

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 80 24885

(54) Configuration de satellite destinée à augmenter la marge de pluie d'un système de télécommunications.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). H 04 B 7/15.

(22) Date de dépôt..... 24 novembre 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *EUA, 27 novembre 1979, demande de brevet, n° 097,870, aux noms des inventeurs.*

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 22 du 29-5-1981.

(71) Déposant : Société dite : WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED, résidant aux
EUA.

(72) Invention de : Anthony Acampora et Douglas Otto Reudink.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Flechner,
63, av. des Champs-Élysées, 75008 Paris.

La présente invention concerne une configuration et une technique destinées à augmenter la marge de pluie d'un système de télécommunications par satellite du type AMRT, et elle porte plus particulièrement sur une configuration et une technique qui permettent la communication entre des stations terriennes d'un système de télécommunications par satellites du type AMRT, par l'intermédiaire du satellite, dans le cas où une ou plusieurs des stations terriennes sont soumises à une condition d'évanouissement dépassant la marge de puissance.

La tendance actuelle dans les satellites de télécommunications semble être de plus en plus à l'utilisation de la bande 12/14 GHz et des bandes de fréquence plus élevées, et à l'utilisation de formats de modulation numérique faisant appel aux techniques d'Accès Multiple par Répartition dans le Temps (AMRT). La première de ces caractéristiques affranchit des perturbations terrestres existantes à 4/6 GHz et offre également un gain d'antenne plus élevé et des faisceaux plus étroits pour une taille d'ouverture donnée, tandis que la transmission numérique, associée à la technique AMRT, permet une meilleure utilisation des ressources disponibles des systèmes à satellites.

Un inconvénient important qui est associé aux systèmes à 12/14 GHz consiste dans l'atténuation du signal qui est associée aux chutes de pluie. L'atténuation à ces fréquences est en général une fonction croissante de l'importance de la pluie si bien que sur une grande partie des Etats-Unis, par exemple, on doit prévoir une marge de puissance importante pour éviter une perturbation excessive due aux évanouissements produits par la pluie.

Une technique caractéristique de l'art antérieur destinée à s'affranchir des évanouissements dus à la pluie est décrite dans un article intitulé "The Future of Commercial Satellite Telecommunications" par W. White et col. paru dans la revue Datamation, juillet 1978, pages 94-102. Cet article indique aux pages 98-99 qu'il peut être possible de s'affranchir de l'atténuation due à la pluie dans les systèmes à satellites en transmettant plusieurs fois le même paquet. La station terrienne qui se trouve dans la zone de pluie momentanée peut additionner les uns aux autres les signaux multiples correspondant au même paquet pour reconstituer le signal d'origine.

Parmi d'autres techniques classiques qu'on pourrait employer pour obtenir une marge de pluie, on peut citer (1) l'augmentation de

la puissance rayonnée par le satellite et les stations terriennes, (2) l'amélioration du facteur de bruit des récepteurs, (3) l'installation d'antennes de stations terriennes plus grandes et (4) la mise en oeuvre d'une diversité de site. Malheureusement, ces techniques (1)-(4) sont coûteuses dans la mesure où des ressources du système affectées de façon permanente ne sont utilisées qu'occasionnellement, c'est-à-dire quand il pleut. De ce fait, le système est considérablement surdimensionné pour les conditions d'absence de pluie qui peuvent exister pendant plus de 99,9 % du temps à n'importe quel emplacement au sol particulier, si par exemple une marge de pluie de 15 ou 20 dB est nécessaire pour parvenir au niveau désiré de perturbation par la pluie. Le problème qui demeure dans l'art antérieur consiste à créer un procédé et un dispositif capables d'augmenter d'une valeur élevée, par exemple 10 dB, la marge de pluie d'un système de télécommunications par satellite, sans nécessiter des ressources supplémentaires du système qui ne sont mises en utilisation que de façon occasionnelle.

Le problème précédent a été résolu conformément à un mode de réalisation de l'invention dans lequel des intervalles élémentaires de réserves simultanées du système AMRT, qui existent dans chaque séquence de trame et sont obtenus à partir d'un groupe commun d'intervalles élémentaires ou par réarrangement des affectations d'intervalles élémentaires en réserve, sont disponibles pour être utilisés dans les communications avec des stations qui subissent, par exemple, une atténuation par la pluie dépassant une marge de puissance prédéterminée.

On peut obtenir une marge de puissance supplémentaire pour la liaison montante, à une station qui subit une atténuation par la pluie, soit en effectuant une émission à puissance accrue de l'information contenue dans un paquet normal, soit en utilisant un groupe commun d'intervalles élémentaires ou des intervalles élémentaires en réserve réarrangés et des techniques de codage et d'extension de zone pour réaliser une extension de paquets et disposer d'une marge supplémentaire. Conformément à un mode de réalisation de l'invention, on obtient une marge de puissance supplémentaire pour la liaison descendante vers une station soumise à une condition d'évanouissement par la pluie, grâce à l'utilisation d'un groupe commun d'intervalles élémentaires simultanés ou d'intervalles élémentaires en réserve réarrangés, associés à chaque format de trame de faisceau descendant,

pour que la puissance qui est normalement émise à partir du satellite dans plusieurs faisceaux simultanés puisse être effectivement appliqué dans un ou plusieurs faisceaux qui sont dirigés vers la ou les stations terriennes soumises à la condition d'évanouissement.

5 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation, et en se référant aux dessins annexés sur lesquels les éléments analogues sont désignés par les mêmes numéros de référence et sur lesquels :

La figure 1 représente un système de télécommunications par
10 satellite qui utilise plusieurs faisceaux étroits fixes pour desservir plusieurs stations terriennes;

La figure 2 représente une séquence de trame de commutation caractéristique qui peut être utilisée dans le système correspondant à l'invention;

15 La figure 3 est un schéma synoptique d'un répéteur de satellite correspondant à un mode de réalisation de l'invention qui peut être utilisé dans un système de télécommunications par satellite AMRT à plusieurs faisceaux étroits fixes ou à balayage limité; et

La figure 4 représente un schéma synoptique connu, de type
20 caractéristique, pour un répéteur de satellite destiné à être utilisé dans un système de télécommunications par satellites à plusieurs faisceaux étroits à balayage non limité, qui peut être adapté à la mise en oeuvre de l'invention.

L'invention est décrite ci-après en relation avec un système
25 de télécommunications par satellite du type à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) qui comporte plusieurs faisceaux fixes de liaisons montantes et descendantes. On notera cependant que cette description n'est donnée qu'à titre d'exemple et est faite dans un but de présentation et non de limitation. L'homme de l'art comprendra facilement que le principe de l'invention s'applique également à des systèmes
30 à plusieurs faisceaux étroits à balayage ou à des systèmes de satellite combinés à faisceaux fixes et à faisceaux étroits à balayage.

Comme le montre la figure 1, un système de télécommunications par satellite à plusieurs faisceaux fixes, du type AMRT, qui est considéré ci-après pour décrire le principe de l'invention, comprend un
35 satellite 10 qui comporte un groupe de n antennes 12_1-12_n , chaque antenne étant capable d'émettre un faisceau particulier parmi un

groupe de n faisceaux de liaison descendante 13_1-13_n , vers une zone de couverture particulière parmi un groupe de n zones de couverture espacées 14_1-14_n à la surface d'un corps céleste. Chaque zone de couverture 14_1-14_n comprend une ou plusieurs stations terriennes 16 qui émettent leurs paquets d'informations dans des intervalles élémentaires synchronisés formant une trame. Ces paquets d'informations sont destinés à d'autres stations terriennes 16 du système et ils sont émis dans un faisceau de liaison montante associé 18_1-18_n , conformément à un format de trame AMRT prédéterminé. Les paquets correspondant aux intervalles élémentaires qui arrivent simultanément au satellite 10 dans chacun des faisceaux de liaison montante 18_1-18_n sont dirigés, dans le satellite 10, vers les antennes appropriées 12_1-12_n , pour être réémis dans les faisceaux de liaison descendante 13_1-13_n , vers la station terrienne destinataire 16 correcte.

La figure 2 montre un exemple de format de trame de commutation AMRT qu'on peut utiliser pour mettre en oeuvre le principe de l'invention pour permettre la communication entre diverses stations terriennes 16 du système, par l'intermédiaire du satellite 10. On voit qu'au début de chaque période de trame associée aux faisceaux de liaison descendante 13_1-13_n il existe un groupe de X intervalles élémentaires qui sont affectés à l'établissement des canaux de transmission AMRT bidirectionnels normaux entre les diverses stations terriennes 16 du système. On connaît parfaitement des affectations classiques des intervalles élémentaires dans plusieurs formats de trame de faisceau qui évitent les émissions simultanées vers l'une quelconque des stations terriennes, et on peut employer n'importe quelle technique d'affectation appropriée pour les intervalles élémentaires 1 à X de la période de trame de la figure 2. Chaque intervalle élémentaire comprend de façon caractéristique un paquet de message qui comporte une information de préambule, une information de données ou de message et, éventuellement, une certaine information de terminaison, et ce paquet est émis par une station terrienne 16 vers le satellite 10 puis ensuite vers la station terrienne destinataire par l'intermédiaire du faisceau de liaison descendante approprié parmi les faisceaux 13_1-13_n .

Bien que ceci ne soit pas représenté sur la figure 2, chaque trame comprend également, par exemple, des intervalles élémentaires spécialisés qui sont utilisés pour établir des canaux de signalisation bidirectionnels entre une station terrienne désignée en tant que

station terrienne maître, et chacune des stations terriennes éloignées du réseau, en utilisant n'importe quelle technique appropriée connue. On utilise par exemple les canaux de signalisation pour permettre la synchronisation du système AMRT, pour distribuer une information d'état de système, pour traiter les nouvelles demandes de service, pour affecter les intervalles élémentaires, etc... Si on excepte les intervalles élémentaires de signalisation, tous les autres intervalles élémentaires peuvent, si nécessaire, être affectés à la demande.

On voit également à la fin des trames un groupe commun de Y intervalles élémentaires inutilisés ou en réserve, qui sont désignés par 1 à Y. Comme on le décrira ci-après, ces intervalles élémentaires sont destinés à être mis à la disposition des stations terriennes qui subissent une atténuation par la pluie. On comprend qu'on peut également placer les intervalles élémentaires inutilisés ou en réserve aux emplacements d'intervalles élémentaires appropriés et conformément à la séquence appropriée, en réarrangeant les affectations des intervalles élémentaires dans une trame et en utilisant les canaux de signalisation pour informer chaque station terrienne de ce réarrangement. Les intervalles élémentaires provenant du groupe commun peuvent être mis à la disposition de n'importe quelles stations terriennes qui subissent une atténuation par la pluie pour la liaison montante ou la liaison descendante. Cependant, un moyen plus intéressant de compenser les atténuations de la liaison montante consiste à commander la puissance de la liaison montante. Selon cette technique, on règle la puissance de la liaison montante en cas de présence de pluie, de façon à maintenir une puissance incidente constante au niveau du satellite. Lorsque l'atténuation par la pluie dépasse la marge qu'assure la puissance maximale de l'émetteur de la station terrestre, un évanouissement se manifeste sur la liaison montante. Du fait que la puissance de la liaison montante n'est généralement pas un paramètre critique, on peut souvent fixer la puissance maximale de l'émetteur de façon à éliminer la condition d'évanouissement. La commande de la puissance de la liaison montante représente ainsi un moyen très intéressant de combattre l'atténuation du signal de la liaison montante tout en maintenant un rapport signal/parasites constant au niveau du satellite. Il est cependant possible que certaines stations terrestres ne soient pas capables de fournir la puissance supplémentaire pour la liaison montante permettant d'éliminer une condition d'évanouissement, à

cause des circuits employés.

Lorsqu'un évanouissement se produit sur la liaison descendante, le rapport porteuse/bruit à la station terrienne qui subit l'évanouissement n'est plus suffisant pour maintenir le taux d'erreur de bit désiré. La capacité de cette station terrienne est donc réduite. On supposera par exemple que l'atténuation par la pluie est telle que le niveau du signal tombe à 8dB au-dessous de la valeur qui est nécessaire pour maintenir un taux d'erreur de bit de qualité vocale égal, par exemple, à 10^{-3} . Le taux d'erreur du canal pour du bruit gaussien ^{alors} est d'environ 0,1. On obtiendrait un taux d'erreur de bit plus mauvais si le taux d'erreur était fixé à la fois par le bruit gaussien et par les parasites soumis à une limitation de leur valeur de crête. Cependant, conformément à l'invention, on peut néanmoins maintenir le taux d'erreur de bit à 10^{-3} ou à une valeur inférieure.

Lorsque des mesures de puissance faites à une station terrienne indiquent qu'une atténuation dépassant la marge de puissance incorporée est imminente, cette station terrienne 16 utilise la liaison de signalisation pour indiquer à la station terrienne maître qu'une condition d'évanouissement est sur le point de se produire. La station terrienne maître affecte alors des intervalles élémentaires simultanés provenant de la zone commune de réserve de la figure 2, ou obtenus par réaffectation du trafic, de façon à disposer d'intervalles élémentaires simultanés en réserve dans chaque format de trame, afin de les utiliser de la manière qui sera décrite ci-après.

Pour des raisons pratiques, il peut être souhaitable de limiter la demande supplémentaire de circuits vocaux due à l'atténuation par la pluie à un facteur de quatre ou cinq au-dessus de la demande en l'absence de pluie. Des perturbations apparaîtront donc lorsque l'atténuation dépassera la marge de pluie supplémentaire qui est offerte par ces circuits supplémentaires. Ainsi, au moment de la conception du réseau, on doit maintenir la capacité de trafic offerte à un niveau tel que la capacité C du satellite permette d'atteindre les probabilités désirées de perturbations par la pluie et de blocage des communications. Les facteurs qui affectent cet aspect de la conception comprennent les statistiques de pluviosité aux divers stations terriennes, la marge de pluie incorporée, le nombre de stations terriennes, la charge, exprimée en erlangs, de chaque station terrienne, et les carac-

téristiques statistiques de l'atténuation par la pluie au-delà de la marge incorporée, aux diverses stations terriennes.

Conformément à un mode de réalisation de l'invention, on peut établir une marge de bruit supplémentaire par rapport à la marge de
 5 bruit incorporée pour une ou plusieurs stations terriennes soumises à une condition d'évanouissement par la pluie, en utilisant des intervalles élémentaires simultanés, en réserve ou en groupe commun, dans chaque format de trame, pour faire en sorte que la puissance qui est normalement émise à partir du satellite dans les divers faisceaux
 10 fixes de liaison descendante 13_1-13_n puisse être appliquée dans un ou plusieurs faisceaux dirigés vers la ou les stations terriennes qui sont soumises à une condition d'évanouissement. La figure 3 représente un schéma synoptique d'un satellite 10 correspondant à un mode de réalisation de l'invention, destiné à être utilisé dans le système de télé-
 15 communications par satellite AMRT à plusieurs faisceaux fixes de la figure 1, pour procurer séquentiellement une marge de pluie supplémentaire aux stations terriennes qui sont soumises à une condition d'évanouissement.

On voit que dans la configuration de la figure 3 chaque
 20 faisceau étroit fixe de liaison montante 18_1-18_n est intercepté ou reçu par les antennes respectives 12_1-12_n , tandis que chaque faisceau étroit fixe de liaison descendante 13_1-13_n est émis par les antennes respectives 12_1-12_n . On notera que les antennes 12_1-12_n peuvent être formées par n'importe quelle structure d'antenne appropriée capable de
 25 recevoir ou d'émettre chacun des faisceaux étroits fixes respectifs 18_1-18_n et 13_1-13_n , cette structure consistant par exemple en un seul réflecteur ayant l'ouverture nécessaire pour couvrir toutes les zones géographiques associées aux faisceaux étroits fixes, et un cornet séparé pour chaque faisceau étroit fixe, placé dans le plan focal du
 30 récepteur à un point auquel le faisceau étroit fixe associé est focalisé par le réflecteur.

Conformément à un mode de réalisation de l'invention, les signaux de liaison montante qui sont reçus simultanément par l'inter-
 35 médiaire des faisceaux étroits fixes 18_1-18_n forment des signaux d'entrée séparés sur des conducteurs respectifs 20_1-20_n et ils sont appliqués à des récepteurs respectifs 22_1-22_n qui les appliquent eux-mêmes à une matrice de commutation temporelle 24. Ces signaux d'entrée sont commutés simultanément et sélectivement par la matrice de

commutation spatiale et temporelle 24, sous l'action de signaux de commande présents sur un bus 26 qui proviennent d'un circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation, 28, pour être appliqués sur le conducteur de sortie approprié 30_1-30_n afin d'être émis par des émetteurs amplificateurs respectifs 32_1-32_n .

La matrice de commutation temporelle 24 peut être constituée par n'importe quelle matrice de commutation appropriée capable de réaliser une commutation rapide en consommant une puissance relativement faible. A titre d'exemples d'éléments de commutation ayant les caractéristiques désirées, on peut citer, par exemple, les éléments de commutation micro-ondes bien connus qui comprennent, entre autres, l'élément de commutation à diode semiconductrice (PIN) et l'élément de commutation à verrouillage magnétique.

Conformément à un mode de réalisation de l'invention, les signaux de sortie des émetteurs amplificateurs 32_1-32_n sont appliqués à des éléments de commutation respectifs 34_1-34_n qui ont pour fonction d'appliquer ces signaux de sortie soit directement aux antennes respectives 12_1-12_n , soit à des entrées séparées d'un circuit de combinaison de puissance 36, sous la dépendance de signaux de commande présents sur le bus 26 qui proviennent du circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation, 28. Le circuit de combinaison de puissance 36 additionne la puissance des signaux d'entrée et produit un signal de sortie qui est représentatif de cette combinaison et qui est appliqué à l'entrée de chacun des éléments de commutation 38_1-38_n . Sous l'effet d'un signal de commande approprié présent sur le bus 26 et provenant du circuit 28, comme on le décrira ultérieurement de façon plus détaillée, l'un des éléments de commutation 38_1-38_n est fermé sélectivement pour que le signal de sortie provenant du circuit de combinaison de puissance 36 puisse être appliqué à l'antenne associée respective parmi les antennes 12_1-12_n .

Le circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation, 28, comprend un circuit d'horloge 42, un contrôleur de séquence de commutation 44 et une mémoire 46. Le circuit d'horloge 42 est synchronisé sur toutes les horloges du système situées dans les zones terrestres éloignées, par l'intermédiaire de signaux de télémessure transmis sur une liaison bidirectionnelle de transmission de données 48, à partir d'une ou de plusieurs des stations terriennes, pour permettre

la réception et l'émission effective de signaux au moyen du satellite répéteur 10, par l'intermédiaire de la matrice de commutation 24 et des éléments de commutation 34_1-34_n et 38_1-38_n . On peut réaliser la synchronisation des horloges du système en utilisant n'importe quelle

5 technique appropriée connue, consistant par exemple à employer des impulsions de synchronisation qui sont émises vers les diverses stations terriennes par l'intermédiaire de signaux de télémessure aller et retour qui transitent par le satellite répéteur 10. Le contrôleur de séquence de commutation 44 du circuit 28 engendre les signaux de

10 commande nécessaires pour interconnecter les conducteurs d'entrée et de sortie appropriés par l'intermédiaire des éléments de commutation de la matrice 24 et des éléments de commutation 34_1-34_n et 38_1-38_n pendant chaque intervalle de trame, sous la dépendance des signaux d'horloge synchronisés qui proviennent de l'horloge 42 et de la

15 séquence d'interconnexion désirée, représentative de la séquence de la figure 2, qui est enregistrée dans la mémoire associée 46. On peut engendrer les signaux de commande désirés en utilisant pour le séquenceur de commutation et pour la mémoire n'importe quels dispositifs rapides qui sont disponibles.

20 Conformément à un mode de réalisation de l'invention, lorsqu'aucune condition d'évanouissement n'existe pour les stations terriennes 16, le format de transmission AMRT normal de la figure 2 est employé et les intervalles élémentaires du groupe commun sont soit inutilisés pour l'acheminement de l'information, soit utilisés selon

25 une affectation à la demande pour augmenter d'une manière classique la capacité d'acheminement de trafic. Dans cette condition d'absence d'évanouissement pour toutes les stations 16, les signaux présents dans les intervalles élémentaires synchronisés des faisceaux de

liaison montante 18_1-18_n sont reçus simultanément par les antennes

30 12_1-12_n , ils passent par les récepteurs 22_1-22_n , ils sont commutés de façon appropriée par la matrice 24, sous la commande du circuit de séquence d'horloge et de contrôleur de commutation 28, conformément à la séquence de commutation qui est enregistrée dans la mémoire 46, pour

chaque intervalle élémentaire correspondant du format de trame, ils

35 passent par les émetteurs associés 32_1-32_n , et le circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation 28 positionne les éléments de commutation 34_1-34_n de façon à connecter directement les

sorties des émetteurs 32_1-32_n aux antennes respectives 12_1-12_n , afin d'émettre les signaux d'intervalles élémentaires de la trame, par les faisceaux de liaison descendante 13_1-13_n , vers les stations terriennes destinataires 16, dans les zones de couverture 14_1-14_n . Dans cette condition d'absence d'évanouissement, le circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation 28 maintient les éléments de commutation 38_1-38_n en position ouverte.

Lorsque l'une des stations terriennes 16 du système est sur le point de subir une condition d'évanouissement, cette station terrienne indique à la station terrienne maître, par la liaison de signalisation, que cet évanouissement est sur le point de se produire, et la station terrienne maître affecte un intervalle élémentaire correspondant distinct dans chacune des n séquences de trame simultanées, à partir du groupe commun d'intervalles élémentaires, pour chaque intervalle élémentaire qui est normalement destiné à cette station soumise à l'évanouissement dans la partie de format d'émission AMRT normale de la figure 2. La station maître signale alors la condition d'évanouissement à toutes les stations terriennes du système et leur indique quel est celui des intervalles élémentaires en réserve affectés qui sera utilisé pour les paquets d'intervalles élémentaires de chaque station qui sont adressés à la station soumise à l'évanouissement. La station maître met également à jour la mémoire 46 dans le circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation 28 du satellite 10, pour inclure les séquences de trame temporairement réaffectées pour la condition d'évanouissement.

Le fonctionnement est alors le suivant. En présence d'une condition d'évanouissement pour une station terrienne, le format d'émission AMRT normal est mis en oeuvre pour les intervalles élémentaires 1 à X au début de la période de trame de la figure 2, pour l'émission de l'information vers les stations qui ne sont pas soumises à un évanouissement. Plus précisément, les signaux de paquets d'intervalles élémentaires simultanés qui arrivent dans les faisceaux de liaison montante 18_1-18_n sont reçus par les antennes 12_1-12_n et passent par les récepteurs 22_1-22_n , la matrice de commutation 24, les émetteurs 32_1-32_n et les éléments de commutation 34_1-34_n pour être dirigés directement vers les antennes 12_1-12_n , par le circuit d'hor-

loge et de contrôleur de séquence de commutation 28, afin d'être émis dans les faisceaux de liaison descendante 13_1-13_n vers les stations terriennes destinataires 16 qui ne subissent pas un évanouissement.

Pendant chaque intervalle élémentaire qui est affecté à partir
 5 des intervalles élémentaires du groupe commun 1 à Y de la figure 2, dans chaque trame, pour l'émission par l'une des stations terriennes du système vers une station terrienne qui est soumise à une condition d'évanouissement dépassant la marge incorporée, seule la station émettrice qui est affectée à cet intervalle élémentaire émet son
 10 paquet d'intervalles élémentaires synchronisé destiné à la station terrienne soumise à l'évanouissement, dans son faisceau de liaison montante associé 18_1-18_n qui est dirigé vers le satellite 10. Dans le satellite, ce paquet d'intervalles élémentaire est reçu par l'antenne 12_1-12_n qui est associée au faisceau de liaison montante considéré et il est transmis à l'entrée de la matrice de commutation 24
 15 par le récepteur associé parmi les récepteurs 22_1-22_n . Du fait que la mémoire 46 du circuit d'horloge et de contrôleur de séquence de commutation 28 a été mise à jour par la station maître pour indiquer que pendant cette période d'intervalles élémentaires affectée on
 20 attend un paquet provenant de la station terrienne émettrice désignée et dirigé vers une station terrienne réceptrice particulière soumise à l'évanouissement, le contrôleur de séquence de commutation 44 fait en sorte que la matrice de commutation 24 dirige ce signal d'entrée unique vers chacun des conducteurs de sortie 30_1-30_n de façon qu'il
 25 soit émis simultanément par les émetteurs amplificateurs 32_1-32_n . Le contrôleur 44 fait également en sorte que les éléments de commutation 34_1-34_n dirigent les signaux de sortie des émetteurs 32_1-32_n vers le circuit de combinaison de puissance 36 et vers l'élément de commutation particulier 38_1-38_n qui est associé à l'antenne 12_1-12_n et au
 30 faisceau de liaison descendante 13_1-13_n relatifs à la station 16 qui est soumise à l'évanouissement.

A titre d'exemple, on considérera que la station 16 de la zone de couverture 14_n de la figure 1 a été soumise à un évanouissement et que la station maître a affecté les intervalles élémentaires 1 et 2
 35 parmi les intervalles élémentaires du groupe commun 1 à Y de la figure 2, pour l'émission d'un paquet d'intervalles élémentaire par la station 16 de la zone de couverture 14_1 et par l'une des stations 16

de la zone de couverture 14_2 , respectivement, vers la station soumise à l'évanouissement. Pendant l'intervalle élémentaire 1 des intervalles élémentaires du groupe commun, la station terrienne 16 de la zone de couverture 14_1 est la seule station terrienne émettant vers le satellite 10. Le paquet d'intervalles élémentaires qui est émis par la station 16 dans le faisceau de liaison montante 18_1 est reçu au satellite par l'antenne 12_1 et il est transmis au récepteur 22_1 , tandis que toutes les autres antennes et tous les autres récepteurs sont momentanément au repos. Le contrôleur 44 fait en sorte que la matrice de commutation 24 dirige simultanément ce signal de paquet d'intervalle élémentaire vers tous les conducteurs de sortie 30_1-30_n afin que la puissance de ce signal soit élevée de manière appropriée pour être émis par chacun des émetteurs amplificateurs 32_1-32_n . Le contrôleur 44 fait également en sorte que les signaux de sortie qui existent pendant l'intervalle élémentaire présent des émetteurs 32_1-32_n soient dirigés vers le circuit de combinaison de puissance 36 dans lequel les signaux provenant des émetteurs 32_1-32_n sont combinés pour donner un seul signal de sortie. De plus, le contrôleur 44 commande seulement la fermeture de l'élément de commutation 38_n de façon que le signal de sortie du circuit de combinaison de puissance 36 soit uniquement appliqué à l'antenne 12_n pour être émis dans le faisceau de liaison descendante 13_n vers la station 16 soumise à un évanouissement dans la zone de couverture 14_n .

De façon similaire, dans l'intervalle élémentaire 2 des intervalles élémentaires du groupe commun, la station terrienne 16 qui se trouve dans la zone de couverture 14_2 affectée à cet intervalle élémentaire émet son paquet d'intervalle élémentaire. Dans le satellite 10, ce paquet est reçu dans le faisceau de liaison montante 18_2 par l'antenne 12_2 et il est transmis par le récepteur 22_2 . Le contrôleur 44 fait en sorte que la matrice de commutation 24 dirige simultanément le signal de sortie du récepteur 22_2 vers tous les conducteurs de sortie 30_1-30_n , puis à partir d'eux vers les émetteurs 32_1-32_n et vers les entrées du circuit de combinaison de puissance 36. Le signal de sortie combiné qui provient du circuit de combinaison de puissance 36 est dirigé par le contrôleur 44 de façon à ne passer que par l'élément de commutation 38_n pour être émis

par l'antenne 12_n dans le faisceau de liaison descendante 13_n qui est dirigé vers la station 16 soumise à un évanouissement dans la zone de couverture 14_n . De cette manière, un seul signal d'entrée reçu par le satellite 10 est amplifié par tous les émetteurs 32 et les signaux
 5 amplifiés sont combinés pour donner une marge de 10 dB pour surmonter un évanouissement présent à une seule station terrienne 16.

On peut également appliquer la configuration de la figure 3 à un satellite 10 à plusieurs faisceaux étroits à balayage limité en remplaçant les antennes 12_1-12_n des liaisons montantes comme des
 10 liaisons descendantes par des antennes 12_1-12_n qui peuvent être dirigées par un dispositif de traitement de réseau (non représenté sur la figure 3) vers chacune des zones de couverture 14_1-14_n qui sont associées à chaque liaison montante et à chaque liaison descendante, conformément à un format de séquence de trame prédéterminé. La partie
 15 restante de la figure 3 serait pratiquement identique pour un tel satellite à plusieurs faisceaux étroits à balayage limité. On notera qu'on peut utiliser n'importe quelle structure d'antennes à balayage limité et n'importe quel ~~dispositif~~ ^{de traitement} de type convenable, pour diriger de façon appropriée les faisceaux à balayage limité associés.

20 Dans un système caractéristique de télécommunications par satellite à plusieurs faisceaux étroits à balayage non limité, le répéteur de satellite de type caractéristique peut se présenter sous la forme qui apparaît sur la figure 4 et qui est décrite dans l'article "Efficient Utilization of Satellite Transponders Via Time Division
 25 Multibeam Scanning" par A.S. Acampora et col., paru dans The Bell System Technical Journal, Vol. 57, N° 8, octobre 1978, pages 2901-2914. Dans la configuration de la figure 4, et dans les conditions normales, n signaux simultanés de liaison montante sont reçus par E éléments d'antenne de réception 50_1-50_E à partir de stations ter-
 30 riennes distantes et mutuellement espacées. Les signaux qui sont reçus par chaque élément 50_1-50_E sont divisés en n parties égales et chaque partie de signal divisé est appliquée à un déphaseur particulier dans un groupe de n déphaseurs 52_1-52_E . Un contrôleur de phase 54 utilisant les affectations d'intervalles élémentaires du type AMRT qui sont
 35 enregistrées dans une mémoire 55, pouvant être mise à jour par l'inter-

médiaire d'une liaison bidirectionnelle de transmission de données vers la station maître, émet des signaux de commande synchronisés sur un bus 56 pour commander les déphaseurs correspondants $52_1, 52_2 \dots 52_n$ dans chacun des E groupes de déphaseurs, de façon qu'ils ne reçoivent que
 5 l'un des n signaux possibles reçus par l'élément d'antenne associé $50_1 - 50_E$. Les signaux qui proviennent des déphaseurs correspondants parmi les déphaseurs $52_1, 52_2 \dots, 52_n$, dans chacun des E groupes, sont ensuite combinés et appliqués sous la forme d'un signal d'entrée à un transpondeur particulier parmi n transpondeurs $58_1 - 58_n$.

10 Inversement, le signal de sortie de chacun des n transpondeurs $58_1 - 58_n$ est divisé en E parties et chaque partie est appliquée à un déphaseur particulier correspondant parmi n déphaseurs $60_1, 60_2, \dots 60_n$, dans chaque groupe parmi E groupes de déphaseurs. Les signaux de sortie des n déphaseurs $60_1 - 60_n$ dans chacun des E groupes de déphaseurs sont
 15 ensuite combinés et appliqués en tant que signal d'entrée à un élément d'antenne particulier parmi E éléments d'antenne $64_1 - 64_E$. Pour engendrer les n faisceaux de liaison descendante, le contrôleur de phase 54 émet également des signaux de commande synchronisés sur un bus 62, pour faire en sorte que les déphaseurs correspondants $60_1, 60_2 \dots, 60_n$ dans
 20 les E groupes de déphaseurs introduisent un déphasage prédéterminé dans le signal qui les traverse au cours de chaque intervalle élémentaire, afin que le signal correspondant soit émis par les E éléments d'antenne $64_1 - 64_E$ pour former un front d'ondes plan qui est dirigé vers une zone de couverture distincte particulière, conformément au format de trame
 30 prédéterminé qui est enregistré dans la mémoire 55.

Un système de télécommunications par satellite à plusieurs faisceaux étroits à balayage non limité tel que celui qui est représenté à titre d'exemple sur la figure 4 pourrait facilement être adapté de façon à procurer une marge d'évanouissement par la pluie, conformément
 35 à l'invention. Plus précisément, un format de trame caractéristique tel que celui qui est représenté sur la figure 2 serait enregistré dans la mémoire d'affectation d'intervalles élémentaires du type AMRT, 55, et mis à jour de la manière nécessaire par la liaison bidirectionnelle de transmission de données vers une station maître, afin de réaffecter les intervalles élémentaires du groupe commun au fur et à mesure que des stations terriennes entrent dans une condition d'évanouissement ou

sortent d'une telle condition. Conformément à un mode de réalisation de l'invention, pendant la partie de format normal, représentée sur la figure 2, d'une émission AMRT, le répéteur du satellite reçoit simultanément n paquets d'information pendant chaque intervalle élémentaire, par les éléments d'antenne 50_1-50_E , pour les répartir par les E groupes de n déphaseurs 52_1-52_n , sous l'effet de signaux de commande appropriés que le contrôleur de déphaseur 54 applique aux n transpondeurs 58_1-58_n , comme il a été indiqué précédemment de façon générale. Les signaux de sortie des transpondeurs 58_1-58_n sont répartis vers les groupes correspondants associés parmi les E groupes de n déphaseurs 60_1-60_n , dans lesquels les phases sont réglées sous l'action de signaux de commande appropriés qui proviennent du contrôleur 54, pour faire en sorte que les E éléments d'antenne 64_1-64_E engendrent n faisceaux dirigés dans n directions différentes vers les n stations terriennes de destination, de la manière qui a été indiquée précédemment de façon générale.

Pendant un intervalle élémentaire associé à la zone commune d'intervalles élémentaires de la figure 2 qui a été affecté pour l'utilisation dans la transmission entre deux stations, l'une de ces stations, ou les deux, étant soumises à une condition d'évanouissement, le contrôleur de phase 54 mettrait en oeuvre la technique de l'invention en émettant des signaux de commande sous l'effet desquels chaque déphaseur 52_1-52_n et 60_1-60_n de chaque groupe de déphaseurs dirigerait les n faisceaux formés par ces déphasages individuels dans les déphaseurs correspondants des E groupes vers les stations terriennes émettrices et réceptrices qui sont affectées à cet intervalle élémentaire du groupe commun. De cette manière, le paquet de la station terrienne unique qui a été désignée pour émettre pendant un intervalle élémentaire du groupe commun est reçu par les éléments d'antenne 50_1-50_E et est dirigé par les E groupes de n déphaseurs vers les n transpondeurs 58_1-58_n pour être traité simultanément. Ce même signal présent sur les sorties des n transpondeurs est ensuite transmis aux E groupes de n déphaseurs dans lesquels les phases sont réglées de façon appropriée sous l'effet de signaux de commande provenant du contrôleur 54, pour faire en sorte que les éléments d'antenne 64_1-64_E émettent n fronts de phase plans, tous dirigés vers la même station terrestre réceptrice soumise à un évanouissement.

Il faut noter que les modes de réalisation décrits ci-dessus ne constituent que des exemples de mise en oeuvre des principes de

l'invention. L'homme de l'art pourra apporter diverses autres modifications et changements correspondant à la mise en oeuvre des principes de l'invention et entrant dans le cadre de celle-ci. Il faut en outre noter qu'on peut utiliser l'invention isolément, pour obtenir par
 5 exemple une marge de pluie de 10 dB, ou en association avec des techniques de codage destinées à l'extension des paquets, pour obtenir par exemple 20 dB de marge de pluie supplémentaire. Le seul critère conforme à l'invention consiste en ce que la puissance de plusieurs émetteurs du satellite est combinée et utilisée pour l'émission vers
 10 une station terrienne réceptrice particulière, pour surmonter, par exemple, la condition d'évanouissement.

Il faut de plus noter que ce n'est que dans un but d'exposition et de simplification de la présentation, et non dans un but de limitation, que la description ci-dessus concernant l'utilisation d'intervalles élémentaires simultanés provenant du groupe commun d'intervalles élémentaires de la figure 2 a porté sur le passage simultané par
 15 l'ensemble des n émetteurs 32_1-32_n de la figure 3 ou l'ensemble des n transpondeurs 58_1-58_n de la figure 4, d'un signal provenant d'une station terrienne émettrice, dans le but d'émettre ce signal dans un seul faisceau effectif de liaison descendante vers une station terrienne réceptrice désignée. L'homme de l'art appréciera facilement qu'on peut facilement modifier la configuration des figures 3 et 4, ainsi que les stations terriennes, pour que les signaux de liaison montante provenant de plus d'une station terrienne émettrice puissent être reçus simultanément par les antennes 12_1-12_n de la figure 3 ou 50_1-50_E de la figure
 25 4, chaque signal de liaison montante reçu simultanément étant dirigé vers une partie distincte des différents émetteurs 32_1-32_n de la figure 3 par la matrice 24 ou vers une partie distincte des transpondeurs 58_1-58_n par les déphaseurs 52_1-52_n , la puissance provenant de chacune des parties distinctes des émetteurs ou des transpondeurs étant dirigée
 30 dans un faisceau distinct effectif de liaison descendante vers une station terrienne réceptrice distincte désignée, pour s'adapter, par exemple, au cas d'évanouissements partiels dans plusieurs stations et pour constituer un système plus efficace.

35 Pour mettre en oeuvre une telle possibilité, chaque station terrienne comprendrait un détecteur d'évanouissement qui est un élément bien connu. Ce détecteur d'évanouissement mesurerait la profondeur de l'évanouissement se produisant à chaque instant, et lorsqu'une

profondeur d'évanouissement prédéterminée aurait été mesurée, la station considérée signalerait à la station terrienne maître l'existence de cet évanouissement partiel et la profondeur indiquée de l'évanouissement, qui serait mise à jour périodiquement au fur et à mesure de l'augmentation ou de la diminution de la profondeur d'évanouissement. La station terrienne maître déterminerait alors, par exemple à l'aide d'une table dans une mémoire d'ordinateur, le nombre exact d'émetteurs 32 de transpondeurs 58 qui seraient nécessaires pour obtenir une puissance combinée suffisante afin de surmonter cette condition d'évanouissement partiel. La station terrienne maître affecterait alors à chaque émission vers cette station terrienne subissant un évanouissement partiel des intervalles élémentaires en réserve, provenant du groupe commun, ces intervalles élémentaires permettant d'utiliser le nombre déterminé d'émetteurs ou de transpondeurs en réserve. Cette affectation des intervalles élémentaires du groupe commun serait émise vers chacune des stations terriennes affectées et vers le satellite et, en outre, l'identification des émetteurs ou des transpondeurs particuliers à utiliser au cours de chaque intervalle élémentaire du groupe commun serait émise vers les contrôleurs 44 ou 54 par l'intermédiaire de la liaison bidirectionnelle de transmission de données 48 pour être enregistrée respectivement dans la mémoire 46 ou la mémoire 55. D'autres stations terriennes soumises simultanément à une condition d'évanouissement partiel pourraient être affectées de façon similaire aux émetteurs ou aux récepteurs au repos ou non affectés, au cours de chacun des intervalles élémentaires du groupe commun, pour permettre de desservir simultanément plusieurs stations terriennes subissant un évanouissement partiel, donnant ainsi un système plus efficace dans lequel la puissance des émetteurs ou des transpondeurs est affectée de manière idéale en fonction des besoins. Les circuits permettant de mettre en oeuvre une telle modification sont bien connus et on peut utiliser n'importe quelle configuration appropriée.

Du fait que la figure 3 représente seulement un satellite capable de diriger n signaux de liaison montante vers n faisceaux de liaison descendante, ou un signal de liaison montante vers l'ensemble des émetteurs 32_1-32_n , puis vers un faisceau de liaison descendante, la modification suivante serait nécessaire pour permettre la prise en

compte de conditions simultanées d'évanouissement partiel à plusieurs stations terriennes. Tout d'abord, plusieurs circuits de combinaison de puissance 36 et éléments de commutation 38_1-38_n seraient placés en parallèle, tandis que les éléments de commutation 34_1-34_n seraient
 5 remplacés par une matrice de commutation capable de diriger le signal de sortie de chacun des émetteurs 32_1-32_n , soit directement vers l'antenne 12_1-12_n associée, soit vers l'entrée du circuit de combinaison approprié, sous la commande du contrôleur 44. Le contrôleur 44 fermerait également l'élément de commutation approprié du groupe d'élé-
 10 ments de commutation 38_1-38_n qui est associé à chaque circuit de combinaison de puissance utilisé, pendant chaque intervalle élémentaire du groupe commun. Il suffit que le contrôleur de phase 54 de la figure 4 applique les signaux de commande de phase appropriés aux déphaseurs 52_1-52_n de chaque groupe, et de façon similaire aux déphaseurs 60_1-60_n
 15 de chaque groupe, pour diriger chacun des deux, ou plus, signaux de liaison montante reçus simultanément vers la partie affectée des transpondeurs 58_1-58_n puis ensuite vers le faisceau directionnel de liaison descendante approprié, pour desservir simultanément plus d'une station soumise à un évanouissement partiel, dans chaque intervalle
 20 élémentaire du groupe commun.

On peut, de plus, modifier la configuration de la figure 4 pour supprimer les n transpondeurs 58_1-58_n des positions représentées et, à la place, connecter directement les circuits de combinaison et les diviseurs associés et placer directement E éléments d'amplification
 25 dans les E chemins entre les E circuits de combinaison et les E accès d'antenne de liaison descendante 64_1-64_E , respectivement, comme il est représenté par exemple sur la figure 1 de la communication "Digital Error Rate Performance of Active Phased Array Satellite Systems", par A. Acampora, AP-S International Symposium Record, 11-15 octobre
 30 1976, présentée à l'université du Massachusetts à Amherst, Mass., Session 10B, pages 339-342.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif décrit et représenté, sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Configuration de satellite, comprenant : plusieurs accès d'antenne de liaison montante, capables de recevoir jusqu'à n paquets d'intervalles élémentaires simultanés pendant chaque intervalle de
 - 5 paquet d'un format de trame, à partir de stations distinctes et mutuellement distantes, plusieurs accès d'antenne de liaison descendante, capables d'émettre vers une station de destination appropriée chacun des paquets d'intervalles élémentaires reçus simultanément; des
 - 10 res reçus, entre les accès d'antenne appropriés de liaison montante et de liaison descendante; un groupe d'éléments d'amplification branchés aux moyens de direction, chaque élément d'amplification étant placé de façon à amplifier les paquets d'intervalles élémentaires reçus qui sont dirigés vers lui par les moyens de direction, avant
 - 15 de les appliquer à l'accès d'antenne de liaison descendante approprié; et un contrôleur capable d'engendrer des signaux de commande qui sont appliqués aux moyens de direction pour faire en sorte que ceux-ci commutent de façon appropriée les paquets d'intervalles élémentaires reçus pendant chaque intervalle de paquet du format de trame, entre
 - 20 les accès d'antenne de liaison montante et de liaison descendante appropriés, par l'intermédiaire du groupe d'éléments d'amplification, caractérisée en ce que le contrôleur (28) comprend des moyens capables de produire à la fois (a) des premiers signaux de commande qui sont appliqués aux moyens de direction (24) pendant certains intervalles
 - 25 élémentaires prédéterminés du format de trame, pour faire en sorte que les moyens de direction commutent chaque paquet d'un groupe de n paquets d'intervalles élémentaires reçus simultanément sur les accès d'antenne de liaison montante, en les faisant passer par le groupe d'éléments d'amplification (32_1-32_n), pour qu'ils soient émis par les
 - 30 accès d'antenne de liaison descendante dans un faisceau distinct parmi un groupe de n faisceaux de liaison descendante (13_1-13_n) vers une station de destination distincte, et (b) des seconds signaux de commande qui sont appliqués aux moyens de direction pendant les intervalles élémentaires prédéterminés restants du format de trame,
 - 35 pour faire en sorte que les moyens de direction commutent chacun des r paquets d'intervalles élémentaires de liaison montante reçus simultanément, avec $r < n$, entre les accès d'antenne de liaison mon-

- tante et de liaison descendante, d'une manière telle que chacun des r signaux de paquets d'intervalles élémentaires soit amplifié par le groupe d'éléments d'amplification jusqu'à un niveau supérieur à celui qui est normalement établi pour chaque faisceau parmi n faisceaux
- 5 simultanés, avant que chacun des r paquets d'intervalles élémentaires soit dirigé vers une station distincte parmi r stations de destination.
2. Configuration de satellite selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'elle comprend en outre : des moyens de combinaison de puissance (36) capables de combiner la puissance de signaux qui sont
- 10 appliqués simultanément à n'importe quelle partie de n bornes d'entrée de ces moyens, pour faire apparaître la puissance combinée sur une borne de sortie de ces moyens; des premiers moyens de commutation (34_1-34_n) capables de commuter (a) chacun des signaux de sortie du groupe de n éléments d'amplification (32_1-32_n) pour les appliquer
- 15 directement à un accès distinct parmi les n accès d'antenne de liaison descendante, sous la dépendance des premiers signaux de commande provenant du contrôleur (28), et (b) chacun des signaux de sortie provenant de n'importe quelle partie du groupe de n éléments d'amplification (32_1-32_n), pour les appliquer à une borne distincte parmi les bornes
- 20 d'entrée des moyens de combinaison de puissance (36), sous la dépendance des seconds signaux de commande provenant du contrôleur; et des seconds moyens de commutation (38_1-38_n) qui sont branchés à la sortie des moyens de combinaison de puissance (36) et qui réagissent aux seconds signaux de commande provenant du contrôleur (28) en dirigeant
- 25 sélectivement le signal de sortie des moyens de combinaison de puissance vers un accès désiré parmi les accès d'antenne de liaison descendante.
3. Configuration de satellite selon la revendication 1, dans laquelle chacun des groupes d'accès d'antenne de liaison montante et
- 30 de liaison descendante (50_1-50_E et 64_1-64_E) comprend E accès d'antenne formant un réseau de phase, caractérisée en ce que les moyens de direction comprennent : un premier groupe de n déphaseurs (52_1-52_n) associés à chacun des accès d'antenne de liaison montante, les déphaseurs correspondants dans chaque premier groupe réagissant (a) aux
- 35 premiers signaux de commande provenant du contrôleur pour permettre que n signaux reçus à partir de n directions de paquets au réseau de

phase de liaison montante soient dirigés vers le groupe d'éléments d'amplification (58_1-58_n) puis ensuite vers le groupe d'accès d'antenne de liaison descendante, et (b) aux seconds signaux de commande provenant du contrôleur pour permettre qu'un signal reçu à partir de

5 chacune de r directions au réseau de phase de liaison montante soit dirigé vers le groupe d'éléments d'amplification, afin d'être amplifié jusqu'à un niveau supérieur à celui de chaque signal parmi n signaux reçus simultanément; et un second groupe de n déphaseurs (60_1-60_n) associés à chacun des accès d'antenne de liaison descendante

10 te, les déphaseurs correspondants dans chaque second groupe réagissant (a) aux premiers signaux de commande provenant du contrôleur de façon à permettre que le signal de sortie provenant de chacun des éléments d'amplification du groupe d'éléments d'amplification soit émis sélectivement par le réseau de phase de liaison descendante

15 dans une direction différente, vers une station distincte parmi les différentes stations terriennes, et (b) aux seconds signaux de commande provenant du contrôleur pour permettre que chacun des r signaux amplifiés de paquets d'intervalles élémentaires soit émis sélectivement par le réseau de phase de liaison descendante dans des faisceaux

20 dirigés vers r stations terriennes distinctes désirées.

FIG. 1

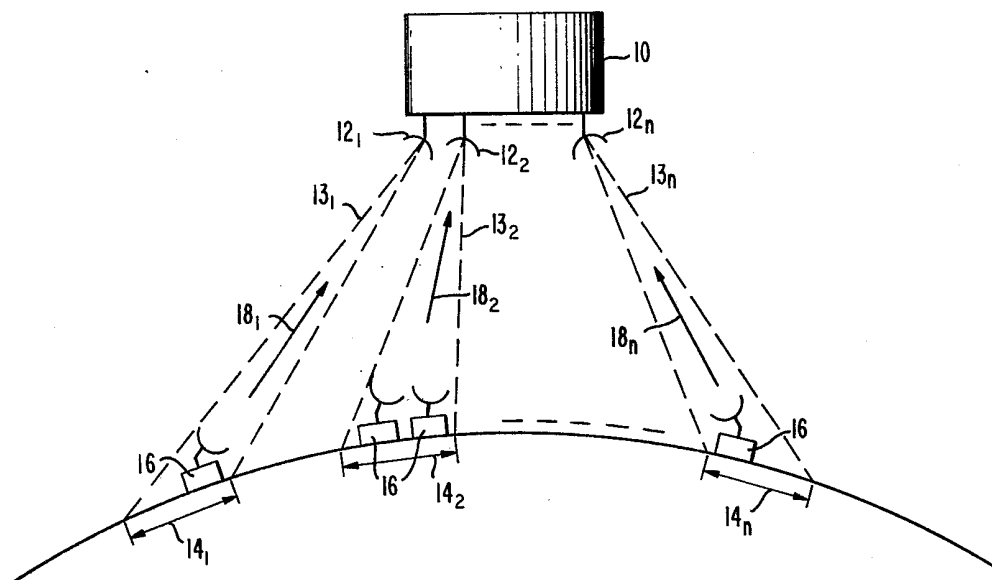


FIG. 2

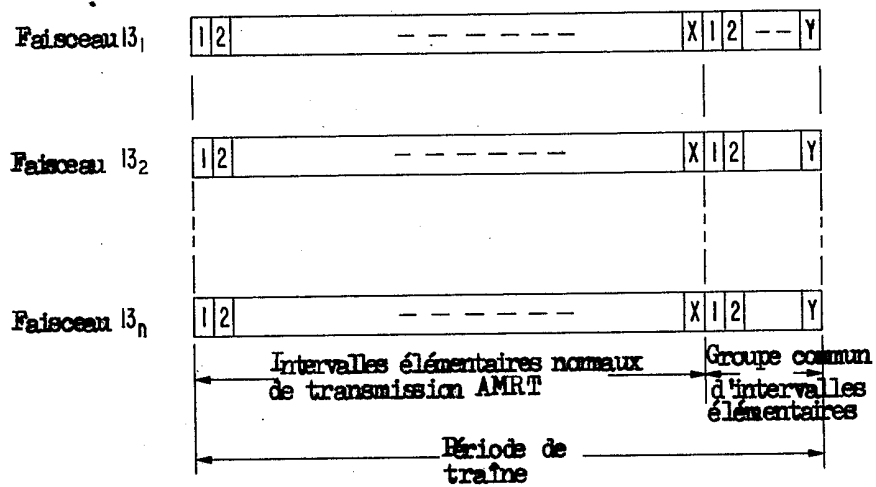


FIG. 4

