

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 140 430**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① N° d'enregistrement national : **22 10100**
⑤① Int Cl⁸ : **G 01 M 17/08 (2022.01), H 04 B 17/373**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre un véhicule et un équipement au sol.

②② Date de dépôt : 03.10.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.04.24 Bulletin 24/14.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 25.10.24 Bulletin 24/43.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *ALSTOM Holdings Société anonyme* — FR.

⑦② Inventeur(s) : *EISENMANN Pierre, CABOT Julien, DERSIN Pierre, STAINO Andrea, MIJATOVIC Nenad, FAYT Etienne, André, Maurice, LOPES Fabiano, ALAM Mahabub et KALAPATI Devakanth.*

⑦③ Titulaire(s) : *ALSTOM Holdings Société anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *Lavoix.*

FR 3 140 430 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre un véhicule et un équipement au sol

- [0001] La présente invention concerne un procédé de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre un véhicule, notamment un véhicule ferroviaire, se déplaçant le long d'un itinéraire prédéfini et au moins un équipement au sol.
- [0002] Lors de son déplacement le long de son itinéraire, un véhicule ferroviaire doit être constamment en communication radio avec des serveurs ou équipements informatiques au sol par l'intermédiaire d'équipements radio au sol et sur le train. Cette communication radio, si elle est réalisée à des fins de signalisation, permet au véhicule de transmettre régulièrement aux serveurs/équipements informatiques au sol des informations représentatives de sa position le long de l'itinéraire et de recevoir régulièrement en retour des autorisations de progression sur l'itinéraire depuis les serveurs/équipements informatiques au sol. Les autorisations de progression sont générées par les serveurs/équipements informatiques au sol et dépendent au moins en partie de la coordonnée du véhicule le long de l'itinéraire.
- [0003] Lorsque le véhicule ne reçoit pas d'autorisation de progression lors d'un certain laps de temps, le véhicule interrompt son déplacement le long de l'itinéraire en appliquant une procédure dite de freinage d'urgence. Une telle procédure de freinage d'urgence perturbe le trafic et dans certains rares cas (longue immobilisation) peut représenter un risque pour le véhicule et ses occupants.
- [0004] L'absence d'autorisation de progression peut résulter d'une absence de génération d'autorisation délibérée de la part des serveurs/équipements informatiques au sol, par exemple lorsque la position du véhicule le long de l'itinéraire requiert un arrêt du déplacement du véhicule, ou d'une dégradation des liens radio entre le véhicule et les équipements au sol, rendant impossible le transfert des informations représentatives de la position du véhicule et/ou des autorisations de progression.
- [0005] De telles dégradations de communication radio peuvent se produire lorsque les équipements radio sur le véhicule et/ou au sol présentent des problèmes de conception, de réglage (changement d'orientation des antennes), lorsqu'ils se détériorent, lorsque l'environnement radio est perturbé par exemple par l'apparition de nouveaux obstacles ou lorsque des phénomènes d'interférences se manifestent.
- [0006] Il est significativement complexe de détecter ou d'anticiper les dégradations des liens radio entre le véhicule et les équipements au sol car elles ne sont généralement pas dues à des dysfonctionnements ou des phénomènes évidents.
- [0007] Actuellement, il est d'usage commun, dans un premier temps, de détecter des dé-

gradations sévères des liens radio, ces dégradations sévères menant notamment à des procédures de freinage d'urgence non souhaitées, puis, dans un second temps, de procéder à des campagnes de mesures radio spécifiques visant à détecter précisément les dégradations et les diagnostiquer.

- [0008] Lesdites campagnes de mesures radio sont alors effectuées en dehors des heures de service sur des créneaux aménagés, sur des outils spécifiquement conçus pour ces tâches.
- [0009] Cependant, la surveillance et le diagnostic des dégradations sont alors effectués dans des conditions qui sont peu représentatives des conditions réelles de circulation du véhicule et sont basées sur des mesures ponctuelles spécifiquement effectuées dans le but de déceler et d'identifier des dégradations déjà suspectées.
- [0010] L'un des buts de l'invention est de pallier ces inconvénients en proposant un procédé permettant de surveiller l'intégrité des liens radio entre le véhicule et les équipements au sol de manière efficace et précise.
- [0011] A cet effet, l'invention concerne un procédé de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre un véhicule, notamment un véhicule ferroviaire, se déplaçant le long d'un itinéraire prédéfini et au moins un équipement au sol, la position du véhicule le long de l'itinéraire prédéfini étant caractérisée à chaque instant par une coordonnée le long de cet itinéraire prédéfini, le véhicule et l'au moins un équipement au sol échangeant des signaux radio par l'intermédiaire du lien radio, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- [0012] - mesure d'un paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol en fonction du temps ou en fonction de la coordonnée du véhicule, le paramètre d'intérêt étant représentatif de la qualité du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol ;
- [0013] - mesure de la coordonnée du véhicule en fonction du temps ;
- [0014] - calcul d'un relevé du paramètre d'intérêt en fonction de la coordonnée du véhicule à partir de la mesure du paramètre d'intérêt et de la mesure de la coordonnée ;
- [0015] - calcul d'une courbe de référence du paramètre d'intérêt d'un lien radio de référence entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol en fonction de la coordonnée du véhicule ; et
- [0016] - caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol par comparaison du relevé du paramètre d'intérêt avec la courbe de référence du paramètre d'intérêt.
- [0017] L'invention permet ainsi de caractériser la qualité du lien radio entre le véhicule et un équipement au sol directement grâce à des mesures d'un ou de plusieurs paramètre(s) d'intérêt et de coordonnées relatives audit véhicule.
- [0018] La caractérisation de la qualité du lien radio est donc fondée sur une analyse du lien

radio connectant effectivement le véhicule et l'équipement au sol.

- [0019] Selon des caractéristiques optionnelles du procédé de caractérisation, prises isolément ou selon toute combinaison techniquement envisageable :
- [0020] - le véhicule est connecté avec un des équipements au sol par l'intermédiaire d'un lien radio utile pour communiquer avec une station au sol, la mesure du paramètre d'intérêt étant effectuée pour être prise en compte pour déterminer l'équipement au sol avec lequel le véhicule est connecté par l'intermédiaire du lien radio utile ;
- [0021] - la mesure de la coordonnée du véhicule est effectuée par le véhicule pour recevoir une autorisation de progression du véhicule sur l'itinéraire prédéfini émise par la station au sol ;
- [0022] - la caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol comprend le calcul d'au moins un indicateur de qualité du lien radio, l'au moins un indicateur de qualité étant une variable ayant une valeur représentative d'une qualité satisfaisante du lien radio ou une valeur représentative d'une qualité dégradée du lien radio ;
- [0023] - lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité est représentative d'une qualité dégradée du lien radio, la caractérisation de la qualité du lien radio comprend en outre une détermination d'une cause de la dégradation du lien radio ;
- [0024] - la détermination de la cause de la dégradation du lien radio comporte une comparaison du relevé du paramètre d'intérêt avec des courbes typiques du paramètre d'intérêt correspondant à différentes causes de dégradation ;
- [0025] - lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité est représentative d'une qualité satisfaisante mais tend au cours du temps vers une valeur représentative d'une qualité dégradée, la caractérisation de la qualité du lien radio comprend en outre une détermination d'une durée au bout de laquelle la valeur de l'indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée ;
- [0026] - le calcul d'un premier indicateur de qualité comprend une comparaison d'une décomposition du relevé du paramètre d'intérêt en composantes calculées par analyse en composantes principales et d'une décomposition de la courbe de référence du paramètre d'intérêt en composantes calculées par analyse en composantes principales ;
- [0027] - l'au moins un équipement au sol comprend une première unité d'émission-réception radio et une deuxième unité d'émission-réception radio, le lien radio comprenant un premier canal connectant la première unité d'émission-réception radio et le véhicule et un deuxième canal connectant la deuxième unité d'émission-réception radio et le véhicule, le calcul du premier indicateur de qualité comprenant une comparaison du relevé du paramètre d'intérêt correspondant au premier canal du lien radio avec le relevé du paramètre d'intérêt correspondant au deuxième canal du lien radio ;

- [0028] - le calcul d'au moins un second indicateur de qualité est fonction du temps mis à faire un transfert cellulaire, de pertes de paquets, de débits mesurés, de latences et/ou de la vitesse du véhicule ;
- [0029] - la caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol comprend en outre la prise en compte de données d'analyses supplémentaires ;
- [0030] - lorsque le procédé comprend une étape de mesure du paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol en fonction du temps, le calcul du relevé du paramètre d'intérêt comprend la synchronisation de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée du véhicule en fonction du temps en associant le plus long plateau, ou respectivement une pluralité de plateaux consécutifs de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée du véhicule en fonction du temps avec la plus longue portion, ou respectivement une pluralité de portions, de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt mesuré en fonction du temps pour laquelle, ou respectivement lesquelles, la variance de la valeur du paramètre d'intérêt est minimale ; et
- [0031] - lorsque le procédé comprend une étape de mesure du paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol en fonction du temps, le calcul du relevé du paramètre d'intérêt comprend l'association du paramètre d'intérêt à un instant donné avec la coordonnée du véhicule à l'instant donné par interpolation dans le domaine temporel de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée du véhicule mesurée en fonction du temps ; et
- [0032] - lorsque le procédé comprend une étape de mesure du paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et l'au moins un équipement au sol en fonction de la coordonnée du véhicule, le calcul du relevé du paramètre d'intérêt comprend l'association du paramètre d'intérêt à une coordonnée donnée avec un instant correspondant à la coordonnée du véhicule par interpolation dans le domaine spatial de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt mesuré en fonction de la coordonnée et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée du véhicule mesurée en fonction du temps.
- [0033] D'autres aspects et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :
- [0034] [Fig.1] la [Fig.1] est une représentation schématique illustrant un ensemble comprenant un véhicule, deux équipements radio au sol et une station au sol, l'ensemble étant propre à exécuter le procédé de caractérisation du lien radio entre le

véhicule et au moins un équipement radio au sol selon l'invention ;

[0035] [Fig.2] la [Fig.2] est une représentation schématique détaillée illustrant l'ensemble de la [Fig.1] ;

[0036] [Fig.3] la [Fig.3] est un graphique ayant pour ordonnée le paramètre d'intérêt et pour abscisse la coordonnée du véhicule, sur lequel sont superposés un relevé du paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et un équipement au sol en fonction de la coordonnée du véhicule, issu d'un premier passage du véhicule à proximité de l'équipement au sol, un relevé du paramètre d'intérêt du lien radio entre le véhicule et l'équipement au sol en fonction de la coordonnée du véhicule, issu d'un second passage du véhicule à proximité de l'équipement au sol et une courbe de référence du paramètre d'intérêt d'un lien radio de référence entre le véhicule et l'équipement au sol en fonction de la coordonnée du véhicule ;

[0037] [Fig.4] la [Fig.4] est une représentation schématique d'un ordinogramme représentant le procédé de caractérisation de la qualité du lien radio.

[0038] En référence aux figures 1 et 2, un ensemble 1 comprend un véhicule 3 configuré pour se déplacer le long d'un itinéraire prédéfini, au moins un équipement au sol 40 disposé le long de l'itinéraire prédéfini et une station au sol 50.

[0039] Le véhicule 3 est par exemple un véhicule terrestre guidé, en particulier un véhicule ferroviaire. Dans ce cas, l'itinéraire prédéfini est défini le long d'une voie ferrée (non-illustrée).

[0040] La position du véhicule 3 sur l'itinéraire est caractérisée à chaque instant par une coordonnée P le long de cet itinéraire.

[0041] Comme il sera détaillé plus bas, le véhicule 3 est configuré pour communiquer avec la station au sol 50 par l'intermédiaire d'au moins un équipement au sol 40.

[0042] Selon l'exemple décrit dans la présente demande, l'ensemble 1 comprend une pluralité d'équipements au sol 40 répartis le long de l'itinéraire prédéfini. Chaque équipement au sol 40 est connecté à la station au sol 50.

[0043] Le véhicule 3 est apte à être connecté avec au moins un équipement au sol 40 par un lien radio. Notamment, le véhicule 3 est apte à échanger des signaux radio avec l'équipement au sol 40 avec lequel il est connecté par l'intermédiaire du lien radio.

[0044] Dans la suite, on décrit un seul équipement au sol 40. On comprendra que chaque équipement au sol 40 présente la même structure et les mêmes fonctions.

[0045] L'équipement au sol 40 est typiquement une station de base dans le cas d'un réseau mobile ou encore un point d'accès dans le cas d'un réseau wifi.

[0046] L'équipement au sol 40 comprend notamment au moins une unité d'émission-réception radio 42.

[0047] L'unité d'émission-réception radio 42 comporte un émetteur-récepteur 43 et au moins une antenne physique 44 de radiocommunication connectée à

l'émetteur-récepteur 43. L'antenne physique 44 comporte, par exemple, plusieurs éléments rayonnants constituant un ensemble MIMO (« *Multiple-Input Multiple Output* » en anglais, « entrées multiples, sorties multiples » en français).

- [0048] Comme il sera détaillé plus bas, par souci de redondance, l'équipement au sol 40 comprend de préférence au moins deux unités d'émission-réception radio 42, en particulier exactement deux unités d'émission-réception radio 42. Ceci est un exemple de configuration redondante, il peut y avoir d'autres configurations permettant la redondance par exemple par une couverture radio redondante en déployant deux fois plus d'équipements au sol 40.
- [0049] Par exemple, par soucis de redondance complète, les équipements au sol 40 sont regroupés par paire, les équipements au sol 40 d'une même paire étant situés sensiblement au même endroit le long de l'itinéraire. En particulier, les équipements au sol 40 d'une même paire fournissent une couverture radio sensiblement identique. En d'autres termes, dans un cas nominal de fonctionnement, les liens radio entre le véhicule 3 et chacun des équipements au sol 40 d'une même paire sont sensiblement identiques.
- [0050] Le véhicule 3 est configuré pour communiquer en permanence avec la station au sol 50 par l'intermédiaire d'au moins un équipement au sol 40 parmi la pluralité d'équipements au sol 40. Le véhicule 3 est notamment configuré pour être connecté avec ledit au moins un équipement au sol 40 par l'intermédiaire d'un lien radio utile pour communiquer avec la station au sol 50.
- [0051] Avantageusement, le véhicule 3 est également configuré pour être connecté avec au moins un autre équipement au sol 40 parmi la pluralité d'équipements au sol 40, notamment par l'intermédiaire d'un lien radio secondaire.
- [0052] Lorsqu'un équipement au sol 40 comprend deux unités d'émission-réception radio 42, le lien radio entre le véhicule 3 et ledit équipement au sol 40 comprend un premier canal connectant une première unité d'émission-réception radio 42 dudit équipement au sol 40 et le véhicule 3 et un deuxième canal connectant une deuxième unité d'émission-réception radio 42 dudit équipement au sol 40 et le véhicule 3. Dans ce cas, l'équipement radio du véhicule 3 est apte à basculer sur le deuxième canal en cas de perte de connexion sur le premier canal.
- [0053] Avantageusement, le véhicule 3 est configuré pour communiquer avec la station au sol 50 pour transmettre sa coordonnée P à la station au sol 50 et à recevoir en retour une autorisation de progression sur l'itinéraire depuis la station au sol 50.
- [0054] L'autorisation de progression est en particulier générée par la station au sol 50 en fonction de la coordonnée P du véhicule 3, et par exemple en outre de coordonnées d'autres véhicules présents sur l'itinéraire prédéfini, d'une planification de déplacement du véhicule 3 sur l'itinéraire, etc.

- [0055] Lorsque le véhicule 3 ne reçoit pas d'autorisation de progression, il interrompt son déplacement le long de l'itinéraire prédéfini.
- [0056] Pour que le véhicule 3 puisse se déplacer le long de l'itinéraire prédéfini dans de bonnes conditions, il est donc nécessaire que la communication entre le véhicule 3 et la station au sol 50 soit assurée en permanence.
- [0057] Lorsque le véhicule 3 communique avec la station au sol 50 par l'intermédiaire d'un équipement au sol 40, on dit que le véhicule 3 est apparié avec ledit équipement au sol 40.
- [0058] Par « communiquer avec la station au sol », on entend que le véhicule 3 et la station au sol 50 échangent la coordonnée P du véhicule et toute autorisation de progression par échange de signaux radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié. En d'autres termes, la coordonnée P du véhicule et toute autorisation de progression sont échangées par l'intermédiaire du lien radio utile entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.
- [0059] Lorsque la communication entre le véhicule 3 et la station au sol 50 est compromise, notamment lorsque le lien radio utile entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié est dégradé, ou bien en fonctionnement nominal lorsque le véhicule s'est déplacé et que le niveau de signal sur le lien radio utile devient trop faible, le véhicule 3 est apparié avec un autre équipement au sol 40 permettant l'échange de la coordonnée P et de toute autorisation de progression sur l'itinéraire prédéfini. Cette opération est appelée transfert cellulaire (en anglais « *handover* »). Par « fonctionnement nominal », on entend qu'il n'existe pas de phénomène particulier entraînant une dégradation anormale du lien radio utile (qui est à distinguer d'une atténuation de signaux radio échangés par le lien radio utile à cause d'un éloignement croissant entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié). Lorsque le lien radio utile est dégradé de façon anormale et notamment lorsqu'il y a redondance de l'architecture radio, le lien radio secondaire peut devenir un lien radio utile en remplacement. Cette opération est aussi appelée transfert cellulaire (en anglais « *handover* »). L'appariement du véhicule 3 avec un autre équipement au sol 40 permet alors d'assurer un échange continu de la coordonnée P du véhicule et de toute autorisation de progression entre le véhicule 3 et la station au sol 50, et donc d'assurer une progression la plus fluide possible du véhicule 3 sur l'itinéraire prédéfini.
- [0060] Chaque lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40, en particulier chaque canal, est caractérisé par au moins un paramètre d'intérêt Q. En particulier, le paramètre d'intérêt Q est représentatif de la qualité du lien radio, en particulier du canal correspondant, entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 correspondant.
- [0061] Par exemple, le paramètre d'intérêt Q est le niveau de puissance en réception d'un

signal radio reçu par le véhicule 3 et transmis depuis un équipement radio au sol 40 par l'intermédiaire du lien radio correspondant, en particulier du canal correspondant.

- [0062] Le paramètre d'intérêt Q est avantageusement pris en compte pour la réalisation du transfert cellulaire entre le véhicule 3 et les différents équipements au sol 40.
- [0063] Dans ce qui suit, comme illustré sur l'exemple de la [Fig.1], on considère que le véhicule 3 est configuré, à un instant donné lors de son déplacement le long de l'itinéraire, pour être connecté avec un premier équipement au sol 40 par l'intermédiaire d'un lien radio utile L1 pour communiquer avec la station au sol 50 et pour par exemple être connecté avec un deuxième équipement au sol 40 par l'intermédiaire d'un lien radio secondaire L2. Bien entendu, l'invention s'applique également lorsque le véhicule 3 est connecté avec plus de deux équipements au sol 40 en même temps.
- [0064] Selon l'exemple illustré sur la [Fig.1], le lien radio utile L1 comprend un premier canal C1 et un deuxième canal C2. Ici, le premier canal C1 est un canal utile par l'intermédiaire duquel le véhicule 3 communique avec la station au sol 50 et le deuxième canal C2 est un canal secondaire.
- [0065] Comme illustré sur la [Fig.2], le véhicule 3 comprend un dispositif de localisation 10 et un dispositif de communication par signal radio 12, connecté au dispositif de localisation 10.
- [0066] Le dispositif de localisation 10 est configuré pour générer des données de localisation, représentatives de la coordonnée P du véhicule 3. Par exemple, le dispositif de localisation 10 est un récepteur de signal GPS ou un système de détection de balises au sol dont les localisations sont connues et entre lesquels un système de mesure de rotation et glissement des roues permet par interpolation de déterminer la localisation du véhicule 3.
- [0067] Le dispositif de communication 12 est apte à être connecté avec le premier et le deuxième équipements au sol 40 par les liens radio L1, L2 respectifs.
- [0068] En outre, le dispositif de communication 12 est configuré pour la communication avec la station au sol 50 par l'intermédiaire du premier équipement au sol 40, notamment par le lien radio utile L1, en particulier par le canal utile C1, avec le premier équipement au sol 40.
- [0069] Le dispositif de communication 12 comprend une unité 16 d'émission-réception radio et une unité centrale 18 connectée à l'unité d'émission-réception radio 16.
- [0070] L'unité d'émission-réception radio 16 est configurée pour échanger des signaux radio avec les premier et deuxième équipements au sol 40, notamment avec la ou les unité(s) d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40, par l'intermédiaire des liens radio L1, L2 respectifs.
- [0071] Comme illustré sur la [Fig.1], l'unité d'émission-réception radio 16 du dispositif de

communication 12 comprend par exemple un émetteur-récepteur 19 et une antenne physique 20 connectée à l'émetteur-récepteur 19. Avantageusement, l'unité d'émission-réception radio 16 comprend au moins deux émetteurs-récepteurs 19 et au moins deux antennes physiques 20 pour assurer une redondance de chemins pour les signaux radio à destination de la station au sol 50. Selon une variante non illustrée, le véhicule 3 comporte deux unités d'émission-réception radio 16.

- [0072] Avantageusement, l'unité d'émission-réception radio 16 comprend en outre un dispositif de mesure du niveau de puissance en réception de signaux radio reçus par l'antenne 20 de l'unité 16. Le dispositif de mesure du niveau de puissance en réception des signaux radio reçus est notamment configuré pour générer des données de mesure du niveau de puissance.
- [0073] Chaque unité d'émission-réception radio 16 est par exemple associée de manière unique à un identifiant. Cet identifiant est par exemple utilisé par un module 28 du dispositif de communication 12 du véhicule 3 pour générer tout groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q de tout lien radio entre le véhicule 3 associé audit identifiant de l'unité d'émission-réception radio 16 et de l'équipement au sol 40 correspondant. L'identifiant permet d'identifier quel équipement à bord d'un véhicule a effectué la mesure.
- [0074] Le dispositif de communication 12 est configuré pour transmettre entre autres vers l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, c'est-à-dire le premier équipement au sol 40 :
- [0075] - des mesures de la coordonnée P du véhicule 3 ; et
- [0076] - des mesures du paramètre d'intérêt Q du lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40, ici le premier et/ou le deuxième équipement au sol 40.
- [0077] De façon plus générale, le mode de fonctionnement d'un système radio mobile implique la mesure permanente (à des intervalles plus ou moins rapprochés) de tous les canaux sur lesquels une station au sol est susceptible de transmettre. Les mesures peuvent donc concerner une pluralité d'équipements au sol. le dispositif de communication 12 sur le véhicule pourra choisir de se connecter à l'équipement au sol ayant le meilleur signal. Les mesures du paramètre d'intérêt peuvent donc concerner une pluralité d'équipements au sol qui sont associés à chaque mesure par un identifiant unique qui leur est attribué.
- [0078] Ces mesures sont, par exemple, transmises en temps réel. En d'autres termes, les mesures sont transmises dès qu'elles sont effectuées. En variante, ces mesures sont stockées à bord du véhicule et transmises ultérieurement.
- [0079] Le dispositif de communication 12 est en outre configuré pour recevoir depuis l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, c'est-à-dire le premier équipement au sol 40, toute autorisation de progression générée par la station au sol 50.

- [0080] Le dispositif de communication 12 comprend un module 28 de mesure du paramètre d'intérêt Q du lien radio entre le véhicule 3 et un ou plusieurs équipements au sol 40, par exemple ici le premier et/ou le deuxième équipement au sol 40, en fonction du temps, un module 30 de mesure de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps et un module 32 de gestion des liens radio.
- [0081] Les modules 28, 30 et 32 sont par exemple des modules logiciels comprenant des instructions de code logiciel enregistrables sur une mémoire et exécutable par un processeur. En variante, au moins un des modules 28, 30 et 32 est prévu sous la forme d'un composant logique programmable ou d'un circuit intégré dédié
- [0082] L'unité centrale 18 du dispositif de communication 12 du véhicule 3 comprend par exemple un processeur 22 et une mémoire 24 contenant les modules 28, 30 et 32 prévus sous la forme de modules logiciels propres à être exécutés par le processeur 22.
- [0083] Dans une variante, le module 28 est intégré à l'émetteur-récepteur 19 de l'unité d'émission-réception radio 16.
- [0084] Le module 28 est configuré pour mesurer le paramètre d'intérêt Q du lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40, ici le premier et/ou le deuxième équipement au sol 40, en fonction du temps. Notamment, le module 28 est configuré pour mesurer le paramètre d'intérêt Q de chaque canal du lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40 en fonction du temps. En d'autres termes, le module 28 est configuré pour mesurer non seulement le paramètre d'intérêt Q du lien radio utile L1, notamment du canal utile C1, par lequel transitent les informations mais aussi le paramètre d'intérêt Q de chaque lien radio secondaire L2 ou de chaque canal secondaire C2, afin de permettre les prises de décision de transfert cellulaire.
- [0085] En particulier, le module 28 est configuré pour recevoir les données de mesure du niveau de puissance depuis l'unité d'émission-réception radio 16, notamment depuis le dispositif de mesure du niveau de puissance en réception des signaux radio reçus par l'antenne 20 de l'unité 16.
- [0086] Typiquement, les mesures du paramètre d'intérêt Q sont utilisées pour prendre des décisions de changements d'appariement à un équipement au sol 40 en fonction du niveau de signal de celle à laquelle le véhicule 3 est apparié. Typiquement, ces mesures ou un sous-échantillonnage de celles-ci seront utilisées pour les besoins de l'invention. Le sous-échantillonnage est choisi de sorte à préserver les caractéristiques essentielles du signal en fonction de la localisation.
- [0087] Un premier intervalle de temps typique entre deux mesures du paramètre d'intérêt Q est par exemple compris entre 10 ms et 40 ms, notamment sensiblement égal à 20 ms. Ainsi, à titre d'exemple, le module 28 est configuré pour mesurer le paramètre d'intérêt Q du lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40, ici le premier et/ou le deuxième équipement au sol 40, toutes les 20 ms.

- [0088] D'autres paramètres intéressants pour apprécier la qualité radio pourront être mesurés, par exemple le temps mis à faire un transfert cellulaire (changement d'appariement), les pertes de paquets, le débit mesuré, la latence (temps d'aller-retour d'un signal radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40).
- [0089] Comme mentionné ci-dessus, le paramètre d'intérêt Q du lien radio est pris en compte pour déterminer un changement éventuel d'appariement entre le véhicule 3 et les équipements au sol 40 (transfert cellulaire).
- [0090] Par exemple, si le paramètre d'intérêt Q du lien radio utile est représentatif d'un signal insatisfaisant pour l'échange de la coordonnée P du véhicule 3 et de toute autorisation de progression, le véhicule 3 est apparié, le cas échéant, avec un autre équipement au sol 40 pour lequel le paramètre d'intérêt Q du lien radio est représentatif d'un signal satisfaisant pour ledit échange.
- [0091] Dans un exemple particulier, si le niveau de puissance en réception d'un signal radio échangé par le lien radio utile est inférieur à un seuil prédéterminé, le véhicule 3 communique par la suite, le cas échéant, avec la station au sol 50 par l'intermédiaire d'un autre équipement au sol 40, donc par l'intermédiaire d'un autre lien radio, notamment pour lequel le niveau de puissance en réception de signaux radio échangés par ledit autre lien radio est supérieur au seuil prédéterminé.
- [0092] Par exemple, le module 28 est configuré pour générer, pour chaque mesure du paramètre d'intérêt Q, un groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q, chaque groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q comprenant :
- [0093] - un identifiant de l'équipement au sol 40 impliqué, notamment de l'unité d'émission-réception radio 42 de l'équipement au sol 40 impliquée ;
- [0094] - la valeur du paramètre d'intérêt Q mesuré ; et
- [0095] - l'instant auquel la mesure du paramètre d'intérêt Q a été effectuée.
- [0096] Le module 30 est configuré pour recevoir les données de localisation depuis le dispositif de localisation 10.
- [0097] Le module 30 est configuré pour mesurer la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps, à partir des données de localisation, notamment avec un deuxième intervalle de temps qui est par exemple constant entre les mesures. Le deuxième intervalle de temps est par exemple compris entre 400 ms et 800 ms, notamment sensiblement égal à 600 ms. Ainsi, à titre d'exemple, le module 30 est configuré pour mesurer la coordonnée P du véhicule 3 toutes les 600 ms.
- [0098] Par exemple, le module 30 est configuré pour générer pour chaque mesure de la coordonnée P du véhicule, un groupe de données de mesure de la coordonnée P, chaque groupe de données de mesure de la coordonnée P comprenant :
- [0099] - un numéro de rang de la mesure par rapport à l'ordre de l'ensemble des mesures de coordonnée P effectuées ;

- [0100] - la valeur de la coordonnée P mesurée ;
- [0101] - l'instant auquel la mesure de la coordonnée P a été effectuée.
- [0102] Avantagement, chaque groupe de données de mesure de la coordonnée P comprend en outre :
- [0103] - la vitesse du véhicule 3 ; et
- [0104] - la direction de mouvement du véhicule 3.
- [0105] Avantagement, le module 32 de gestion des liens radio est propre à changer l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, notamment en fonction du paramètre d'intérêt Q du lien radio utile, et du paramètre d'intérêt Q du lien radio secondaire.
- [0106] En particulier, lorsque le niveau de puissance en réception d'un signal radio échangé par le lien radio utile est inférieur au seuil prédéterminé et lorsque le niveau de puissance en réception d'un signal radio échangé par le lien radio secondaire est supérieur au seuil prédéterminé, le module 32 de gestion des liens radio contrôle l'unité d'émission-réception radio 16 de sorte que le véhicule 3 soit désapparié du premier équipement au sol 40 et soit apparié avec le deuxième équipement au sol 40.
- [0107] Le module 32 de gestion des liens radio est en outre configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que cette dernière transmette la mesure du paramètre d'intérêt Q à destination de chaque unité d'émission-réception radio 42 de l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.
- [0108] En particulier, le module 32 de gestion des liens radio est configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que celle-ci transmette les groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q à destination de l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, autrement dit par l'intermédiaire du lien radio utile, par exemple, en temps réel. En variante, ces données sont par exemple stockées à bord du véhicule 3 et transmises ultérieurement.
- [0109] Par exemple, le module 32 de gestion du lien radio est configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que celle-ci transmette les groupes de données du paramètre d'intérêt Q déterminés successivement avec le premier intervalle de temps entre les déterminations.
- [0110] Le module 32 de gestion du lien radio est en outre configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que cette dernière transmette la mesure de coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps, à destination de chaque unité d'émission-réception radio 42 de l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.
- [0111] En particulier, le module 32 de gestion du lien radio est configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que celle-ci transmette les groupes de données de mesure de la coordonnée P à destination de l'équipement au sol

40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.

- [0112] Par exemple, le module 32 de gestion du lien radio est configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que celle-ci transmette les groupes de données de mesure de la coordonnée P successivement à deuxièmes intervalles de temps réguliers.
- [0113] Chaque équipement au sol 40 est associé de manière unique à un identifiant. Comme expliqué ci-dessus, cet identifiant est utilisé par le module 28 du dispositif de communication 12 du véhicule 3 pour générer tout groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q de tout lien radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 associé audit identifiant.
- [0114] Par exemple, l'identifiant unique de l'unité d'émission-réception radio 16 est transmis avec les mesures et permet de faire la correspondance de ces mesures avec le véhicule 3 et notamment le module 28.
- [0115] Comme mentionné ci-dessus, chaque équipement au sol 40 comprend au moins une unité d'émission-réception radio 42 avec lequel le véhicule 3 est destiné à échanger des signaux radio.
- [0116] Avantagement, chaque équipement au sol 40 comprend au moins deux unités d'émission-réception radio 42 configurées pour chacune fournir une couverture radio sensiblement identique. Par exemple, ces unités d'émission-réception radio 42 sont sensiblement identiques et avantagement sensiblement situés au même endroit. Selon un exemple particulier, chaque équipement au sol 40 comprend exactement deux unités 42.
- [0117] Avantagement, chaque unité d'émission-réception radio 42 de chaque équipement au sol 40 est associée de manière unique à un identifiant. Cet identifiant est notamment également utilisé par le module 28 du dispositif de communication 12 du véhicule 3 pour générer tout groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q de tout lien radio entre le véhicule 3 et l'unité d'émission-réception radio 42 associé audit identifiant. L'identifiant de l'unité d'émission-réception radio 42 permet d'identifier quel équipement au sol a transmis le signal qui est mesuré.
- [0118] Chaque unité d'émission-réception radio 42 d'un même équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié est destiné à recevoir les mesures des paramètres d'intérêt Q et les mesures de coordonnée P du véhicule 3, émises par l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3.
- [0119] Chaque équipement au sol 40 est configuré pour transmettre la mesure du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et la mesure de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps, émises par l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3, à destination de la station au sol 50.
- [0120] Selon l'exemple illustré dans la présente demande, la station au sol 50 comprend un

serveur configuré pour recevoir les données de mesure. En option, la station au sol 50 comprend en outre un serveur de signalisation, configuré pour administrer le déplacement du véhicule 3 le long de l'itinéraire, notamment pour générer les autorisations de progression sur l'itinéraire. En variante, la station au sol 50 comprend un serveur d'accès à internet configuré pour fournir un accès à internet aux passagers situés dans le véhicule 3. Selon une autre variante, la station au sol 50 comprend un serveur de sécurité apte à traiter des données liées à la sécurité (images de vidéosurveillance, informations sur les passagers) générées ou traitées par des équipements dédiés à bord du véhicule 3.

- [0121] Selon un exemple particulier, les données de mesure sont stockées dans un serveur de stockage distant. Notamment, un serveur de traitement distant possède un accès à distance au serveur de stockage pour récupérer les données et réaliser leur traitement.
- [0122] Dans une implémentation, la station au sol 50 comprend un ensemble de caractérisation 52 configuré pour la caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule 3 et les équipements au sol 40, ici le premier et/ou deuxième équipement au sol 40.
- [0123] L'ensemble de caractérisation 52 comprend un module de stockage 60, un module 62 de calcul d'un relevé REL du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio en fonction de la coordonnée P du véhicule, un module 64 de calcul d'une courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio de référence en fonction de la coordonnée P du véhicule et un module 70 de caractérisation de la qualité de ce lien radio.
- [0124] Avantageusement, l'ensemble de caractérisation 52 comprend en outre une base de données 66 regroupant des données relatives au véhicule 3 et aux équipements au sol 40 et un module 68 de préparation des données relatives au véhicule 3 et aux équipements au sol 40.
- [0125] Le module de stockage 60 est configuré pour stocker les mesures des paramètres d'intérêt Q en fonction du temps et les mesures de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.
- [0126] En particulier, le module de stockage 60 est configuré pour stocker les groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q et les groupes de données de mesure de la coordonnée P du véhicule 3.
- [0127] Le module 62 est configuré pour calculer le relevé REL du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3, à partir des mesures du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et des mesures de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.
- [0128] En particulier, le module 62 est configuré pour générer une fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps à partir des groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q stockés dans le module de stockage 60, notamment à partir des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré et des instants

auxquels les mesures du paramètre d'intérêt Q ont été effectuées. Le module 62 est en outre configuré pour générer une fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps à partir des groupes de données de mesure de la coordonnée P stockés dans le module de stockage 60, notamment à partir des valeurs de la coordonnée P mesurée et des instants auxquels les mesures de la coordonnée P ont été effectuées.

- [0129] Avantageusement, le module 62 est en outre configuré pour synchroniser la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps. En effet, les horloges des systèmes de capture en fonction du temps, d'une part, du paramètre d'intérêt Q et, d'autre part, des coordonnées P du véhicule 3, ne sont pas forcément synchronisées. La synchronisation ex-post des données capturées permet ensuite de les traiter conjointement.
- [0130] En particulier, le module 62 est configuré pour synchroniser les fonctions en associant le plus long plateau de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps avec la plus longue portion de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps pour laquelle la variance de la valeur du paramètre d'intérêt Q est minimale. Notamment, ce plateau est représentatif d'un arrêt long du véhicule 3.
- [0131] Selon une variante, le module 62 est configuré pour synchroniser les fonctions en associant une pluralité de plateaux consécutifs de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps avec une pluralité de portions de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps pour lesquelles la variance de la valeur du paramètre d'intérêt Q est minimale. Notamment, ces plateaux sont représentatifs d'arrêts successifs du véhicule 3.
- [0132] Encore avantageusement, le module 62 est configuré pour associer le paramètre d'intérêt Q à un instant donné avec la coordonnée P du véhicule 3 à l'instant donnée par interpolation dans le domaine temporel de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.
- [0133] En particulier, le module 62 est configuré pour calculer le relevé REL du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3, à partir des fonctions respectivement représentatives des valeurs du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps synchronisées.
- [0134] Si le paramètre d'intérêt Q est porté par les informations liées à la position (par exemple le paramètre d'intérêt Q sera le numéro de séquence des messages de localisation) inversement l'interpolation des mesures radio permet de savoir à quel équipement radio du sol le véhicule était connecté quand ces messages ont été reçus, et

quel était la qualité du lien.

[0135] Deux relevés REL du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3 sont illustrés à titre d'exemple sur la [Fig.3]. Le paramètre d'intérêt Q y est exprimé en dBm et la coordonnée P est exprimée en m.

[0136] Un premier relevé REL correspond au lien radio entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40 lors d'un premier passage du véhicule 3 à proximité de l'équipement au sol 40, et un deuxième relevé REL correspond au lien radio entre le véhicule 3 et le même équipement au sol 40 lors d'un second passage du véhicule 3 à proximité de l'équipement au sol 40. Alternativement, le deuxième relevé correspond au passage d'un autre véhicule à proximité de l'équipement au sol 40 : si les véhicules ont les mêmes équipements radio à bord, en principe les relevés seront sensiblement identiques. Si les relevés ne sont pas sensiblement identiques, cette mise en correspondance de plusieurs relevés obtenus par des véhicules permet de mettre en évidence des dysfonctionnements d'équipements radio à bord du véhicule et de l'autre véhicule.

[0137] Le module 64 est configuré pour calculer la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio de référence entre le véhicule 3 et un équipement au sol 40, notamment de l'équipement au sol 40 pour lequel la qualité du lien radio est à caractériser, notamment en fonction de la coordonnée P du véhicule 3.

[0138] La courbe de référence REF est représentative d'un échange de signal radio optimal entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 par l'intermédiaire du lien radio de référence.

[0139] Par exemple, le module 64 est configuré pour calculer la courbe de référence REF à partir de mesures du paramètre d'intérêt Q et de mesures de coordonnée P prises lorsque le véhicule 3 circule dans des conditions optimales et lorsque les unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40 et l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 sont calibrées avec précision.

[0140] Une courbe de référence REF est illustrée à titre d'exemple sur la [Fig.3]. Sur la [Fig.3], la courbe de référence REF correspond sensiblement au lien radio de référence entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 auquel correspondent les premier et deuxième relevés REL illustrés.

[0141] La base de données 66 contient des données relatives au véhicule 3, notamment au dispositif de communication 12 du véhicule 3, et des données relatives aux équipements au sol 40.

[0142] Par exemples, les données stockées dans la base de données 66 sont des données relatives aux caractéristiques techniques de l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 et des unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40 (caractéristiques structurelles, paramétrages, etc), des données relatives aux positions des unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40, des données

relatives aux environnements autour des unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40 (milieux environnants ou appareils émetteurs proches influençant la propagation des signaux) et des données relatives aux identifiants des équipements au sol 40, notamment des unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40, de données relatives à l'environnement géographique et opérationnel (par exemple dans le cas où longueurs et structures des voies, position des quais, taille et configuration des tunnels, etc.).

- [0143] Le module de préparation 68 est configuré pour formater les données contenues dans la base de données 66 de sorte qu'elles soient utilisables par le module de caractérisation 60.
- [0144] Le module de préparation 68 est, notamment, configuré pour générer une base de données préparées à partir de la base de données 66, dont les données sont propres à être utilisées par le module de caractérisation 70 pour caractériser la qualité du lien radio.
- [0145] Le module de caractérisation 70 est configuré pour caractériser la qualité du lien radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40, par comparaison du relevé REL du paramètre d'intérêt Q avec la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q.
- [0146] Le module de caractérisation 70 est en particulier configuré pour caractériser la qualité du lien radio sur la base des données préparées à partir de la base de données 66 par le module de préparation 68.
- [0147] Le module de caractérisation 70 comprend, par exemple, un sous-module 74 de calcul d'au moins un indicateur de qualité du lien radio, un sous-module de diagnostic 76 et un sous-module de pronostic 78.
- [0148] Avantagement, le sous-module 74 est configuré pour calculer l'au moins un indicateur de qualité. L'au moins un indicateur de qualité est une variable ayant une valeur représentative d'une qualité satisfaisante du lien radio ou une valeur représentative d'une qualité dégradée du lien radio.
- [0149] Par exemple, la variable prend une valeur binaire selon que la qualité est satisfaisante ou dégradée. Selon un exemple précis, lorsque la qualité est satisfaisante, l'indicateur de qualité vaut 1 et lorsque la qualité est dégradée, l'indicateur de qualité vaut 0. Selon une variante, la variable prend une valeur continue correspondant à une « distance » calculée entre la courbe de référence et le relevé.
- [0150] Encore avantagement, le sous-module 74 est configuré pour calculer un premier indicateur de qualité. Notamment, pour calculer le premier indicateur de qualité, le sous module compare une décomposition du relevé REL du paramètre d'intérêt Q en composantes calculées par analyse en composantes principales et une décomposition de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q en composantes calculées par analyse en composantes principales.

- [0151] En particulier, le relevé REL du paramètre d'intérêt Q et la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q sont respectivement décomposés en une combinaison linéaire de fonctions de base. Le relevé REL du paramètre d'intérêt Q et la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q sont alors caractérisés par les coefficients de leurs combinaisons linéaires respectives. Le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire du relevé REL du paramètre d'intérêt Q et le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q sont respectivement appelés signature relevée et signature de référence.
- [0152] Le sous-module 74 est notamment configuré pour calculer une distance mathématique entre la signature relevée et la signature de référence, autrement dit entre le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire du relevé REL du paramètre d'intérêt Q et le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q. La distance est par exemple la distance de Minkowski.
- [0153] Par exemple, lorsque la distance entre la signature relevée et la signature de référence est supérieure à un seuil de distance prédéterminé, le sous-module 74 associe une valeur représentative d'une qualité dégradée au premier indicateur de qualité et lorsque la distance entre la signature et la signature de référence est inférieure au seuil de distance prédéterminé, le sous-module 74 associe une valeur représentative d'une qualité satisfaisante au premier indicateur de qualité. Le seuil de distance prédéterminé est avantageusement choisi de sorte à minimiser le taux de faux positifs.
- [0154] Encore avantageusement, le sous-module 74 est configuré pour comparer le relevé REL du paramètre d'intérêt Q correspondant au premier canal du lien radio et le relevé REL du paramètre d'intérêt Q correspondant au deuxième canal du lien radio. Les couvertures radio des unités d'émission-réception radio 42 de l'équipement au sol 40 étant sensiblement identiques, les relevés REL du paramètre d'intérêt Q des premier et deuxième canaux du lien radio devraient être identiques. Un écart entre les relevés REL du paramètre d'intérêt Q des premier et deuxième canaux indique une dégradation de la qualité d'un canal du lien radio.
- [0155] Avantageusement, le sous-module 74 est propre à reconnaître l'absence d'un groupe de données de mesure de la coordonnée P du véhicule dans le module de stockage 60 de la station au sol 50. Une telle absence résulte par exemple d'un échec de transmission d'une mesure de coordonnée P du véhicule 3 depuis le véhicule 3 vers l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.
- [0156] En particulier, le sous-module 74 est propre à reconnaître l'absence d'un groupe de données de mesure de la coordonnée P du véhicule 3 lorsque le module de stockage 60 de la station au sol 50 ne stocke aucun groupe de données de mesure de la coordonnée P avec un numéro de rang n et que le module de stockage 60 de la station au sol 50

stocke deux groupes de données de mesure de la coordonnée P avec respectivement des numéros de rang $n-1$ et $n+1$. Le sous-module 74 reconnaît alors que la n -ième mesure de la coordonnée P du véhicule 3 n'est jamais parvenue à la station au sol 50. De même il est possible de détecter l'absence de plusieurs groupes de données consécutifs (par exemple entre $n-1$ et $n+5$ représentant la perte de 5 groupes de données consécutifs).

- [0157] Encore avantageusement, le sous-module 74 est configuré pour calculer au moins un autre indicateur de qualité, notamment lorsque le sous-module 74 reconnaît l'absence d'un groupe de données de mesure de la coordonnée P. L'au moins un second indicateur de qualité est par exemple fonction du pourcentage de messages de localisation perdus associé au relevé REL lors du passage du véhicule 3. Cet indicateur permettra d'enrichir et d'améliorer la caractérisation de la qualité du lien radio.
- [0158] Selon un exemple particulier, le sous-module 74 est en outre propre à associer chaque valeur représentative d'une qualité dégradée d'un indicateur de qualité à un équipement au sol 40, notamment à une unité d'émission-réception radio 42 de l'équipement au sol 40, en associant ladite valeur de l'indicateur de qualité à l'identifiant de l'équipement au sol 40 tiré du groupe de données de mesure du paramètre d'intérêt Q ayant mené au calcul de ladite valeur de l'indicateur de qualité. Cela permet ainsi de distinguer les équipements au sol 40 pour lesquels le lien radio est dégradée.
- [0159] Avantageusement, le sous-module 74 est en outre configuré pour calculer d'autres indicateurs de qualité, par exemple un second indicateur de qualité, en fonction des pertes de paquets, du débit mesuré, de la latence, de la vitesse du véhicule 3, etc. Ces indicateurs permettront de renforcer la caractérisation de la qualité du lien radio et de caractériser son impact sur les applications qui utilisent ce lien.
- [0160] Avantageusement, lorsque la valeur d'un ou de plusieurs indicateur(s) de qualité est(sont) représentative(s) d'une qualité dégradée, notamment lorsque la valeur du premier indicateur de qualité est représentative d'une qualité dégradée, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour déterminer une cause de la dégradation.
- [0161] Une cause de dégradation est par exemple, une dégradation de l'électronique des unités d'émission-réception radio 42, une mauvaise orientation d'une ou des antenne(s) 44 des unités d'émission-réception radio 42, un mauvais paramétrage des unités d'émission-réception radio 42, un phénomène d'interférences, etc.
- [0162] Avantageusement, le sous-module de diagnostic 76 est propre à accéder à une base de données relatives à différentes causes de dégradation de lien radio. Les données relatives à différentes causes de dégradation sont, par exemple, obtenues par simulation ou en cas réels par provocation volontaire de la cause de dégradation lors de tests du véhicule 3 et/ou des équipements au sol 40.

- [0163] Les données relatives aux différentes causes de dégradation comprennent par exemple des associations entre des causes de dégradation et des courbes typiques du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3, correspondant auxdites causes de dégradation.
- [0164] Encore avantageusement, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour reconnaître la cause de la dégradation du lien radio en comparant le relevé REL du paramètre d'intérêt Q avec les courbes typiques du paramètre d'intérêt Q correspondant aux différentes causes de dégradation.
- [0165] Par exemple, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour comparer une décomposition du relevé REL du paramètre d'intérêt Q en composantes calculées par analyse en composantes principales et les décompositions des courbes typiques du paramètre d'intérêt Q correspondant aux différentes causes de dégradation en composantes calculées par analyse en composantes principales.
- [0166] En variante ou en option, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour déterminer la cause de la dégradation du lien radio en fonction de la moyenne de la différence entre le relevé REL du paramètre d'intérêt Q et la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q.
- [0167] En particulier, lorsque la moyenne de la différence entre le relevé REL du paramètre d'intérêt Q et la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q est sensiblement constante (en d'autres termes lorsque le relevé REL est approximativement décalée d'une valeur constante par rapport à la courbe de référence REF), le sous-module de diagnostic 76 détermine que le paramètre d'intérêt Q est atténué de manière constante le long de la courbe. Le sous-module de diagnostic 76 détermine alors que la cause de dégradation est par exemple un endommagement d'un amplificateur de puissance de l'unité d'émission-réception radio 42, un endommagement d'un connecteur entre l'unité d'émission-réception radio 42 et son antenne 44, ou un changement du paramètre de puissance d'émission de l'unité d'émission-réception radio 42.
- [0168] Avantageusement, ces cas pourront être distingués par une analyse de l'évolution temporelle de la différence : par exemple un changement du paramètre de puissance d'émission correspondra à un changement brutal alors que l'endommagement d'un connecteur se traduira probablement par une dégradation lente et évolutive.
- [0169] En variante ou en option, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour déterminer la cause de la dégradation du signal radio échangé en fonction de la variance de la différence entre le relevé REL du paramètre d'intérêt Q et la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q.
- [0170] En variante ou en option, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour déterminer quelle est l'antenne physique 44 dégradée dans le cas où l'unité d'émission-réception au sol 42 comprend deux antennes physiques 44 visant, par

exemple, chacune un côté opposé de la voie sur laquelle se déplace le véhicule 3. Typiquement dans ce cas, le signal sortant de l'unité d'émission-réception radio 42 est connecté à un câble radio lui-même connecté à un diviseur (ou « *splitter* » en anglais) qui divise le signal en deux et permet à deux câbles radios d'être connectés à chaque antenne 44. Dans ce cas on pourra par exemple détecter qu'une des deux antennes physiques 44 a un problème si seule la courbe qui lui correspond est dégradée.

- [0171] En variante ou en option, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour détecter que la dégradation provient du changement de pointage de l'antenne (typiquement si l'antenne a été mal vissée, elle s'inclinera progressivement vers le bas). Par simulation, le sous-module de diagnostic 76 peut estimer la déformation que subirait la courbe de référence REF ou le relevé REL pour différents angles d'inclinaison. Par comparaison entre la courbe simulée et la courbe observée, le sous-module de diagnostic peut alors détecter le problème et quantifier approximativement l'inclinaison.
- [0172] En variante ou en option, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour détecter que la dégradation provient d'un nouvel obstacle sur le chemin de propagation radio. Le relevé REL sera alors distordu par rapport à la courbe de référence REF. Le sous-module de diagnostic 76 est alors apte à indiquer la cause la plus probable de détérioration comme étant un nouvel obstacle en écartant un possible changement d'inclinaison (grâce à une simulation ou par détection d'un décalage constant).
- [0173] Avantageusement, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour modifier la base de données relatives aux causes de dégradation en associant un relevé REL du paramètre d'intérêt Q à une cause de dégradation. Si par exemple des algorithmes d'apprentissage machine (en anglais « *Machine Learning* ») sont utilisés pour la détection et le diagnostic des dégradations, il pourra se renforcer (apprentissage par renforcement ou « *reinforcement learning* » en anglais) sur la base de ces informations et améliorer automatiquement sa précision.
- [0174] Encore avantageusement, le sous-module de diagnostic 76 est configuré pour déterminer la cause de dégradation en outre sur la base de mesures d'interférences directes ou indirectes effectuées le long de l'itinéraire. Typiquement, un niveau élevé d'interférence, par exemple supérieur au niveau d'un signal utile de moins de 10dB, ne modifie pas le relevé REL si celle-ci est issue de la mesure du niveau de signal reçu. En revanche, un niveau élevé d'interférence dégrade des indicateurs de qualité secondaires qui peuvent être mesurés par exemple simultanément, tel que par exemple le niveau de bruit ou de rapport signal-sur-bruit, l'indicateur de qualité radio tel que mesuré sur les réseaux 4G (RSRQ pour « *Reference Signal Received Quality* » en anglais), ou des indicateurs applicatifs comme les pertes de paquets ou la diminution du débit. En complément et en option les interférences peuvent être mesurés explicitement éventuellement par des modules radio dédiés. La conjonction de ces mesures

- permet de conclure à la présence d'interférence et de les localiser approximativement.
- [0175] Avantageusement, le sous-module de diagnostic 76 comprend une chaîne complète de traitement par apprentissage-machine configurée pour intégrer l'ensemble des mesures dans son traitement pour automatiquement fournir des diagnostics précis.
- [0176] Avantageusement, le pronostic, donc la prévision de l'évolution temporelle des dégradations, sera effectué par l'analyse de l'évolution temporelle des indicateurs liés au diagnostic.
- [0177] Notamment, lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité, notamment le premier indicateur de qualité, est représentative d'une qualité satisfaisante mais tend au cours du temps vers une valeur représentative d'une qualité dégradée du signal radio reçu par le véhicule, le sous-module de pronostic 78 est configuré pour déterminer une durée au bout de laquelle la valeur de l'au moins un indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée du signal radio reçu par le véhicule 3.
- [0178] Avantageusement, l'ensemble de caractérisation comprend en outre un module 72 d'établissement d'un rapport sur la qualité des liens radio.
- [0179] Le module 72 est configuré pour enregistrer pour chaque lien radio entre le véhicule et les unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40, l'au moins un indicateur de qualité calculé par le sous-module 74, le cas échéant la cause de dégradation du lien radio correspondant déterminée par le sous-module de diagnostic 76, et/ou le cas échéant la durée au bout de laquelle la valeur de l'au moins un indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée du lien radio déterminée par le sous-module de pronostic 78.
- [0180] Les modules 60, 62, 64, 66, 68, 70 et 72 sont par exemples prévus sous la forme d'applications logicielles enregistrables sur une mémoire 56 et exécutables par un processeur 54. En variante, au moins un de ces modules 60, 62, 64, 66, 68, 70 et 72 est prévu sous la forme d'un composant logique programmable ou d'un circuit intégré dédié.
- [0181] Dans un exemple de réalisation, l'ensemble de caractérisation 52 est intégré à la station au sol 50, qui comprend par exemple un processeur 54 et une mémoire 56 contenant les modules logiciels 60, 62, 64, 66, 68, 70 et 72 propres à être exécutés par le processeur 54.
- [0182] Dans un autre exemple de réalisation, l'ensemble de caractérisation 52 est virtualisé et mis en œuvre à l'aide des ressources physiques d'un ou plusieurs équipements informatiques, chacun situé dans la station au sol 50 ou à distance.
- [0183] Dans ce qui suit, en référence à la [Fig.4], on décrit un procédé 100 de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre le véhicule 3 et au moins un équipement au sol 40.
- [0184] Le véhicule 3 est connecté avec un premier équipement au sol 40 par l'intermédiaire d'un lien radio utile pour communiquer avec la station au sol 50. La mesure du

paramètre d'intérêt Q est effectuée sur tous les équipements au sol 40 dont le signal peut être reçu et décodé pour être prise en compte pour déterminer l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 sera connecté par l'intermédiaire du lien radio utile.

- [0185] Par soucis de clarté et de concision, on considère que le véhicule 3 est connecté en outre avec un deuxième équipement au sol 40 par l'intermédiaire d'un lien radio secondaire.
- [0186] Le procédé 100 comprend une première étape 110 de mesure du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio entre le véhicule et un équipement au sol 40, ici le premier ou le deuxième équipement au sol 40, en fonction du temps.
- [0187] Avantagement, la première étape 110 est effectuée par le module 28 du dispositif de communication 12 du véhicule 3.
- [0188] Ici, la mesure du paramètre d'intérêt Q du lien radio est effectuée par le véhicule 3 pour être prise en compte pour déterminer l'équipement au sol 40 par l'intermédiaire duquel le véhicule 3 communique avec la station au sol 50.
- [0189] Par exemple, le paramètre d'intérêt Q est mesuré avec un premier intervalle de temps constant entre les mesures.
- [0190] Avantagement, la première étape 110 comprend la mesure du paramètre d'intérêt Q du premier canal connectant la première unité d'émission-réception radio 42 en fonction du temps et la mesure du paramètre d'intérêt Q du deuxième canal connectant la deuxième unité d'émission-réception radio 42 en fonction du temps.
- [0191] Le procédé comprend ensuite une deuxième étape 120 de mesure de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.
- [0192] Par exemple, la coordonnée P du véhicule 3 est mesurée avec un deuxième intervalle de temps constant entre les mesures.
- [0193] Avantagement, la deuxième étape 120 est effectuée par le module 30 du dispositif de communication 12 du véhicule 3.
- [0194] Ici, la mesure de la coordonnée P du véhicule 3 est effectuée par le véhicule 3 pour recevoir une autorisation de progression du véhicule 3 sur l'itinéraire prédéfini depuis l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule est apparié, l'autorisation de progression étant émise par la station au sol 50.
- [0195] Les mesures du paramètre d'intérêt Q et les mesures de la coordonnée P sont transmises par le véhicule 3 à la station au sol 50 par l'intermédiaire de l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, autrement dit par l'intermédiaire du lien radio utile.
- [0196] Par exemple, l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 transmet les groupes de données du paramètre d'intérêt Q et les groupes de données de mesure de la coordonnée P à destination de l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié, notamment à destination de la station au sol 50.

- [0197] Les mesures des paramètres d'intérêt Q en fonction du temps et les mesures de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps, en particulier les groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q et les groupes de données de mesure de la coordonnée P du véhicule 3, sont stockées dans le module de stockage 60 de la station au sol 50.
- [0198] Le procédé comprend ensuite une troisième étape 130 de calcul du relevé REL du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3 à partir de la mesure du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et de la mesure de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps.
- [0199] Avantageusement, la troisième étape 130 est effectuée par le module 62 de l'ensemble de caractérisation 52.
- [0200] En particulier, lors de la troisième étape 130, le module 62 génère une fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps à partir des groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q stockés dans le module de stockage 60, notamment à partir des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré et des instants auxquels les mesures respectives du paramètre d'intérêt Q ont été effectuées. Lors de la troisième étape 130, le module 62 génère en outre une fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps à partir des groupes de données de mesure de la coordonnée P stockés dans le module de stockage 60, notamment à partir des valeurs de la coordonnée P mesurée et des instants auxquels les mesures respectives de la coordonnée P ont été effectuées.
- [0201] Par exemple, la troisième étape 130 comprend la synchronisation de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps en associant le plus long plateau de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps avec la plus longue portion de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps pour laquelle la variance de la valeur du paramètre d'intérêt Q est minimale.
- [0202] Selon une variante, la troisième étape 130 comprend la synchronisation de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps en associant une pluralité de plateaux consécutifs de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule en fonction du temps avec une pluralité de portions de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps pour lesquelles la variance de la valeur du paramètre d'intérêt Q est minimale.
- [0203] Avantageusement, la troisième étape 130 comprend en outre l'association du paramètre d'intérêt Q du lien radio à un instant donné avec la coordonnée P du

véhicule 3 à l'instant donné par interpolation dans le domaine temporel de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.

- [0204] En particulier, lors de la troisième étape 130, le module 62 calcule le relevé REL du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée P du véhicule 3, à partir des fonctions respectivement représentatives des valeurs du paramètre d'intérêt Q en fonction du temps et des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps synchronisées.
- [0205] Par la suite, le procédé comprend une quatrième étape 140 de calcul de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio de référence entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 en fonction de la coordonnée P du véhicule 3.
- [0206] Avantagement, la quatrième étape 140 est effectuée par le module 64 de l'ensemble de caractérisation 52.
- [0207] Notamment, le module 64 calcule la courbe de référence REF à partir de mesures du paramètre d'intérêt Q et de mesures de coordonnée P prises lorsque le véhicule 3 circule dans des conditions optimales et lorsque les unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40 et l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 sont calibrées avec précision.
- [0208] Ensuite, le procédé comprend une cinquième étape 150 de caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40 par comparaison du relevé REL du paramètre d'intérêt Q avec la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q. Comme détaillé ci-dessous, la cinquième étape 150 comprend notamment la détection, le diagnostic et le pronostic de défauts affectant le lien radio.
- [0209] Avantagement, la cinquième étape est effectuée par le module de caractérisation 70 de l'ensemble de caractérisation 52.
- [0210] Encore avantagement, la caractérisation de la qualité du lien radio est effectuée par une intelligence artificielle.
- [0211] Par exemple, la cinquième étape 150 comprend une sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité du lien radio. La sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité correspond notamment à la détection de défauts affectant le lien radio.
- [0212] La sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité est avantagement effectuée par le sous-module 74 du module de caractérisation 70 de l'ensemble de caractérisation 52.
- [0213] Ici, la sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité, notamment du premier indicateur de qualité, comprend une comparaison de la décomposition du relevé REL du paramètre d'intérêt Q en composantes calculées par analyse en com-

posantes principales et d'une décomposition de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q en composantes calculées par analyse en composantes principales.

- [0214] Notamment, lors de la sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité, le sous-module 74 calcule une distance mathématique entre la signature et la signature de référence, autrement dit entre le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire du relevé REL du paramètre d'intérêt Q et le vecteur comprenant les coefficients de la combinaison linéaire de la courbe de référence REF du paramètre d'intérêt Q.
- [0215] Par exemple, la sous-étape de calcul de l'au moins un indicateur de qualité, notamment du premier indicateur de qualité, comprend en outre une comparaison du relevé REL du paramètre d'intérêt Q correspondant au premier canal du lien radio avec le relevé REL du paramètre d'intérêt Q correspondant au deuxième canal du lien radio.
- [0216] Avantagement, lors de la cinquième étape 150, le sous-module 74 reconnaît toute absence d'un groupe de données de mesure de la coordonnée P du véhicule dans le module de stockage 60 de la station au sol 50. Lorsque le sous-module 74 reconnaît l'absence d'un groupe de données de mesure de la coordonnée P, le sous-module 74 calcule un autre indicateur de qualité et lui associe une valeur représentative d'une qualité dégradée.
- [0217] Avantagement, lorsque la valeur d'un ou de plusieurs indicateurs de qualité est(sont) représentative(s) d'une qualité dégradée du lien radio, notamment lorsque la valeur du premier indicateur de qualité est représentative d'une qualité dégradée, la cinquième étape 150 comprend une sous-étape de détermination d'une cause de la dégradation du lien radio. La sous-étape de détermination de la cause de la dégradation du lien radio correspond notamment au diagnostic des défauts affectant le lien radio.
- [0218] La sous-étape de détermination est notamment effectuée par le sous-module de diagnostic 76.
- [0219] Par exemple, le sous-module de diagnostic 76 accède à la base de données relatives à différentes causes de dégradation. Le sous-module de diagnostic 76 reconnaît la cause de la dégradation en comparant le relevé REL du paramètre d'intérêt Q avec les courbes typiques du paramètre d'intérêt Q correspondant aux différentes causes de dégradation.
- [0220] Encore avantagement, lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité, notamment le premier indicateur de qualité, est représentative d'une qualité satisfaisante mais tend au cours du temps vers une valeur représentative d'une qualité dégradée, la cinquième étape 150 comprend en outre une sous-étape de détermination d'une durée au bout de laquelle la valeur de l'indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée. La sous-étape de détermination d'une durée au bout de laquelle

la valeur de l'indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée correspond notamment au pronostic des défauts affectant le lien radio.

- [0221] Par exemple, la cinquième étape 150 comprend en outre le calcul d'au moins un autre second indicateur de qualité en fonction du temps mis à faire un transfert cellulaire, de pertes de paquets, de débits mesurés, de latences et/ou de la vitesse du véhicule 3.
- [0222] Par exemple, la cinquième étape 150 comprend en outre la prise en compte de données d'analyses supplémentaires fournies telles que le niveau des interférences, la durée du changement de lien radio (« handover » en anglais), le débit observé sur le lien radio.
- [0223] Avantagement, entre la quatrième étape 140 et la cinquième étape 150, le procédé 100 comprend une étape intermédiaire de préparation des données stockées dans la base de données 66 par le module de préparation 68. Lors de la cinquième étape 150, la caractérisation de la qualité du lien radio est alors effectuée sur la base des données préparées.
- [0224] Optionnellement, lors d'une sixième étape 160, le module 72 enregistre pour chaque lien radio entre le véhicule et les unités d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40, l'au moins un indicateur de qualité calculé par le sous-module 74, le cas échéant la cause de dégradation correspondante déterminée par le sous-module de diagnostic 76, et/ou le cas échéant la durée au bout de laquelle la valeur de l'indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée déterminée par le sous-module de pronostic 78. Les éléments stockés dans le module 72 sont aptes à être analysés par un opérateur pour prendre connaissance de la qualité du lien radio entre le véhicule 3 et l'équipement au sol 40.
- [0225] Le procédé de caractérisation est mis en œuvre par un dispositif électronique de caractérisation, et particulier les étapes de calcul d'un relevé REL, de calcul d'une courbe de référence et de caractérisation du lien radio.
- [0226] Avantagement, l'invention décrite ci-dessus se prête à toute analyse automatisée que l'apprentissage automatique permet.
- [0227] Selon une variante, le module 28 du dispositif 12 est un module de mesure du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée du véhicule 3.
- [0228] Le module 62 est alors configuré pour calculer le relevé REL du paramètre d'intérêt Q à partir des mesures du paramètre d'intérêt Q en fonction de la coordonnée du véhicule 3 et des mesures de la coordonnée P du véhicule 3 en fonction du temps.
- [0229] Le module 62 est alors avantagement configuré pour associer le paramètre d'intérêt Q à une coordonnée P donnée avec un instant correspondant à la coordonnée P du véhicule 3 par interpolation dans le domaine spatial de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt Q mesuré en fonction de la coordonnée P et de la

fonction représentative des valeurs de la coordonnée P du véhicule 3 mesurée en fonction du temps.

- [0230] Selon cette même variante, la première étape 110 du procédé 100 est alors une étape de mesure du paramètre d'intérêt Q d'un lien radio entre le véhicule et l'équipement au sol 40 en fonction de la coordonnée du véhicule.
- [0231] Selon une autre variante, le paramètre d'intérêt Q du lien radio est un niveau de puissance en réception d'un signal radio reçu par l'équipement au sol 40 et transmis par le véhicule 3 par l'intermédiaire du lien radio correspondant.
- [0232] Chaque unité d'émission-réception radio 42 des équipements au sol 40 comprend alors un dispositif de mesure du niveau de puissance en réception de signaux radio reçus par l'antenne 44 de l'unité 42.
- [0233] La mémoire 56 de la station au sol 50 comprend alors un module de mesure du paramètre d'intérêt Q du lien radio entre l'équipement au sol 40 et le véhicule 3, en fonction du temps, similaire au module 28 du dispositif de communication 12 du véhicule 3 décrit ci-dessus.
- [0234] Selon cette même variante, la première étape 110 est alors effectuée par le module de mesure du paramètre d'intérêt Q de la station au sol 50.
- [0235] Selon une autre variante, le lien radio utile entre le véhicule 3 et la station au sol 50 sert à communiquer des données autres que celles représentative de la signalisation. Par exemple, el lien radio utile sert à transmettre à la station au sol 50 un flux de vidéo de télésurveillance, ou assurer une connexion permettant aux passagers du véhicule 3 de se connecter à internet via un réseau wifi à bord du véhicule 3. L'invention s'applique de la même façon : elle permet de caractériser le lien radio véhicule-sol. Les données de localisation peuvent être obtenues différemment (par exemple via les informations de localisation envoyées par le véhicule 3 pour les besoins de signalisation ou via un GPS existant à bord du véhicule 3).
- [0236] Selon une autre variante, les données de localisation ne sont pas disponibles et les courbes du paramètre Q d'intérêt sont en fonction du temps et non plus de la position. Elles sont analysées en soustrayant à chaque courbe d'intérêt son instant démarrage. Si tous les passages des véhicules se font à vitesses égales, les courbes sont analysables conjointement, sinon une transformation des courbes permet la comparaison.
- [0237] Selon encore une autre variante, la mémoire 24 du véhicule 3 comprend en outre un module 34 de stockage configuré pour stocker les groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q et les groupes de données de mesure de la coordonnée P. Le module 32 de gestion des liens radio est alors configuré pour contrôler l'unité d'émission-réception radio 16 du véhicule 3 de sorte que cette dernière transmette les groupes de données de mesure de la coordonnée P et les groupes de données de mesure du paramètre d'intérêt Q stockées dans le module de stockage 34 à destination de

l'équipement au sol 40 avec lequel le véhicule 3 est apparié.

- [0238] Le module 34 est par exemple un module logiciel comprenant des instructions de code logiciel enregistrables sur une mémoire et exécutable par un processeur. En variante, le module 34 est prévu sous la forme d'un composant logique programmable ou d'un circuit intégré dédié.
- [0239] La mémoire 24 comprend par exemple le module 34 sous la forme d'un module logiciel propre à être exécuté par le processeur 22.
- [0240] Grâce à l'invention, la qualité des liens radio entre le véhicule et les équipements au sol est évaluée sur la base de l'analyse des liens radio connectant effectivement le véhicule et les équipements au sol. La qualité évaluée des liens radio est donc précise puisqu'elle est déduite de liens radio réels.
- [0241] De plus cette ces mesures peuvent être faites aussi bien dans les phases de tests du réseau avant le service régulier que pendant celui-ci. Dans ce dernier cas on le mesurera dans les conditions réelles d'exploitation, en pouvant par exemple détecter l'impact du croisement de deux véhicules, l'un masquant le réseau radio pour l'autre, alors que généralement on ne teste pas cela dans la phase de mise au point du réseau. Enfin et surtout, il n'est quasiment plus nécessaire de faire des investigations adhoc lorsque des problèmes surviennent : il suffit de regarder les résultats des traitements récents.
- [0242] En outre, la caractérisation des liens radio est fonction de mesures du paramètre d'intérêt effectués par défaut par le véhicule ou par la station au sol pour le transfert cellulaire entre les différents équipements au sol. La caractérisation des liens radio est donc efficace dans la mesure où elle ne nécessite pas de mesures spécifiques ayant pour objectif l'évaluation de la qualité des liens radio.
- [0243] Grâce à l'invention, la caractérisation de la qualité des liens radio permet de détecter les problèmes, d'en faire le diagnostic et le pronostic. L'invention permet de faire ces tâches de façon automatique et permanente en utilisant par exemple les techniques dites d'apprentissage machine. L'invention peut se résumer à la comparaison de courbes caractéristiques enrichies éventuellement d'autres indicateurs pertinents. Les algorithmes d'apprentissage machine se prêtent naturellement à la réalisation automatique de ce type d'analyse. L'invention en décrit un exemple qui n'est pas limitatif. L'invention permet donc d'automatiser des tâches normalement dévolues à des experts.
- [0244] L'invention permet aussi de faire de la maintenance prédictive : détectant et identifiant les problèmes précisément et suivant leur évolution dans le temps elle permet de lancer des actions de maintenance prédictive ciblés et avec suffisamment d'avance pour pouvoir par exemple le faire aux créneaux horaires les plus avantageux.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé (100) de caractérisation de la qualité d'un lien radio entre un véhicule (3), notamment un véhicule ferroviaire, se déplaçant le long d'un itinéraire prédéfini et au moins un équipement au sol (40), la position du véhicule (3) le long de l'itinéraire prédéfini étant caractérisée à chaque instant par une coordonnée (P) le long de cet itinéraire prédéfini, le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) échangeant des signaux radio par l'intermédiaire du lien radio, le procédé (100) comprenant les étapes suivantes :
- mesure (110) d'un paramètre d'intérêt (Q) du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) en fonction du temps ou en fonction de la coordonnée (P) du véhicule (3), le paramètre d'intérêt (Q) étant représentatif d'une qualité du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) ;
 - mesure (120) de la coordonnée (P) du véhicule (3) en fonction du temps ;
 - calcul (130) d'un relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) en fonction de la coordonnée (P) du véhicule (3) à partir de la mesure du paramètre d'intérêt (Q) et de la mesure de la coordonnée (P) ;
 - calcul (140) d'une courbe de référence (REF) du paramètre d'intérêt (Q) d'un lien radio de référence entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) en fonction de la coordonnée (P) du véhicule (3), la courbe de référence (REF) étant représentative d'un échange de signal radio optimal entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) par l'intermédiaire du lien radio de référence ; et
 - caractérisation (150) de la qualité du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) par comparaison du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) avec la courbe de référence (REF) du paramètre d'intérêt (Q).
- [Revendication 2] Procédé (100) selon la revendication 1, dans lequel le véhicule (3) est connecté avec un des équipements au sol (40) par l'intermédiaire d'un lien radio utile pour communiquer avec une station au sol (50), la mesure du paramètre d'intérêt (Q) étant effectuée pour être prise en compte pour déterminer l'équipement au sol (40) avec lequel le véhicule (3) est connecté par l'intermédiaire du lien radio utile.
- [Revendication 3] Procédé (100) selon la revendication 2, dans lequel la mesure de la coordonnée (P) du véhicule (3) est effectuée par le véhicule (3) pour

- recevoir une autorisation de progression du véhicule (3) sur l'itinéraire prédéfini émise par la station au sol (50).
- [Revendication 4] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la caractérisation de la qualité du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) comprend un calcul d'au moins un indicateur de qualité du lien radio, l'au moins un indicateur de qualité étant une variable ayant une valeur représentative d'une qualité satisfaisante du lien radio ou une valeur représentative d'une qualité dégradée du lien radio.
- [Revendication 5] Procédé (100) selon la revendication 4, dans lequel lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité est représentative d'une qualité dégradée du lien radio, la caractérisation (150) de la qualité du lien radio comprend en outre une détermination d'une cause de la dégradation du lien radio.
- [Revendication 6] Procédé (100) selon la revendication 5, dans lequel la détermination de la cause de la dégradation du lien radio comporte une comparaison du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) avec des courbes typiques du paramètre d'intérêt (Q) correspondant à différentes causes de dégradation.
- [Revendication 7] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel lorsque la valeur de l'au moins un indicateur de qualité est représentative d'une qualité satisfaisante mais tend au cours du temps vers une valeur représentative d'une qualité dégradée, la caractérisation (150) de la qualité du lien radio comprend en outre une détermination d'une durée au bout de laquelle la valeur de l'indicateur de qualité sera représentative d'une qualité dégradée.
- [Revendication 8] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel le calcul d'un premier indicateur de qualité comprend une comparaison d'une décomposition du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) en composantes calculées par analyse en composantes principales et d'une décomposition de la courbe de référence (REF) du paramètre d'intérêt (Q) en composantes calculées par analyse en composantes principales.
- [Revendication 9] Procédé (100) selon la revendication 8, dans lequel l'au moins un équipement au sol (40) comprend une première unité d'émission-réception radio (42) et une deuxième unité d'émission-réception radio (42), le lien radio comprenant un premier canal connectant la première unité d'émission-réception radio (42) et le

véhicule (3) et un deuxième canal connectant la deuxième unité d'émission-réception radio (42) et le véhicule (3), le calcul du premier indicateur de qualité comprenant une comparaison du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) correspondant au premier canal du lien radio avec le relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) correspondant au deuxième canal du lien radio.

[Revendication 10] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications 4 à 9, dans lequel le calcul d'au moins un second indicateur de qualité est fonction du temps mis à faire un transfert cellulaire, de pertes de paquets, de débits mesurés, de latences et/ou de la vitesse du véhicule.

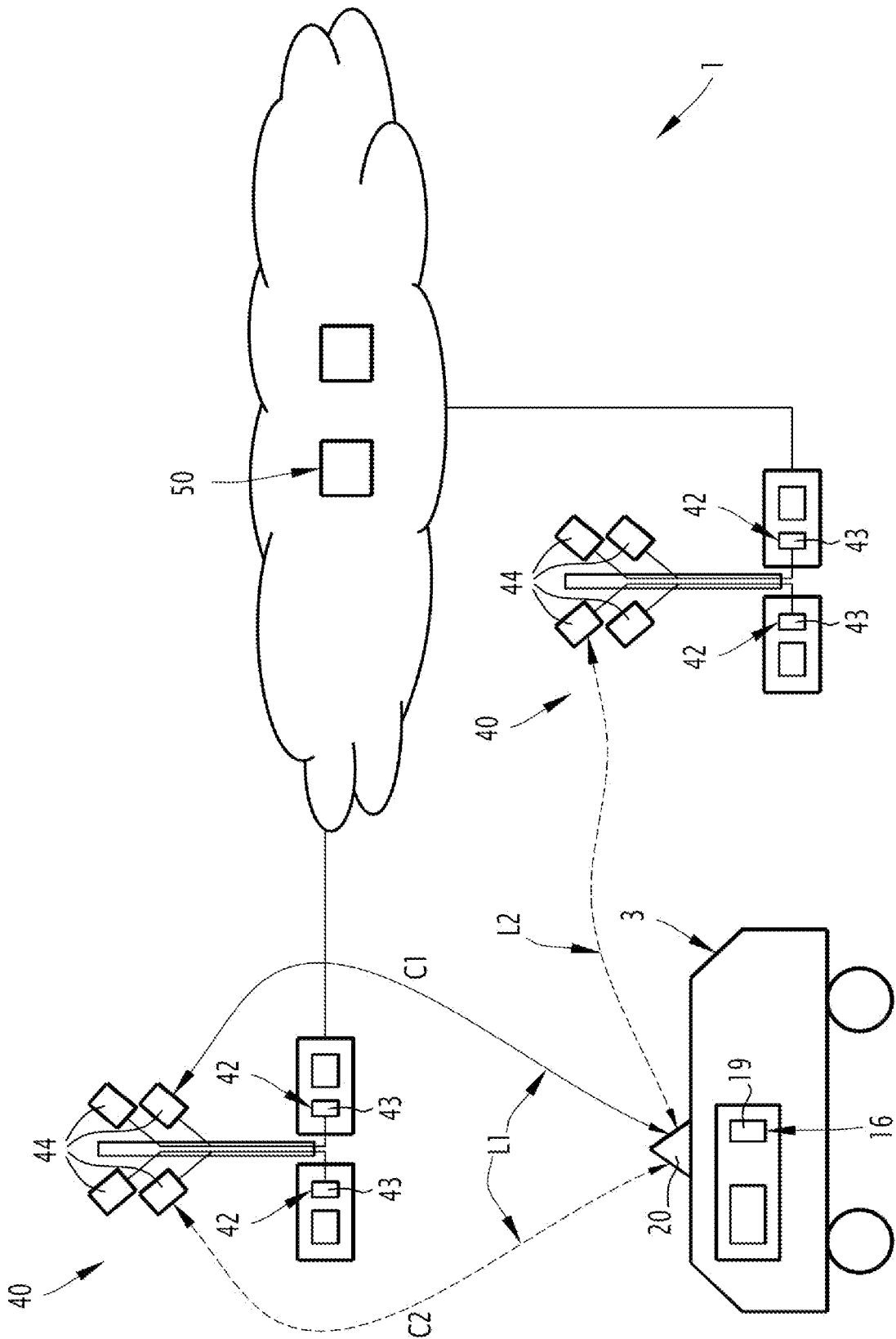
[Revendication 11] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, lorsque le procédé comprend une étape de mesure (110) du paramètre d'intérêt (Q) du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) en fonction du temps, le calcul (130) du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) comprend une synchronisation de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt (Q) mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée (P) du véhicule (3) en fonction du temps en associant le plus long plateau, ou respectivement une pluralité de plateaux consécutifs de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée (P) du véhicule (3) en fonction du temps avec la plus longue portion, ou respectivement une pluralité de portions, de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt (Q) mesuré en fonction du temps pour laquelle, ou respectivement lesquelles, la variance de la valeur du paramètre d'intérêt (Q) est minimale.

[Revendication 12] Procédé (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel :

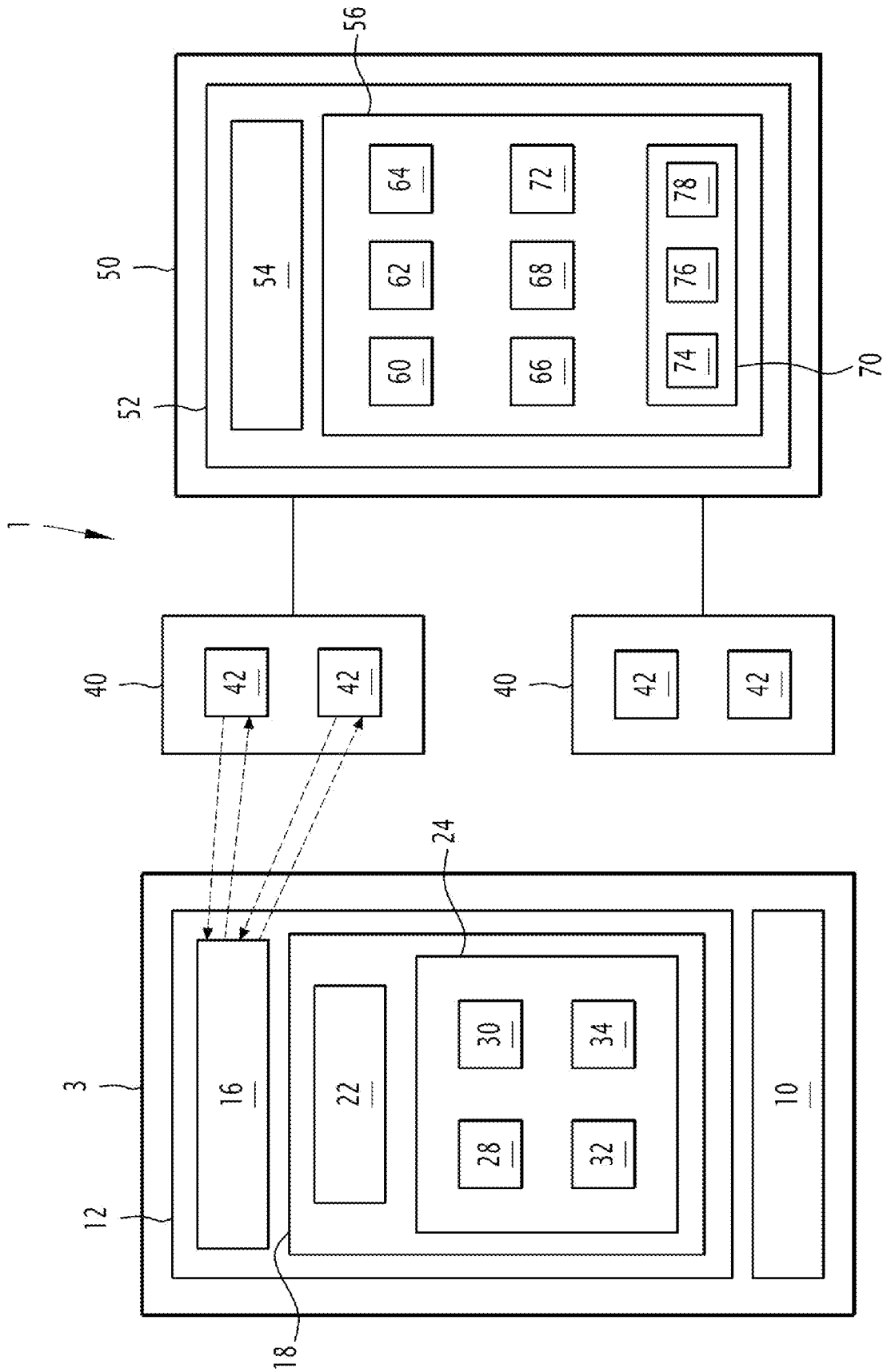
- lorsque le procédé comprend une étape de mesure (110) du paramètre d'intérêt (Q) du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un équipement au sol (40) en fonction du temps, le calcul (130) du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) comprend l'association du paramètre d'intérêt (Q) à un instant donné avec la coordonnée (P) du véhicule (3) à l'instant donné par interpolation dans le domaine temporel de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt (Q) mesuré en fonction du temps et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée (P) du véhicule (3) mesurée en fonction du temps ; et
- lorsque le procédé comprend une étape de mesure (110) du paramètre d'intérêt (Q) du lien radio entre le véhicule (3) et l'au moins un

équipement au sol (40) en fonction de la coordonnée (P) du véhicule, le calcul (130) du relevé (REL) du paramètre d'intérêt (Q) comprend l'association du paramètre d'intérêt (Q) à une coordonnée (P) donnée avec un instant correspondant à la coordonnée (P) du véhicule (3) par interpolation dans le domaine spatial de la fonction représentative des valeurs du paramètre d'intérêt (Q) mesuré en fonction de la coordonnée (P) et de la fonction représentative des valeurs de la coordonnée (P) du véhicule (3) mesurée en fonction du temps.

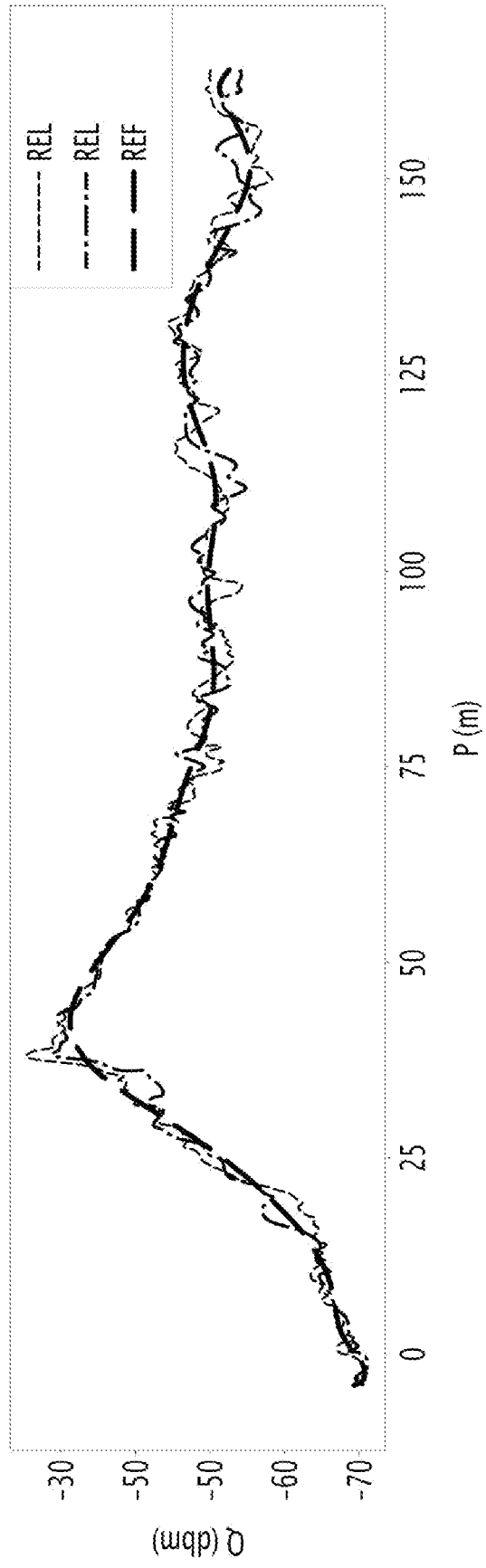
[Fig. 1]



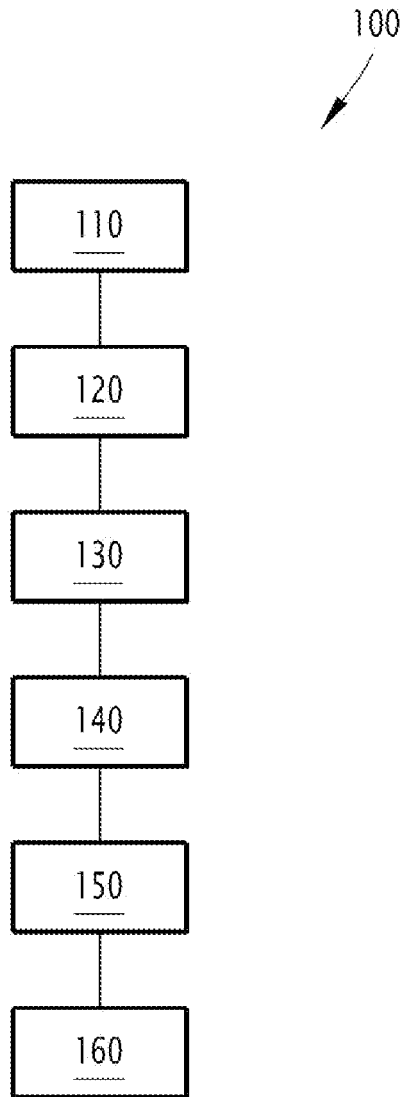
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

DE 10 2009 060358 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE])
30 juin 2011 (2011-06-30)

US 2017/149603 A1 (KOJIMA TAKASHI [JP])
25 mai 2017 (2017-05-25)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT