HAL
open science

Un système de transmission hyperfréquence d'images et de données numériques pour le télécontrôle d'engins mobiles en milieux confinés

Dominique Charpentier, Philippe Villeneuve de Janti, Pierre Degauque

To cite this version:

Dominique Charpentier, Philippe Villeneuve de Janti, Pierre Degauque. Un système de transmission hyperfréquence d'images et de données numériques pour le télécontrôle d'engins mobiles en milieux confinés. Colloque ORIA "La télérobotique en milieux hostiles : les grands verrous technologiques", Dec 1991, Marseille, France. p.441-450. ineris-00971835

HAL Id: ineris-00971835

https://ineris.hal.science/ineris-00971835

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UN SYSTEME DE TRANSMISSION D'IMAGES ET DE DONNEES EN HYPERFREQUENCE POUR LE TELECONTROLE D'ENGINS MOBILES EN MILIEUX CONFINES

*Dominique CHARPENTIER - *Philippe VILLENEUVE DE JANTI - **Pierre DEGAUQUE

* Ineris - **Université des Sciences et techniques de Lille

ABSTRACT

Remote control of mobile machines in hazardous areas requires capabilities of video and data transmission to a remote control station, without any cable link.
Classical radio transmission techniques are inoperable or subject to unacceptable propagation problems created by the small size of galleries and the presence of massive metallic obstacles.
The use of leaky feeder systems known to be particulary applicable in fixed environments cannot be foreseen in a continous remodelling taking place.
So, INERIS has developed for telerobotics applications in confined or lumbered environments, a video and data transmission system based on microwaves technology.
We undertook a research program, in collaboration with the Université des Sciences et Techniques de Lille to study the applicability of wireless transmission in the microwave domain. The problem of confined environment transmission was then approached assuming longwalls and galleries to be oversized wave guides.
Several in situ test campains were conducted in order to caracterize fading phenomena, and to define the best transmitting frequency. Fading problems are solved making use of diversity reception on multiple antennas (two channels of reception) and signal processing by microprocessor in the receiver. The spatial diversity reception technique is used to eliminate poor or even signal loss at a specific location, then reducing image losses. The channel selection criterion is a determining factor in ensuring transmission quality system analyses in real time the transmission quality, and evaluates instantaneously if it is necessessary to swith over to other channel.
Patch antennas are integrated to the equipment, the antennas directivity achieving a proper decorrelation. Their design allows for a very compact size of the receiver unit, and thereby practically eliminates damage risks.
The system is at the prototype stage. Emitter is waterproof and accepts any CCD cameras (CCIR and NTSC). The radiated power is 250 mw. The system can transmit video pictures and/or digital data at 19200 bit/s.
A 2000 meters effective transmission range was achieved in the Canadian potash mines, with good quality images even though multiple reflexions and diffractions phenomena did occur.
Other than those applications revolving around the remote control of underground machines (mining machines, inspection of sewage conduits, high pressure water tunnels), this microwave transmission system has a definitie potential for remote vision applications on mobiles working in dangerous or perturbed locations.

Le télécontrôle d'engins mobiles en milieux encombrés ou confinés comme les chantiers miniers ou de génie-civil pose le difficile problème de la transmission hertzienne à haut débit, alors que l'usage de câbles spécialisés s'avère hasardeux en raison des risques de rupture ou d'arrachement.
Les systèmes de télécommande radio pour machines minières n'ont en général que des portées de quelques dizaines de mètres. Les techniques radio classiques sont inopérantes ou soumises à des aléas de propagation inacceptables sur des distances supérieures, compte-tenu des faibles ouvertures des chantiers et de la présence d'importants obstacles métalliques faisant écran.
Enfin, l'utilisation des câbles porteurs d'ondes ou "rayonnants", particulièrement riche d'applications en environnement stable, est également inenvisageable quand l'environnement n'a pu être préparé à cet effet, ou bien est constamment modifié ou remodelé par l'activité qui s'y déroule.
Pour toutes ces raisons, l'INERIS a reconsidéré, en collaboration avec l'USTL-FA, le problème de la transmis-

"ORIA 91", Marseille, 11-12 décembre 1991, pp. 441-450

sion hertzienne en milieux confinés. L'analyse des phénomènes physiques montre que la galerie est un guide d'onde surdimensionné, qui peut être traité par la théorie des rayons, les ondes se réfléchissent alors sur les parois comme des rayons optiques.
Nous avons donc défini dans une première phase la fréquence adaptée à ce canal de transmission.

I. Choix de la fréquence de transmission

Le choix de la fréquence de transmission s'appuie sur des simulations numériques et des mesures de champ électromagnétique effectuées in situ. Un logiciel de calcul du champ électrique en tout point de la galerie a été développé par l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Le champ reçu par une antenne est la somme d'une infinité de rayons dont l'amplitude est fonction du nombre de réflexions sur les parois de la galerie, ainsi le champ fluctue beaucoup lorsque l'émetteur est proche du récepteur. En s'éloignant de l'émetteur, seul les rayons rasants ont encore un poids important ce qui entraîne des fluctuations moins importantes. Ce modèle mathématique nous a permis de comprendre les phénomènes physiques ; toutefois de nombreuses campagnes d'essais et de mesures in situ dans les galeries minières se sont avérées nécessaires pour définir la fréquence et le type d'antenne les mieux adaptées. Ces mesures ont permis de mettre en évidence les phénomènes de diffraction causés par l'irrégularité des parois et par les objets métalliques (piles de soutènement) qui modifient considérablement le champ reçu.
La figure 1 montre un opérateur déplaçant un émetteur hyperfréquence dans un chantier minier. Les figures 2 et 3 illustrent bien les problèmes de radiopropagation rencontrés ainsi que les effets du choix de la polarisation de l'onde, compte tenu de la géométrie des obstacles. L'atténuation linéïque moyenne est nettement moins importante en mode de polarisation parallèle à la plus grande dimension de la galerie et perpendiculaire aux obstacles métalliques (piles de soutènement).
D'autres essais ont également permis d'effectuer les premières mesures de taux d'erreur en transmission numérique à 10 GHz. On vérifie qu'il y a coïncidence entre les zones d'erreurs en transmission numérique et les zones d'affaiblissement du champ reçu. Les erreurs apparaissent par paquets de bits.
Ces mesures ont permis de mettre en évidence deux paramètres caractéristiques du canal de transmission permettant de choisir la fréquence de transmission. Il s'agit de l'atténuation linéïque et la pseudo-fréquence d'apparitions des évanouissements de signal.
La galerie ayant les caractéristiques d'un filtre passe haut, la fréquence la mieux adaptée est la fréquence la plus élevée possible techniquement, mais telle que les phénomènes de diffraction ne deviennent pas prédominants (évanouissements de plus en plus fréquents en très haute fréquence). L'atténuation linéïque d'une galerie de 8 m2 de section est de 60 db/100 m à 1 GHz, et de 37 db/100 m à 10 GHz.
La polarisation du champ électrique ainsi que la rugosité des parois furent prises en compte dans la simulation numérique permettant de reproduire les ordres de grandeurs des effets d'atténuation du signal et des pseudo périodes d'évanouissement.
En conclusion, nous avons retenu une fréquence de 2,5 GHz qui permet de réaliser une transmission dans un chantier d'abattage (quelques centaines de mètres), ainsi qu'une transmission dans une galerie de plus grande taille sur plusieurs kilomètres.
Compte tenu des caractéristiques des taux d'erreurs en transmission numérique, nous avons choisi, dans une seconde phase, de réaliser une transmission d'image vidéo en modulation de fréquence analogique pour valider le principe, dans une troisième phase nous ajoutons un canal numérique pour les télémesures.

II. RECEPTION EN DIVERSITE D'ESPACE

Afin de s'affranchir des trous de propagation, on utilise la technique de réception en diversité d'espace.
Il s'agit de rendre minimale la probabilité d'avoir un trou de propagation simultanément sur deux antennes réceptrices, ce qui permet d'éliminer les effets de fluctuation du champ reçu (figure 4.). Les paramètres importants sont donc la décorrélation entre les antennes et le critère de sélection de la meilleure voie.
En agissant sur la directivité des antennes, on parvient à décorréler les 2 voies tout en réalisant un récepteur compact contrairement à la diversité classique où il est nécessaire d'éloigner les 2 antennes d'au moins 10 longueurs d'ondes. Le récepteur présenté figure 5 montre un système d'antennes avec une antenne dépointée de 10 degrés.
Les antennes plaquées utilisent la technique de mise en réseau d'éléments émetteurs plans de petites dimensions et sont particulièrement bien adaptées à la réalisation d'équipements très compacts pouvant être montés sur des engins mobiles. Le diagramme de rayonnement est fonction de la géométrie des éléments rayonnants, ce qui a permis d'optimiser le rayonnement des antennes afin d'exciter correctement le guide d'onde que constitue la galerie. Les antennes sont très directives dans un plan et peu directives dans l'autre plan.

III. TELETRANSMISSION D'IMAGES VIDEO

L'émetteur hyperfréquence est constitué d'un synthétiseur de fréquence à 2,5 GHz, d'un amplificateur (puissance de sortie 0,25 watt) et d'une antenne plane. L'ensemble est en coffret étanche, de dimension 25 x 10 x 8 cm avec l'antenne intégrée.

L'occupation spectrale est de 5 MHz avec un indice de modulation assurant une bonne qualité d'image tout en respectant la bande de cohérence. En effet, en modulation de fréquence, la bande spectrale est limitée par les retards de propagations des nombreux rayons réfléchis sur les parois du tunnel, ce qui limite la portée de la transmission ou la quantité d'information à transmettre par canal.

On peut donc recevoir un signal d'amplitude importante sur un récepteur et ne pas pouvoir démoduler ce signal qui est la somme de tous ces rayons déphasés dans le temps ; ce qui nous a conduit à définir un critère de choix particulier pour la sélection d'image en diversité.

L'équipement de réception est constitué de 2 récepteurs radiofréquences identiques et d'un sélecteur de voie. Chaque récepteur est constitué d'une chaine d'amplificateur et d'un démodulateur à boucle à verrouillage de phase.

Les signaux vidéo démodulés sont ensuite traités afin d'en extraire les divers signaux de synchronisation pour être analysés en temps réel par un système à microprocesseurs qui sélectionne la meilleure voie de récepteur. Les critères de sélection de voie peuvent donc être adaptés au type d'application par simple modification logicielle et peuvent être modifiés instantanément lors de la réception.

De nombreux systèmes ont comme critère l'amplitude du signal reçu sur chaque antenne, la fonction de sélection de voie commutant alors sur la voie ou le champ est maximum. Nous avons réalisé une fonction de sélection de voie intelligente qui prend en compte la nature du signal transmis. Une image ayant un caractère périodique (succession de lignes de 64 µs), le système à microprocesseur teste la qualité du signal de synchronisation ligne et évalue après quelques lignes s'il est nécessaire de changer de voie. Une image étant constituée de 625 lignes, la perte de quelques lignes est donc à peine visible.

La figure 6. montre l'ensemble caméra émetteur-récepteur de la télétransmission d'images vidéo.

IV. TELETRANSMISSION DE DONNEES NUMERIQUES

Pour transmettre toutes les informations nécessaires au télécontrôle d'un engin, un canal de données numériques a été associé à la transmission vidéo par multiplexage fréquentiel. Les données numériques sont transmises à une fréquence de 8 MHz en codage biphase avec un débit de 19200 bits/s. La figure 7. montre l'architecture de l'émetteur et du récepteur.

Comme pour la transmission vidéo, la réception des données numériques se fait en diversité, les critères de sélection de voie sont plus simples et s'appuient sur le codage de l'information. La difficulté pour ce type de transmission est la resynchronisation très rapide de l'information après un évanouissement du signal reçu, ce qui a été résolu par une transmission redondante du bit de "Start"..

Les données numériques à transmettre sont réparties en 16 voies logiques, 8 voies analogiques et une liaison informatique série. Selon le nombre de mesures à transmettre, on définit la nature du message ce qui permet de transmettre un message issu de nombreux capteurs avec une scrutation lente ou peu de capteurs échantillonnés très rapidement.

La redondance par la réception en diversité, par opposition à une redondance temporelle permet d'avoir un système correcteur d'erreurs, sans réduire le débit numérique.

V. RESULTATS

Les premiers essais sur site de transmission d'images vidéo dans une mine image ont montré que la portée utile de la transmission est supérieure à 300 mètres dans une galerie de 10 m2 de section encombrée d'obstacles métalliques. La réception en diversité atténue fortement les sauts d'images (figure 8.).

Des essais ultérieurs dans plusieurs mines de potasse au Saskatchewan (Canada) ont montré qu'il est possible de transmettre une image sur 2 kilomètres dans des galeries de plus grande section sans sauts d'images, en dépit de nombreuses variations du niveau du sol, telles qu'au delà de 100 m, l'émetteur n'était plus en vue directe du récepteur.

Le signal subit une atténuation importante après le passage d'une courbure à 90° de la galerie mais reste encore exploitable ; la transmission sur les quelques premiers mètres après la courbure est fortement perturbée, puis redevient stable par la suite.

En conclusion, ce système apparait particulièrement bien adapté à l'environnement des chantiers souterrains, par la réalisation et la compacité de l'électronique embarquée.

Au-delà des applications pour le télécontrôle d'engins de chantiers souterrains (mines, génie-civil) l'INERIS a développé ce système en vue d'applications de vision et de télécontrôle à distance pour des mobiles se déplaçant dans des environnements perturbés et évolutifs (intervention sur sites accidentés, chantiers mobiles, ...).

VI. REMERCIEMENTS

Un certain nombre de ces travaux ont bénéficiés de l'aide de la Commission des Communautés Européennes.
Les nombreux essais et campagnes de mesures en mines souterraines ont été réalisés grâce à la collaboration de l'Unité des Services Techniques de Charbonnages de France.

RÉFÉRENCES

1 -Colloquium on "propagation in confined spaces and tunnels" organised by IEE group Antennes and Propagation. 1986.

2 -REMY - CUEUGNIET - SIBEN
Systèmes de radiocommunications avec les mobil escollection CNET. Eyrolles - 1988.

3 -CHARPENTIER - DEGAUGUE - DEGARDIN.
Rapport final transmission vidéo par faisceau hertzien en tunnel. Contrat Université des Sciences et techniques de Lille - CERCHAR - Août 1989 par Messieurs

4 -Leaky feeders and Subsurface radio Communications Monsieur DELOGNE IEE 1982.

5.Télétransmission d'images et d'informations à haut débit sans câble en chantiers souterrains. Congrès industrie minérale - Strasbourg - 1990.

6.P. VILLENEUVE de JANTI - D. CHARPENTIER
A vidéo transmission system based on microwave techniques for remote control of underground mining machines.Quatrième symposium canadien sur l'automatisation minière Saskatoon - Septembre 1990.

Fig. 1 : Opérateur déplaçant un émetteur dans une taille

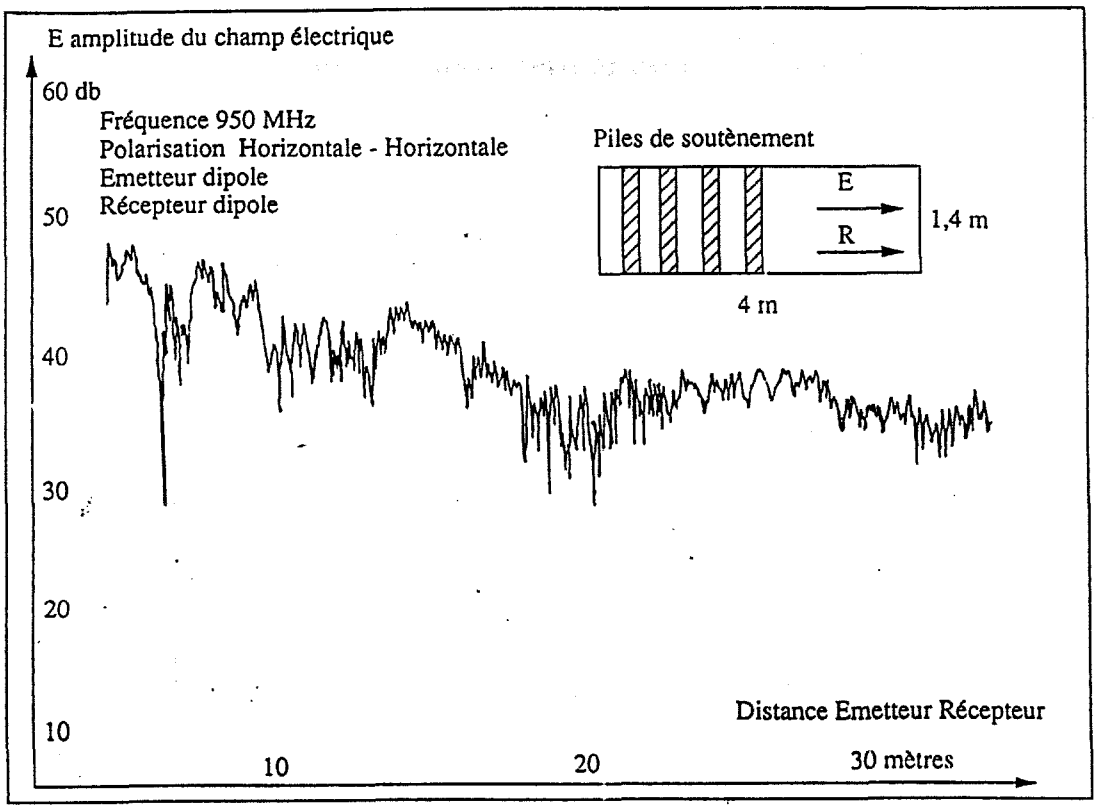


Figure 2 : Champ électrique reçu dans une taille en polarisation horizontale

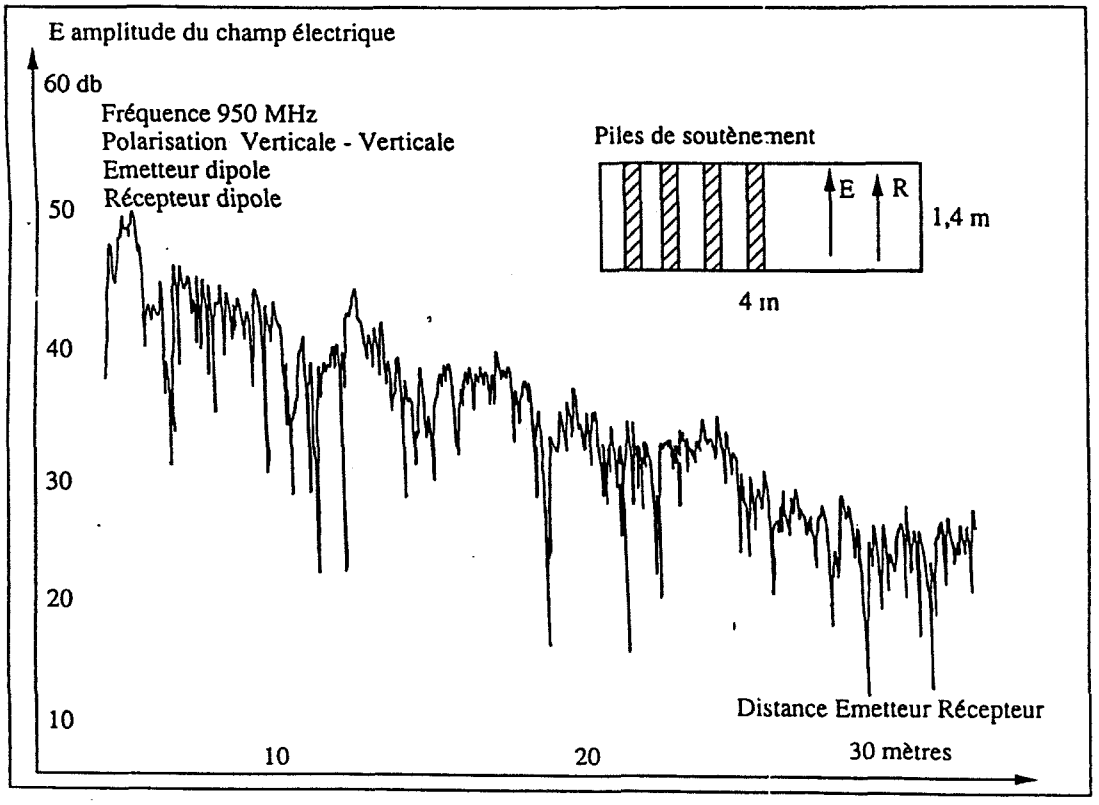
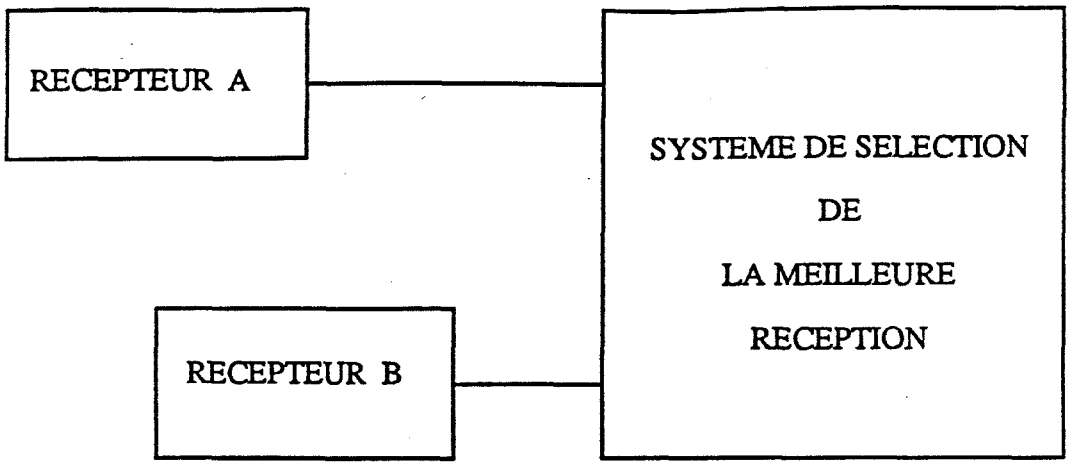
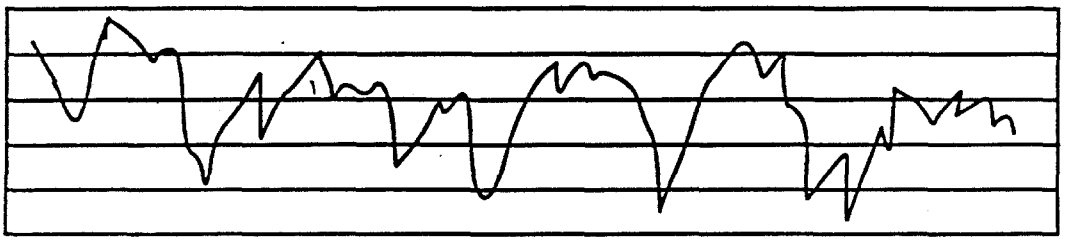
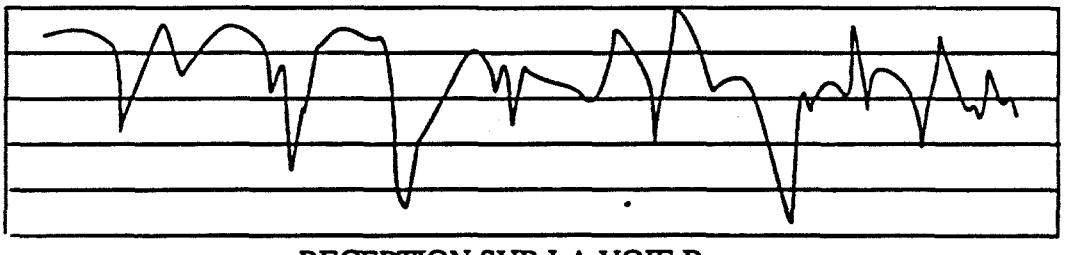


Figure 3 : Champ électrique reçu dans une taille en polarisation verticale

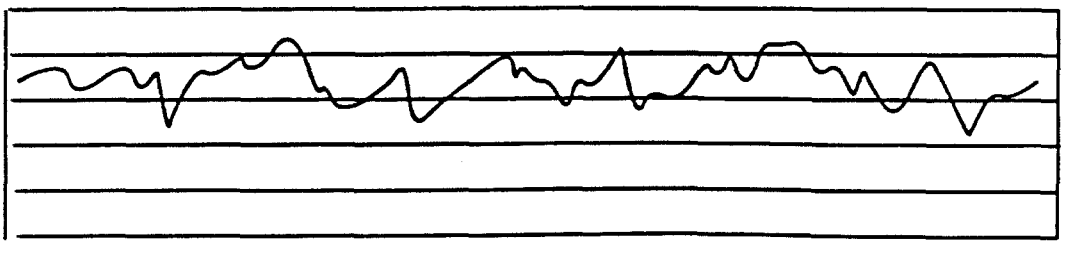




RECEPTION SUR LA VOIE A



RECEPTION SUR LA VOIE B



RECEPTION EN DIVERSITE

Figure 4 : principe d'une réception en diversité

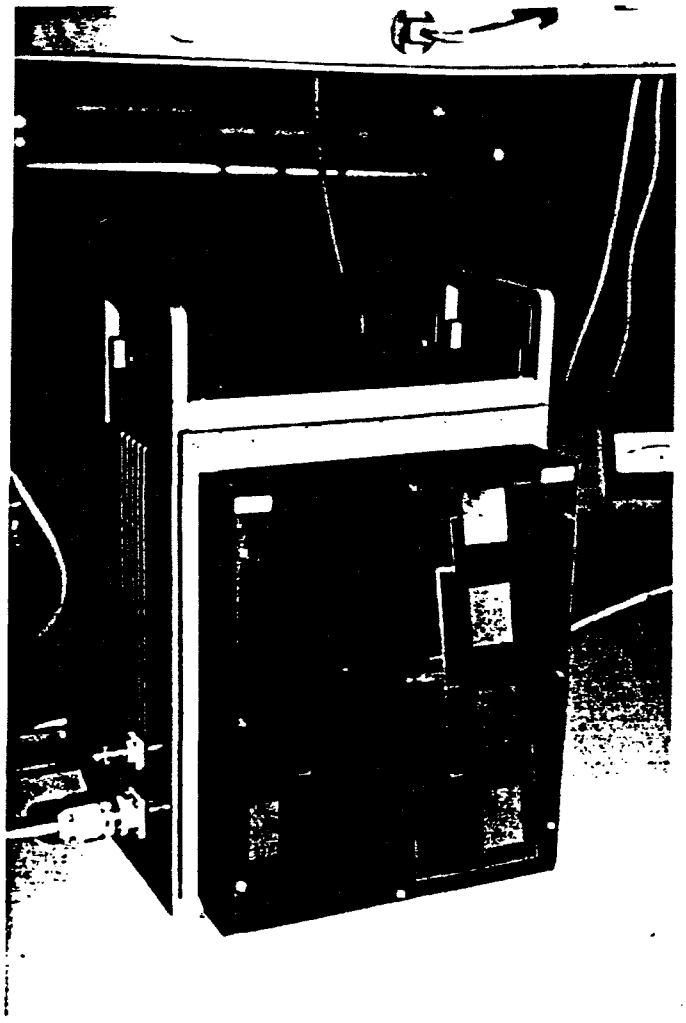


Figure 5 : récepteur hyperfréquence en diversité

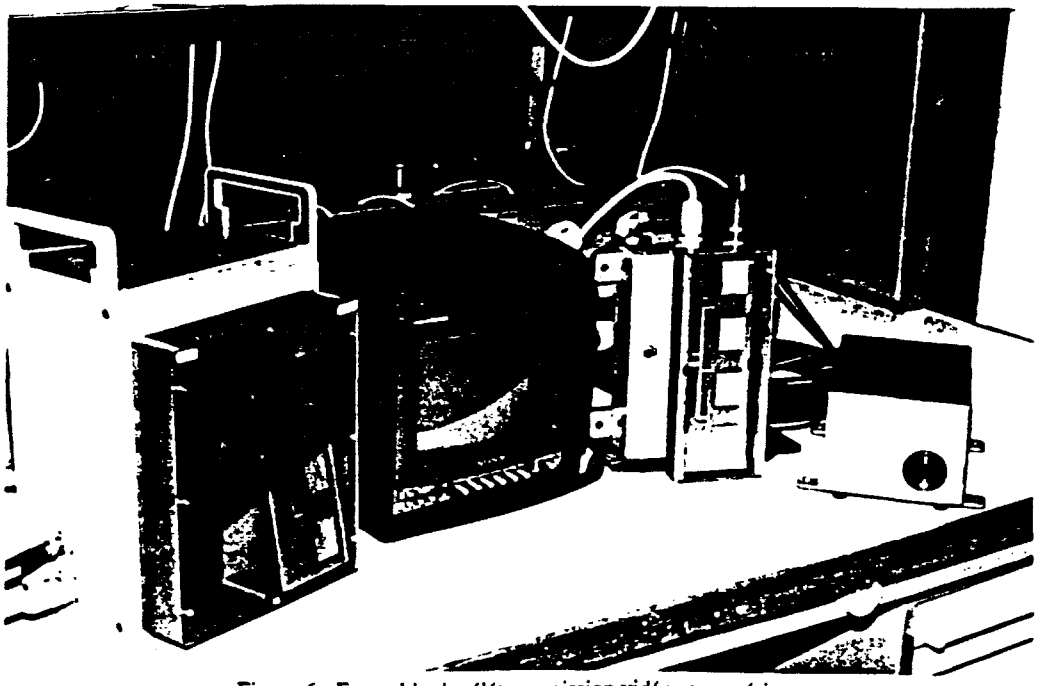
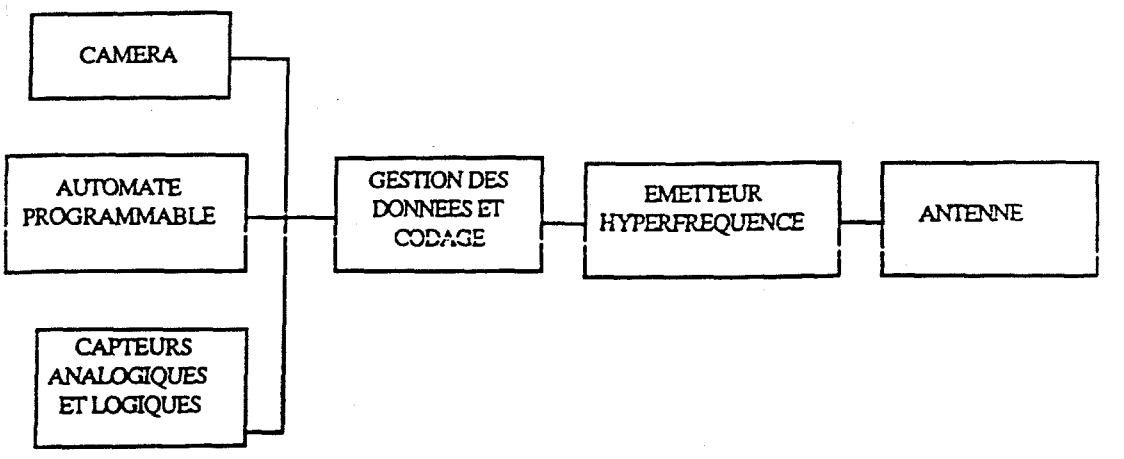
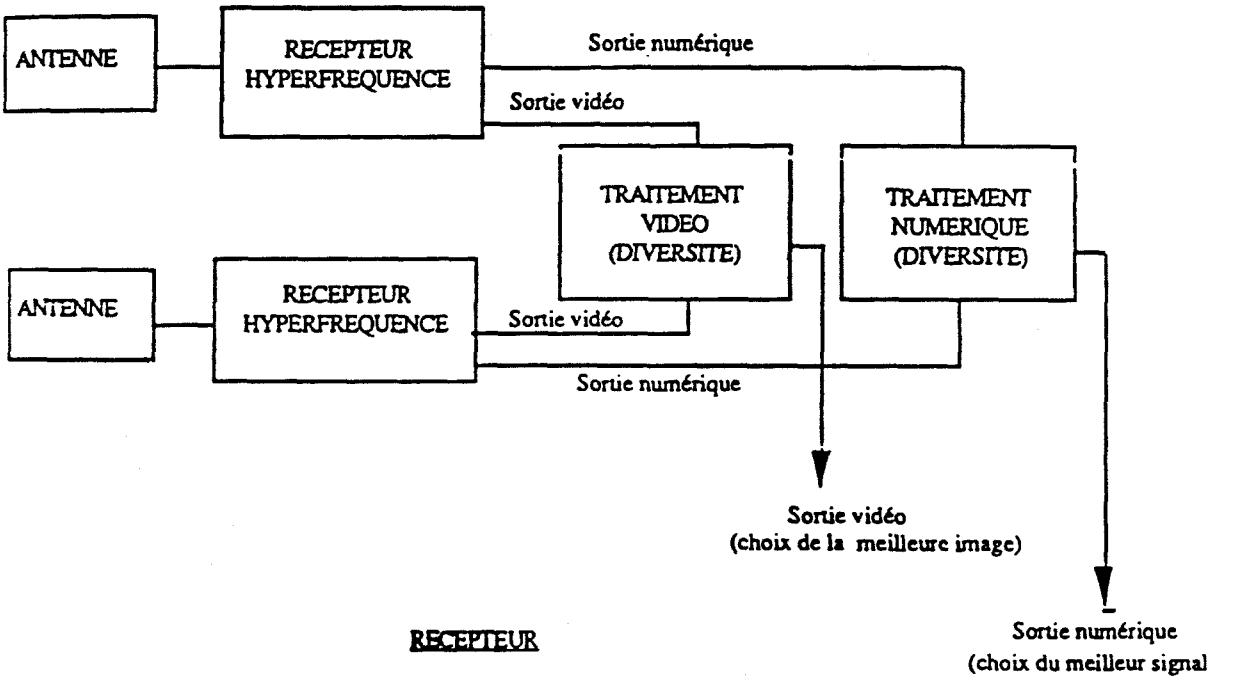


Figure 6 : Ensemble de télétransmission vidéo et numérique



EMETTEUR



RECEPTEUR

SYNOPTIQUE DE LA TRANSMISSION D'IMAGE ET NUMERIQUE

Figure 7 : Architecture de la télétransmission vidéo et numérique

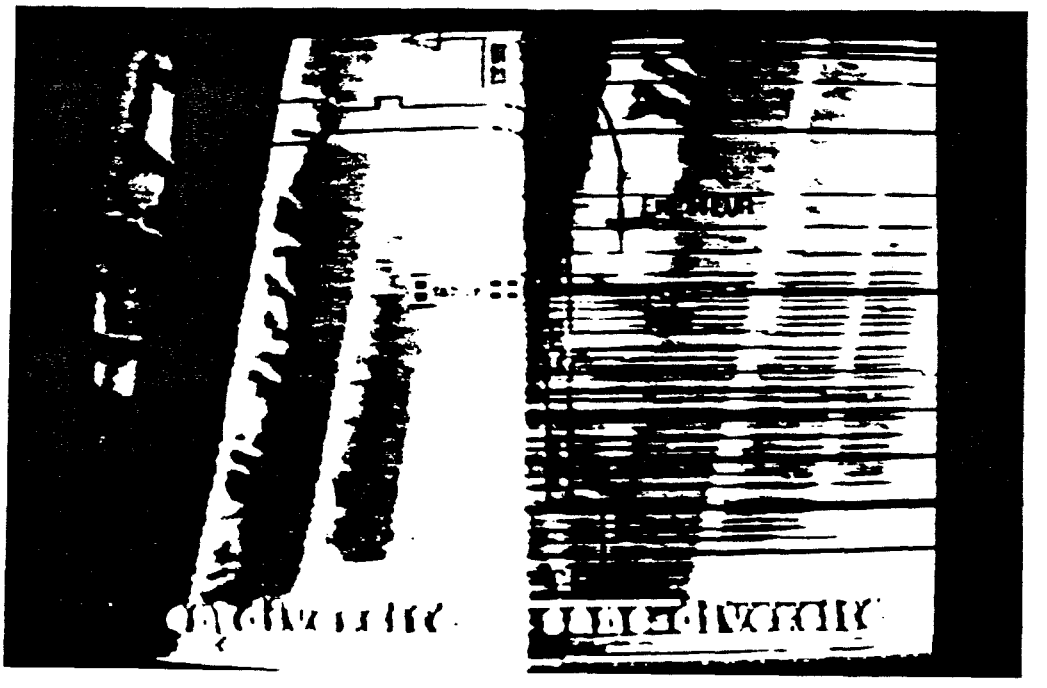


Figure 8 : résultats compraison avec et sans diversité