

Récepteurs radioélectriques

Équipements complémentaires

par **Gérard HAMON**

Ingénieur de l'École Supérieure d'Électronique de l'Ouest (ESEO)

Ingénieur à la Division Radiocommunications

Guerre Electronique et Sécurité de la Compagnie Thomson-CSF

1. Antennes	E 6 425 - 2
2. Présélecteur d'antenne	2
2.1 Utilisation	2
2.2 Exemples de présélecteurs	2
3. Multicoupleur d'antenne	4
3.1 Utilisation	4
3.2 Multicoupleur passif	4
3.3 Multicoupleur actif	4
4. Fonctionnement en diversité	5
4.1 Généralités	5
4.2 Types de réception en diversité	5
4.3 Combinaison de signaux de sortie	6
5. Équipements de traitement audiofréquence	6
5.1 Démodulateurs télégraphiques	6
5.2 Équipements d'analyse technique	6
6. Équipements de contrôle du spectre radioélectrique	6
7. Télécommande des récepteurs	7
7.1 Généralités	7
7.2 Exemple de télécommande de récepteurs	7
7.2.1 Principes de fonctionnement	7
7.2.2 Caractéristiques techniques	7

Dans cet article, nous traiterons des caractéristiques et de l'utilisation des équipements complémentaires des récepteurs radioélectriques.

1. Antennes

Nota : le lecteur se reportera aux articles *Antennes. Bases et principes* [E 3 280], *Antennes. Différents types* [E 3 282], *Antennes. Techniques* [E 3 284] et *Antennes. Éléments connexes* [E 3 288] dans le traité Electronique.

2. Présélecteur d'antenne

2.1 Utilisation

Les récepteurs possèdent un ensemble de performances qui traduisent leur aptitude à recevoir les émissions dans des conditions normales d'exploitation. Des utilisations particulières du matériel font que, dans certains cas, le récepteur tel qu'il a été conçu au départ ne peut plus recevoir correctement ou de manière suffisante les émissions. Pour remédier à cette difficulté, on adjoint alors devant le récepteur un présélecteur d'antenne.

Le présélecteur d'antenne a pour rôle de protéger le récepteur contre les émissions indésirables et gênantes appelées brouilleurs et qui sont décalées d'un écart de fréquence Δf par rapport à la fréquence d'accord du récepteur. Sa fonction est avant tout une fonction de filtrage.

Ce filtrage peut être conçu de plusieurs façons.

■ Filtre étroit de fréquence fixe

Cette solution s'applique aux récepteurs calés toujours sur la même fréquence, ou sur quelques fréquences. Par exemple, si le récepteur ne possède que six fréquences possibles, le présélecteur d'antenne se compose alors de six filtres étroits commutés en même temps que le choix du canal du récepteur.

Cette solution, autrefois bien adaptée aux récepteurs pilotés par quartz commutés, est aujourd'hui peu utilisée car mal adaptée aux récepteurs modernes pilotés par synthétiseur de fréquences.

■ Filtre étroit accordable

Dans ce cas le présélecteur se compose d'un ou plusieurs circuits accordés sur la fréquence d'accord du récepteur. Les circuits couvrent alors toute la gamme de fonctionnement du récepteur.

■ Filtres de sous-gammes

La bande totale de trafic est subdivisée en plusieurs sous-gammes, et à chaque sous-gamme correspond un filtre de bande. Le fait de

recevoir un signal dans une sous-gamme permet d'être protégé contre les signaux brouilleurs situés dans les autres sous-gammes. Aucune protection n'est apportée sur les brouilleurs situés dans la même sous-gamme que le signal utile.

Cette dernière solution est certainement plus simple que la précédente, mais son efficacité est également plus faible. Cependant, dans certains cas, cela est suffisant.

Une autre qualité demandée aux présélecteurs d'antenne est d'avoir peu de pertes de transmission et donc d'atténuer le moins possible le signal utile. C'est pour cette raison que l'on introduit parfois dans les présélecteurs des étages amplificateurs pour compenser la perte des circuits accordés. Ces amplificateurs ne doivent pas introduire d'intermodulation par non-linéarité malgré la présence de signaux forts non encore rejetés par le filtre.

Les présélecteurs d'antenne sont utilisés tout particulièrement lorsque les récepteurs sont situés à proximité d'émetteurs puissants. Ce cas est particulièrement celui des navires ou des véhicules sur lesquels fonctionnent simultanément émetteur et récepteur (fonctionnement en duplex par exemple).

2.2 Exemples de présélecteurs

Nous décrivons maintenant deux présélecteurs d'antenne prévus pour être associés au récepteur *TRC 240* décrit dans l'article *Récepteurs radioélectriques. Caractéristiques et conception* [E 6 205], à savoir :

- un équipement externe dénommé *TRC 2403* ;
- un module de filtrage intégré au récepteur.

■ **Présélecteur *TRC 2403* :** le schéma synoptique de l'appareil (figure 1) montre qu'il s'agit d'un filtre étroit accordable.

Le filtrage est assuré par deux cellules séparées par un étage amplificateur. Chaque cellule est constituée de deux circuits oscillants réglés au couplage critique.

La gamme de fonctionnement (2 à 30 MHz) est divisée en trois sous-gammes ; chaque sous-gamme comporte :

- deux transformateurs d'impédance définissant la surtension en charge et, en conséquence, la sélectivité du circuit ($Q = 40$) ;
- deux inductances d'accord couplées magnétiquement.

Transformateurs et inductances sont commutés par relais.

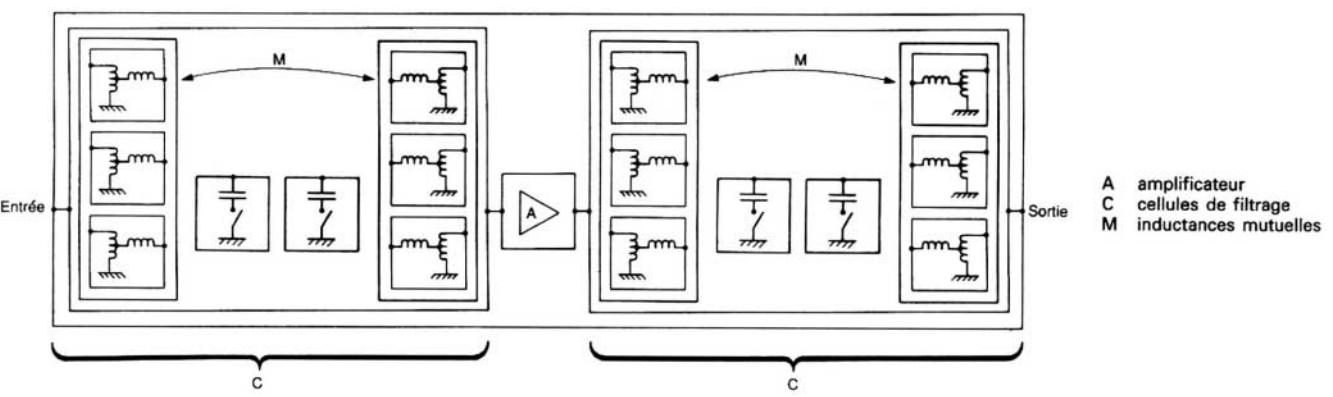


Figure 1 – Présélecteur d'antenne *TRC 2403* (Thomson-CSF)

L'accord du circuit dans la gamme de fonctionnement est assuré par deux groupes de condensateurs commutés par relais. Chaque groupe comporte huit condensateurs de valeurs en progression géométrique de raison 2.

L'étage amplificateur A assure :

- la compensation des pertes des cellules de filtrage ;
- l'amélioration du facteur de bruit de l'équipement.

L'accord s'effectue rapidement (< 200 ms) et de façon entièrement automatique à partir des informations de fréquence délivrées par le récepteur *TRC 240* associé.

De plus, une commande de fréquence située sur la face avant permet l'association du présélecteur *TRC 2403* à tout récepteur HF du commerce.

Les **caractéristiques techniques** du présélecteur *TRC 2403* sont les suivantes :

- gamme de fonctionnement 2 à 30 MHz
- sélectivité pour un écart $\Delta f/f = 10\%$ par rapport à la fréquence d'accord 50 dB
- gain ≈ 0 dB
- facteur de bruit 10 dB
- protection contre les signaux forts 150 V
- accord automatique
- durée de l'accord < 200 ms
- impédances de source et de charge 50 Ω

■ **Présélecteur intégré** : le schéma synoptique (figure 2) montre qu'il s'agit d'un filtre à sous-gammes commutées. Chaque cellule de filtrage élémentaire est constituée de circuits accordés à cinq pôles. Les commutations sont effectuées par diodes PIN.

Les **caractéristiques techniques** de ce module de filtrage sont les suivantes :

- gamme de fonctionnement 2 à 30 MHz
- nombre de sous-gammes 22
- sélectivité pour un écart $\Delta f/f = 7\%$ par rapport aux fréquences limites de chaque sous-gamme 25 dB
- pertes < 4 dB
- commutation automatique
- durée de la commutation < 100 μ s
- impédances de source et de charge 50 Ω

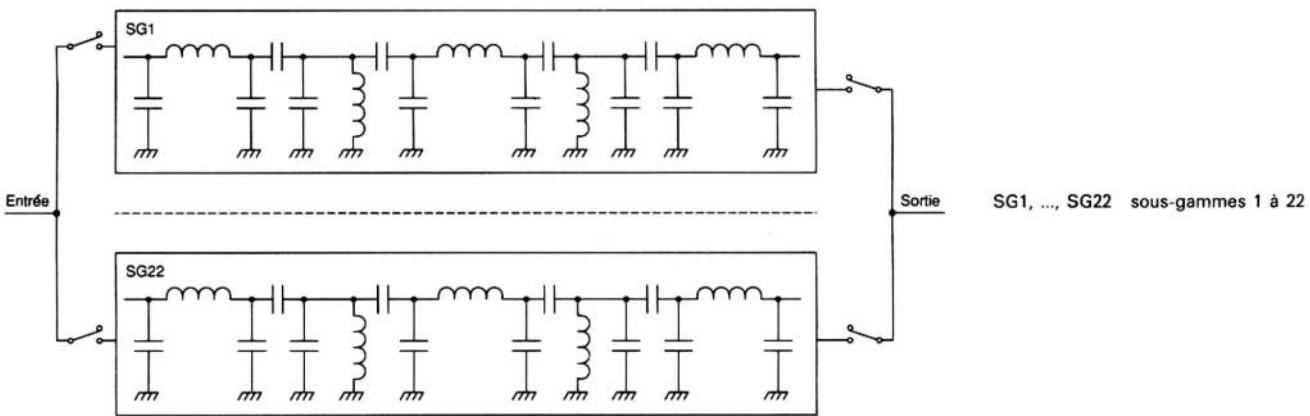


Figure 2 – Présélecteur intégré au récepteur *TRC 240* (Thomson-CSF)

3. Multicoupleur d'antenne

3.1 Utilisation

La transformation des champs électriques en une force électromotrice appliquée à l'entrée des récepteurs nécessite l'emploi d'antennes de réception. À chaque récepteur doit donc être associée une antenne.

Dans le cas où plusieurs récepteurs sont utilisés au même endroit (station fixe, bateaux, etc.), il est alors intéressant ou même nécessaire pour des raisons de place de n'utiliser qu'une seule antenne pour tous les récepteurs.

L'antenne est alors reliée à un multicoupleur d'antenne qui alimente à son tour chacun des récepteurs.

Le problème que doit résoudre le multicoupleur est double :

- il doit éviter les réactions entre deux ou plusieurs récepteurs branchés simultanément sur la même antenne ;
- il doit garantir autant que possible à ces récepteurs les mêmes performances que si chacun était branché seul à l'antenne.

On trouve deux types de multicoupleurs d'antenne :

- les multicoupleurs passifs ;
- les multicoupleurs actifs.

3.2 Multicoupleur passif

Le multicoupleur est dit *passif* s'il ne contient que des résistances, inductances, transformateurs ou capacités, à l'exclusion de tubes à vide ou transistors.

Le couplage à une même antenne de deux récepteurs par résistances ne peut guère être appelé multicoupleur. On se contente de mettre en série avec chaque récepteur une résistance de façon à introduire un certain découplage entre les deux équipements. Ces résistances provoquent une perte notable de sensibilité (6 à 12 dB).

Une autre solution consiste à remplacer chacune des résistances précédentes par un filtre passe-bande centré sur la fréquence du récepteur associé. La bande totale à recevoir est en fait décomposée en un certain nombre de sous-gammes. Cette solution permet d'avoir de faibles pertes de sensibilité. Par contre, on ne peut brancher qu'un récepteur par sous-gamme, ce qui empêche de recevoir simultanément deux fréquences voisines.

Dans certains cas, le couplage des récepteurs se fait par transformateurs en série, comme le montre la figure 3.

Le couplage de deux récepteurs peut également être fait par un transformateur hybride (figure 4a).

Ce dispositif à quatre voies assure la répartition de la puissance de la façon suivante :

- puissance incidente : voie 1 : P
- puissance recueillie : voie 2 : $P/2$
- voie 3 : $P/2$
- voie 4 : 0

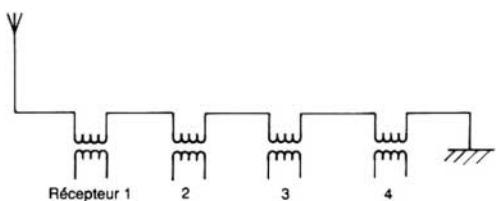


Figure 3 – Mise en série de plusieurs récepteurs

Par ailleurs, il n'y a aucune interaction des voies 2 et 3 l'une sur l'autre. Cela est théorique et en pratique le découplage varie de 20 à 30 dB. On peut, par exemple, comme le montre la figure 4b, coupler huit récepteurs sur la même antenne. Chaque coupleur hybride introduit une perte de 3 dB sur le récepteur correspondant, puisqu'il divise la puissance en deux parties égales.

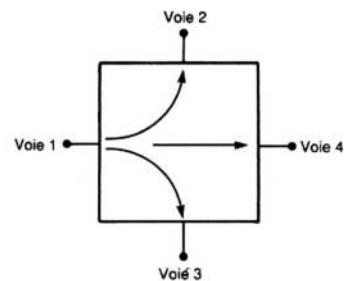
3.3 Multicoupleur actif

Ces multicoupleurs comportent des étages amplificateurs à transistors.

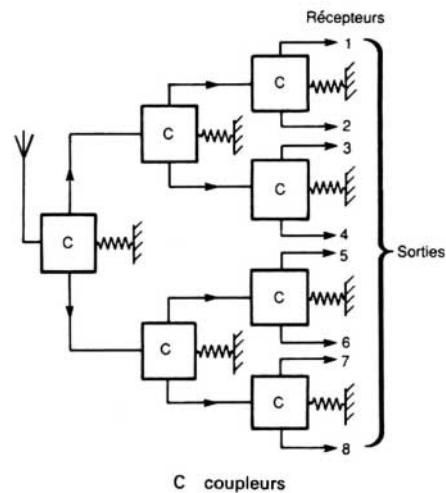
L'utilisation d'éléments actifs permet de réduire les pertes d'insertion, donc de conserver une bonne sensibilité à l'ensemble, et facilite l'adaptation à l'antenne dans toute la gamme de fréquences à recevoir.

Les éléments actifs du multicoupleur reçoivent tous les signaux de la bande de fréquences intéressée, généralement 2 à 30 MHz, et peuvent donc être soumis à de nombreux brouilleurs de niveaux élevés. Le problème de linéarité dans ces amplificateurs est donc très important. Les niveaux admis à leur entrée sont habituellement de plusieurs volts pour des phénomènes de non-linéarité négligeables.

Les figures 5 et 6 donnent deux exemples de multicoupleurs actifs à transistors, conçus de façons différentes.



a) principe de fonctionnement



b) couplage de huit récepteurs

Figure 4 – Coupleurs hybrides

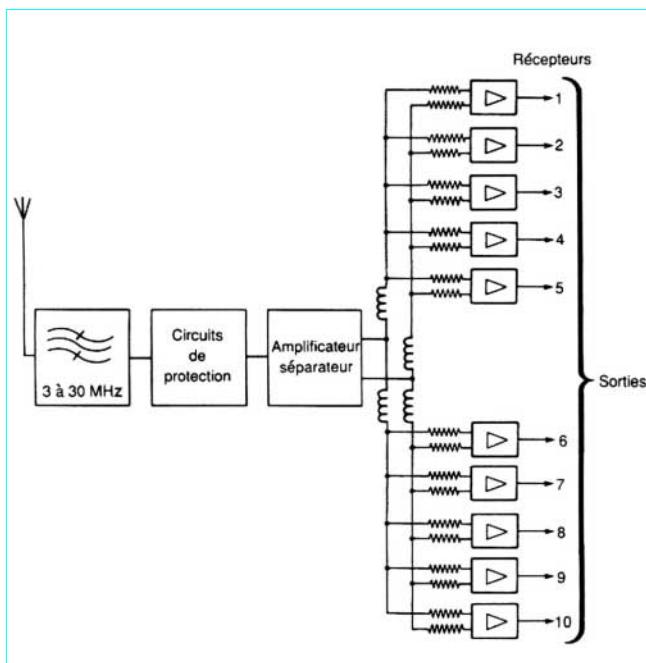


Figure 5 – Multicoupleur MA 520 (Thomson-CSF)

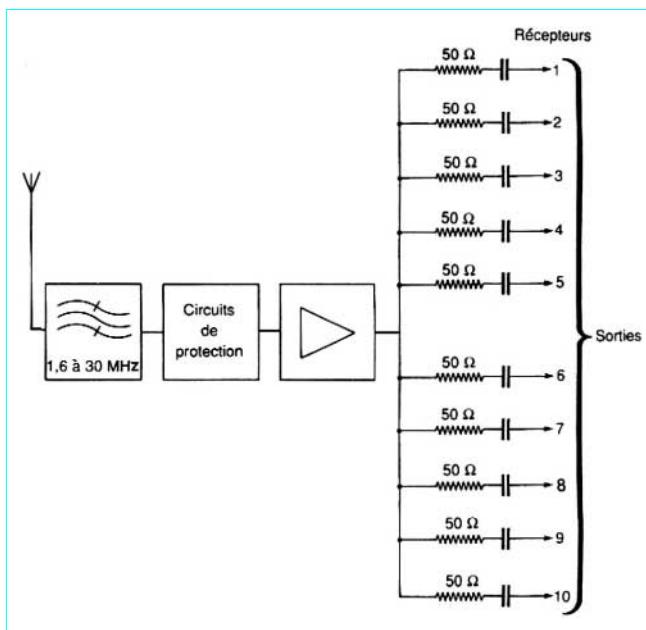


Figure 6 – Multicoupleur NV 14 (Rohde et Schwarz) ou TRC 230 (Thomson-CSF)

Sur le schéma de la figure 5, chaque récepteur est alimenté par un amplificateur séparé. Toutes les entrées de ces amplificateurs sont mises en parallèle par l'intermédiaire de résistances et reliées aux sorties de l'amplificateur d'entrée, du type symétrique.

Le découplage des récepteurs les uns par rapport aux autres est obtenu par le réseau de résistances et le gain inverse de chacun des amplificateurs de sortie.

Sur le schéma de la figure 6, chaque récepteur est alimenté directement à partir de la sortie d'un seul amplificateur commun, par une résistance de 50Ω . L'impédance de sortie de l'amplificateur est très faible : inférieure à 1Ω .

Le découplage des récepteurs les uns par rapport aux autres est obtenu uniquement par le diviseur de tension réalisé par les résistances de 50Ω et la faible impédance de sortie de l'amplificateur.

Chacun de ces multicoupleurs permet d'alimenter 10 récepteurs.

L'emploi de coupleurs hybrides décrits précédemment (figure 4) peut également être avantageusement combiné à l'utilisation d'étages amplificateurs pour la réalisation de multicoupleurs actifs.

4. Fonctionnement en diversité

4.1 Généralités

La mise en diversité de deux ou plusieurs récepteurs a pour but de réduire l'influence des irrégularités de propagation sur la qualité du signal reçu.

En fait, la mise en diversité consiste à recevoir une même information de plusieurs façons différentes et à obtenir, à partir des signaux reçus, un signal résultant de meilleure qualité que si un seul récepteur avait été utilisé.

La mise en diversité de plusieurs récepteurs fait intervenir un matériel assez complexe et au minimum deux récepteurs. L'importance du matériel mis en œuvre fait réservoir ce mode de trafic aux systèmes fixes ou semi-mobiles ; celui-ci ne peut être envisagé pour une utilisation en version portable.

Nous rappelons ci-après les principales méthodes de mise en diversité connues.

4.2 Types de réception en diversité

Diversité d'espace

La réception en diversité d'espace consiste à recevoir la même émission en deux endroits différents, suffisamment séparés pour que les évanouissements du signal en ces deux points soient relativement indépendants.

Les antennes utilisées sont généralement identiques et la distance séparant les deux antennes est importante (10 à 20 fois la longueur d'onde).

Diversité de polarisation des antennes

Ce type de diversité peut être utilisé dans tous les cas de propagation où la polarisation des signaux change (propagation ionosphérique).

Les évanouissements des signaux reçus par deux antennes voisines mais perpendiculaires sont assez indépendants.

Cette méthode présente l'avantage d'utiliser deux antennes voisines facilitant énormément la mise en œuvre du dispositif.

Diversité en fréquence

Dans ce type de diversité, l'information est transmise sur deux fréquences porteuses de valeurs différentes.

Une autre possibilité est de recevoir séparément les deux bandes latérales d'un même signal modulé en amplitude et de les comparer. C'est le cas d'une liaison à bandes latérales indépendantes (BLI) où un récepteur détecte la bande latérale inférieure et l'autre la bande latérale supérieure.

■ Diversité dans le temps

Il s'agit cette fois de la répétition du signal émis.

L'utilisation de la répétition automatique (système ARQ) en cas d'erreur en télégraphie est une forme de diversité dans le temps.

4.3 Combinaison de signaux de sortie

Quelle que soit la méthode de réception en diversité utilisée, il faut, à partir des différents signaux reçus, élaborer un signal résultant de la meilleure qualité possible. Ce signal peut être obtenu de plusieurs façons.

■ Choix d'un signal de qualité supérieure à une qualité minimale

Cette méthode appartient à la catégorie des méthodes dites à *élection non optimale*. L'on dispose pour cette méthode d'un récepteur commuté successivement sur plusieurs antennes. La recherche s'arrête lorsque le signal reçu est d'une qualité supérieure à une référence définie *a priori*, par exemple lorsque le rapport $(S + B)/B$ est supérieur à une valeur donnée (S signal, B bruit).

On pourrait également avoir un ensemble de plusieurs récepteurs associés chacun à une antenne et commuter les sorties AF des récepteurs.

■ Choix du signal le meilleur parmi ceux reçus

Contrairement à la méthode précédente, l'exploration est simulée sur toutes les voies. Le signal qui est utilisé est le meilleur parmi tous ceux reçus. Cette méthode impose donc autant de récepteurs et d'antennes que de voies utilisées. La méthode est dite à *sélection optimale*.

■ Addition des signaux avec égalité d'amplification

Dans cette méthode il n'y a pas de choix d'un signal par rapport aux autres, mais addition des différents signaux obtenus.

Les résultats les meilleurs sont obtenus quand les signaux sont additionnés de façon cohérente. Tous les signaux sont amplifiés avec le même gain, quelle que soit leur qualité respective.

■ Addition des signaux avec pondération

Comme dans la méthode précédente, les signaux sont additionnés, mais cette fois l'amplification sur chaque voie est fonction de la qualité du signal correspondant. Meilleure est la qualité du signal et plus il sera amplifié.

À la limite, quand un signal est nettement supérieur aux autres, il y a extinction des autres voies.

■ Des quatre méthodes exposées précédemment, les deux premières ont pour inconvénient majeur de faire intervenir des commutations de circuits, ce qui provoque des perturbations dans les informations reçues.

Parmi les deux autres méthodes, la dernière présente l'avantage d'une plus grande souplesse en évitant de mélanger à un signal de bonne qualité un autre de mauvaise qualité, ce qui conduirait à une réception médiocre.

La dernière méthode effectue en fait, elle aussi, un choix parmi les signaux reçus, mais n'a pas l'inconvénient des commutations brusques. Le passage d'un récepteur à l'autre est progressif.

5. Équipements de traitement audiofréquence

5.1 Démodulateurs télégraphiques

Le démodulateur télégraphique est destiné à permettre la réception de signaux manipulés par déplacement de fréquence du type *F1A*.

Les récepteurs décrits dans l'article *Récepteurs radioélectriques. Caractéristiques et conception* [E 6 205] sont généralement prévus pour ce mode de trafic. Ils fournissent en sortie basse fréquence un signal dont la fréquence peut prendre deux valeurs ou plus.

Le démodulateur télégraphique transforme ce signal fourni par le récepteur en courants ou niveaux convenables pour alimenter, directement ou par l'intermédiaire d'une ligne télégraphique, les téletypes.

La fonction démodulation télégraphique est aujourd'hui le plus souvent intégrée à l'intérieur même du récepteur. C'est ainsi le cas pour le récepteur *TRC 240* décrit dans l'article *Récepteurs radioélectriques. Caractéristiques et conception* [E 6 205].

Certains équipements de démodulations télégraphiques spécialisés usuellement dénommés *TOR* (*Teleprinting Over Radio*) assurent en outre automatiquement la détection et la correction d'erreurs. Les procédures mises en œuvre sont normalisées par des recommandations du CCIR (Comité Consultatif International des Radiocommunications). Elles reposent essentiellement sur des techniques de codage, de demandes de répétition et de diversité dans le temps. Le *TRC 707* en simplex et le *TRC 708* en duplex sont des équipements Thomson-CSF assurant ces fonctions de démodulations spécialisées.

5.2 Équipements d'analyse technique

Conçus pour répondre à l'évolution des transmissions modernes dans les cas où l'écoute de la phonie analogique ne suffit plus, ces équipements offrent de nouvelles techniques de traitement adaptées à la phonie numérisée et aux transmissions de données. Ils permettent en général d'assurer automatiquement l'identification des émissions analysées et le décodage des communications numériques. La famille *TRC 600* de Thomson-CSF assure ainsi un traitement automatique des transmissions comprenant :

- la mesure des paramètres temporels et fréquentiels (fréquence, mode, indice de modulation, largeur de bande, vitesse, heure) ;
- la reconnaissance automatique de la modulation et la démodulation correspondante ;
- la reconnaissance automatique du code et le décodage correspondant.

Les principes mis en œuvre reposent sur la mémorisation d'un nombre important de données (modulations usuelles, codes standards) et l'utilisation d'algorithmes de traitement de signal performants (transformée de Fourier, filtrages) réalisés sur processeurs spécialisés rapides.

6. Équipements de contrôle du spectre radioélectrique

L'augmentation croissante du trafic hertzien a conduit à une réglementation rigoureuse de l'utilisation du spectre radioélectrique. Le respect de cette réglementation suppose en conséquence un contrôle efficace et permanent de ce spectre radioélectrique. Si le récepteur constitue la brique de base de tels systèmes de surveillance, plusieurs équipements complémentaires lui sont, en général, associés pour accroître les performances et répondre au mieux au besoin opérationnel. Parmi ces équipements complémentaires, nous pouvons citer les radiogoniomètres et les analyseurs panoramiques.

■ **Radiogoniomètres** : ces équipements ont pour fonction essentielle de déterminer la direction d'arrivée d'une émission. Ils sont basés sur des techniques d'interférométrie et de traitement de signal. Rappelons simplement que l'interférométrie consiste en la mesure des écarts de phase différentiels du signal reçu par un ou plusieurs couples d'antennes.

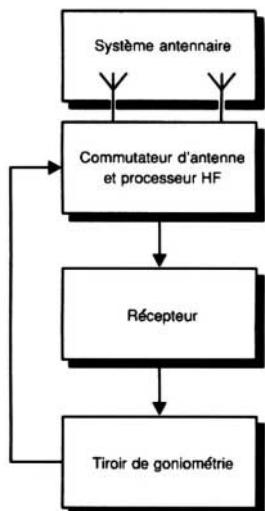


Figure 7 – Radiogoniomètres TRC 195 et TRC 296 (Thomson-CSF)

Le schéma synoptique (figure 7) explicite le principe de fonctionnement des radiogoniomètres Thomson-CSF TRC 195 (HF) et TRC 296 (V-UHF).

■ **Analyseurs panoramiques** : ces équipements ont pour fonctions essentielles de visualiser sur écran le spectre autour de la fréquence d'accord du récepteur. La visualisation peut s'effectuer sur une bande large (plusieurs mégahertz) ou étroite (quelques kilohertz) à partir des différentes fréquences intermédiaires issues du récepteur.

7. Télécommande des récepteurs

7.1 Généralités

L'éloignement géographique du centre de réception et du centre d'exploitation conduit fréquemment à l'utilisation de dispositifs de télécommande.

Autrefois limitées aux commandes principales (fréquence, mode), les fonctions télécommandées concernent aujourd'hui, grâce aux possibilités offertes par la technologie microprocesseur, les paramètres complets de la réception.

Nous présentons ici les principes de fonctionnement et les caractéristiques techniques du pupitre de télécommande TRC 2402 associé au récepteur TRC 240 décrit dans l'article *Récepteurs radioélectriques. Caractéristiques et conception* [E 6 205].

Il convient également de noter que les fonctions de télécommande proprement dites sont aujourd'hui souvent assurées par un calculateur. Dans ce cas, le calculateur effectuera en général la télécommande et la surveillance de l'ensemble des équipements situés au centre de réception.

7.2 Exemple de télécommande de récepteurs

7.2.1 Principes de fonctionnement

Le schéma synoptique (figure 8) explicite le principe de fonctionnement de la télécommande du récepteur TRC 240.

Une commande élaborée sur le pupitre TRC 2402, à partir d'une face avant rigoureusement identique à celle du récepteur, est traitée par microprocesseur et émise en série par l'intermédiaire d'un circuit émetteur-récepteur synchrone asynchrone universel (USART).

À distance, une carte récepteur de télécommande intégrée dans l'équipement TRC 240 assure la réception, la vérification et le traitement de ce message série. Réciproquement, et de façon analogue au message de télécommande, un message de télesignalisation confirmant l'exécution de l'ordre est alors émis par la carte récepteur de télécommande. C'est ce message, reçu et vérifié par le pupitre TRC 2402, qui assure en retour la visualisation, confirmant ainsi la bonne exécution de la commande initiale.

Les messages de télécommande et de télesignalisation sont véhiculés :

- à courte et moyenne distance (20 à 300 m) : sur lignes spécialisées, suivant l'Avis V 28 du CCITT (Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) ;
- à grande distance (300 m à plusieurs milliers de kilomètres) :
 - sur lignes téléphoniques classiques par utilisation du modem interne 300 baud (M_1) ;
 - sur lignes téléphoniques classiques ou spécialisées par utilisation de modems externes 200 à 9 600 baud (M_2)

Accessoirement, le pupitre de télécommande TRC 2402 assure l'amplification et l'aiguillage du signal audiofréquence issu du récepteur.

7.2.2 Caractéristiques techniques

■ Fonctions télécommandées et télesignalisées :

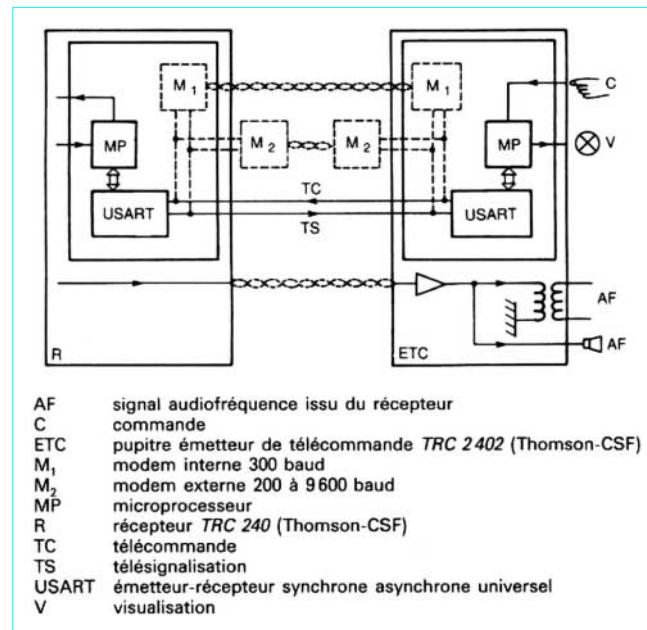
- fréquence ;
- mode et commandes associées (filtre, déplacement de fréquence et polarité en F1A) ;
- canal (rappel, mémorisation) ;
- BFO (Beat Frequency Oscillator) (avec ou sans, valeur) ;
- CAG (commande automatique de gain) (avec ou sans, constantes de temps) ;
- atténuation antenne ;
- gain HF ;
- silencieux (avec ou sans, seuil) ;
- test ;
- réjecteur (avec ou sans, valeur) ;
- veille cyclique (définition, exécution) ;
- balayage en fréquence (définition, exécution) ;
- effacement d'urgence.

■ Fonction télesignalisée :

- niveau antenne reçu.

■ Format, débit, niveaux :

- messages séries 8 bit adressés, avec ou sans code détecteur d'erreurs ;
- débit :
 - 200 à 9 600 baud,
 - synchrone ou asynchrone ;
- niveaux conformes à l'Avis V 28 du CCITT :
 - niveau logique 1 : $-15 \text{ V} < V < -3 \text{ V}$,
 - niveau logique 0 : $+3 \text{ V} < V < +15 \text{ V}$.

Figure 8 – Télécommande du récepteur **TRC 240**