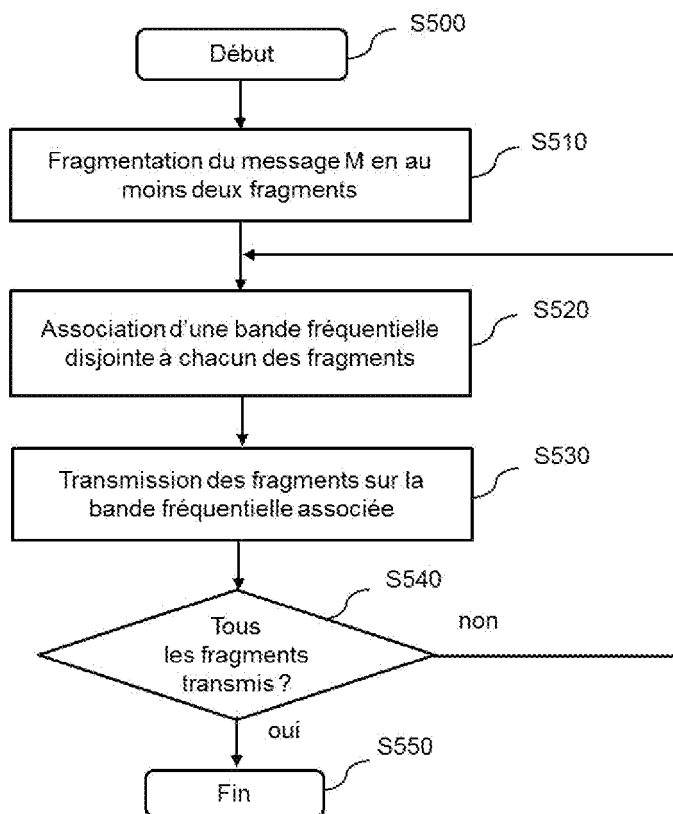
b22	b24	b17	b19	b23	b25	b26	b4
b12	b14	b9	b11	b13	b15	b16	b10
			b6	b18	b20	b21	b1
			b3	b5	b7	b8	b2



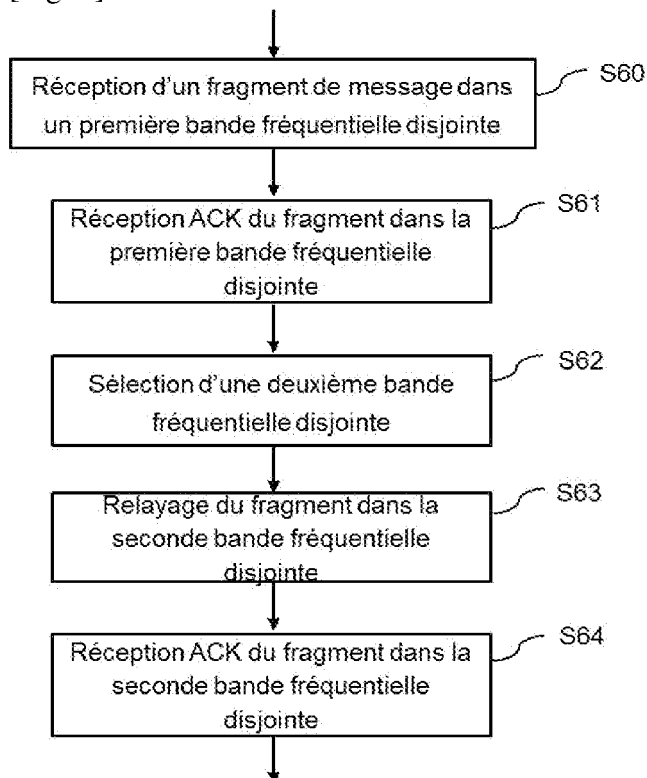
[Fig. 4]



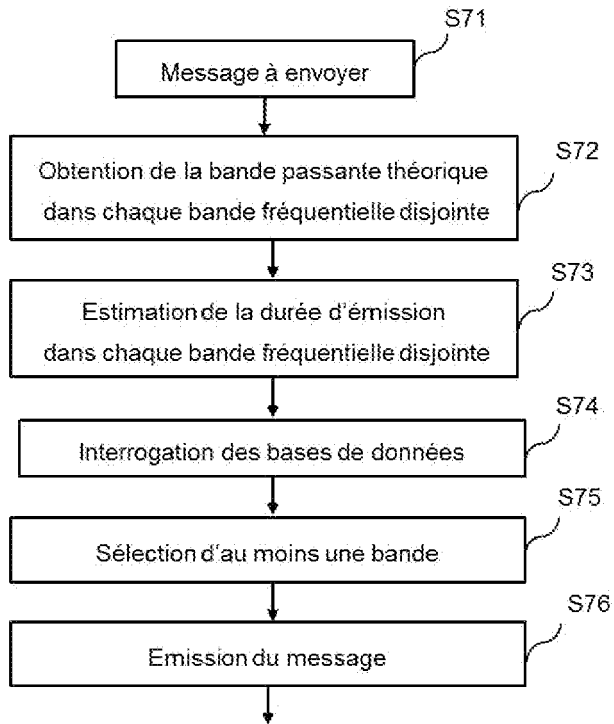
[Fig. 5]



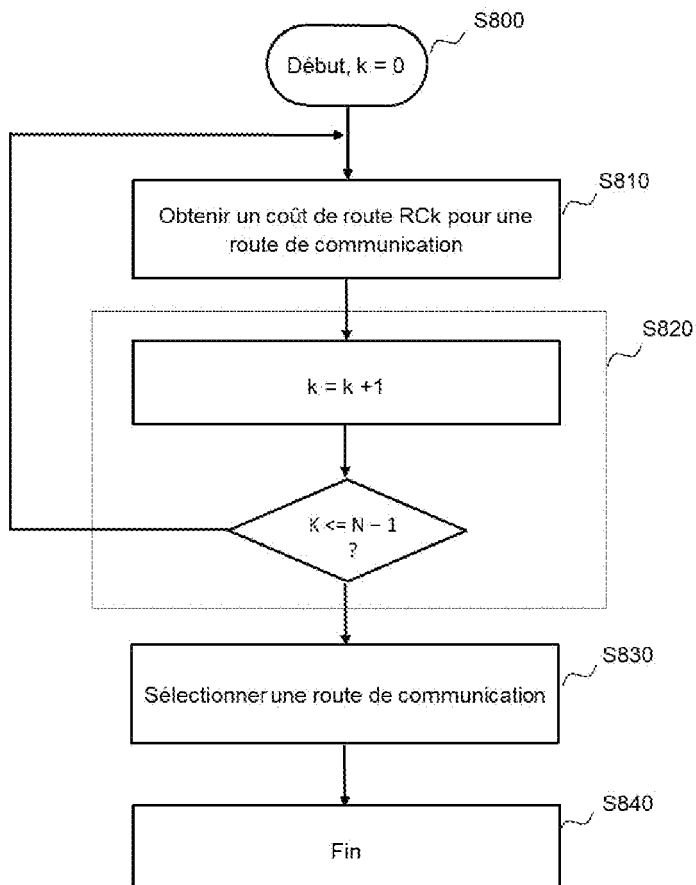
[Fig. 6]



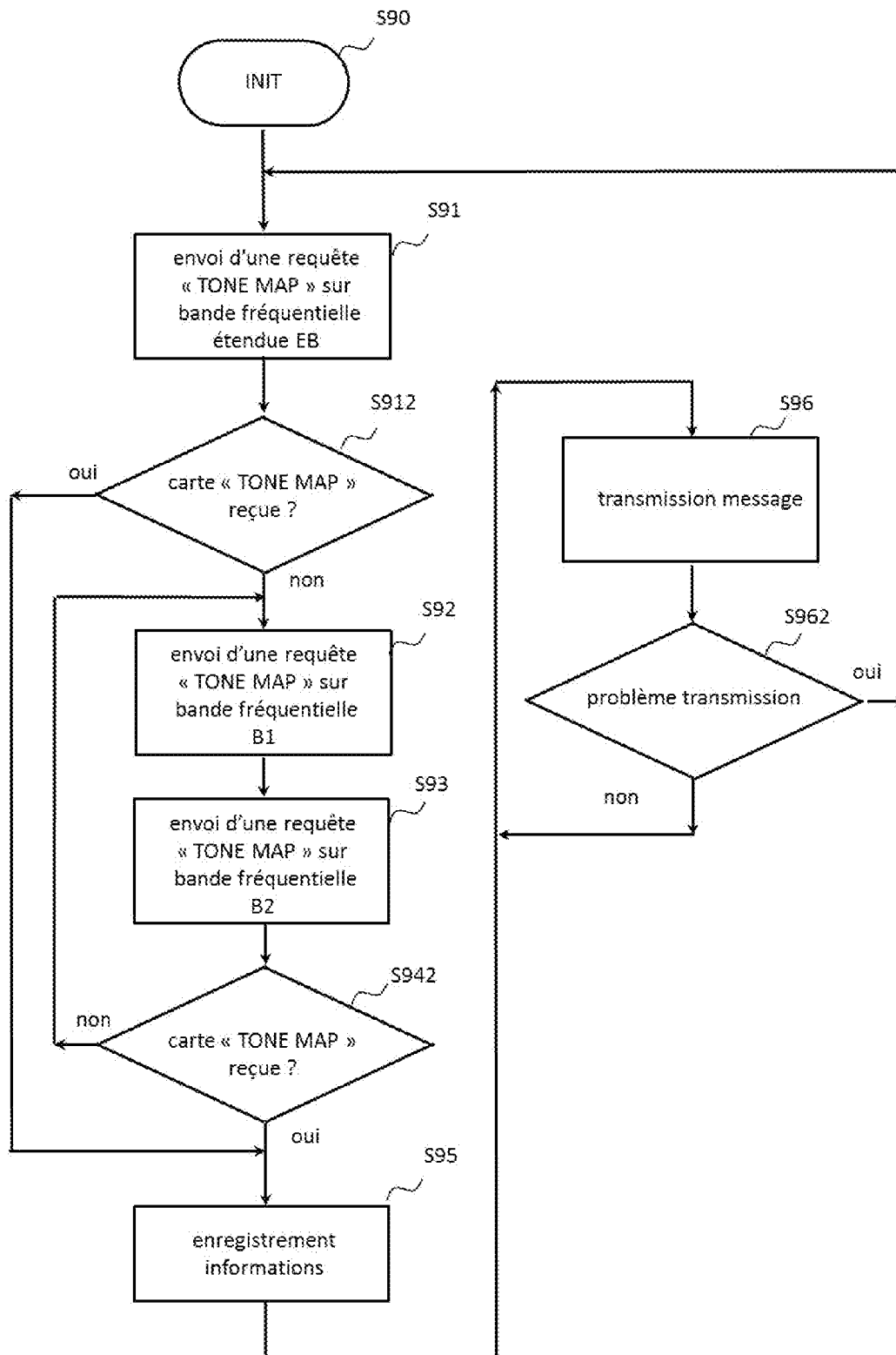
[Fig. 7]



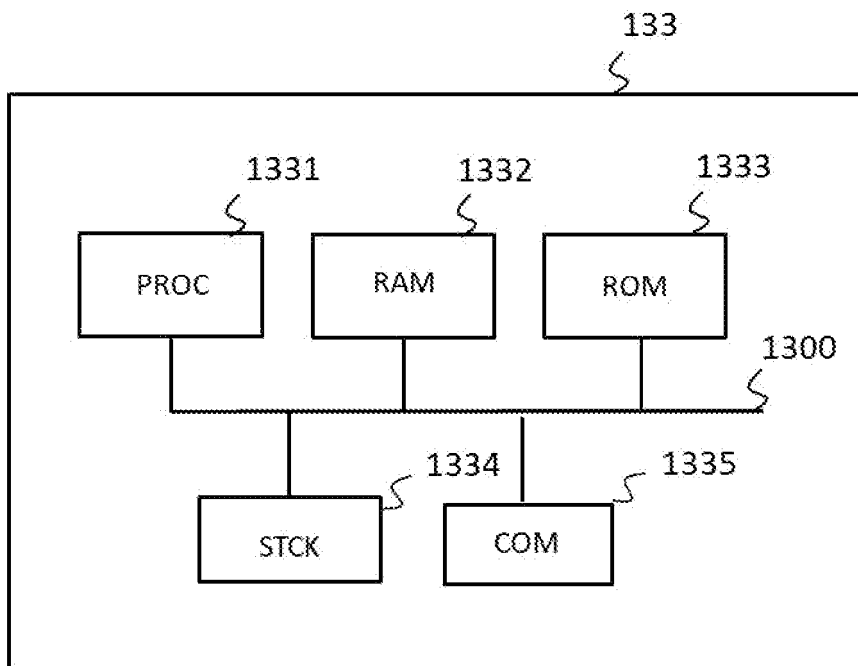
[Fig. 8]



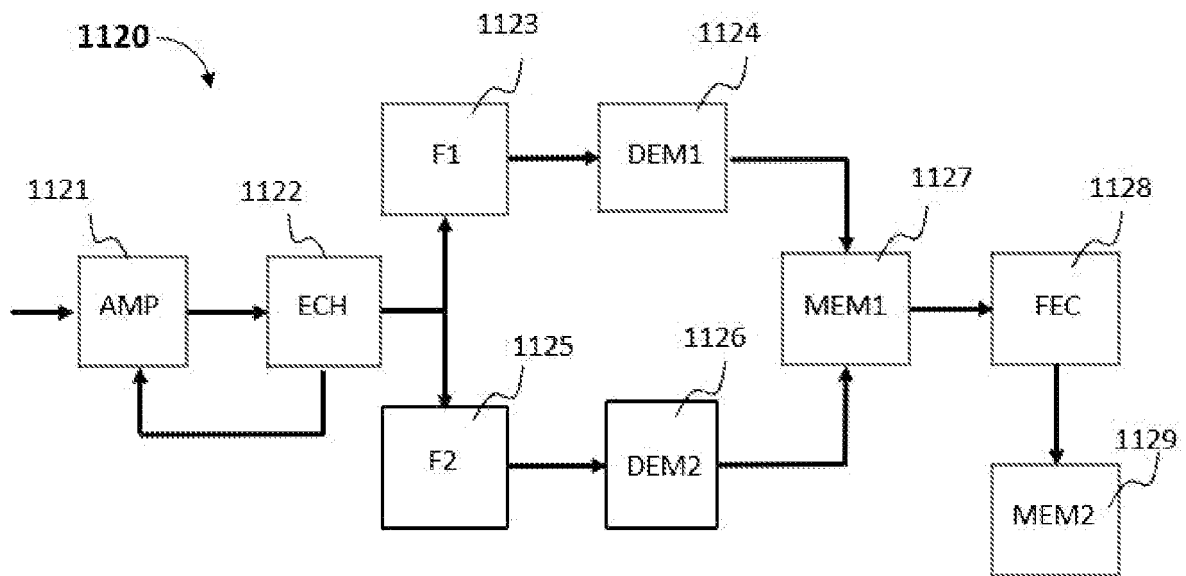
[Fig. 9]



[Fig. 10]



[Fig. 11]





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 883657  
FR 2006950

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	US 2012/134395 A1 (VARADARAJAN BADRI N [US] ET AL) 31 mai 2012 (2012-05-31) * alinéas [0034], [0055], [0056], [0057]; figures 5,9,10 * -----	1,2,4-15	H04B3/54 H04L27/26 H04L29/06
A	US 2016/127515 A1 (KIM WONSOO [US] ET AL) 5 mai 2016 (2016-05-05) * alinéas [0042], [0044], [0045], [0048] * -----	1-15	
A	EP 3 104 569 A1 (SAGEMCOM ENERGY & TELECOM SAS [FR]) 14 décembre 2016 (2016-12-14) * alinéas [0024], [0048]; figure 1e * -----	1-15	
A	US 2013/182719 A1 (VEDANTHAM RAMANUJA [US] ET AL) 18 juillet 2013 (2013-07-18) * alinéas [0008], [0044] - [0048] * -----	1-15	
A	US 2012/189042 A1 (VARADARAJAN BADRI N [US] ET AL) 26 juillet 2012 (2012-07-26) * alinéas [0042] - [0049] * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
24 février 2021		De Iulis, M	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2006950 FA 883657**

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 **24-02-2021**  
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
US 2012134395 A1	31-05-2012	AUCUN	
US 2016127515 A1	05-05-2016	US 2016127515 A1 US 2020351389 A1 WO 2016073618 A1	05-05-2016 05-11-2020 12-05-2016
EP 3104569 A1	14-12-2016	CN 106169938 A EP 3104569 A1 FR 3036566 A1	30-11-2016 14-12-2016 25-11-2016
US 2013182719 A1	18-07-2013	US 2013182719 A1 US 2016087678 A1	18-07-2013 24-03-2016
US 2012189042 A1	26-07-2012	AUCUN	