



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1996/07/31

(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1997/02/03

(45) Date de délivrance/Issue Date: 2003/01/21

(30) Priorité/Priority: 1995/08/02 (95 09 430) FR

(51) Cl.Int.⁶/Int.Cl.⁶ H04B 7/19

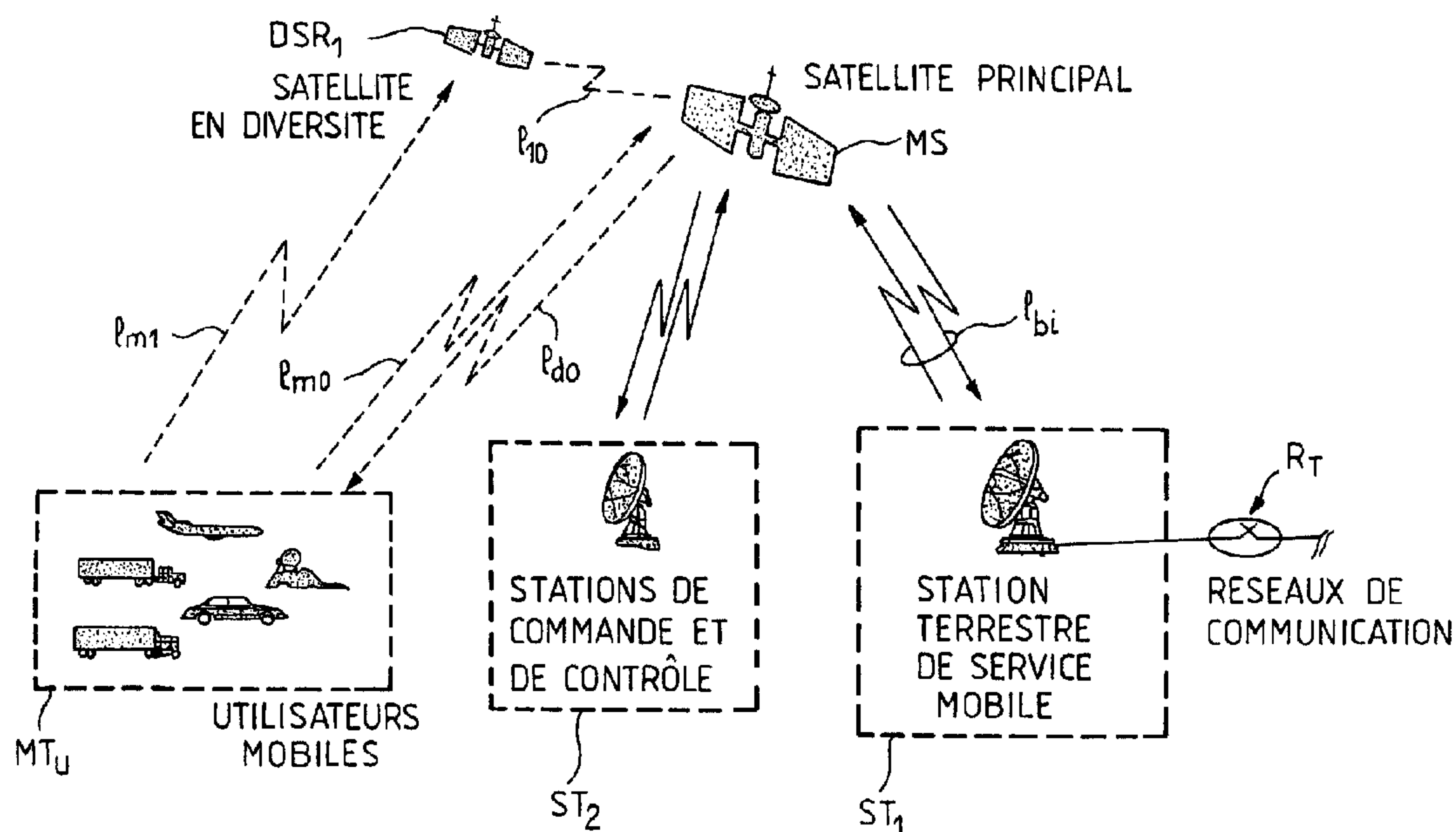
(72) Inventeurs/Inventors:
BOSCH, JAVIER VENTURA-TRAVERSE, NL;
CAIRE, GIUSEPPE, IT;
YARWOOD, MIKE, NL;
BIGLIERI, EZIO, IT

(73) Propriétaire/Owner:
AGENCE SPATIALE EUROPEENNE, FR

(74) Agent: RIDOUT & MAYBEE LLP

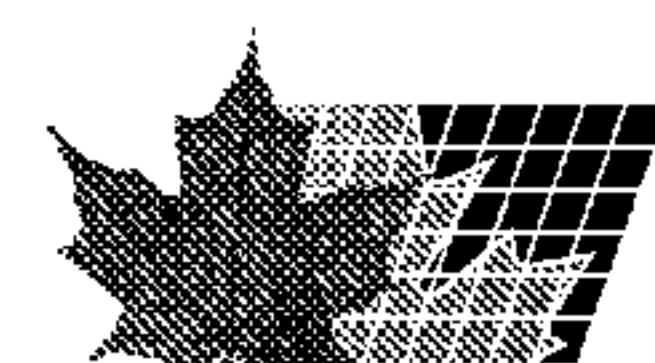
(54) Titre : SYSTEME DE TRANSMISSION DE SIGNAUX RADIOELECTRIQUES VIA UN SATELLITE DE COMMUNICATION GEOSTATIONNAIRE, NOTAMMENT POUR DES COMMUNICATIONS AVEC DES TERMINAUX MOBILES PORTABLES

(54) Title: SYSTEM FOR TRANSMITTING RADIO SIGNALS VIA A GEOSTATIONARY COMMUNICATIONS SATELLITE, PARTICULARLY FOR COMMUNICATIONS WITH PORTABLE MOBILE TERMINALS



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne un Système de transmission de signaux radioélectriques via un satellite de communication géostationnaire principal (MS) et un ou plusieurs satellites auxiliaires (DSR₁) "co-localisés" sur la même orbite, en diversité spatiale. La distance séparant un satellite auxiliaire (DSR₁) du satellite principal (MS) est comprise dans une gamme de 200 à 400 km. Le système comprend des liens de transmission bidirectionnels classiques (1_{m0}-1_{d0}, 1_{bi}) entre des terminaux terrestres mobiles (MT_u) et le satellite principal (MS) et entre celui-ci et une station terrestre (ST₁). En outre, des liens de transmission unidirectionnels (1_{m1}, 1₁₀) sont prévus entre les satellites auxiliaires (DSR₁) et le satellite principal (MS). Application notamment à un service de communication mobile avec des terminaux portables, via un satellite géostationnaire.



ABREGE

Au nom de : AGENCE SPATIALE EUROPEENNE

Titre : Système de transmission de signaux radioélectriques via un satellite de communication géostationnaire, notamment pour des communications avec des terminaux mobiles portables.

L'invention concerne un Système de transmission de signaux radioélectriques via un satellite de communication géostationnaire principal (MS) et un ou plusieurs satellites auxiliaires (DSR_1) "co-localisés" sur la même orbite, en diversité spatiale. La distance séparant un satellite auxiliaire (DSR_1) du satellite principal (MS) est comprise dans une gamme de 200 à 400 km. Le système comprend des liens de transmission bidirectionnels classiques (l_{m0} - l_{d0} , l_{bi}) entre des terminaux terrestres mobiles (MT_u) et le satellite principal (MS) et entre celui-ci et une station terrestre (ST_1). En outre, des liens de transmission unidirectionnels (l_{m1} , l_{10}) sont prévus entre les satellites auxiliaires (DSR_1) et le satellite principal (MS).

Application notamment à un service de communication mobile avec des terminaux portables, via un satellite géostationnaire.

Figure 3

5 L'invention concerne un système de transmission de signaux radioélectrique via un satellite de communication géostationnaire.

Elle concerne notamment les communications avec des terminaux terrestres mobiles et plus particulièrement des terminaux mobiles portables.

10 Durant la dernière décennie, un grand effort dans le domaine de la recherche et du développement industriel a été consenti dans le but d'offrir des services mobiles par satellites, encore connus sous la dénomination anglo-saxonne "MSS" (pour "Mobile Satellite Services"). Il a été montré, dans l'article de J. VENTURA-TRAVERSE et al., intitulé : "Key Payload Technologies for Future Satellite Personal Communications : A European Perspective" ("International Journal of Satellite Communications", Vol. 13, pages 117-135, mars-avril 1995),
15 que, même au début du prochain millénaire, la couverture des réseaux de communication cellulaires terrestres ne représentera probablement pas plus de 15 % de la surface du globe. Les services mobiles par satellites garderont donc toute leur actualité.

20 On peut répartir ces services par catégories, en fonction du type de satellite utilisé, notamment par référence aux altitudes des orbites de constellations de satellite ou par référence à la couverture terrestre du service.

Selon la première classification, on distingue habituellement les satellites sur orbite basse ou "LEO" (de l'anglo-saxon "Low Earth Orbits"), sur orbites médianes ou "MEO" (de l'anglo-saxon "Medium Earth Orbits"), les satellites
25 géostationnaires ou "GEO" (de l'anglo-saxon "Geostationary Earth Orbits") et les satellites à orbites très elliptiques ou "HEO" (de l'anglo-saxon "Highly-Elliptical Orbits").

Selon la seconde classification, on distingue habituellement les systèmes à couverture régionale et les satellites à couverture mondiale.

30 L'invention fait appel, pour la partie "spatiale", à des satellites géostationnaires qui seront appelés ci-après "GEO", dans un but de simplification. Elle s'applique par contre indifféremment aux systèmes à couverture régionale ou mondiale.

La partie terrestre du système comprend, notamment des terminaux
35 mobiles ou "MT" (pour "Mobile Terminal"). Ceux-ci prennent divers aspects. De façon non limitative, on peut citer des terminaux embarqués à bord de véhicules ou

engins mobiles : véhicules terrestres, vaisseaux, avions, etc. Ils peuvent comprendre également des terminaux portables, tenus à la main. Dans ce qui suit, ces terminaux seront appelés "MT".

5 L'architecture du système selon l'invention, dans ces deux composantes principales, sera décrite ci-après de façon plus détaillée.

Lorsque l'utilisation d'un satellite géostationnaire est possible, le système de communication présente des avantages évidents et parmi lesquels :

- des risques technologiques faibles, du fait d'une expérience affirmée pour l'orbite utilisable ;
- 10 - des aspects juridiques et administratifs simplifiés ;
- la possibilité d'une couverture régionale avec un nombre réduit d'engins spatiaux ;
- un contrôle du réseau simplifié ;
- des problèmes de type Doppler mineurs et un des sous-systèmes de suivi d'engins spatiaux simplifiés ;
- 15 - seul un nombre restreint d'allocations géostationnaires est requis pour une couverture mondiale et généralement une seule est nécessaire pour une couverture régionale, par exemple pour couvrir l'Europe.

20 Par contre, un tel système n'est pas exempt de problèmes ou limitations, et parmi lesquelles :

- des valeurs très importantes, voire excessives des paramètres "puissance isotrope rayonnée équivalente" ou "EIRP" (de l'anglo-saxon "Equivalent Isotropic Radiated Power") et "Gain/Temperature" ou "G/T", au niveau du terminal mobile "MT", lorsque l'on rencontre des situations particulièrement défavorables (par exemple dans un environnement à zones d'ombre très marquées) ; la seule alternative étant d'accepter une disponibilité du service réduite, pour conserver les paramètres précités à des valeurs acceptables ;
- 25 - des antennes de satellite trop importantes ou alors, il est nécessaire de mettre en oeuvre un satellite de grande puissance ;
- 30 - des délais de communications longs qui deviennent plus critiques avec la nécessité d'utiliser des codes complexes et des délais importants d'entrelacement et de désentrelacement pour détruire la mémoire inhérente de canal ;
- des lancements de satellites très coûteux pour des systèmes de satellites à services mobiles de capacité réduite.

35 Les quatre limitations qui viennent d'être rappelées ont constitué d'ailleurs, d'une certaine façon, un moteur dans la recherche d'autres solutions

faisant appel à des satellites d'orbites plus basses : "MEO" ou "LEO", pour le type d'applications visées par l'invention. Bien que ces solutions alternatives présentent de gros problèmes technologiques par rapport à la solution "satellites géostationnaires", elles s'adaptent mieux, malgré tout, à l'application visée.

5 L'invention se fixe pour but de pallier les limitations des systèmes de communication de l'art connu faisant appel à des satellites géostationnaires, tout en conservant les avantages de ces systèmes. Elle se fixe notamment pour but d'améliorer les performances des liens de transmission "montants" (c'est-à-dire du terminal terrestre mobile "MT" vers le satellite de communication)

10 Pour ce faire, l'invention fait appel à une technique de diversité spatiale. Elle met en oeuvre au moins un satellite auxiliaire, également géostationnaire, associé à un satellite principal. Celui-ci est "co-localisé" sur la même orbite géostationnaire, à une distance qui peut rester relativement faible, eu égard aux ordres de grandeurs des dimensions associées aux orbites considérées. Il
15 communique, de façon préférentielle, par un lien de transmission hyperfréquence, bien que cette disposition ne soit pas limitative, en quoi que ce soit, de la portée de l'invention. Le satellite principal assure des communications bidirectionnelles avec les terminaux terrestres mobiles "MT". Le ou les satellite(s) auxiliaire(s) n'assure(nt) qu'un lien "montant", a priori directif, c'est-à-dire des communications provenant
20 des terminaux terrestres mobiles "MT". Leur taille peut donc être réduite, car la puissance nécessaire est beaucoup plus faible que celle exigée pour le satellite principal qui doit couvrir, en émission, une large zone de la surface terrestre. Le coût supplémentaire de lancement associé aux satellites auxiliaires est faible par rapport au coût principal et les procédures de contrôle restent simples de mise en
25 oeuvre.

Le principe de diversité spatiale est bien connu, en soi. Il a d'ailleurs été appliqué aux systèmes de satellites sur orbites plus basses : "LEO" ou "MEO".

Il est utile de rappeler que les canaux des services mobiles par satellites diffèrent substantiellement des canaux conventionnels du type à bruit blanc
30 Gaussien additif ou "AWGN" (de "Additive White Gaussian Noise"), dans le cas des services fixes par satellites, par l'existence de zones d'ombre (dues à des obstacles occultant la transmission) et de réflexions multiples, dans l'environnement immédiat du terminal mobile "MT". Les techniques de diversité sont utilisées pour combattre ces deux effets nuisibles.

35 On doit tout d'abord remarquer que le terme "diversité", utilisé dans le domaine des systèmes de communication connus, du fait d'une non-uniformisation,

recouvre des concepts qui peuvent s'avérer fort différents en pratique : diversité en fréquence, en temps, en cheminement ("path"), en 'angle de site, en polarisation, en orbite, etc. Les méthodes d'implantation des récepteurs en diversité sont également très diverses, des plus simples aux plus complexes.

5 Les systèmes de diversité selon l'art connu, appliqués aux satellites non-géostationnaires, "LEO", "MEO" ou encore à orbite circulaire intermédiaires, c'est-à-dire "ICO" (pour "Intermediate Circular Orbit") mettent en oeuvre plusieurs satellites du même type, placés sur des orbites différentes. Pour les systèmes du type "ICO", on peut citer les systèmes de satellites commerciaux "GLOBALSTAR" et
10 "IMMARSAT P-21". Le fonctionnement d'un tel système est basé sur l'assumption statistique suivante : il existe une grande probabilité qu'un des satellites de la constellation de satellites soit en vue directe ("LOS" pour "Line-Of-Sight") du terminal terrestre mobile "MT". La sélection de ce trajet direct ("path") ou voie de communication "physique" constitue a priori le trajet optimisé et c'est celui-ci qui
15 est sélectionné, au lieu d'utiliser un concept de "multitrajets énergétique" pour améliorer la qualité des communications.

On pourrait penser appliquer, tel quel, ce concept aux systèmes "GEO". Cependant, cette transposition directe ne serait pas de nature à résoudre les problèmes spécifiques à ce type de systèmes de communication et, en tout état de
20 cause, difficile de mise en oeuvre, voire impossible.

En effet, il est nécessaire de disposer à tout moment d'au moins un satellite dont la "ligne de vue" ("LOS") avec le terminal mobile terrestre "MT" désirant communiquer n'est pas occultée. Il est donc nécessaire de disposer d'une constellation de satellites, c'est-à-dire d'un nombre élevé de satellites, présentant des
25 angles de site différents et des trajets en ligne directe ("LOS") non corrélés.

On comprend aisément qu'étendre ce concept aux systèmes "GEO" ne soit pas simple, voire irréaliste d'un point de vue économique et/ou technique. Il serait en effet nécessaire que l'espacement entre satellites "GEO" soit très important, ce qui rendrait très complexe les liens de transmission intersatellites "ISL" (pour
30 "Inter Satellite Link") et exigerait de surplus des satellites très puissants, donc volumineux. On peut d'ailleurs s'interroger sur les performances de tels systèmes, tenant compte des délais importants induits par l'éloignement des satellites entre eux. Enfin, le non-blocage des communications n'est pas garanti pour autant, du moins dans tous les cas.

35 L'invention a donc pour objet un système de transmission de signaux radioélectriques via un satellite de communication géostationnaire, tournant autour

du globe terrestre sur une orbite déterminée, entre au moins une station terrestre et au moins un terminal terrestre mobile, le système comportant des liens de transmission bidirectionnels entre ledit satellite et chacun desdits terminaux terrestres mobiles et des liens de transmission bidirectionnels entre ledit satellite et chaque station terrestre, caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un satellite auxiliaire "co-localisé" sur ladite orbite déterminée, et en ce qu'il comprend un lien de transmission entre chacun desdits terminaux terrestres mobiles et chaque satellite auxiliaire "co-localisé", d'une part, et un lien de transmission intersatellite entre chaque satellite auxiliaire "co-localisé" et le satellite géostationnaire de communication, dit satellite principal, d'autre part, de manière à former un système de communication en diversité spatiale.

L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques et avantages apparaîtront à la lecture de la description qui suit en référence aux figures annexées, et parmi lesquelles :

- La figure 1 illustre le phénomène de zones d'ombre et de réflexions multiples dans les communications entre un terminal terrestre mobile et un satellite de communication ;

- La figure 2 illustre schématiquement l'architecture de la partie "spatiale" d'un système de communication par satellite géostationnaire conforme à l'invention ;

- La figure 3 illustre schématiquement l'architecture globale d'un système de communication par satellite géostationnaire conforme à l'invention, notamment des différents composants de la partie "terrestre" du système.

Un des buts principaux est d'améliorer les performances d'un système du type "GEO" conventionnel, plus particulièrement de s'affranchir des problèmes dits de "zones d'ombre", aussi il est utile de décrire brièvement ces phénomènes.

La figure 1 illustre les principaux phénomènes que l'on rencontre dans les communications entre un terminal terrestre mobile MT_1 et un satellite géostationnaire (non représenté).

Comme il sera explicité ci-après, l'invention concerne essentiellement les liens de transmission qui ont été appelé "montants" dans le préambule de la présente description, aussi seuls ce type de liens de transmission est représenté sur la figure 1.

On suppose que le terminal terrestre mobile est monté à bord d'un véhicule automobile V_1 . On suppose également que l'environnement immédiat du véhicule est un environnement de type urbain. Généralement, ce type

d'environnement génère le maximum de problèmes du fait de la présence de nombreux obstacles : immeubles O_{b1} , O_{b2} à O_{bx} , arbres O_{by} , autres véhicules V_2 , en mouvement ou à l'arrêt, etc. Ces différents obstacles sont susceptibles, à tout instant, en fonction du déplacement du véhicule V_1 d'occulter tout ou partie du rayonnement émis par le terminal MT_1 ou de créer des réflexions multiples.

Pour illustrer les phénomènes précités, sur la figure 1, on a représenté cinq rayons b_1 à b_5 du rayonnement émis par l'antenne A_{nt} du terminal MT_1 . Le premier, b_1 , est entièrement intercepté par un immeuble de grande hauteur : obstacle O_{b1} . Le deuxième, b_2 , est réfracté par l'arrête supérieure de ce même immeuble O_{b1} . Le rayon réfracté, b'_2 , peut être transmis vers le satellite de communication (non représenté) s'il est compris dans l'angle d'acceptance du lien de transmission l_C , représentée de façon schématique par une zone hachurée sur la figure 1. Le rayon b_3 est réfléchi et/ou diffusé par un rideau d'arbres : Obstacle O_{by} . Ce rayon est réfléchi et/ou diffusé par cet obstacle O_{by} en un rayon b'_3 . Le rayon b_4 est réfléchi par un obstacle mobile, le véhicule V_2 , en un rayon b'_4 . Le rayon b_5 subit des réflexions multiples sur un ensemble d'immeubles : obstacles O_{b2} et O_{b3} : rayons réfléchis b'_5 et b''_5 .

A partir de cet exemple simple, il est aisé de constater que l'énergie du rayonnement émis vers le satellite (lien de transmission l_C) est susceptible de varier dans de grandes proportions, de façon aléatoire, en fonction d'un environnement non maîtrisable et des déplacements du véhicule V_1 transportant le terminal MT_1 . L'amplitude du rayonnement finalement transmis vers le satellite varie également de façon aléatoire, cette amplitude étant cependant conditionnée par la distance séparant les obstacles du terminal MT_1 .

On va maintenant décrire un exemple de réalisation d'un système de communication par satellite du type "GEO" conforme à l'invention par référence aux figures 2 et 3.

La figure 2 illustre plus particulièrement la partie "spatiale" du système de communication par satellites géostationnaires, alors que la figure 3 illustre de façon globale le système, et plus particulièrement les différents composants de la partie "terrestre".

Un système de communication mettant en oeuvre la diversité spatiale présente comme caractéristique principale d'utiliser une seule antenne de transmission et plusieurs antennes de réception. Les trajets ("paths") entre l'antenne de transmission et chaque antenne de réception sont appelés "canaux de diversité". Il y a donc autant de "branche de diversité" que d'antenne réceptrice en diversité. De

façon à exploiter de façon maximale les bénéfices apportés par la diversité, l'espacement entre antennes réceptrices doit être suffisant pour que, de façon statistique, le multitrajet ("multipath") à l'entrée de chaque "branche de diversité" soit indépendant.

5 Comme la figure 1 le suggère, les réflexions et/ou diffusions multiples et les occultations du rayonnement par des obstacles, fixes ou mobiles, constituent la cause principale de la dégradation du lien de transmission "montant", exprimée en terme de "taux d'erreurs sur les bits" ou "BER" ("Bit Rate Error"), ce qui n'est pas le cas des liens de transmission conventionnels du type à bruit blanc Gaussien additif
10 ou "AWGN" (liens de transmission pour services fixes).

Comme il a été également rappelé, l'application du concept de diversité, selon l'art connu, au cas des systèmes "GEO" apparaît irréaliste pour des raisons économiques et/ou technologiques.

15 Cependant, si on admet que le problème des zones d'ombres peut ne pas être entièrement résolu, il est alors possible pour optimiser la puissance disponible au satellite récepteur, que le système tire partie au maximum de l'énergie "multitrajet" disponible. Celle-ci constitue la seconde composante énergétique, composante d'ailleurs prédominante dans le bilan énergétique à l'entrée du satellite pour les situations du type "zones d'ombre" importantes.

20 L'invention tire partie de ces propriétés. Il devient alors possible d'implanter un système en diversité spatial ne présentant pas les inconvénients précédemment signalés.

Il suffit alors de disposer d'un ou plusieurs satellites récepteurs en diversité, que l'on appellera ci-après "DSR" (pour "Diversity Satellite Receiver(s)") à
25 une distance faible du satellite principal ou "MS" (pour "Main Satellite"). Dans le cadre de l'invention, la notion de distance "faible" s'apprécie relativement à la distance séparant les terminaux mobiles terrestres et le satellite MS, soit environ 36000 km. Il sera montré ci-après qu'une distance intersatellite d'environ 200 à 400 km est requise pour atteindre les buts que se fixe l'invention, ce qui est faible
30 comparé à 36000 km. Cette distance permet un degré suffisant de signal "multitrajet" non corrélé, quel que soit la position du terminal terrestre mobile MT et de l'environnement d' "évanouissement de signal" de ce terminal. On peut donc affirmer que le ou les satellite(s) "DSR" et le satellite "MS" sont "co-localisés".

35 Dans l'exemple de système selon l'invention illustré sur la figure 2, on a représenté un satellite principal MS et deux satellites récepteurs en diversité DSR₁ et DSR₂, situés de part et d'autre du satellite MS et tournant autour du globe

terrestre T, sur une orbite géostationnaire O_G commune. Le satellite MS communique avec le terminal MT par un lien de transmission "descendant" l_{d0} et par un lien de transmission "montant" l_{m0} . Selon un mode de réalisation préféré, les satellites DSR_1 et DSR_2 ne communiquent avec le terminal MT que par des liens de transmission "montants", l_{1m} et l_{2m} , respectivement, puisqu'il ne s'agit que de satellites récepteurs. Comme il a été indiqué, les distances séparant le satellite DSR_1 du satellite MS et le satellite DSR_2 de ce même satellite MS sont typiquement comprises dans des gammes de 200 à 400 km. Les satellites DSR_1 et DSR_2 communiquent avec le satellite MS via des liens de transmission unidirectionnels, l_{10} et l_{20} , respectivement.

En dehors de toutes autres considérations (simplification de la coordination des fréquences, etc.), le fait que les satellites soient "co-localisés", dans le sens qui a été donné ci-dessus, simplifie de façon très importante les exigences liées à l'exploitation courante du système multisatellites : une seule station terrestre peut contrôler les trois satellites, les trois satellites et de façon plus générale tous les satellites peuvent être placés en orbite par un même lanceur, ce qui diminue le prix de ce lancement, etc. Un autre avantage de cette proximité est la possibilité offerte de ne pas nécessiter de transmission des satellites de diversité, DSR_1 et DSR_2 , vers une station terrestre de contrôle, puisque seule des liens de transmission intersatellites sont prévues. Cette dernière caractéristique diminue fortement les besoins énergétiques et, donc, autorise une diminution du poids de ces satellites, ce qui, à son tour, permet de placer plus de satellites par un même lanceur ou autorise le recours à un lanceur moins puissant. Enfin, l'implantation des liens de transmission intersatellites peut s'effectuer sans difficultés majeures, dans n'importe quelle bande de fréquence (par exemple la bande "Ka"). En effet, toujours du fait de la proximité "satellite principal MS - satellites de diversité, DSR_1 ou DSR_2 ", il n'existe pas de problèmes d'interférences et de problèmes de pointage. Les exigences en puissance de ces satellites sont faibles, comme il a été rappelé. Les satellites peuvent donc être de faible dimension.

Il doit cependant être clair que, bien que selon l'une des caractéristiques principales de l'invention, seuls les liens de transmission "montants" soient indispensables, le système reste cependant compatible avec l'existence concomitante de liens de transmission "descendants", sur tout ou partie des satellites de réception en diversité. Cette disposition permet une reconfiguration plus flexible de la partie "spatiale" du système, notamment en cas de défaillance du satellite principal MS. Naturellement, il sera nécessaire, dans ce cas, de prévoir une puissance embarquée

plus importante, donc d'augmenter le poids du satellite. Cependant, la caractéristique de proximité, avec les avantages qu'elle procure, reste acquise.

La figure 3 illustre l'architecture globale du système, incluant les composants principaux de la partie "terrestre".

5 La partie "terrestre" comprend typiquement les éléments énumérés ci-après.

Elle comprend tout d'abord un premier sous-ensemble, constitué par des terminaux terrestres mobiles, sous la référence unique MT_U . Le terme "terrestre" est entendu, dans le cadre de l'invention, dans son acceptation la plus générale. Il peut
10 s'agir de terminaux montés à bord de véhicules terrestres, de navires ou d'avions, ainsi que de terminaux portables transportés par des personnes physiques. Même lorsqu'il s'agit d'avions, les terminaux mobiles restent à faible distance de la surface du globe terrestre T , toujours relativement à la distance séparant les satellites de celle-ci. Les terminaux mobiles peuvent également être de tailles et présenter des
15 performances différentes. Pour fixer les idées, on suppose que tous ces terminaux transmettent en bande restreinte (bien que l'invention s'applique tout aussi bien aux transmissions en large bande) et utilisent un schéma conventionnel approprié d'accès : par exemple FDMA ("Frequency-Division Multiple Access" ou accès avec multiplexage en fréquence) ou TDMA/FDMA (TDMA pour "Time-Division
20 Multiple Access" ou accès multiple à répartition dans le temps). On considère en outre que les transmissions s'effectuent en utilisant un code de canal particulier ("FEC" pour "Forward Error Correction" ou correction d'erreur sans voie de retour) et une modulation particulière, par exemple M-PSK ("M-ary Phase Shift Keying" ou modulation par déplacement de phase multiple). La transmission et la réception
25 s'effectuent typiquement dans les bandes "L" ou "S". Les types de signaux transmis incluent habituellement la voix et des données à un débit de quelques Kbits/s (typiquement dans la gamme 4 à 10 Kbits/s). Enfin, dans ce qui suit, le terme "Canaux de Terminaux Mobiles" ("MTC") concernera toutes les voies de transmission d'informations d'utilisateurs en provenance d'un terminal mobile "MT".

30 Le deuxième sous-ensemble est constitué par une station terrestre de service mobile ST_1 . Celle-ci procure une liaison de communication directe bidirectionnelle, l_{bj} , entre le satellite principal MS et divers réseaux terrestres de communication, représentés sous la référence unique R_T . En effet, pour ces réseaux R_T , qui peuvent comprendre des réseaux de téléphonie privée et/ou
35 publique, cette station ST_1 joue habituellement le rôle de station terminale de trafic international et de noeud de transit vers les usagers (terminaux mobiles

terrestres Mt_u) via les satellites de communication "GEO". Les "Canaux de Terminaux Mobiles" ("MTC") sont transmis via le lien de transmission de retour qui comprend le ou les lien(s) de transmission "montant(s)" vers le satellite principal et/ou le ou les satellite(s) en diversité, et le lien de transmission "descendant" du lien de transmission direct bidirectionnel, l_{bi} . De façon duale, les "Canaux de Station", en provenance de la station ST1, empruntent la voie aller qui comprend la voie "montante" du lien de transmission direct bidirectionnel, l_{bi} , et le lien de transmission "descendant" du ou des satellite(s).

Un troisième sous-ensemble est constitué par diverses stations terrestres, sous la référence unique ST2. Celles-ci comprennent une station principale de commande ("MCC" ou "Master Control Station") des stations de commande et de contrôle des satellites ("SCS" ou "Satellite Control Station") et du réseau de communications ("NCS" ou "Network Control Station"), de télémétrie, etc. Ces stations sont bien connues de l'Homme de Métier et sortent du cadre strict de l'invention. Il est donc inutile de les décrire plus avant. Par satellites, on entend aussi bien le satellite principal MS que le ou les satellite(s) de diversité, par exemple DSR₁.

La partie "spatiale" comprend typiquement les éléments énumérés ci-après.

Dans un but de simplification, dans l'exemple décrit, un seul satellite de réception en diversité DSR₁ a été prévu. Il communique, avec le satellite MS via un lien de transmission intersatellite unidirectionnel l_{10} .

Le premier sous-ensemble est constitué par le satellite principal MS. Ce satellite MS est pourvu de liens de connexion, aussi bien "aller" que "retour", c'est-à-dire "montant" et "descendant" avec tous les terminaux mobiles terrestres MT_u . Ces liens ont été représentés sous les références uniques, l_{m0} , pour les liens de transmission montants, et l_{d0} , pour les liens de transmission descendants ; étant bien entendu qu'il existe une paire de liens de transmission distincts par terminal.

Le satellite principal MS est pourvu de fonctions classiques de conformation de faisceau, de routage et de commutation qui ne diffèrent pas des fonctions similaires que l'on rencontre habituellement sur les satellites de type "GEO" pour les services mobiles ("MSS"). Il comporte cependant des fonctions supplémentaires spécifiques à l'invention. Notamment, il est nécessaire de disposer de circuits spécifiques pour implanter le lien de transmission intersatellite l_{10} , ou de façon plus générale, les liens de transmission intersatellites (satellite DSR₁ au satellite MS, dans l'exemple décrit) que l'on appellera "unité de réception du lien

intersatellite". Le plus souvent, il sera aussi nécessaire de disposer d'une capacité supplémentaire de routage et de mappage des canaux de diversité provenant du (ou des) lien(s) de communication intersatellite(s). Enfin, dans une variante de réalisation de l'invention, la combinaison des canaux directs et des canaux
5 provenant du ou des satellites de diversité (par exemple DSR_1) s'effectue à bord du satellite principal MS. Il est donc nécessaire de disposer de circuits spécifiques assurant cette possibilité de combinaison des branches de diversité.

Le second sous-ensemble, selon un des aspects important de l'invention, comprend au moins un satellite en diversité spatiale, co-localisé. Dans l'exemple
10 décrit, il est prévu un seul satellite DSR_1 . De façon plus générale, on peut en prévoir plusieurs, par exemple deux, disposés de part et d'autre du satellite principal MS. Comme il a été indiqué, les satellites en diversité spatiale, par exemple le satellite DSR_1 , sont des petits satellites "co-localisés", c'est-à-dire à une distance du satellite principal MS comprise typiquement entre 200 et 400 Km. Ils procurent une
15 réception en diversité spatiale pour le signal multitrajet provenant des terminaux terrestres mobiles MT_u . Pour simplifier la gestion du système selon l'invention, dans un mode de réalisation particulier, les terminaux terrestres de commande de satellites et de réseaux ST_2 pourront également avoir accès à ces satellites. Dans un mode de réalisation simplifié du système, les satellites en diversité spatiale,
20 n'utilisent leur énergie de transmission que pour communiquer avec le satellite principal MS. Le satellite DSR_1 (de façon plus générale, les satellites en diversité spatiales) est suffisamment éloigné du satellite principal MS pour garantir que les composants diffus des signaux reçus du multitrajet ne sont pas corrélés dans les deux satellites, MS et DSR_1 , ce de façon à exploiter correctement la capacité de
25 diversité spatiale, comme il le sera montré ci-après.

Outre ces deux parties principales, "terrestre" et "spatiale", il existe un certain nombre de liens de communication.

Les premiers types de liens sont appelés "liens de retour".

Il s'agit, tout d'abord, des liens "montants" l_{m0} entre les terminaux terrestres mobiles MT_u et le satellite principal MS, d'une part, et l_{m1} , entre ces
30 mêmes terminaux MT_u et le satellite en diversité DSR_1 (ou de façon plus générale, les satellites en diversité). Ce lien de communication est d'importance primordiale dans le cadre de l'invention. C'est lui, essentiellement, qui permet d'atteindre les buts que s'est fixés l'invention.

Il s'agit, ensuite, du lien de communication, ou lien "descendant" du lien de transmission bidirectionnel, l_{bj} , entre le satellite principal et la ou les station(s)

de service mobile ST_1 . Il doit être clair que seul le satellite principal et cette station doivent obligatoirement communiquer. Les liens entre cette station ST_1 et les satellites en diversité spatiale, par exemple DSR_1 , sont tout à fait optionnels et n'existent pas dans la version simplifiée du système selon l'invention.

5 Ce lien de communication peut être considéré comme un lien de communication classique, présent sur les systèmes de l'art connu. Les communications ne sont affectées que par un bruit de type blanc Gaussien additif ("AWGN") et ne sont pas considérées, habituellement, comme critiques dans le cas des satellites "GEO" pour services mobiles ("MSS").

10 Les deuxièmes types de liens sont appelés "liens allers".

Il s'agit, tout d'abord, du lien de communication, ou lien "montant" du liaison bidirectionnel, l_{bi} , entre la ou les station(s) de service mobile ST_1 et le satellite principal MS. On doit noter qu'aucun lien de communication "montant" n'est nécessaire entre cette station ST_1 et le satellite DSR_1 (ou plus généralement avec les satellites en diversité spatiale).

15 Ce lien de communication peut également être considéré comme un lien de communication classique, présent sur les systèmes de l'art connu. Les communications ne sont affectées que par un bruit de type blanc Gaussien additif ("AWGN") et ne sont pas considérées, habituellement, comme critiques dans le cas des satellites "GEO" pour services mobiles ("MSS").

20 Il s'agit, ensuite, du lien de communication, ou lien "montant" de la lien de transmission bidirectionnelle, l_{bi} , entre la ou les station(s) de service mobile ST_1 et le satellite principal MS. Il doit être noté qu'il n'existe aucun lien de communication de ce type entre le satellite DSR_1 (ou, de façon plus générale, les satellites en diversité spatiale) et la station ST_1 .

25 Là encore il s'agit d'un lien de communication classique répondant aux exigences habituellement rencontrées sur des systèmes de satellites "3GEO" pour service mobile.

30 Enfin, le troisième type de lien, également spécifique à l'invention, concerne les liens intersatellites, et plus particulièrement entre le ou les satellites en diversité, par exemple DSR_1 , et le satellite principal MS.

35 Le lien de communication l_{10} est établi, dans l'exemple décrit sur la figure 3, entre le satellite DSR_1 et le satellite MS. Il permet la combinaison des signaux reçus par les deux satellites, en provenance des stations mobiles terrestres MT_u , soit à bord du satellite principal MS, dans un premier mode de réalisation, soit

ultérieurement, au sol, après ré-émission par le satellite principal MS vers la station ST_1 , dans un second mode de réalisation.

Les principaux composants du système étant énumérés et décrits succinctement, on va maintenant expliciter, de façon plus détaillée, le mode de fonctionnement. Pour fixer les idées, on ne retiendra dans ce qui suit, que la version simplifiée représentée sur la figure 3 : un seul satellite en diversité spatiale DSR_1 "co-localisé" et aucun lien de communication entre le sol et ce satellite, étant bien entendu que cette architecture particulière ne saurait limiter, quoi que ce soit la portée de l'invention. De même, il ne sera pas décrit la gestion du système et les systèmes particuliers de commande et contrôle qui sortent du cadre strict de l'invention, ces systèmes et fonctions étant par ailleurs bien connues de l'Homme de Métier.

Selon l'invention, si on se place du point de vue d'un utilisateur disposant d'un terminal terrestre mobile MT_u , portable ou non, la mise en oeuvre ou non, d'un ou plusieurs satellites en diversité spatiale, reste "transparente". L'utilisateur communique avec le système de satellite "GEO" selon un schéma spécifié d'accès en transmission, de modulation et de codage, par exemple en bande étroite en technique "FDMA", "TDMA" ou "F/TDMA". Ce schéma n'est d'ailleurs aucunement imposé ou limité par l'invention.

Au travers du canal satellite, du fait de réflexions multiples (Voir figure 1), les informations transmises par un terminal terrestre mobile M_{tu} sont reçues, via des cheminements ("path") distincts, par les satellite MS et DSR_1 , "co-localisés" sur une même orbite géostationnaire. La distance séparant ces deux satellites se situe dans une gamme typique de 200 à 400 km, selon les paramètres spécifiques du système considéré. Cette distance garantit, statistiquement, un degré suffisant de non-corrélation entre les signaux reçus par le satellite MS et les signaux reçus par le satellite DSR_1 , de sorte que l'on puisse tirer profit des propriétés de la diversité spatiale.

Sur le satellite DSR_1 , une antenne embarquée en diversité reçoit le canal de terminal mobile multitrajet ("MTC"), avec un ratio "Gain/Température" ("G/T") correspondant. Ensuite, et après une éventuelle opération de conformation de faisceau, le signal reçu "multitrajet" est transmis à une chaîne conventionnelle de circuits radiofréquences, incluant une amplification et une conversion à la fréquence du lien de communication intersatellite l_{10} . Ces signaux sont ensuite transmis au satellite principal MS, via des circuits d'émission classiques sur cette fréquence ou

unité de lien de transmission intersatellite ("ISLTU", non représentée sur la figure 3).

Sur le satellite principal MS, une antenne embarquée reçoit le canal de terminal mobile multitrajet ("MTC"), avec un ratio "Gain/Température" ("G/T") correspondant. Du fait de la "co-location" des satellites MS et DSR₁, les antennes de réception embarquées sur les deux satellites peuvent être conçues de façon identique (en terme de couverture et de diagramme de rayonnement). Le satellite MS reçoit également, via le lien de transmission intersatellite l_{10} , la partie du signal multitrajet captée par le satellite DSR₁ (qui constitue une branche non corrélée). Ces signaux en diversité sont reçus plus spécifiquement par une unité de réception de lien intersatellite ("ISLRU", non représentée sur la figure 3). A ce stade, les deux signaux reçus, direct (par MS) et en diversité (par DSR₁) doivent être combinés en un seul signal. L'invention permet deux variantes de réalisation :

1. Combinaison des signaux au sol : cette solution est la plus simple, en terme de complexité de circuits embarqués. Les deux signaux sont retransmis séparément par le lien de transmission de "retour" (partie "descendante" du lien de transmission bidirectionnel l_{bi}) et sont combinés au sol, dans la station ST₁. Dans cette station, diverses techniques de combinaison peuvent être mises en oeuvre : par exemple la combinaison dite à ratio maximal ("MR-C"), la combinaison à gain égal ("EGC") et la combinaison de sélection ("SC"). Ces techniques sont exposées dans l'ouvrage de W.C. Jackes, "Microwave Mobile Communication", "John Wiley & Sons", 1974, auquel on pourra se référer avec profit pour une description plus détaillée de ces techniques classiques. Il doit être clair que l'invention n'est pas liée à une technique particulière.

Ce mode de combinaison au sol est bien adapté à toutes les situations pour lesquelles le lien de transmission l_{bi} n'est pas soumis à des contraintes de bande passante sévères, puisque cette approche implique que la bande passante soit proportionnelle à "l'ordre de diversité", c'est-à-dire en dernier lieu au nombre de satellites DSR. Par contre, il doit être noté que dans ce cas, les traitements de signaux à bord se limitent aux traitements usuels mis en oeuvre dans le cas des satellites "GEO" classiques : conformation de faisceaux, routage et commutation. Les seuls circuits supplémentaires nécessités par l'invention sont les circuits "ISRLU" précités et des circuits supplémentaires de routage/mappage des signaux en diversité vers le lien de "retour" (partie "descendante" de l_{bi}). Cette approche permet une synchronisation très simple des satellites MS et DSR₁, puisque la

combinaison et la synchronisation des canaux de terminaux mobiles MT_u , direct et en diversité, est effectué au sol.

2. Combinaison des signaux à bord du satellite MS : dans ce cas, aussi bien les signaux multitrajet directs que les signaux multitrajets en diversité sont combinés à bord. Il existe là encore deux solutions principales :

a/ Combinaison au niveau des fréquences intermédiaires ("IF") : cette approche requière que, pour chaque branche en diversité, chaque canal individuel de terminal mobile MT_u reçu soit, après une opération de rétro-conversion et de conformation de faisceau, filtré temporellement ou en fréquence et isolé des autres signaux en provenance des autres utilisateurs. Ils sont ensuite transmis à des circuits de combinaison "IF". Dans ces circuits, tous les signaux provenant des différentes branches en diversité sont combinés (avant démodulation) selon une approche particulière, par exemple combinaison de sélection ou combinaison avec réception différentielle. De nouveau, il doit être clair que l'invention n'est pas liée à une technique particulière de combinaison. Une fois l'opération de combinaison achevée, les signaux ainsi combinés suivent le cheminement classique des signaux dans un satellite "GEO" de l'art connu. En effet les signaux combinés peuvent être considérés comme des signaux "normaux" reçus par le satellite MS et retransmis, de façon classique également, vers le sol (station ST_1).

Les circuits sont plus complexes, puisqu'ils incluent les circuits "ISLRU" précités, le routage radiofréquence pour le filtrage et l'isolation du canal des terminaux mobiles, et le processeur effectuant la combinaison "IF".

Il est à noter que dans ce cas, les exigences pour le lien de transmission vers le sol ne diffèrent en rien de celle prévalant pour les systèmes selon l'art connu, c'est-à-dire sans diversité. Il en est de même pour les installations au sol, puisque la combinaison est réalisée sur le satellite MS.

Par contre, une synchronisation du satellite principal MS et des satellites en diversité, par exemple DSR_1 , est nécessaire, de façon à garantir que le processus de combinaison est effectué de façon synchrone, comme il le sera explicité ci-après.

b/ Combinaison en bande de base : cette approche est idéale pour le cas d'un satellite "GEO" régénérateur. Dans ce cas les canaux des terminaux mobiles MT_u direct ou en diversité (provenant de DSR_1) sont démodulés et combinés en bande de base après démodulation, mais avant l'opération de décodage. Dans ce cas, n'importe quelle méthode de combinaison peut être utilisée.

Les circuits en supplément nécessaire (par rapport au cas d'un satellite "GEO" sans diversité de l'art connu) se résument aux suivants : les circuits "ISLRU"

précités, des circuits pour le routage en diversité, des démodulateurs supplémentaires pour les canaux en diversité et un processeur de combinaison.

De nouveau, le lien de transmission bidirectionnel l_{bi} , notamment sa branche "descendante", reste classique et les démodulateurs de la station terrestre ST_1 ne nécessitent aucun circuit supplémentaire. Par contre, une synchronisation entre le satellite principal MS et les satellites en diversité, par exemple DSR_1 , reste nécessaire.

On va maintenant détailler les exigences afférentes aux liens de transmission intersatellites, par exemple le lien de transmission l_{10} dans l'exemple décrit.

La Demanderesse a effectué des simulations extensives. Sur cette base, il a été possible de montrer que les propriétés statistiques du signal transmis par un utilisateur de terminal mobile terrestre MT_u , et se propageant selon des cheminements qui ne sont pas en ligne directe avec aucun des satellites, sont très fortement décorrélés lorsque les conditions suivantes sont réalisées :

- les satellites sont espacés de 250 à 300 km environ ;
- le terminal mobile terrestre MT_u est localisé dans un environnement urbain favorisant la diffusion du rayonnement ;
- et la transmission s'effectue dans les bandes de fréquences "L".

Il a été constaté que le taux de décorrélation reste encore suffisant pour des distances intersatellites inférieures à 150 km pour certains environnements en milieu urbain, et bien supérieur, pour des environnements en milieu suburbain et rural.

L'implantation du lien de "retour montant" en bande de fréquences "S", ou sur des fréquences encore plus élevées, réduit la séparation nécessaire intersatellites pour atteindre un degré de décorrélation des cheminements de "retour" indirects pour des utilisateurs donnés en milieu diffusant.

Les distances de séparation faibles entre le satellite principal MS et les satellites de réception auxiliaires en diversité, par exemple le satellite DSR_1 , en combinaison avec le fait qu'il s'agit de satellites du type "GEO", autorisent la mise en oeuvre de lien de transmission intersatellite, par exemple l_{10} , particulièrement simples et à faible puissance. Les contraintes d'implantation sont simplement celles exigées par tout lien de transmission utilisant des technologies modernes et ne diffèrent en rien de l'art connu.

Un maintien du satellite dans un domaine de $\pm 0,05^\circ$ (par rapport aux directions Nord et Sud, d'une part, et Ouest et Est, d'autre part) est devenu tout à fait

courant. Cela implique une distance intersatellite minimale de 250 km et maximale de 400 km. Dans ce cas, on peut exploiter des antennes de faibles dimensions, de modèles bien connus, en transmission depuis les satellites subsidiaires (DSR₁, par exemple) et en réception sur le satellite principal MS. On peut obtenir un gain minimum de 25 dBi en direction du satellite compagnon, ce sans orientation électrique ou mécanique de l'antenne. Une ouverture d'antenne inférieure à 20 cm par 5 cm est appropriée pour les bandes de fréquences allouées pour l'espace de l'ordre de 23 GHz.

Le calcul du lien de transmission intersatellite doit tenir compte du fait que le soleil donne, un part essentiel de la journée, sur l'antenne de réception du faisceau principal, mais en ce qui concerne les antennes de réception du lien intersatellites, la température peut atteindre des valeurs inférieures à 170 °K. Cela conduit à des puissances de transmission radiofréquence sur les satellites auxiliaires (DSR₁, par exemple) utilisées inférieures à 1,4 W/MHz de bande passante du lien de transmission intersatellite. Le bruit et le produit d'intermodulation provoquent une dégradation négligeable du service global du lien de transmission de "retour" (les niveaux d'interférence cumulatifs du lien intersatellite se trouve au moins 20 dB en dessous des signaux du lien de transmission "retour"). Les satellites en diversité les plus extérieurs, dans un système mettant en oeuvre plus de trois satellites opérationnels (ce qui constitue un cas extrême du système selon l'invention), exigent, soit des antennes légèrement surdimensionnées (ce qui constitue le choix préféré, d'un point de vue coordination de fréquence), soit de transmettre des signaux plus puissants. Aucune de ces deux approches ne pose de problèmes particuliers, vue l'état de la technologie actuelle.

En résumé, des liens intersatellites de faible poids (en terme de matériel utilisé : antennes, etc.) peuvent être mis en place et utiliser toute bande de fréquence appropriée permettant de supporter la capacité du lien de transmission prévu. Cette capacité est fonction du spectre de fréquences alloué aux utilisateurs de terminaux terrestres mobiles et du degré de réutilisation en fréquence établi pour le système. La coordination en fréquences avec des engins du type "LEO" est particulièrement simple, du fait qu'ils sont typiquement localisés à plus de 70° des axes de visée des antennes du système de satellites en diversité conforme à l'invention et, de ce fait, fortement discriminés. Les autres satellites de type "GEO" formant relais de données sont calculés pour des communications avec des utilisateurs du type "LEO" et ne posent pas normalement de problèmes de coordination de fréquences.

Il doit être noté que l'utilisation du concept de diversité spatial reste indépendant de l'existence de liens de transmission intersatellites, mais il ressort clairement de ce qui précède que l'utilisation de ces liens de transmission est particulièrement aisée. Bien que "co-localisés", en ce sens que le segment d'espace
5 n'occupe que moins d'un degré d'arc de l'orbite géostationnaire, les satellites ne peuvent être confondu avec un seul et unique satellite géostationnaire. Cependant, l'allocation de fréquences ne pose pas de problèmes majeurs.

La mise en oeuvre de liens de transmission intersatellites amène les améliorations suivantes :

10 1. Pour les réalisateurs du système, il n'est nécessaire de coordonner, avec les autres administrations, que les liens "descendants" d'un seul satellite ;

2. La couverture terrestre principale des satellites auxiliaires, par exemple DSR1, peut être du type "réception seulement", ce qui autorise, soit une miniaturisation, soit la libération d'une extra-capacité pour d'autres applications ;

15 3. L'utilisation d'un lien de transmission intersatellite permet l'implantation d'un récepteur normalisé en diversité ("NORD"), conforme à l'architecture proposée dans l'article de J. Ventura-Traveset et al. Intitulé : "Normalized Diversity Receiver for Mobile Fading Channel", paru dans "Proceedings of the Cost 229 Workshop on Adaptive Systems, Intelligent
20 Approaches, Massively Parallel Computing and Emergent Techniques in Signal Processing and Communications", Bayona(vigo), Espagne, octobre 1994.

Comme il a été précédemment indiqué, la Demanderesse a procédé à de nombreuses simulations pour établir la validité des assumptions faites dans le cadre de l'invention, et mettre en évidence les avantages de l'invention par rapport aux
25 systèmes de services mobiles du type "GEO", mais conformes à l'Art Connu.

Il a été notamment fait appel à l'un des modèles de système d'évaluation de transmission le plus largement accepté, en l'occurrence le modèle dû à C. Loo : "A statistical model for a land mobile satellite link", paru dans "IEEE Transactions On Vehicles Technology", Vol. 34, page 127, août 1985. Il s'agit d'un système
30 statistique générique.

De façon plus spécifique, pour couvrir les besoins de l'invention, il a été considéré trois scénarios :

1. Un canal très fortement "masqué" ;

2. Un canal moyennement "masqué" ;

35 3. Un canal faiblement "masqué".

Ces modèles décrivent diverses situations de masquages et, donc, diverses distributions en énergie, aussi bien par les transmissions en dispersion (multitrajet) ou en ligne directe.

5 Le degré de décorrelation à espérer, sur les trajets de transmission de signaux non directs (multitrajets), a été évalué par une méthode similaire à celle préconisée dans l'ouvrage de W.C. Jackes précité, "Microwave Mobile Communication", John Wiley & Sons, 1974.

10 On va se reporter de nouveau à la figure 1 qui illustre schématiquement un environnement urbain générateur de réflexions et diffusions multiples, de façon aléatoire. Comme il a été précédemment décrit, cette figure montre clairement l'influence de différentes sources de dispersion et de diffusion des signaux émis par l'antenne A_{nt} du terminal terrestre mobile M_{T1} . Le nombre d'obstacles a été choisi égal à 20 et plusieurs milliers de configurations d'environnements ont été générés de façon statistique, en faisant appel à la méthode de Montecarlo.

15 Un exemple typique des résultats d'une telle simulation est présenté dans la TABLE I placée en fin de la présente description.

Ces résultats montrent clairement que, pour un environnement urbain, en bande "L" ou pour des fréquences supérieures, une distance intersatellite de 300 km est suffisante pour décorreler de façon appropriée les trajets en diversité. 20 Comme la théorie le laisse prévoir, en utilisant une bande "S", on obtient des résultats encore meilleurs. Enfin, les simulations ont également montré que la décorrelation est améliorée en environnement suburbain ou rural, ce qui est également conforme à la théorie.

25 Le choix d'un environnement urbain et d'une bande "L" permet d'assurer une marge de sécurité suffisante dans le calcul de la distance minimale intersatellites. Comme il est aisé d'obtenir des orbites de satellites qui respectent cette séparation de 300 km et que celle-ci correspond aux exigences de lien inter-orbital présentant les meilleures performances, cette distance sera retenue dans le cadre d'un mode de réalisation préféré de système conforme à l'invention.

30 Pour estimer les performances globales du système de communication en diversité selon l'invention, il a été fait notamment appel au concept de récepteur normalisé en diversité ("NORD"). Pour une description plus détaillée de ce concept, on se référera avec profit à l'article de J. Ventura-Traveset et al. Précité.

35 En outre, comme il a été indiqué, le type de récepteur n'est nullement imposé par l'invention. Aussi des essais ont été effectués avec divers modèles

d'architectures de récepteurs, notamment celles correspondant à un récepteur de type cohérent, à un récepteur de type différentiel et à un récepteur à fréquence pilote.

Différentes techniques de communication peuvent être utilisées : on a testé l'invention pour les codages du type "QPSK" ("Quaternary Phase Shift Keying" ou "Modulation par Déplacement de Phase quadrivalente") et "2/3 TCM 8-PSK" ("Trellis Coded Modulation", c'est-à-dire "Modulation à Codage par Treillis", avec des Codes d'Underboeck à 8 états du type "Phase Shift Keying", c'est-à-dire à "Modulation par Déplacement de Phase"). Ces techniques de transmission ont été sélectionnées, car elles couvrent deux stratégies différentes de transmission et ont été proposées pour des services mobiles de transmission à base de satellites du type "GEO", notamment dans l'ouvrage de M.J. Miller et al. : "Satellite Communications : Mobile and fixed Services", Kluwer Academics Publishers, 1993.

Enfin un certain nombre d'assumptions et hypothèses de travail ont été adoptées, couvrant les situations les plus habituelles des conditions de transmission dans l'application préférée de l'invention : un service mobile de communications. Parmi celles-ci, des taux d'erreurs de bits compris entre 10^{-2} et 10^{-5} ont été considérés, taux qui couvrent la plupart des exigences habituelles à ce type d'application.

Il a été procédé à des essais comparatifs systématiques, pour ces différentes assumptions, entre un système de communication conventionnel selon l'art connu par satellite "GEO" et un système selon l'invention, mettant en oeuvre la diversité spatiale, à l'aide d'un seul satellite auxiliaire "co-localisé".

Pour fixer les idées, les TABLES II à IV, placées en fin de la présente description, illustrent les améliorations de performance apportées par le système de l'invention par rapport à un système conventionnel.

Plus précisément les TABLES II à IV couvrent les trois scénarios précités : canal très fortement "masqué", canal moyennement "masqué" et canal faiblement "masqué", respectivement. On a utilisé le concept dit "NORD", également précité et une architecture de récepteur du type à détection cohérente. Enfin la combinaison, entre signaux directs et en diversité, s'est effectuée selon la technique dite "à taux maximal". Dans chaque table, la première colonne représente le taux d'erreur de bits "BER", la deuxième colonne le cas de la technique de transmission en "QPSK" non codé et la troisième, le cas de la technique de transmission "2/3 TCM 8-PSK".

Dans les deuxième et troisième colonnes, pour chaque valeur de "BER" escomptée, on a indiqué, en dB, le gain de performance offert par le système selon

l'invention par rapport à un système conventionnel, fonctionnant dans les mêmes conditions, mais sans satellite en diversité.

On constate que dans les trois environnements, et tout particulièrement en environnement urbain très pénalisant, le système selon l'invention apporte une
5 amélioration très conséquente des performances. On constate, en particulier que l'on désire de faibles taux d'erreurs de bits, l'amélioration est de plus de 20 dB en milieu urbain et d'au moins 16 dB dans les deux autres cas. Ces valeurs correspondent au cas de la technique de transmission "QPSK" non codée.

On constate également une amélioration, bien que de moindre
10 importance, pour la technique de transmission "2/3 TCM 8-PSK".

Enfin, bien que les résultats correspondants n'aient pas été présentés dans des tables spécifiques, on obtient des résultats semblables avec un récepteur à architecture du type à détection différentielle et une combinaison du type différentielle, d'une part, et avec un récepteur à architecture du type à fréquence
15 pilote et une combinaison du type quasi-maximale.

Dans tous les cas, quel que soit, notamment, la technique de transmission ou le type de récepteur considéré, le système selon l'invention apporte une amélioration des performances par rapport à un système de communication conventionnel à satellite "GEO".

20 Comme il a été indiqué, le système selon l'invention peut comprendre plusieurs satellites en diversité, ce qui, a priori, augmente les performances. On a fourni, dans la TABLE V placée en fin de la présente description, une comparaison entre un système conventionnel et un système selon l'invention comprenant un (colonne deux) ou deux (colonne trois) satellites en diversité, respectivement, ce
25 pour des taux d'erreur de bits variant de 10^{-2} à 10^{-5} . L'environnement considéré est celui d'un environnement urbain, la technique de transmission, celle dite "QPSK" non codée, le récepteur du type à détection cohérente et la combinaison du type à taux maximal. Dans ces conditions, on retrouve en deuxième colonne les valeurs représentées en deuxième colonne de la TABLE II, ce qui permet d'évaluer le gain
30 en performances apporté par un second satellite en diversité (figure 2 : DSR_2). Exprimé en dB, ce gain va de 1,4 dB pour un taux d'erreur de bits de 10^{-2} à environ 5 dB pour un taux d'erreur de bits de 10^{-5} . Pour un taux moyen d'erreur de bits 10^{-3} , il est de 3 dB environ. L'amélioration apportée par un second satellite peut être appréciable pour certaines applications.

35 Un autre paramètre important à considérer dans tous systèmes de communication par satellite est sa capacité, c'est-à-dire concrètement le nombre

maximum d'utilisateurs pouvant être traités simultanément. Il est bien connu que le spectre de fréquences disponibles pour un satellite offrant des services de transmission mobile est une ressource très réduite. Il est donc nécessaire de pouvoir compter sur un facteur de "Réutilisation des Fréquences" ("FR" ou "Frequency Reuse") important. Il est également nécessaire de minimiser aussi bien la bande passante requise d'un canal unique que la séparation intercanaux entre canaux adjacents. Beaucoup d'études ont été entreprises et certaines solutions mise en oeuvre dans les systèmes de l'art connu : format de modulation approprié (par exemple " $\frac{\pi}{4}$ QPSK"), Réseaux améliorés Conformateurs de Faisceaux à Matrice de Butler ("DBFN"), etc.

Quelle que soit la solution utilisée, il a été montré que la capacité du canal sujet à évanouissement est très fortement tributaire des valeurs d'interférence de canal. Le système selon l'invention, mettant en oeuvre la diversité spatiale présente là encore une amélioration fondamentale par rapport aux systèmes conventionnels "GEO".

A titre d'exemple, la TABLE VI, placée en fin de la présente description, met en évidence les augmentations des performances apportées par un système selon l'invention, utilisant un satellite en diversité spatiale, par rapport à un système conventionnel de satellite "GEO" affecté par une interférence de porteuse dans un même canal ("co-channel"), ce pour des taux d'erreurs de bits escomptés s'échelonnant de 10^{-2} à 10^{-5} . Cette table comporte quatre colonnes, les colonnes deux à trois représentant des taux d'interférence de signal "SIR" de 25 dB, 30 dB et 40 dB, respectivement.

Le concept précité dit "NORD" a été utilisé, l'architecture du récepteur est du type à détection cohérente, la combinaison, entre signaux directs et en diversité, s'est effectuée selon la technique dite "à taux maximal" et la technique de transmission était du "QPSK" non codé. L'environnement considéré était du type urbain, c'est-à-dire très "masqué".

On constate une amélioration des performances dans tous les cas. Le symbole " ∞ " signifie que, avec un système conventionnel "GEO", le taux d'erreurs de bits "BER" indiqué dans la première colonne ne peut être atteint. Cela signifie que les systèmes selon l'invention permettent d'abaisser la valeur minimale de taux d'erreur qu'il est possible d'atteindre.

En outre, le niveau relatif de porteuse par rapport au bruit ("C/N") est fortement amélioré dans le lien de transmission.

On peut donc augmenter la capacité du système. A titre d'exemple, on a constaté que, dans le cas d'un système selon l'invention, pour une valeur de "SIR" de 25 dB seulement, les performances sont meilleures que pour une valeur de "SIR" aussi important que 40 dB dans le cas d'un système conventionnel "GEO". En d'autres termes, il est possible de réduire le "SIR" à 25 dB, dans le cas de l'invention, tout en obtenant de meilleures performances en termes de niveau relatif de porteuse par rapport au bruit ("C/N"). La capacité du système peut donc être augmentée ou, alternativement, le nombre de faisceaux réduit de façon significative (augmentation du facteur "FR" précité).

Dans ce qui précède, un certain nombre d'hypothèses simplificatrices avaient été adoptées, notamment que l'entrelacement était idéal, ce qui n'est pas le cas, naturellement, dans des conditions réelles d'utilisation. La profondeur d'entrelacement est obligatoirement finie. Une raison majeure de cet état de fait est que l'entrelacement et le désentrelacement introduisent un délai supplémentaire dans la transmission, ce qui peut s'avérer indésirable.

Là encore le système selon l'invention apporte une amélioration, dans des conditions semblables d'utilisation, par rapport à un système conventionnel, et se montre moins critique vis à vis des problèmes de cet ordre.

Pour illustrer le comportement du système selon l'invention, des essais ont été effectués dans le cas d'un canal dit de Rayleigh, bien que des résultats similaires puissent être obtenus avec différentes situations relatives à des canaux de service mobile. La technique de transmission utilisée était du type "2/3TCM 8-PSK" précitée. Le système comprenait un seul satellite en diversité, "co-localisé".

La TABLE VII, placée en fin de la présente description, regroupe les résultats comparatifs obtenus pour deux valeurs de taux d'erreur de bits (10^{-2} et 10^{-3} , respectivement) et pour quatre valeurs d'entrelacement : $I = 0$, $I = 10$, $I = 20$, $I = 30$, respectivement.

On constate que les performances du système conforme à l'invention sont supérieures dans tous les cas à ceux d'un système conventionnel. En outre, plus la profondeur d'entrelacement est finie, plus importantes sont les améliorations de performance. En d'autres termes, les effets d'une profondeur d'entrelacement finie ont moins d'impact sur un système conforme à l'invention que sur un système conventionnel "GEO".

On constate aisément à la lecture de la description qui précède que l'invention atteint bien les buts qu'elle s'était fixés.

Il a été démontré que le système de l'invention présente un grand nombre d'avantages sur les systèmes à satellites du type "GEO" de l'art connu, et parmi lesquels les avantages résumés ci-après :

5 1. Une amélioration importante du lien de transmission "retour" en terme de niveau relatif de porteuse par rapport au bruit ("C/N") pour des situations sévères d'évanouissement des signaux. La réduction de ce rapport peut être utilisée pour atteindre les buts suivants, individuellement ou en combinaison :

- réduction de la taille des antennes embarquées ;
- augmentation de la disponibilité du système et des marges
10 d'évanouissement du signal ;
- réduction du facteur "Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente" ("EIRP") du terminal terrestre mobile ;
- possibilité d'utiliser des schémas de codage plus simple tout en conservant les mêmes performances du système, donc notamment avec diminution
15 de la redondance (ce qui entraîne une augmentation corrélative de la capacité du système) et des exigences en profondeur d'entrelacement réduites (donc des délais supplémentaires réduits également).

2. Une amélioration supplémentaire en ce qui concerne la réduction du niveau relatif de porteuse par rapport au bruit ("C/N") lorsque les interférences
20 système sont prises en considération (par exemple interférences sur un même canal ou des canaux adjacents). Cette réduction importante du rapport "C/N" précité peut être utilisée pour atteindre les buts suivants, individuellement ou en combinaison :

- augmentation du facteur de réutilisation "FR" du système, c'est-à-dire l'augmentation de la capacité du système de satellite "GEO" et, corrélativement, une
25 augmentation de la rentabilité ("Return Cost") du satellite ;
- réduction du nombre de faisceaux tout en conservant la capacité du système, ce qui se traduit par une simplification significative de la partie "matérielle" du satellite (circuits, etc.), ce qui entraîne également une réduction du coût.

30 3. Pour toutes les situations particulières de code et de canal, le système selon l'invention autorise une diminution de la profondeur d'entrelacement requise, et donc permet une diminution corrélative des délais de transmission.

4. Le système de service mobile permet une augmentation de l'uniformité des performances, puisqu'il est le plus efficace dans les situations les
35 situations de canaux les plus défavorables.

Il doit être clair cependant que l'invention n'est pas limitée aux seuls exemples de réalisations précisément décrits, notamment en relation avec les figures 2 à 3.

Notamment, comme il a été indiqué, l'invention, en elle-même, ne limite en rien le type de récepteur utilisé, le schéma de codage et/ou la technique de transmission. Les bandes de fréquences utilisées, ainsi que les bandes passantes, peuvent être quelconques, dans la mesure où elles sont appropriées à l'application visée. Le nombre de satellites auxiliaires, "co-localisés", n'est pas limité en théorie, seules des considérations pratiques et de coût imposent une limite raisonnable. Dans une variante simplifiée (figure 3), un seul satellite en diversité sera utilisé DSR₁, dans une variante préférée, deux satellites seront utilisés DSR₁ et DSR₂ (figure 2), situés de part et d'autre du satellite principal MS, sur une même orbite géostationnaire O_G. Enfin, comme il a été également indiqué, bien que, pour les satellites en diversité, par exemple le satellite DSR₁, seuls le lien de transmission "montant", "Terminal Terrestre Mobile MT_u - satellite DSR₁", et un lien intersatellite unidirectionnel avec le satellite principal MS soit requis, on peut prévoir des liens de transmission supplémentaires sans sortir du cadre de l'invention.

TABLE I

<u>Distance Intersatellite</u> (en Km)	<u>Corrélation (Bande "L")</u>	<u>Corrélation (Bande "S")</u>
200	0.5	0.24
300	0.3	0.13
400	0.13	0.13
500	0.13	0.08

5

TABLE II

<u>"BER"</u>	<u>"QPSK" non codé</u>	<u>"2/3 TCM 8-PSK"</u>
10^{-2}	5,8 dB	2,7 dB
10^{-3}	10,3 dB	4,2 dB
10^{-4}	> 15 dB	5,6 dB
10^{-5}	> 20 dB	> 7,5 dB

TABLE III

<u>"BER"</u>	<u>"QPSK" non codé</u>	<u>"2/3 TCM 8-PSK"</u>
10^{-2}	2,9 dB	1,3 dB
10^{-3}	7,0 dB	2,2 dB
10^{-4}	> 12 dB	3,3 dB
10^{-5}	> 17 dB	> 5 dB

10

TABLE IV

<u>"BER"</u>	<u>"QPSK" non codé</u>	<u>"2/3 TCM 8-PSK"</u>
10^{-2}	2,2 dB	1,0 dB
10^{-3}	6,1 dB	1,7 dB
10^{-4}	> 11 dB	2,7 dB
10^{-5}	> 16 dB	3,5 dB

TABLE V

<u>"BER"</u>	<u>1 satellite DSR</u>	<u>2 satellites DSR</u>
10^{-2}	5,8 dB	7,2 dB
10^{-3}	10,3 dB	13,2 dB
10^{-4}	> 15 dB	> 19,5 dB
10^{-5}	> 20 dB	> 25 dB

TABLE VI

<u>"BER"</u>	<u>"SIR" = 25 dB</u>	<u>"SIR" = 30 dB</u>	<u>"SIR" = 40 dB</u>
10^{-2}	> 20 dB	7,2 dB	5,5 dB
$5 \cdot 10^{-3}$	∞ dB	11,4 dB	7,3 dB
10^{-3}	∞ dB	∞ dB	12,3 dB
$5 \cdot 10^{-4}$	∞ dB	∞ dB	∞ dB
10^{-4}	-	∞ dB	∞ dB
$5 \cdot 10^{-5}$	-	∞ dB	∞ dB
10^{-5}	-	-	∞ dB

TABLE VII

<u>"BER"</u>	<u>I = 0</u>	<u>I = 10</u>	<u>I = 20</u>	<u>I = 30</u>
10^{-2}	8,2 dB	4,6 dB	3,7 dB	3,3 dB
10^{-3}	9,5 dB	6,4 dB	5,1 dB	4,6 dB



LES RÉALISATIONS DE L'INVENTION, AU SUJET DESQUELLES UN DROIT EXCLUSIF DE PROPRIÉTÉ OU DE PRIVILÈGE EST REVENDIQUÉ, SONT DÉFINIES COMME IL SUIIT:

1. Système de transmission de signaux radioélectriques via un satellite de communication géostationnaire (MS), tournant autour du globe terrestre (T) sur une orbite déterminée (O_G), entre au moins une station terrestre (ST_1) et au moins un terminal terrestre mobile (MT_u), le système comportant des liens de transmission bidirectionnels (l_{m0} , l_{d0}) entre ledit satellite (MS) et chacun desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u) et des liens de transmission bidirectionnels (l_{bi}) entre ledit satellite et chaque station terrestre (ST_1), caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un satellite auxiliaire (DSR_1 , DSR_2), "co-localisé" sur ladite orbite déterminée (O_G), et en ce qu'il comprend un lien de transmission (l_{m1} , l_{m2}) entre chacun desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u) et chaque satellite auxiliaire "co-localisé" (DSR_1 , DSR_2), d'une part, et un lien de transmission intersatellite (l_{10} , l_{20}) entre chaque satellite auxiliaire "co-localisé" (DSR_1 , DSR_2) et le satellite géostationnaire de communication (MS), dit satellite principal, d'autre part, de manière à former un système de communication en diversité spatiale.

2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend deux satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2), disposés de part et d'autre dudit satellite principal (MS), sur ladite orbite (O_G).

3. Systèmes selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que chacun desdits satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2) est éloigné dudit satellite principal (MS) sur ladite orbite déterminée (O_G) d'une distance comprise entre 200 et 400 kilomètres.

4. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit lien de transmission (l_{m1} , l_{m2}) entre chacun desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u) et chacun desdits satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2) est un lien de transmission "montant" unidirectionnel, de manière à recevoir, en diversité spatiale, des signaux radioélectriques desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u).

5. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit lien de transmission intersatellite (l_{10} , l_{20}), entre chacun desdits satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2) et ledit satellite principal (MS), est un lien de transmission unidirectionnel transmettant au satellite principal (MS) les signaux reçus en diversité spatiale desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u).

6. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les signaux, reçus en diversité spatiale par lesdits satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2) et transmis via ledit lien de transmission intersatellite

(l_{10} , l_{20}) vers le satellite principal (MS), sont combinés dans ledit satellite principal (MS) avec les signaux reçus par celui-ci, dits signaux directs, via un lien de transmission "montant" desdits liens de transmissions bidirectionnels (l_{bi}) entre le satellite principal (MS) et chacun desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u), et en ce que ces signaux combinés sont retransmis en un canal unique, via un lien de transmission "descendant" desdits liens de transmissions bidirectionnels (l_{bi}) entre le satellite principal (MS) et ladite station terrestre (ST_1).

7. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les signaux, reçus en diversité spatiale par lesdits satellites auxiliaires "co-localisés" (DSR_1 , DSR_2) et transmis via ledit lien de transmission intersatellite (l_{10} , l_{20}) vers le satellite principal (MS), sont retransmis via un lien de transmission "descendant" desdits liens de transmissions bidirectionnels (l_{bi}) entre le satellite principal (MS) et ladite station terrestre (ST_1), en ce que les signaux, dits directs, reçus par le satellite principal (MS), via un lien de transmission "montant" desdits liens de transmissions bidirectionnels (l_{bi}) entre le satellite principal (MS) et chacun desdits terminaux terrestres mobiles (MT_u), sont également retransmis via ce lien "descendant", sans être combinés aux signaux en diversité, et en ce que lesdits signaux directs et les signaux en diversité sont combinés dans ladite station terrestre (ST_1).

8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lesdits signaux radioélectriques sont transmis en bande "L".

9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lesdits signaux radioélectriques sont transmis en bande "S".

10. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits terminaux mobiles terrestres (MT_u) sont des terminaux portables.

Ridout & Maybee
Suite 2400
One Queen Street East
Toronto, Canada M5C 3B1
Patent Agents of the Applicant

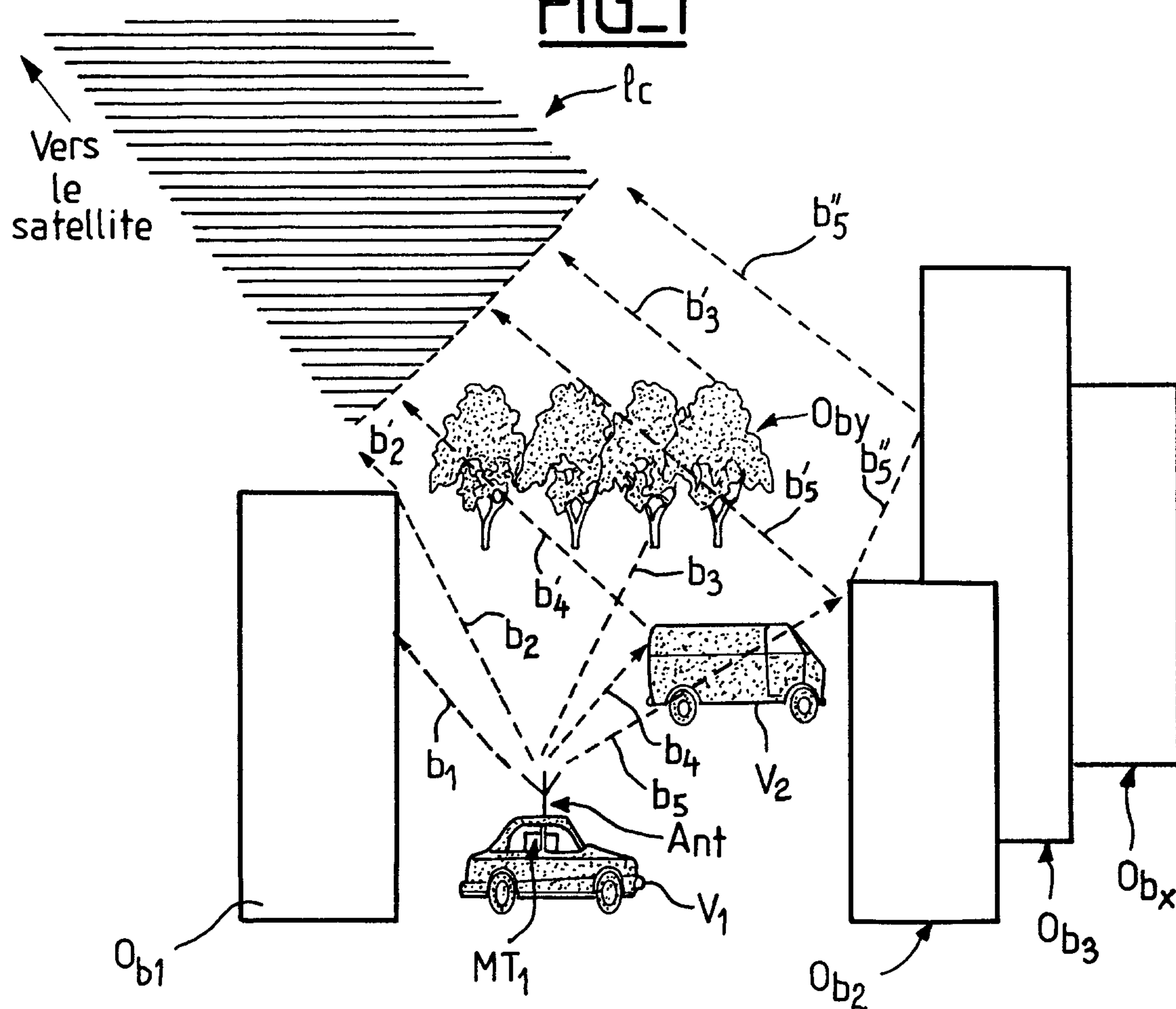
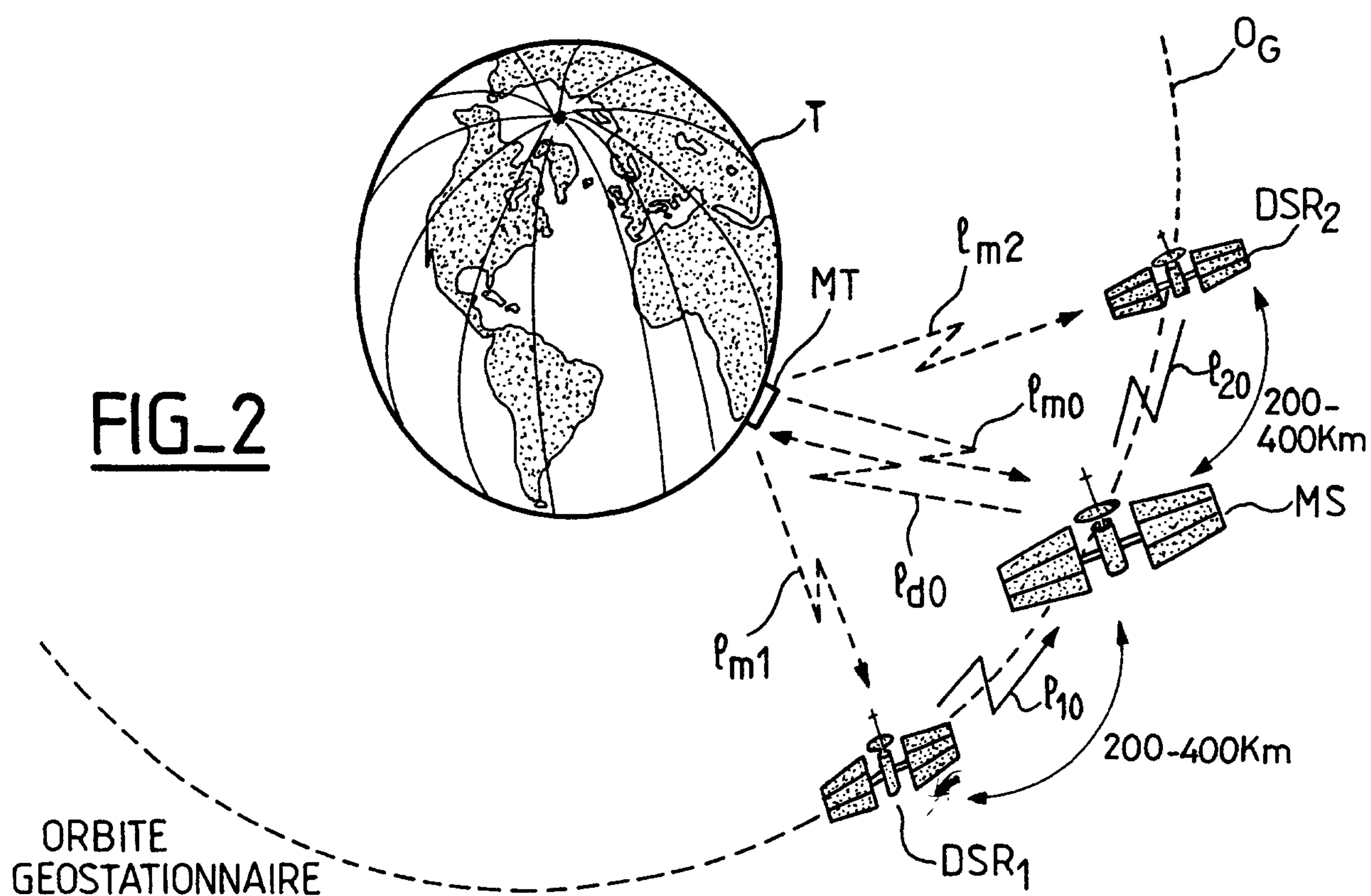
FIG_1**FIG_2**

FIG-3

