

LES NOUVEAUTÉS TECHNIQUES.

<i>Le système national de radionavigation Loran-C</i> , par B. CANU	143
<i>L'automatisation « temps réel » des levés hydrographiques au S.H.O.M.</i> , par J. M. CHIMOT et X. LE BARON	159
<i>Un calculateur d'estime numérisé (INSPECTRONIC)</i>	165
<i>Une nouvelle approche vers l'intégration des systèmes de radionavigation maritimes (RACAL-DECCA)</i>	170

LA CHRONIQUE DU NAVIGANT.

<i>Problèmes de navigation aérienne au pôle Nord (2^e partie)</i> , par J.-F. FOURNIER et J. HAMELIN	179
<i>Navigation aérienne (1973-1983)</i> , par P. FOMBONNE	202
<i>A la recherche du gyroscope parfait : le gyroscope à suspension électrostatique</i> , par P. LEGER et F. BIHAN	223

INFORMATIONS	239
---------------------------	-----

CHRONIQUE DES LIVRES ET REVUES	246
---	-----

LE SYSTÈME NATIONAL DE RADIONAVIGATION LORAN-C

(Première partie)

par B. CANU

INGÉNIEUR PRINCIPAL DE L'ARMEMENT
S.T.C.A.N.

SOMMAIRE

Après un rappel des principes du Loran-C et de ses différents modes d'exploitation (hyperbolique et circulaire), une deuxième section définit le programme du Système National de Radionavigation (SNR Loran-C) et indique ses performances, la portée et la précision attendues; une troisième section décrit le système et sa conception générale; puis sont indiquées la gestion du programme et sa planification; enfin, seront présentées les différentes stations (émission, contrôle).

1 RAPPEL SUR LE LORAN-C

1,1 Généralités.

UNE chaîne de radionavigation Loran-C se compose normalement d'une station principale et de deux ou plusieurs stations secondaires émettant des impulsions à la fréquence de 100 kHz. Le signal Loran-C est défini par le document U.S. Coast Guard « Specification of the Loran-C transmitted signal » COMDTINST M16562-4 de juillet 1981. Une description sommaire de ce signal est rappelée ci-après.

1,2 Impulsions Loran-C.

1,21 GROUPE D'IMPULSIONS.

Chaque émetteur Loran-C émet séquentiellement un groupe d'impulsions (neuf pour la station principale, huit pour les stations secondaires).

Chaque impulsion dure environ 200 microsecondes et est séparée de l'impulsion suivante du groupe par un temps de 1 000 microsecondes (sauf la neuvième impulsion du groupe émis par la station principale qui est séparée de la précédente par un temps de 2 000 microsecondes) (*fig. 1*).

1,22 SÉQUENCEMENT DES IMPULSIONS.

Le séquençement des impulsions de l'ensemble d'une chaîne est représenté à la *figure 2*.

La station principale émet son groupe de neuf impulsions qui sont reçues par chacune des stations secondaires.

Après un retard prédéterminé, chacune des stations secondaires émet ses huit impulsions.

Après cette série d'impulsions, la séquence se répète à une cadence caractéristique de la chaîne (Group Repetition Interval, GRI) comprise entre 40 000 et 99 990 microsecondes en multiples de 10 μ s.

Les chaînes Loran-C sont désignées, en général, par le sigle GRI suivi d'un nombre de quatre chiffres, qui est le nombre de microsecondes divisé par 10.

Pour le Système National de Radionavigation, le GRI retenu est de 89 400 microsecondes.

1,23 ALLURE DES IMPULSIONS.

Une impulsion de durée 200 microsecondes contient environ 20 cycles de la porteuse (fréquence 100 kHz). La forme de l'onde est représentée sur la *figure 3*. Elle est telle que le point de demi-amplitude du front montant est situé à 30 microsecondes du point origine, le maximum étant situé à 65 nanosecondes. Le point situé à 30 microsecondes, pour lequel le troisième cycle passe par zéro, est le point de référence pour les mesures.

1,3 L'exploitation du signal Loran-C.

1,31 MODE HYPERBOLIQUE.

Dans ce mode, le récepteur analyse la différence de temps Δt à la réception des signaux provenant de deux stations d'une même chaîne. La vitesse de propagation v étant connue, cette différence de temps Δt peut être transformée en différence de distance Δd aux deux stations : $\Delta d = v \cdot \Delta t$. Le lieu des points ayant une même différence de distance par rapport aux deux stations considérées est une hyperbole, appelée ligne de position (LOP). L'intersection de deux LOP donne la position du navire.

Les récepteurs modernes affichent directement cette position en longitude, latitude (*fig. 4*).

Il est à noter que la société française CEMCO étudie actuellement, pour la Marine nationale, un récepteur hyperbolique chaînes croisées. Ce récepteur

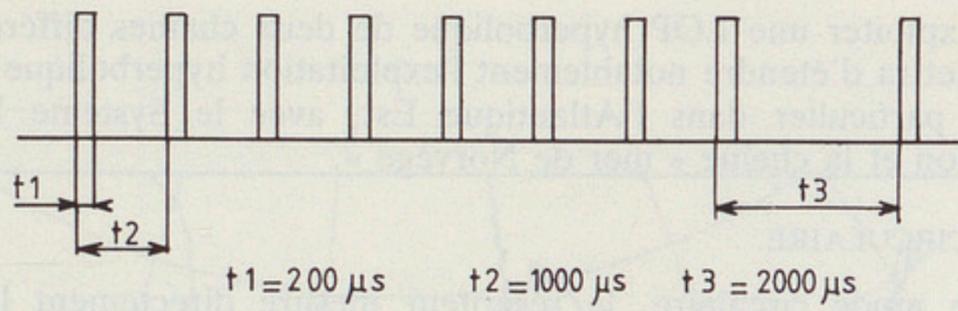


Fig. 1. — Groupe d'impulsions Loran-C

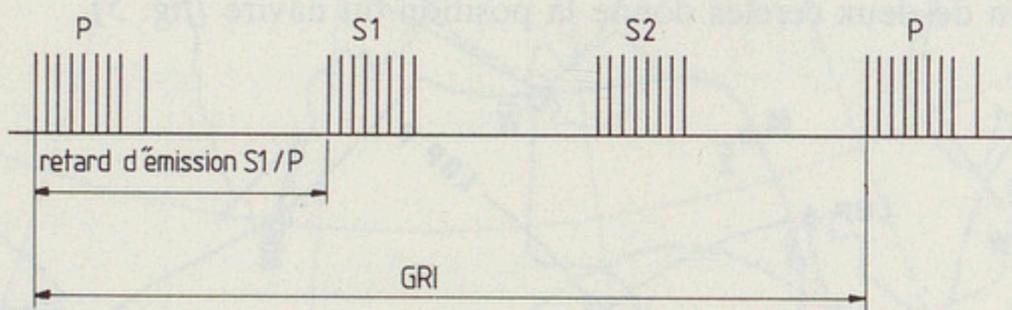


Fig. 2. — Séquencement des émissions Loran-C

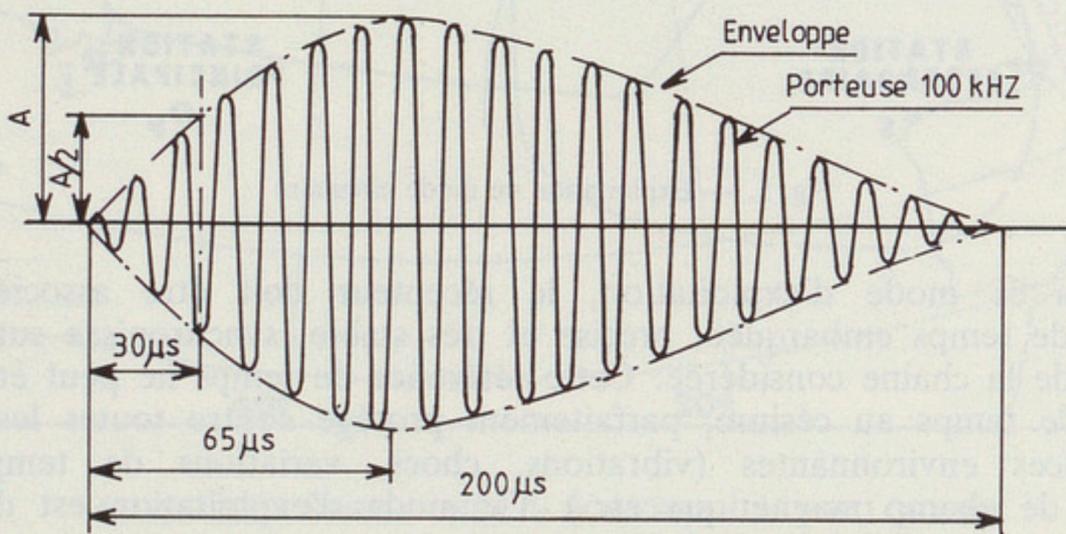


Fig. 3. — Forme des impulsions

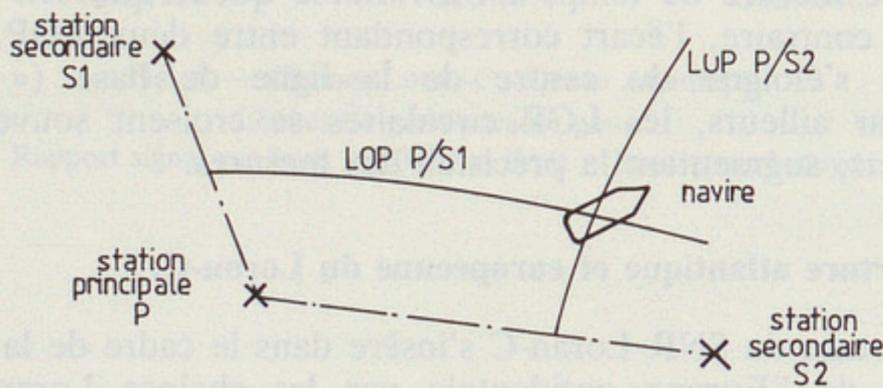


Fig. 4. — Exploitation en mode hyperbolique

permettra d'exploiter une LOP hyperbolique de deux chaînes différentes. Cette solution permettra d'étendre notablement l'exploitation hyperbolique des signaux Loran-C, en particulier dans l'Atlantique Est, avec le Système National de Radionavigation et la chaîne « mer de Norvège ».

1,32 MODE CIRCULAIRE.

Dans le mode circulaire, le récepteur mesure directement le temps de parcours des signaux provenant de deux stations d'une même chaîne. La vitesse de propagation v étant connue, cette mesure de temps t peut être transformée en mesure de distance $d = vt$. Le lieu des points (LOP) situés à une même distance de la station considérée est un cercle centré sur la station et le rayon d . L'intersection de deux cercles donne la position du navire (*fig. 5*).

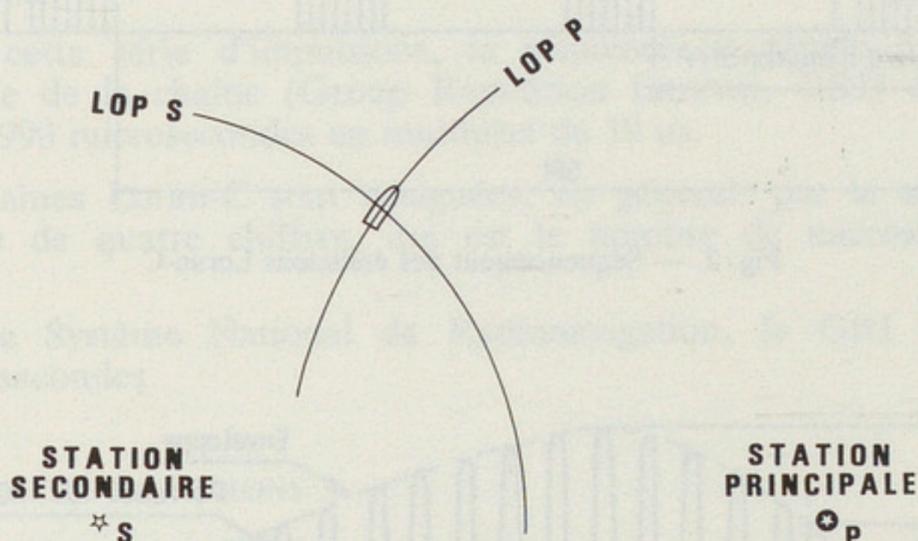


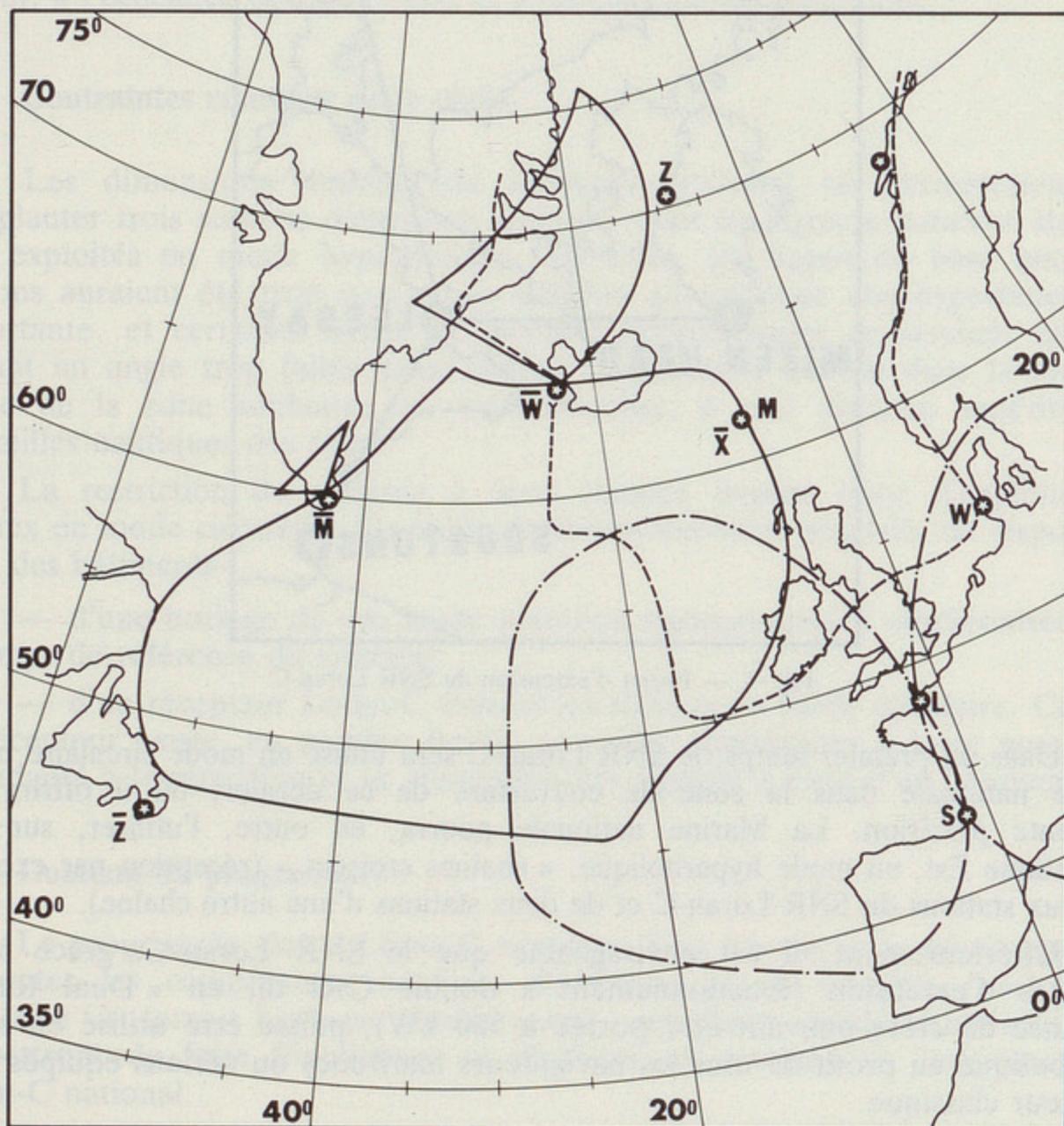
Fig. 5. — Exploitation en mode circulaire

Dans ce mode d'exploitation, le récepteur doit être associé à une référence de temps embarquée, précise et très stable, synchronisée sur l'étalon de temps de la chaîne considérée. Cette référence de temps ne peut être qu'un standard de temps au césium, parfaitement protégé contre toutes les sources perturbatrices environnantes (vibrations, chocs, variations de température, variations de champ magnétique etc.). Ce mode d'exploitation est donc très coûteux pour obtenir une précision correcte.

En revanche, l'exploitation en mode circulaire présente, par rapport au mode hyperbolique, pour une large part des configurations de position du navire par rapport aux stations d'émission, l'avantage de l'absence de « dilution géométrique ». En effet, l'écart entre deux LOP circulaires « bornant » une même erreur de mesure de temps est invariable quelle que soit la position du navigateur; au contraire, l'écart correspondant entre deux LOP hyperboliques croît lorsqu'on s'éloigne du centre de la ligne de base (« dilution » des hyperboles). Par ailleurs, les LOP circulaires se croisent souvent suivant un angle plus ouvert, augmentant la précision des mesures.

1,4 La couverture atlantique et européenne du Loran-C.

La couverture du SNR Loran-C s'insère dans le cadre de la couverture de l'Atlantique et de l'Europe occidentale par les chaînes Loran-C existantes, gérées jusqu'alors par l'U.S. Coast Guard (voir *fig. 6*).



ATLANTIQUE NORD		MER de NORVÈGE		SNR LORAN-C	
M	ANGISSOQ	M	EDJDE	L	LESSAY
W	SANDUR	W	SYLT	S	SOUSTONS
X	EJDE	X	BO		
Z	CAPE RACE	Y	SANDUR		
		Z	JAN MAYEN		
	GRI 7930		GRI 7970		GRI 8940

Fig. 6. — Chaînes Loran-C - Océan Atlantique
 Limites de portée tracée pour :
 Rapport signal sur bruit = 10 dB et bruit = bruit annuel moyen

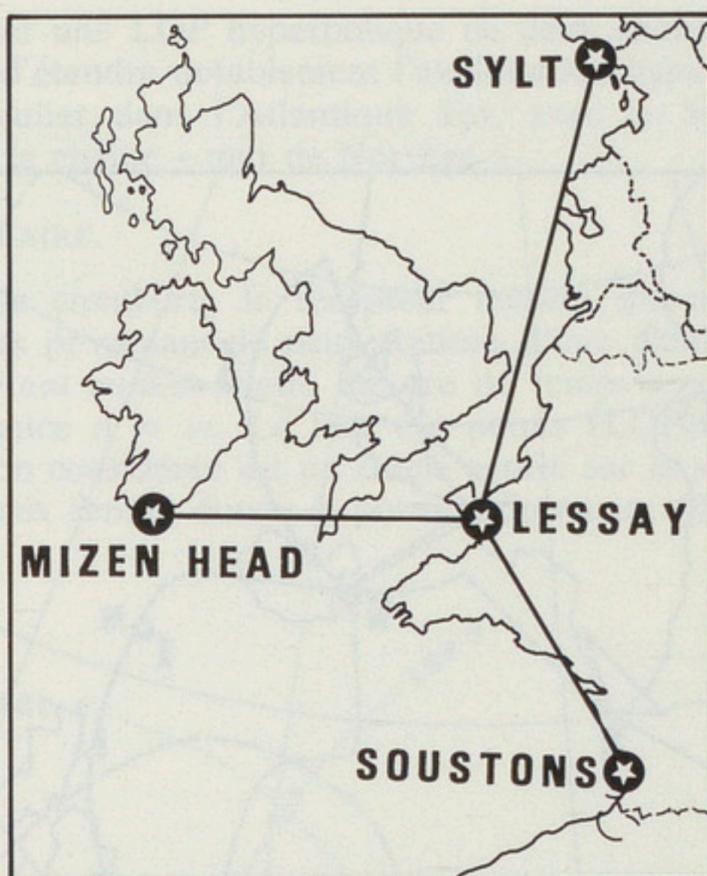


Fig. 7. — Projet d'extension du SNR Loran-C

Dans un premier temps, le SNR Loran-C sera utilisé en mode circulaire par la Marine nationale dans la zone de couverture de ce dernier, où il offrira une excellente précision. La Marine nationale pourra, en outre, l'utiliser, sur tout l'Atlantique Est, en mode hyperbolique, « chaînes croisées » (réception par exemple des deux stations du SNR Loran-C et de deux stations d'une autre chaîne).

Ultérieurement, il est envisageable que le SNR Loran-C, grâce à ses capacités d'extension (fonctionnement à double GRI dit en « Dual Rate », puissance de crête pouvant être portée à 500 kW), puisse être utilisé en mode hyperbolique au profit de tous les navigateurs maritimes ou aériens équipés d'un récepteur classique.

Dans ce cadre d'extension, plusieurs projets sont envisagés, dont celui représenté sur la *figure 7* qui semble avoir le plus de chance d'aboutir à moyen terme.

Ce projet comporte la création d'une troisième station, sur le site de Mizen Head, en Irlande, intégrée dans la chaîne française, ainsi que le raccordement à Lessay de la station de Sylt, en R.F.A., appartenant à la chaîne de mer de Norvège, ou vice versa (Lessay raccordé à la chaîne de la mer de Norvège en « Dual Rate »).

2

DÉFINITION DU PROGRAMME SNR LORAN-C

2,1 But du Programme.

Le programme « Système National de Radionavigation Loran-C » (SNR Loran-C) a pour but de doter les bâtiments de la Marine nationale d'un moyen de navigation précis, dans l'Atlantique Est, qui soit entièrement sous contrôle exclusivement national.

Après examen approfondi de tous les systèmes de radionavigation existants, il est apparu qu'un système Loran-C, comportant deux stations d'émission implantées sur le territoire national, permettrait de répondre au besoin, à l'échéance désirée (1985) et à un coût global acceptable.

2,2 Contraintes résultant de ce choix.

Les dimensions limitées du territoire national ne permettraient pas d'implanter trois stations d'émission Loran-C dont les signaux auraient alors pu être exploités en mode hyperbolique. En effet, les lignes de base entre les stations auraient été trop courtes, la dilution géométrique des hyperboles trop importante, et certaines lignes de position hyperboliques se seraient coupées suivant un angle trop faible pour obtenir la précision désirée dans la majeure partie de la zone souhaitée et, en particulier, à une distance supérieure à 500 milles nautiques des côtes.

La restriction du système à deux stations impose donc d'exploiter les signaux en mode circulaire. Ce mode de fonctionnement nécessite de disposer, à bord des bâtiments :

- d'une horloge de très haute précision rigoureusement synchronisée avec le temps de référence du système;
- d'un récepteur Loran-C traitant les signaux en mode circulaire. Ce type de récepteur existe, en nombre limité, pour des applications à terre mais n'est pas adapté à la réception et au traitement des signaux à bord d'un bâtiment.

2,3 Contenu du programme.

Le programme global Loran-C nécessite donc l'étude et le développement de toutes les composantes (stations d'émission et de contrôle, horloge de référence à terre, horloges embarquées, récepteur mode circulaire) qui permettront de faire fonctionner et d'utiliser un système de radionavigation Loran-C national.

Le Ministère de la Défense a donné son accord pour le lancement de ce programme le 14 avril 1981. La composante, stations et moyens à terre, constitue le Système National de Radionavigation Loran-C qui fait l'objet de cet article.

2,4 Caractéristiques générales du SNR Loran-C.

Le Système National de Radionavigation Loran-C comprendra :

- deux stations d'émission et de mesure qui assureront chacune :
 - l'émission des signaux Loran-C sous forme d'impulsions de puissance crête 250 kW,
 - la mesure du temps de parcours des signaux émis par l'autre station. Cette mesure sera exploitée dans les algorithmes de contrôle pour la synchronisation des signaux;
- une station de contrôle qui aura pour rôle de :
 - vérifier le bon fonctionnement des stations d'émission à partir des données de télésurveillance transmises par ces stations,

- contrôler le synchronisme des signaux émis par rapport au temps de référence de la chaîne,
- élaborer les ordres correctifs en cas d'incident sur les équipements d'émission ou de dérive des horloges;
- un centre de maintenance.

La station d'émission et de mesure nord sera située près de Lessay, dans la Manche, la station d'émission et de mesure sud à Soustons dans les Landes.

La station de contrôle sera installée à l'île Longue, près de Brest, dans un local voisin de celui de l'horloge de très grande précision qui servira de référence de temps pour le SNR Loran-C.

Le centre de maintenance principal sera également implanté à Brest.

Les deux stations d'émission et de mesure seront entièrement automatiques avec la seule présence d'un gardien assurant des fonctions de gardiennage et de sécurité. Ce type de fonctionnement, sans aucun personnel, est une des caractéristiques du SNR Loran-C. La plupart des stations d'émission Loran-C, actuellement en service, sont à tubes électroniques et fonctionnent avec une équipe de personnel variant entre 12 et 20 personnes. Les équipements retenus pour le SNR Loran-C, entièrement à semiconducteurs de très haute fiabilité, ne nécessitant que des opérations de maintenance préventive mensuelles, permettent ce concept original de stations « non armées ».

En station de contrôle, un seul opérateur dirigera la chaîne. Il disposera :

- des informations en temps réel sur les états, les défauts et les performances de la chaîne, nécessaires au contrôle du fonctionnement des stations d'émission;
- des moyens de commande à distance des équipements de ces stations permettant de corriger ou de pallier les défauts constatés.

2,5 Performances du système.

2,51 PORTÉE.

La notion de portée du système est complexe car elle fait intervenir à la fois des considérations physiques et mathématiques multiples. Elle est directement fonction de la puissance d'émissions (250 kW sur une antenne de 213 m). Elle ne peut se concevoir, en outre, que liée à l'ensemble constitué par le système lui-même et les équipements de réception embarqués.

On peut néanmoins prévoir, à titre indicatif, la zone de couverture représentée sur la *figure 8*.

La zone de couverture du SNR Loran-C, exploité en mode circulaire, peut être estimée limitée au nord par un arc capable d'où les deux stations sont vues sous un angle de 10° .

Au nord de cet arc, la précision devient vite insuffisante en raison à la fois de considérations géométriques (faible angle de coupure des cercles de position) et physiques (atténuation des signaux sur les trajets terrestres des îles Britanniques).

Vers le nord-ouest, l'ouest et le sud-ouest, la portée sera essentiellement limitée par l'atténuation des signaux entraînant, au-delà d'une certaine distance, l'impossibilité pour le récepteur de discriminer le signal dans le bruit d'origine atmosphérique ou artificielle, et donc d'acquérir le signal utile.

La portée (au sens possibilité de faire un point) peut être extrêmement variable, d'une part en fonction du temps (saisons et heure de la journée), d'autre part selon la sensibilité et les algorithmes de traitement du récepteur. La gamme de variation du rapport signal/bruit en un point donné peut atteindre 26 dB tandis que la gamme de sensibilité des récepteurs peut varier entre -10 dB pour les récepteurs classiques et environ -25 dB pour le récepteur développé pour les applications de la Marine nationale.

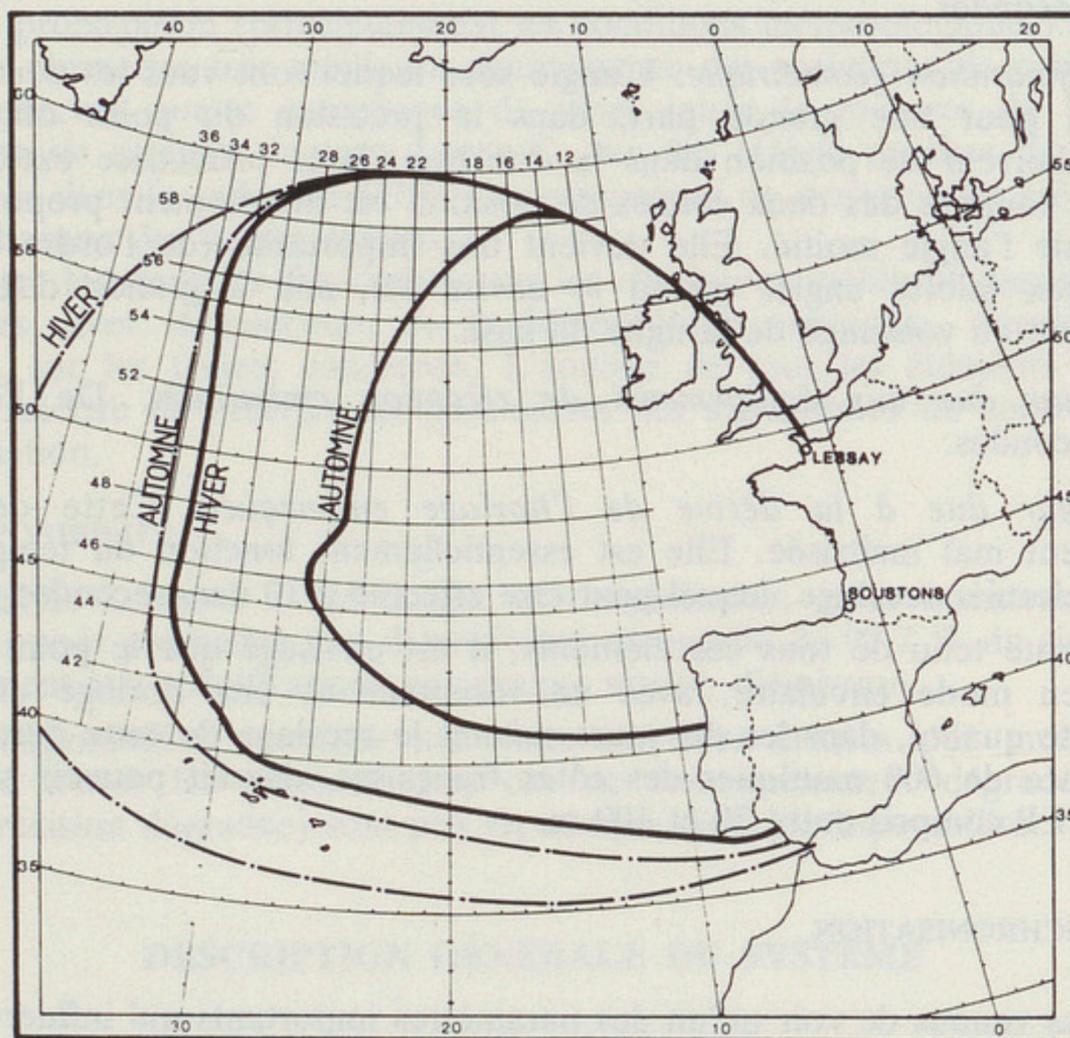


Fig. 8. — Couvertures SNR Loran-C

Signal/bruit atmosphérique = -10 dB

Signal/bruit atmosphérique = -25 dB

Ainsi, ces considérations conduisent à assortir la notion de portée de conditions sur la propagation du signal et la sensibilité du récepteur. La *figure 8* donne les courbes prévues dans les conditions extrêmes de propagation pour deux récepteurs pouvant, l'un acquérir le signal Loran-C avec un rapport signal/bruit de -10 dB, l'autre de -25 dB.

2,52 PRÉCISION.

La notion de précision en mode circulaire est encore plus complexe. Elle dépend à la fois des variations de propagation, des caractéristiques du récepteur, de la précision des horloges, de la géométrie de recoupement des lignes de position, et des performances de l'ensemble de traitement (algorithmes de calcul, modèle de correction des variations de propagation).

On peut, toutefois, donner des indications sur quelques erreurs envisageables, en se rappelant qu'une erreur de mesure de temps de 10 nanosecondes entraîne une erreur de position de l'ordre de 3 m.

Synchronisation. Les horloges seront synchronisées entre elles et par rapport à l'horloge de référence (Temps Atomique de Brest) à mieux que 50 nanosecondes près.

Variations de propagation. La variation de durée de propagation par rapport à la durée théorique, compte-tenu de la vitesse de propagation Loran-C, est proportionnelle à la longueur du trajet des signaux. Elle est plus importante sur terre que sur mer. L'erreur devrait rester comprise entre 20 et 200 nanosecondes.

Configuration géométrique. L'angle sous lequel sont vues les deux stations intervient, pour une grande part, dans la précision du point obtenu. Par exemple, l'erreur de position dans la direction de la bissectrice extérieure de l'angle de coupure des deux cercles de position est inversement proportionnelle au sinus de l'angle moitié. Elle devient très importante (de l'ordre de 300 à 400 m) aux faibles angles quand le navire est, soit à grande distance des stations, soit au voisinage de la ligne de base.

Erreur due aux équipements de réception embarqués. De l'ordre de 30 nanosecondes.

Erreur due à la dérive de l'horloge embarquée. Cette dérive est actuellement mal maîtrisée. Elle est essentiellement fonction du temps écoulé depuis le dernier recalage, lequel peut être effectué à 10 nanosecondes près.

Compte tenu de tous ces éléments, il est envisagé que le point Loran-C effectué en mode circulaire, avec un récepteur et une horloge embarquée d'excellente qualité, dans les dix jours suivant le recalage de cette dernière et à une distance de 600 nautiques des côtes françaises, devrait pouvoir s'effectuer avec un CEP compris entre 70 et 100 m.

2,53 SYNCHRONISATION.

Nous venons de voir qu'un des paramètres importants qui influenceront sur la précision du système est la synchronisation des signaux Loran-C des deux stations d'émission, entre eux et par rapport au Temps Atomique de Brest (TAB) élaboré par une horloge de très haute précision située dans un local contigu à la station de contrôle.

Le synchronisme des signaux émis par chaque émetteur, par rapport à l'horloge de référence à terre, sera obtenu par l'utilisation d'horloges au césium dans chaque station.

Cependant, la précision avec laquelle les horloges des stations d'émission peuvent être synchronisées entre elles et par rapport au TAB est limitée par les dérives des horloges.

Pour contrôler ces dérives, il est développé une méthodologie de synchronisation basée sur la mesure en temps réel des durées de propagation des signaux mesurées dans trois stations de mesures implantées, pour deux d'entre elles dans les stations d'émission et, pour la troisième, dans la station de contrôle.

La méthodologie de synchronisation comprendra deux volets :

— le premier concerne la synchronisation des signaux des deux stations d'émission entre eux. Dans ce cas, les mesures effectuées dans chacune des stations sur les temps d'arrivée des signaux émis par l'autre station, permettent

de mesurer les différences réelles des instants d'émission. On pourra ainsi s'affranchir totalement des erreurs sur la mesure des temps de propagation entre les deux stations;

— le second concerne la synchronisation avec le TAB (Temps Atomique de Brest). Pour ce faire, la méthodologie développée prévoit un traitement des données de mesure des instants d'arrivée des signaux en station de contrôle pour en déduire les instants réels d'émission en effectuant des estimations des durées de propagation basées sur des corrélations avec les paramètres reconnus pour affecter la propagation (principalement les conditions météorologiques).

Pour permettre une meilleure connaissance des variations de propagation, il a été effectué quatre campagnes de vingt jours de mesures de temps de propagation de signaux du type Loran-C, sur des trajets proches de ceux qui seront suivis dans le cadre du SNR. Les campagnes de mesures ont été réalisées pendant chacune des quatre saisons.

Toutes les données disponibles sur les conditions météorologiques ont été enregistrées, avec le concours de la Météorologie nationale, durant chaque campagne, sur les trajets concernés. L'analyse de tous les éléments recueillis devrait permettre de préciser les paramètres des algorithmes de contrôle de la synchronisation.

2,54 DISPONIBILITÉ.

Le SNR Loran-C a été conçu, et l'exploitation et la maintenance sont organisées, pour permettre une disponibilité mensuelle de 99,7 % du signal émis conformément aux spécifications par chaque station d'émission.

L'indisponibilité autorisée est donc de deux heures par mois (temps cumulé de toutes les pannes). Les cas de fonctionnement dégradé (portée réduite, précision dégradée) sont pris en compte dans l'indisponibilité.

3

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU SYSTÈME

3,1 Constitution générale du SNR Loran-C.

Le SNR Loran-C est constitué de deux stations d'émission et de mesures, d'une station de contrôle de chaîne, d'un centre de maintenance ainsi que de différents équipements auxiliaires tels que les équipements de télécommunications nécessaires au bon fonctionnement du système.

Les quatre sites où seront implantées les stations du SNR Loran-C sont les suivants :

- station d'émission et de mesure nord près de Lessay, dans la Manche :
- coordonnées géographiques au pied de l'antenne :

049° 08' 56" N 001° 30' 14" W;

- station d'émission et de mesure sud à Soustons, dans les Landes :
- coordonnées géographiques au pied de l'antenne :

043° 44' 23" N 001° 22' 47" W;

- station de contrôle à l'île Longue, près de Brest;
- centre de maintenance à la Direction des Constructions et Armes Navales de Brest.

La figure 9 illustre les positions géographiques des stations du SNR Loran-C.

La configuration géométrique des deux stations d'émission (orientation et longueur de la ligne de base) permet une exploitation satisfaisante des mesures par l'utilisateur dans la majeure partie de la zone de couverture (angle de croisement des lignes de position satisfaisant).

Les localisations des stations donnent également de bonnes possibilités d'extension ultérieure de la chaîne par addition d'un troisième émetteur en Irlande et/ou utilisation des stations existantes dans les chaînes Loran-C européennes.

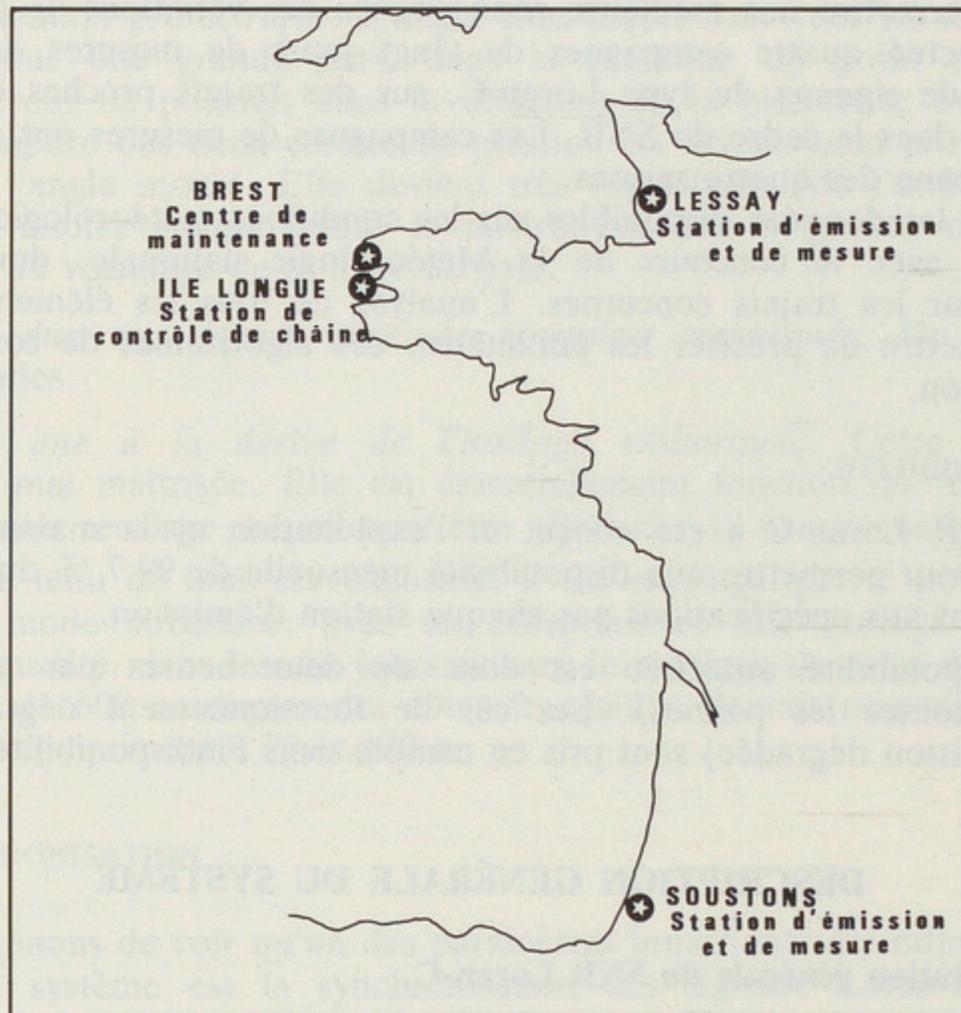


Fig. 9. — Implantation des stations du SNR Loran-C

Toutes les précautions ont été prises, tant au niveau de stations d'émission que de la station de contrôle pour permettre ces additions appropriées de matériels sans modification notable ni des équipements, ni des immeubles.

3,2 Conception du système.

La conception du système a été étudiée, pour satisfaire dans les meilleures conditions, le concept de stations d'émission et de mesure non armées.

Cet objectif est atteint par les moyens suivants :

- mise à disposition du contrôleur de chaînes :
 - de toutes les informations en temps réel nécessaires au contrôle du fonctionnement,
 - des moyens de commande à distance des équipements des stations d'émission,

- d'une information visuelle détaillée sur les états, les défauts, les performances des équipements et du système;
- application systématique des principes de redondance de façon qu'une panne ne puisse pas affecter la disponibilité du signal émis, par exemple :
 - un équipement en service, un équipement en veille mis en service automatiquement quand une panne survient,
 - la perte d'un générateur de puissance élémentaire est automatiquement compensée par l'augmentation de la puissance fournie par les quinze autres,
 - les lignes de transmissions de données sont doublées sur des trajets différents,
 - groupe d'alimentation de secours mis automatiquement en service en cas de panne du réseau;
- protection poussée des équipements :
 - protection des alimentations contre les surcharges, les surtensions, les coupures secteur,
 - protection électromagnétique et radioélectrique des équipements assurant la compatibilité de leur fonctionnement entre eux et vis-à-vis de l'environnement,
 - protection des équipements contre la foudre par des éclateurs et des mises à la terre très soignées;
- application stricte des normes pour un bon fonctionnement dans des conditions d'environnement spécifiées :
 - chauffage, ventilation et air conditionné régulé automatiquement dans chaque site maintenant ainsi la température, l'humidité et la propreté dans des conditions compatibles avec un fonctionnement sans personnel de maintenance,
 - détection et extinction sélective appropriée d'incendie dans chaque site.

4

GESTION DU PROGRAMME SNR LORAN-C

La maîtrise d'œuvre du programme, composée de deux ingénieurs du Service Technique des Constructions et Armes Navales, est assistée par un maître d'œuvre industriel, la société SODETEG, dont la fonction est double :

- coordination technique, suivi d'avancement des différentes tâches;
- études techniques particulières, rédaction de spécifications.

Les travaux de génie civil et immobiliers ont été confiés à la Direction des Travaux Maritimes de Cherbourg pour la station d'émission de Lessay, et de Rochefort pour la station d'émission de Soustons.

Les Directions des Constructions et Armes Navales de Cherbourg pour la station de Lessay, et de Lorient pour la station de Soustons, sont responsables des installations de transformation et de distribution du courant électrique.

La Direction des Constructions et Armes Navales de Brest assure la responsabilité de tous les travaux d'aménagement de la station de contrôle.

Les transmissions téléphoniques et de données sont mises en place par les Services des Transmissions et de l'Information de la Marine de Cherbourg pour Lessay, Rochefort pour Soustons et Brest pour la station de contrôle.

Enfin, la société américaine MEGAPULSE a été retenue, après appel d'offres, pour la fourniture de l'ensemble des équipements électroniques d'émission et de contrôle.

Des sociétés françaises sous-traitantes assureront la fourniture des équipements suivants :

- antennes d'émission : CGTI;
- groupes diesel alternateurs de secours : DIESEL-ENERGIE;
- climatisation, chauffage, ventilation : RENOVAIR;
- modems de transmissions de données : SECMAT.

Il est à noter que la Direction du Service des Phares et Balises a été saisie des projets de la Marine nationale dès 1978. La Commission des Phares et Balises a donné un avis favorable à ce programme. Le Service des Phares et Balises a souhaité y être associé. Il apportera son concours financier et le gardiennage des stations d'émission sera assuré par son personnel.

5 PLANIFICATION DU PROGRAMME

Le planigramme ci-dessous représente le calendrier des tâches passées et à venir au stade actuel d'avancement du programme, faisant apparaître leur chronologie et leurs imbrications.

Un contrat a été notifié, en mai 1982, à la société MEGAPULSE pour une phase d'études préliminaires comportant en particulier les études :

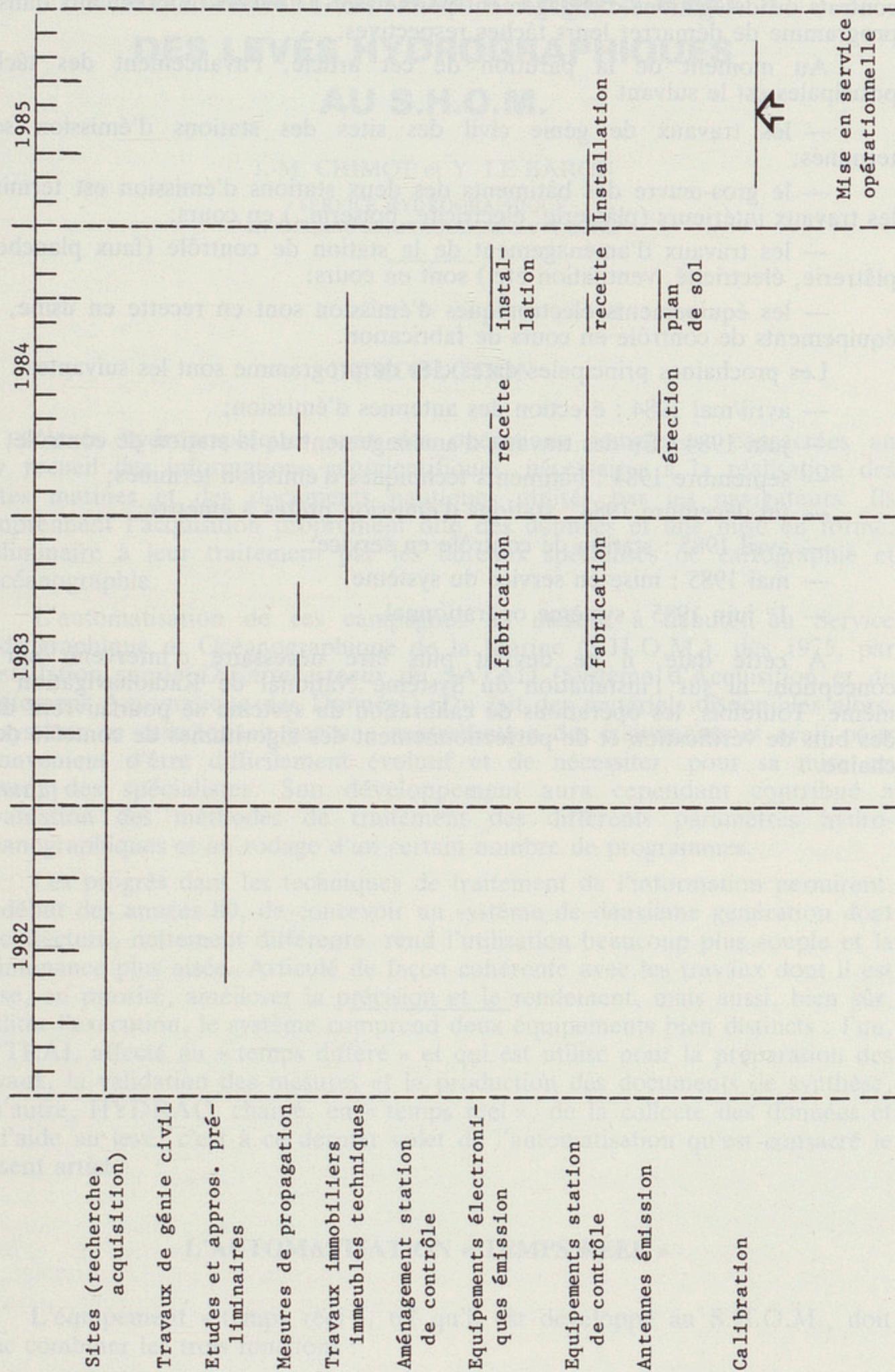
- de système;
- d'adaptation des équipements électroniques aux besoins spécifiques du SRN Loran-C;
- de définition des ensembles sous-traités ainsi que la rédaction des spécifications correspondantes;
- des interfaces génie civil.

Ce contrat a également permis de lancer les approvisionnements de certains composants à longs délais d'approvisionnements.

Un second contrat a été passé, en avril 1983, à la même société MEGAPULSE, pour une campagne d'essais de propagation des signaux Loran-C en quatre phases, réparties sur une année, pour analyser les phénomènes de propagations saisonniers. Cette campagne avait pour but de mieux connaître les conditions de propagation des signaux 100 kHz en France, et de recueillir le maximum de données permettant d'élaborer les paramètres des algorithmes de contrôle de chaîne. Cette campagne a également permis de mieux connaître les variations de propagation sur mer, donc vers l'utilisateur, lesquelles sont relativement faibles.

Le contrat principal portant sur l'ensemble des équipements électroniques d'émission et de contrôle a été notifié à la société MEGAPULSE en juillet 1983.

Planigramme d'ensemble du programme sur Loran-C



Parallèlement, entre mai et septembre 1983, ont été mis en place les contrats ou délégations d'engagement permettant à tous les intervenants dans le programme de démarrer leurs tâches respectives.

Au moment de la parution de cet article, l'avancement des tâches principales est le suivant :

- les travaux de génie civil des sites des stations d'émission sont terminés;
- le gros-œuvre des bâtiments des deux stations d'émission est terminé, les travaux intérieurs (plâtrerie, électricité, boiserie..) en cours;
- les travaux d'aménagement de la station de contrôle (faux planchers, plâtrerie, électricité, ventilation etc.) sont en cours;
- les équipements électroniques d'émission sont en recette en usine, les équipements de contrôle en cours de fabrication.

Les prochaines principales dates clés du programme sont les suivantes :

- avril/mai 1984 : érection des antennes d'émission;
- juin 1984 : fin des travaux d'aménagement de la station de contrôle;
- septembre 1984 : bâtiments techniques d'émission terminés;
- fin décembre 1984 : stations d'émission prêtes à émettre;
- avril 1985 : station de contrôle en service;
- mai 1985 : mise en service du système;
- 1^{er} juin 1985 : système opérationnel.

A cette date, il ne devrait plus être nécessaire d'intervenir sur la conception, ni sur l'installation du Système National de Radionavigation lui-même. Toutefois, les opérations de calibration du système se poursuivront dans des buts de vérification et de perfectionnement des algorithmes de contrôle de la chaîne.

(à suivre)

SOMMAIRE

LE SYSTÈME NATIONAL DE RADIONAVIGATION LORAN-C

(Deuxième partie)

par B. CANU

LES NOUVEAUTÉS TECHNIQUES.

- Le système national de radionavigation Loran-C (Deuxième partie),*
par B. CANU 269
- Les radars météorologiques modernes pour l'aviation civile,* par
C. CASTELBOU 284
- Mode S et T.CAS : conception en France et programme* 291
- Méthodes de prospection pour la mise en œuvre de stations Oméga*
différentiel, par G. NARD 302

LA CHRONIQUE DU NAVIGANT.

- Libre propos sur les radars anticollision,* par F. X. NETTERSHEIM ... 322
- Le radar anticollision à la mer,* par B. CAILLEUX 329
- Règles provisoires relatives aux hydravions et aux avions amphibies.* 335
- Trente années de progrès en navigation maritime commerciale,* par
P.H..... 338

HISTOIRE DE LA NAVIGATION.

- Exploration sous-marine de la région pôle Nord. Histoire,*
problèmes, calcul du point et pilotage (Première partie), par
WALDO K. LYON 345

INFORMATIONS..... 362

CHRONIQUE DES LIVRES ET REVUES..... 372

LE SYSTÈME NATIONAL DE RADIONAVIGATION LORAN-C

(Deuxième partie)

par B. CANU

INGÉNIEUR PRINCIPAL DE L'ARMEMENT
S.T.C.A.N.

6 DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉMISSION ET DE MESURE

6,1 Description générale.

Les stations d'émission et de mesure constitueront des installations très importantes, en raison des grandes dimensions des antennes d'émission (213 m) et de leur plan de sol (300 m de rayon).

Chaque station est donc un quadrilatère d'environ 600 m de côté (36 ha).

Les deux stations auront une configuration identique. Leur aspect général est présenté sur la *figure 10*.

Les principaux éléments de ces stations apparaissent sur cette figure :

— le bâtiment technique abritant tous les équipements d'émission, de mesure, de contrôle automatique et de télécommunications. Sa surface sera d'environ 400 m²;

— l'antenne d'émission dont le pylône mesure 213 m. Son socle sera situé au centre du site et à proximité du bâtiment technique;

— les deux antennes de réception redondantes, d'une hauteur de 10 m, situées sur le site, mais en dehors de l'emprise du plan de terre;

— la villa du gardien et ses dépendances.

6,2 Le bâtiment technique.

Les bâtiments techniques des stations de Lessay et Soustons sont construits sous les responsabilités respectives des Directions des Travaux Maritimes de Cherbourg et de Rochefort.

Chacun d'eux comprendra (voir *fig. 11*) :

— une salle abritant le système émetteur et constitué principalement (voir aussi *fig. 12*) :

— d'un ensemble de puissance constitué par 16 générateurs de demi-cycles,

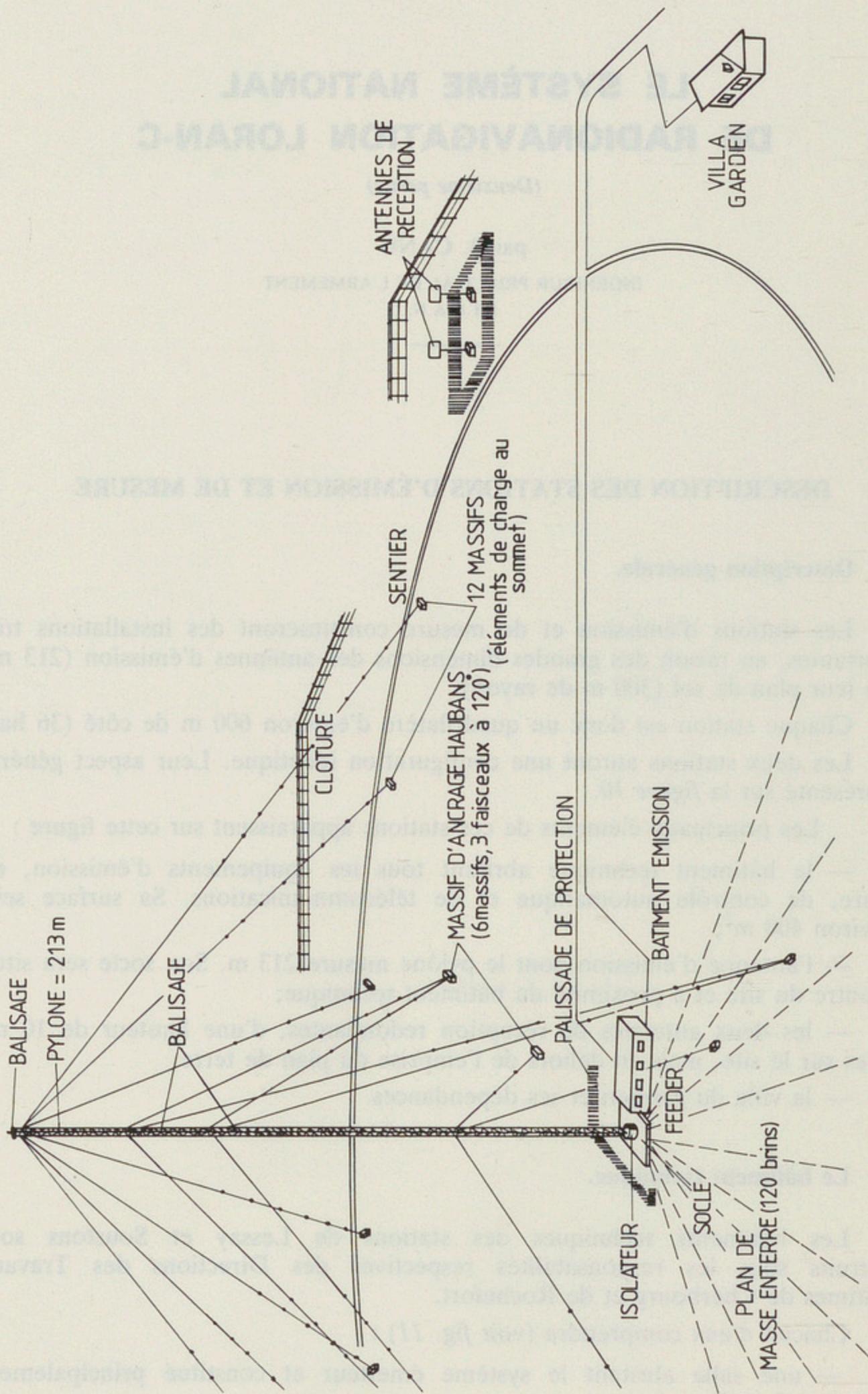


Fig. 10. — Station émission mesure. Vue globale

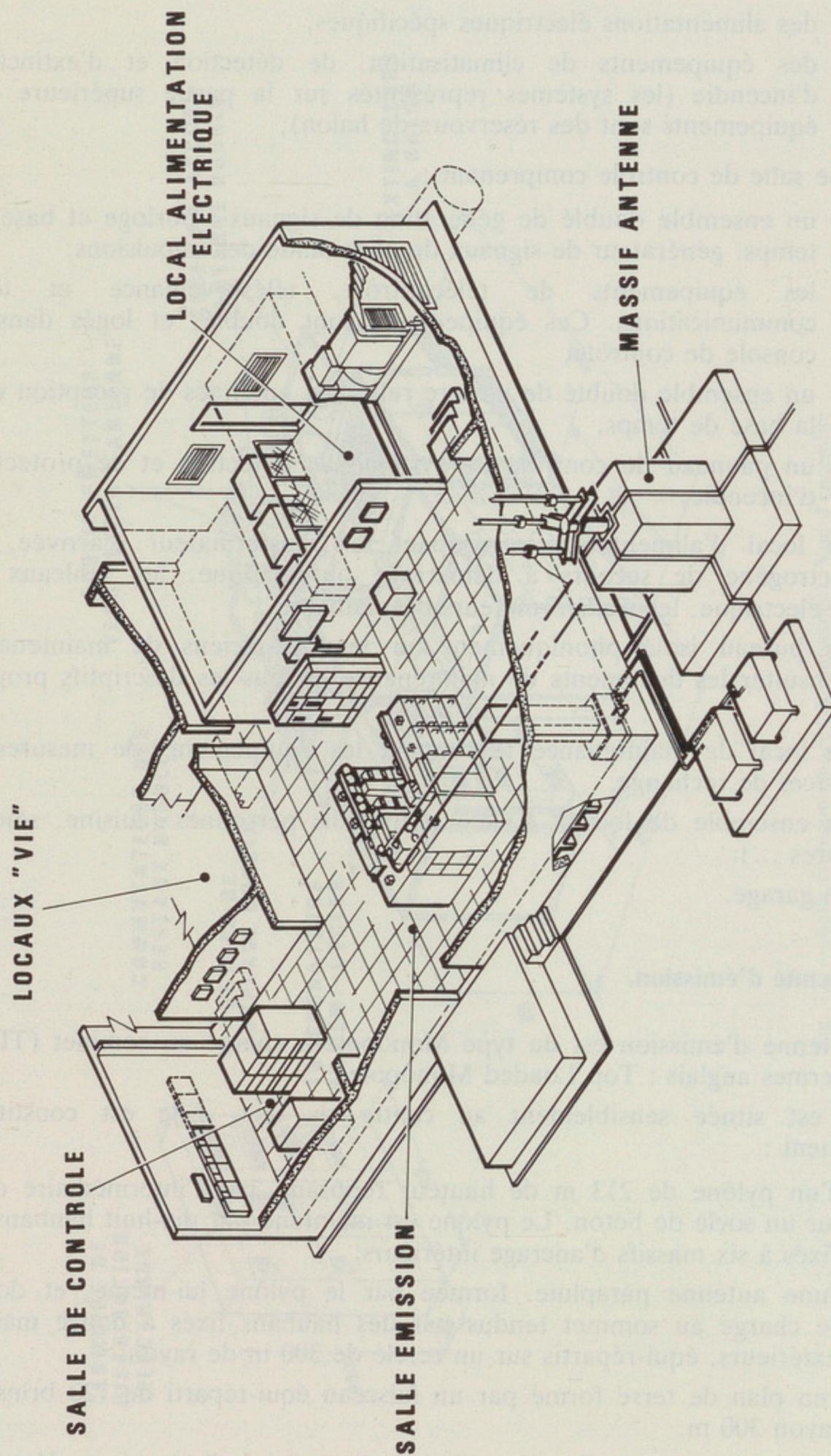


Fig. 11. — Locaux techniques du bâtiment émission

- d'un réseau doublé de couplage et un réseau doublé d'accord d'antenne ainsi que le feeder d'antenne,
- des alimentations électriques spécifiques,
- des équipements de climatisation, de détection et d'extinction d'incendie (les systèmes représentés sur la partie supérieure des équipements sont des réservoirs de halon);
- une salle de contrôle comprenant :
 - un ensemble doublé de génération de signaux : horloge et base de temps, générateur de signaux de commande des impulsions,
 - les équipements de télécontrôle, télésurveillance et télécommunications. Ces équipements sont doublés et logés dans la console de contrôle,
 - un ensemble doublé de mesure relié aux antennes de réception et à la base de temps,
 - un panneau de contrôle du système de détection et de protection d'incendie;
- un local d'alimentation regroupant le transformateur d'arrivée, un groupe électrogène de secours à démarrage automatique, les tableaux de distribution électrique, les transformateurs d'isolement;
- un bureau isolé phoniquement où les techniciens de maintenance pourront consulter les documents de maintenance et tous les descriptifs propres à la station;
- un local de maintenance regroupant les équipements de mesures et certaines pièces de rechange;
- un ensemble de locaux « vie » pour trois personnes (cuisine, séjour, trois chambres ...);
- un garage.

6,3 L'antenne d'émission.

L'antenne d'émission est du type Monopole à charge au sommet (TLM) (sigle des termes anglais : Top Loaded Monopole).

Elle est située sensiblement au centre du site. Elle est constituée essentiellement :

- d'un pylône de 213 m de hauteur reposant, par l'intermédiaire d'un isolateur, sur un socle de béton. Le pylône est maintenu par dix-huit haubans de structures fixés à six massifs d'ancrage intérieurs;
- d'une antenne parapluie, formée par le pylône lui-même, et douze éléments de charge au sommet tendus par des haubans fixés à douze massifs d'ancrage extérieurs, équi-répartis sur un cercle de 300 m de rayon;
- d'un plan de terre formé par un faisceau équi-réparti de 120 brins de cuivre de rayon 300 m.

Les deux sorties de l'émetteur sont connectées l'une au pylône de l'antenne, l'autre au plan de terre.

L'antenne sera construite et installée par une société française, la Compagnie Générale de Télécommunications International (C.G.T.I.).

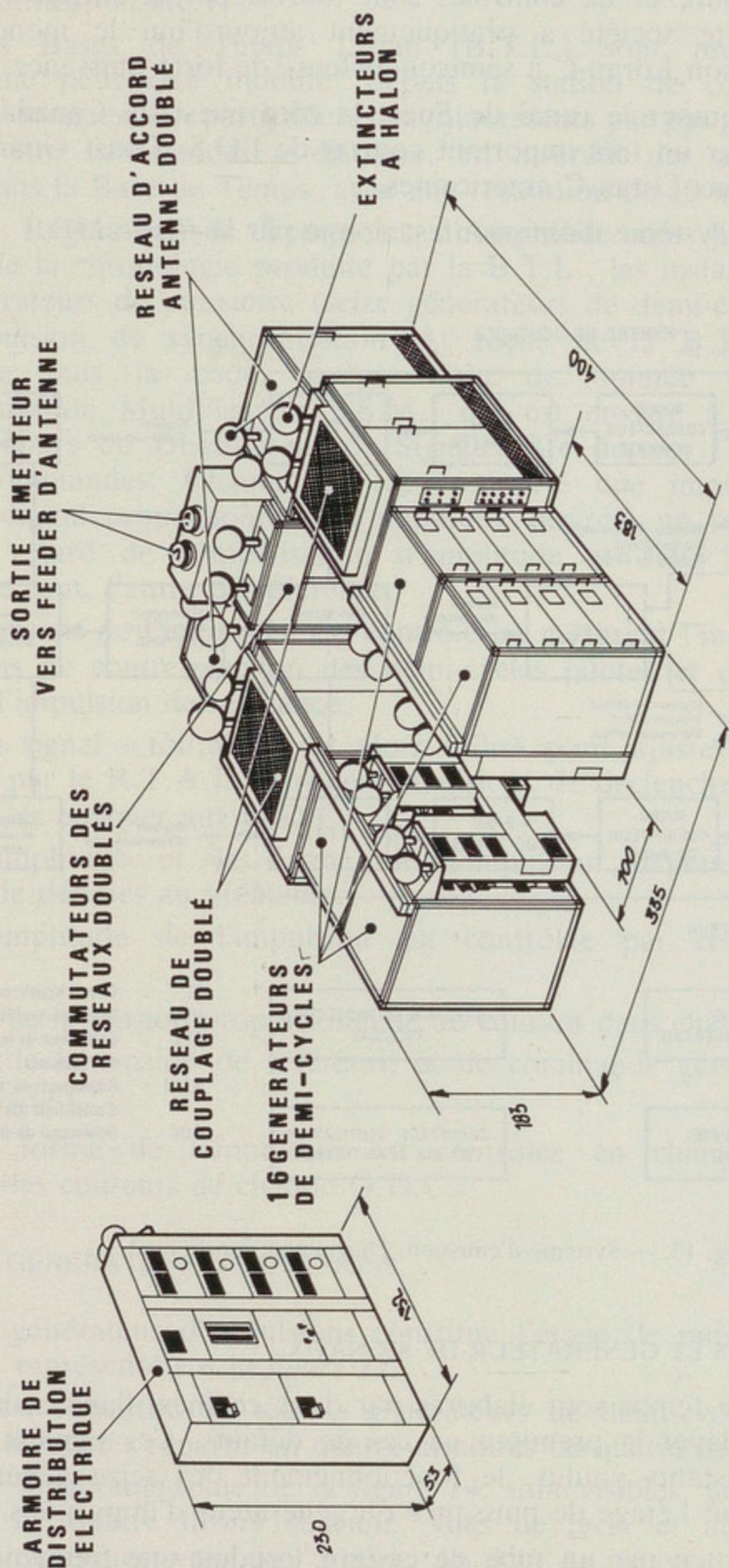


Fig. 12. — Salle émission (étages de puissance). Vue d'ensemble

6.4 Les équipements d'émission.

Les équipements électroniques d'émission, comme d'ailleurs les équipements de mesure et de contrôle, sont fournis par la société américaine MEGAPULSE. Cette société a pratiquement aujourd'hui le monopole des équipements d'émission Loran-C à semiconducteurs de forte puissance.

Elle vient d'équiper le canal de Suez, la côte ouest du Canada, l'Arabie Saoudite, et d'obtenir un très important contrat de l'U.S. Coast Guard pour la rénovation des stations Loran-C américaines.

Le schéma du système d'émission est donné par la *figure 13*.

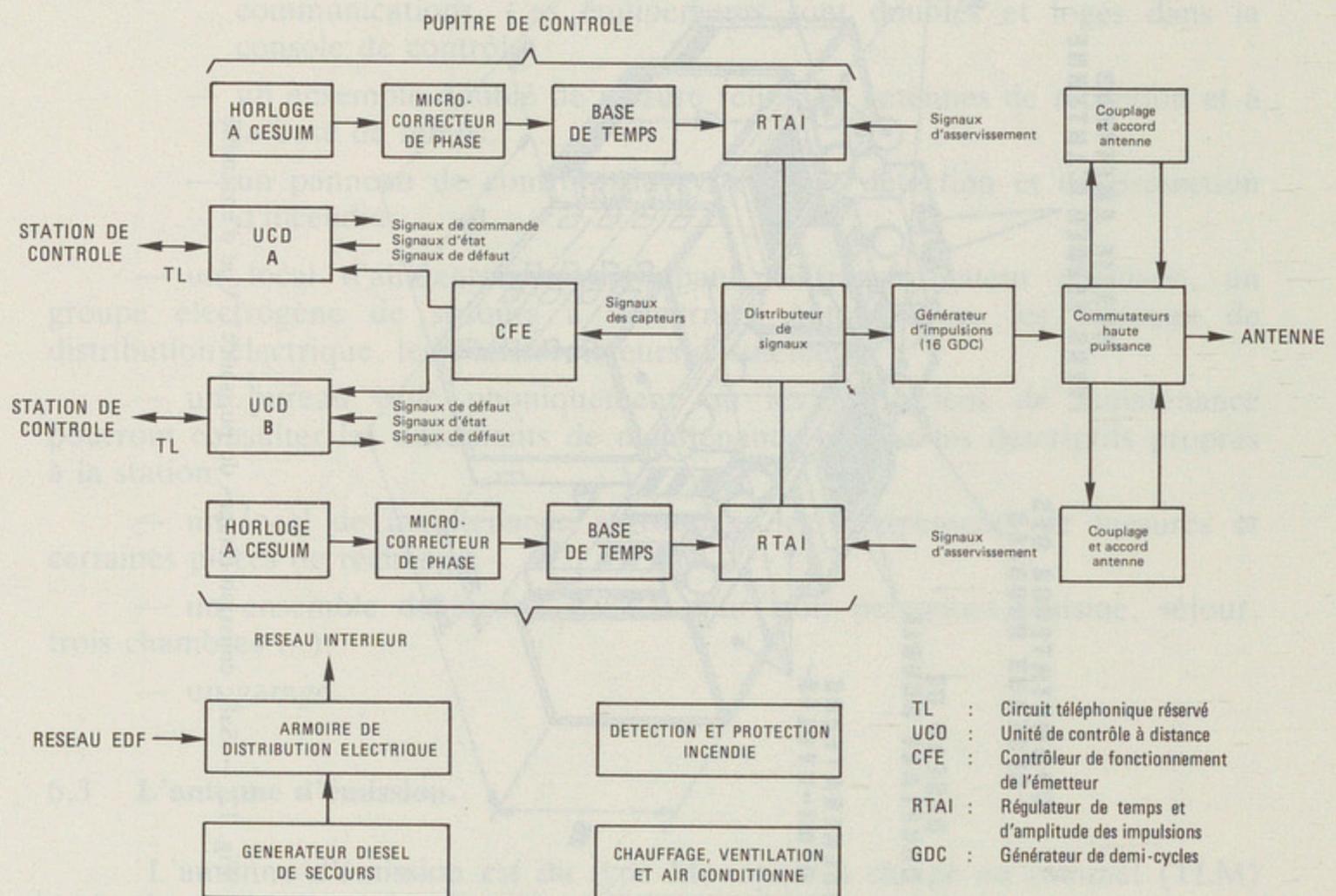


Fig. 13. — Système d'émission. Diagramme fonctionnel

6.41 BASE DE TEMPS ET GÉNÉRATEUR DE SIGNAUX.

Les signaux de temps sont élaborés par deux chaînes, l'une active, l'autre en veille prête à relayer la première en cas de défauts. Ces signaux de temps déclenchent, aux instants voulus, le fonctionnement des seize générateurs de demi-cycle constituant l'étage de puissance ou générateur d'impulsions.

L'horloge, pilotée par un tube de césium, produit une fréquence 5 MHz synchronisée avec la référence de temps de la chaîne (Temps Atomique de Brest).

Un microcorrecteur de phase permet d'ajuster la phase de la fréquence, sans intervention sur l'horloge, avec une précision extrême de 10^{-14} (soit une nanoseconde par jour).

A partir de cette fréquence ainsi ajustée, la Base de Temps Loran produit la chronologie de signaux sur laquelle repose le format du signal Loran-C (suite des impulsions, suite des groupes d'impulsions, intervalles de codes de phase pour identification etc.).

Les Bases de Temps Loran (B.T.L.) sont programmées, mais le programme peut être modifié, depuis la station de contrôle, pour ajuster certaines données. En particulier, des ajustements par pas de l'instant d'émission peuvent être commandés à distance, en insérant des ajustements de phase locaux dans la Base de Temps, avec une résolution de 10 nanosecondes.

Le Régulateur de Temps et d'Amplitude des Impulsions (R.T.A.I.) dérive, de la chronologie produite par la B.T.L., les instants de déclenchement des générateurs de puissance (seize générateurs de demi-cycle G.D.C.). Quand une impulsion de synchronisation est reçue de la B.T.L., le R.T.A.I. la temporise puis la code en un train de donnée série (Séquence de Synchronisation Multiplexée : S.S.M.) qui est envoyé à chaque G.D.C. par l'intermédiaire du Distributeur de Signaux. Ce dernier l'aiguille et ajoute les autres commandes. Chaque S.S.M. comporte une impulsion de début, un nombre digital proportionnel à l'amplitude désirée, un second nombre digital pour le retard de compensation d'amplitude et deux impulsions, l'une de déclenchement, l'autre de référence.

L'instant de l'impulsion est contrôlé en mesurant l'instant d'apparition des impulsions de contre-réaction des demi-cycles pilotes et en le comparant avec celui de l'impulsion de référence.

Un signal « tôt/tard » est alors utilisé pour ajuster la valeur du retard introduit par le R.T.A.I. entre les impulsions de déclenchement et de référence avant de les envoyer aux G.D.C.

L'amplitude et la forme de l'impulsion dépendent de valeurs de commande définies au préalable.

L'amplitude de l'impulsion est contrôlée par comparaison entre les valeurs :

- de la tension proportionnelle au courant dans chaque G.D.C.;
- de la tension de référence et de commande générée par le R.T.A.I. pour ce G.D.C.

La forme de l'impulsion est contrôlée en changeant les amplitudes relatives des courants de chaque G.D.C.

6,42 LE GÉNÉRATEUR D'IMPULSIONS.

Le générateur d'impulsions constitue l'étage de puissance de l'émetteur, lui-même représenté sur la *figure 14*.

Il est constitué de seize « générateurs de demi-cycles » montés sur des tiroirs, eux-mêmes répartis en quatre armoires de quatre tiroirs.

Sur la photographie de la *figure 14*, sont visibles, au premier plan, deux armoires de quatre tiroirs chacune, vues de face, et au second plan, deux armoires identiques, vues de l'arrière. Au-delà, se trouvent les armoires abritant les réseaux de couplage, sortie et commutation décrits au prochain paragraphe.

Un G.D.C. est représenté sur la *figure 15*.

Le G.D.C. constitue l'élément clé de l'émetteur et son fonctionnement repose sur un procédé technologique original, dit à compression d'impulsion, ne faisant appel qu'à des composants à état solide.



Fig. 14. — Émetteur à 16 G.D.C.

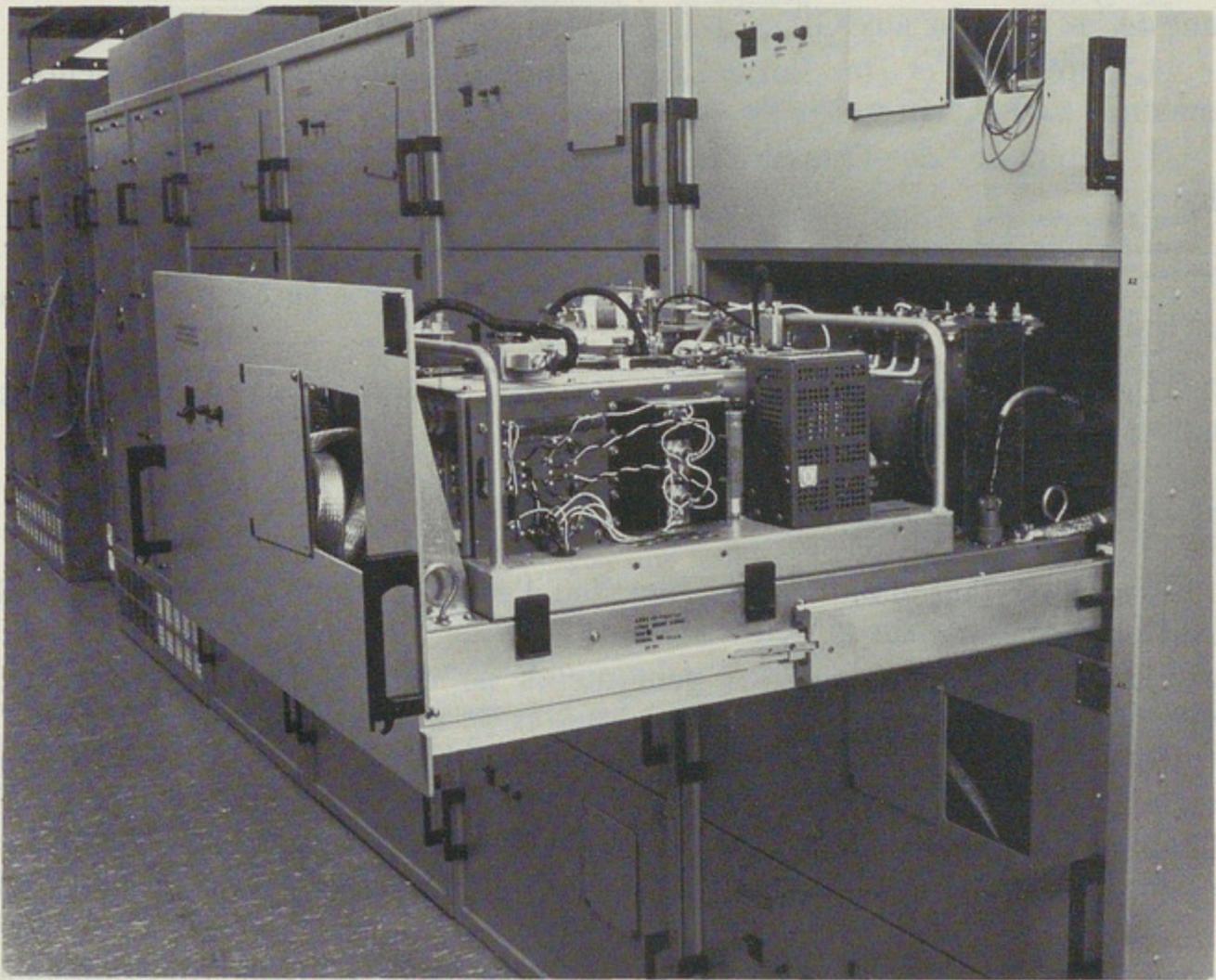


Fig. 15. — G.D.C. sur son tiroir

Chaque G.D.C. a pour but de produire une forte impulsion de courant sous forme d'un demi-cycle sinusoïdal de durée $5 \mu\text{s}$ correspondant à la fréquence 100 kHz de l'émetteur Loran-C.

Un G.D.C. comprend essentiellement quatre étages :

— une alimentation spécifique reliée au secteur et produisant un courant continu régulé;

— un premier réseau de charge constitué par une batterie de condensateurs, appelé « chargeur de mégatron »;

— un deuxième réseau de charge constitué par une seconde batterie de condensateurs et ses commandes (dont un commutateur magnétique) appelé « mégatron », destiné à délivrer dans le circuit de sortie de l'émetteur un courant d'intensité élevée (250 A) durant un temps très court ($5 \mu\text{s}$) sous la forme de demi-cycle voulue;

— un transformateur de sortie.

Les étages sont commandés uniquement par thyristors et, pour la sortie du « mégatron », par le commutateur magnétique, eux-même déclenchés par le R.T.A.I. Les constantes de charge et décharge des réseaux sont prévues de plus en plus courtes pour, à partir d'un courant de charge d'entrée long et faible, produire le demi-cycle de sortie bref et intense.

Pour générer une impulsion de sortie Loran-C, chaque G.D.C. est déclenché pour délivrer son énergie au réseau du couplage durant les vingt premières microsecondes de la durée de l'impulsion de sortie.

Une partie de l'énergie des G.D.C. est fournie à l'antenne durant cet intervalle de 20 microsecondes, mais la plus grande partie est stockée dans des circuits de couplage passifs qui font partie du réseau de couplage d'où elle est ensuite délivrée à l'antenne entre l'instant 20 microsecondes et l'instant 65 microsecondes (crête de l'impulsion) sous forme également de demi-cycles sinusoïdaux 100 kHz d'amplitude croissante. Après 65 microsecondes, de l'énergie continue a été rayonnée par l'antenne sous forme décroissante et oscillatoire (100 kHz).

Cette décroissance est volontairement accélérée, par dissipation dans des circuits particuliers d'atténuation du réseau de couplage, pour respecter la forme de l'enveloppe du signal Loran-C (voir *fig. 3*).

La forme de l'impulsion produite, en particulier entre l'instant 0 et la crête à 65 microsecondes (instants de passage à zéro des demi-cycles, amplitudes, forme de l'enveloppe), doit être respectée rigoureusement pour les utilisateurs. Cette forme est obtenue essentiellement par :

— le choix des instants de déclenchement contrôlés par le R.T.A.I., qui jouent sur les instants de passage à zéro, les amplitudes, l'écart entre l'origine de l'enveloppe et l'origine des demi-cycles;

— le choix de la séquence de déclenchement des demi-cycles positifs et négatifs;

— la détermination des valeurs électriques des composants passifs du circuit de couplage.

La puissance nominale développée par l'antenne est proportionnelle au nombre de G.D.C. utilisés. Dans le cas du Système National de Radionavigation, les seize générateurs de demi-cycle fourniront une puissance de 250 kW sur l'antenne de 213 m.

Les G.D.C. ne sont pas doublés. Si l'un d'eux tombe en panne, l'émetteur continue à émettre la puissance nominale grâce à un supplément d'énergie fourni automatiquement par les quinze autres G.D.C. Si un deuxième G.D.C. tombe en panne, avant que le premier ne soit changé (cas peu probable), la puissance rayonnée diminue seulement de 0,6 dB.

6,43 RÉSEAUX DE COUPLAGE, SORTIE ET COMMUTATION.

Le réseau de couplage, doublé, a pour fonction principale de mettre la sortie du générateur d'impulsions en forme d'impulsion standard Loran-C. Il consiste en un circuit résonnant LC parallèle accordé sur 100 kHz et des circuits d'amortissement. L'entrée du réseau de couplage est le courant des demi-cycles pilotes du générateur de demi-cycles. La sortie du réseau de couplage est reliée à l'antenne par l'intermédiaire du réseau de sortie. Le circuit équivalent d'antenne est un réseau R.L.C. série également accordé sur 100 kHz.

L'énergie du courant des demi-cycles pilotes est stockée provisoirement dans le circuit de couplage. Cette énergie est alors transférée par couplage résonnant au circuit d'antenne. Le courant d'antenne, sinusoïdal à 100 kHz, croît en amplitude, puis décroît. Les valeurs de L et C du réseau de couplage sont choisies pour que l'amplitude du courant antenne atteigne sa crête après 65 microsecondes. Près de cette crête, quatre circuits passifs, dits « tailbiters » sont fermés et absorbent une partie de l'énergie produite provoquant la décroissance rapide et monotone vers zéro du courant d'antenne.

Le réseau de sortie, doublé, consiste en un transformateur adaptateur et des inductances variables. La fonction du transformateur est de réaliser une transformation d'impédance entre le réseau de couplage et l'antenne. La fonction des inductances est d'accorder l'antenne à 100 kHz. La partie variable de l'inductance (circuit d'accord fin) est commandée automatiquement par le Régulateur de Temps et d'Amplitude des Impulsions (R.T.A.I.) pour maintenir le circuit d'antenne à la résonance malgré les variations d'impédance de l'antenne avec les conditions météorologiques.

Le réseau de commutation se compose de commutateurs motorisés permettant de connecter l'antenne sur l'un ou l'autre des réseaux de couplage et de sortie. La commutation peut être commandée soit manuellement, depuis la station d'émission ou la station de contrôle, soit automatiquement par le Contrôleur de Fonctionnement de l'Émetteur (C.F.E.) quand un défaut est détecté sur le réseau en service.

6,44 ÉQUIPEMENTS DE CONTROLE ET DE VISUALISATION.

Ces équipements sont placés dans la console de contrôle de l'émetteur (voir *fig. 16*), laquelle contient également le Régulateur de Temps et d'Amplitude des Impulsions, la Base de Temps, le Distributeur de Signaux.

Le Contrôleur de Fonctionnement de l'Émetteur (C.F.E.) est un tiroir de surveillance qui reçoit les résultats des tests intégrés à la plupart des équipements d'émission.

Il élabore également, à partir de critères programmés, les ordres de configuration de la chaîne de signaux de temps et des réseaux de couplage et de sortie.

Toute information de défaut est adressée au C.F.E. où le défaut est classé suivant trois catégories, activant ainsi l'alarme appropriée :

— l'alarme de fonctionnement indique un défaut ou un état qui réduit la redondance du système, mais n'affecte pas les performances ou la qualité du signal;

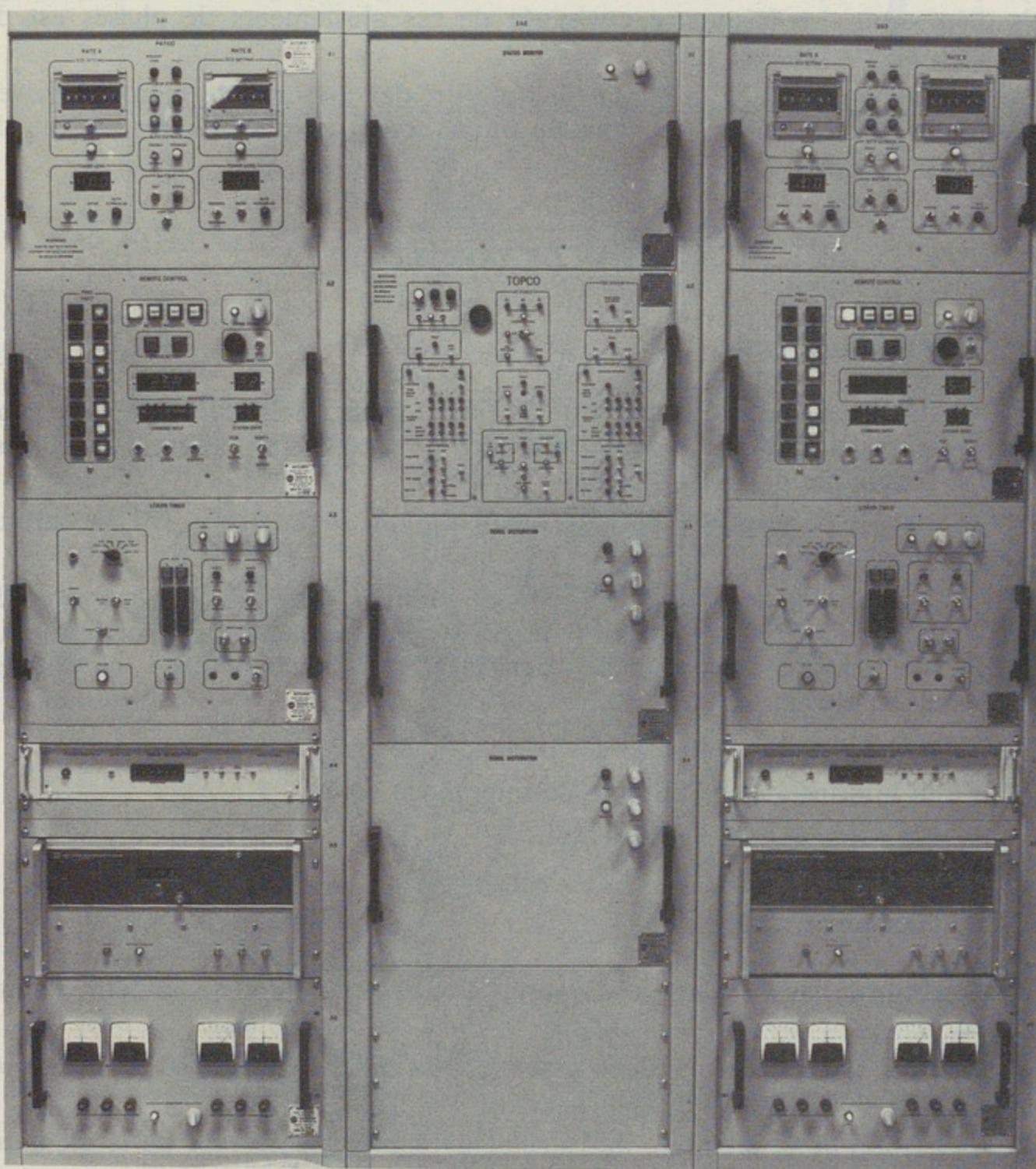


Fig. 16. — Console de contrôle de l'émetteur

— l'alarme système indique un défaut qui se traduit par une dégradation des performances;

— l'indicateur de commande manuelle indique qu'une fonction normalement automatique a été désactivée ou maintenue volontairement sur fonctionnement manuel.

Le Contrôleur d'État reçoit, directement ou indirectement, les changements d'états ou les états de défauts et les transmet à une imprimante locale où ils sont enregistrés.

L'Unité de Contrôle à Distance transmet à la station de contrôle tous les changements d'états, les défauts et les tests désirés. Elle relaie les ordres de la station de contrôle vers l'ensemble d'émission. Les ordres les plus courants concernent les changements de configuration de la chaîne de signaux de temps et des circuits de couplage et de sortie, et les ordres correctifs de temps dits « ajustements de phase locaux » en vue de corriger les glissements des temps réels d'émission. La fréquence envisagée de ces ajustements de phases est de une à cinq ou six fois par jour.

Une autre interface sert pour le transfert des mesures de temps d'arrivée des signaux vers la station de contrôle où ils sont traités dans l'algorithme de contrôle de la chaîne.

7

STATION DE CONTROLE

7,1 Description générale.

La station de contrôle est située à l'île Longue, près de Brest. Dans un local contigu se trouve l'horloge de référence de très haute précision qui fournit le Temps Atomique de Brest (TAB).

La station de contrôle aura la configuration de la *figure 17*. Sa surface sera d'environ 40 m².

La station de contrôle a comme premier objectif le contrôle du fonctionnement du SNR ⁽¹⁾ Loran-C et de la télécommande des émetteurs. Le contrôle de chaîne dispose de deux chaînes redondantes, constituées essentiellement chacune de :

- un ordinateur central et ses périphériques;
- une interface avec l'horloge de référence (TAB);
- des panneaux de visualisation.

7,2 Le ordinateur central.

Le contrôle de la chaîne est assuré par deux ordinateurs, un actif, l'autre en veille.

Chaque ordinateur contient essentiellement 256 kilooctets de mémoire intermédiaire, des instructions câblées.

La gestion de la mémoire du ordinateur permet l'adressage de la mémoire sur dix-huit parallèles (256 kilooctets) et elle fournit des dispositifs de protection et de repositionnement pour des opérations multitâches.

Le contrôle de parité accroît l'intégrité du système en générant et contrôlant la parité de toutes les références entre l'unité centrale du ordinateur et la mémoire.

Pour communiquer avec les équipements des stations d'émission et du centre de maintenance, le ordinateur est équipé de deux multiplexeurs à huit canaux asynchrones. Ces lignes sont « full duplex » avec des vitesses programmables individuellement jusqu'à 9 600 bits/s.

(1) SNR : Système National de Radionavigation.

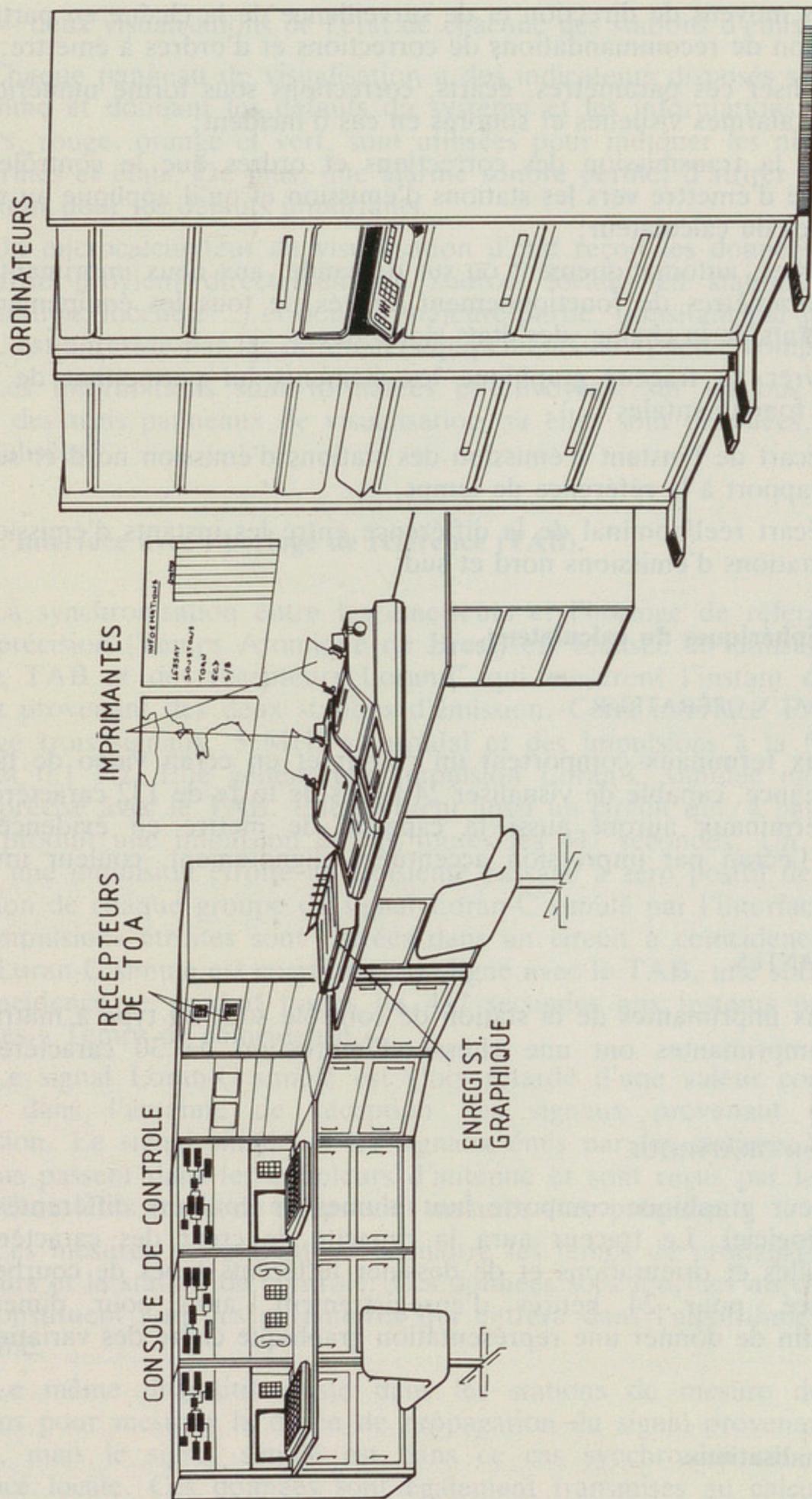


Fig. 17. — Station de contrôle. Vue des équipements

Le calculateur a pour principales fonctions de :

- traiter les données reçues (mesures, états, défauts, tests) pour donner à l'opérateur les moyens de direction et de surveillance de la chaîne en particulier par l'élaboration de recommandations de corrections et d'ordres à émettre;
- visualiser ces paramètres, écarts, corrections sous forme numérique et déclencher les alarmes visuelles et sonores en cas d'incident;
- gérer la transmission des corrections et ordres que le contrôleur de chaîne a décidé d'émettre vers les stations d'émission et qu'il applique au moyen des commandes du calculateur;
- adresser, automatiquement ou sur demande, aux deux imprimantes sur papier, les paramètres de fonctionnement désirés de tous les équipements du système, les états de la chaîne, des états statistiques;
- délivrer au traceur graphique les éléments lui permettant de tracer deux courbes fondamentales :
 - écart de l'instant d'émission des stations d'émission nord et sud par rapport à la référence de temps,
 - écart réel/nominal de la différence entre les instants d'émission des stations d'émissions nord et sud.

7,3 Les périphériques du calculateur.

7,31 TERMINAUX OPÉRATEUR.

Les deux terminaux comportent un clavier et un écran vidéo de table à haute performance, capable de visualiser 24 lignes de texte de 132 caractères par ligne. Ces terminaux auront aussi la capacité de mettre en évidence tout caractère de l'écran par impression accentuée, clignotement, couleur inversée etc.

7,32 IMPRIMANTES.

Les deux imprimantes de la station de contrôle sont du type à matrice de points. Les imprimantes ont une vitesse d'impression de 30 caractères par seconde.

7,33 TRACEUR GRAPHIQUE.

Le traceur graphique comporte huit plumes de couleurs différentes sous contrôle du logiciel. Le traceur aura la capacité de créer des caractères de différentes tailles et orientations et de dessiner différents types de courbes. La zone de tracé, pour 24 heures d'enregistrement, aura pour dimensions 28×43 cm afin de donner une représentation graphique claire des variations de temps.

7,4 Les visualisations.

Parmi la grande quantité de données disponibles à la station de contrôle, les plus significatives sont présentées à l'opérateur sur des panneaux de visualisation à plusieurs couleurs, lui permettant de disposer ainsi d'une vue d'ensemble sur le fonctionnement de la chaîne SNR Loran-C.

Deux types de visualisation sont intégrés dans la console de contrôle :

- une visualisation de l'état de l'ensemble « contrôle de chaîne »;
- deux visualisations de l'état de chacune des stations d'émission.

Chaque panneau de visualisation a des indicateurs disposés sous forme de diagramme et donnant les défauts du système et les informations d'état. Trois couleurs, rouge, orange et vert, sont utilisées pour indiquer les niveaux relatifs des alarmes et états. De plus, une alarme sonore permet d'attirer l'attention de l'opérateur pour les défauts importants.

Un microcalculateur de visualisation d'état reçoit les données d'état dont une partie provient directement de sources locales en station de contrôle (alimentation, incendie...) et dont la majeure partie, transitant par le calculateur central, est adressée par les différents équipements du système complet.

Les informations sont formatées et envoyées, sur un bus parallèle, à chacun des trois panneaux de visualisation où elles sont décodées, verrouillées ou visualisées.

7,5 L'interface avec l'horloge de référence (TAB).

La synchronisation entre les émetteurs et l'horloge de référence de très haute précision (Temps Atomique de Brest) est réalisée en utilisant l'interface avec le TAB et des récepteurs Loran-C qui mesurent l'instant d'arrivée des signaux provenant des deux stations d'émission. Cette interface TAB reçoit de l'horloge trois signaux, 5 MHz sinusoïdal et des impulsions à la fréquence de 1 Hz et 0,1 Hz. Elle génère une impulsion Loran-C simulée en relation de temps précise avec le TAB. Elle contient aussi un circuit qui, à partir du signal 1 Hz, produit une impulsion étroite toutes les 447 secondes. Un autre circuit génère une impulsion étroite au troisième passage à zéro positif de la première impulsion de chaque groupe du signal Loran-C simulé par l'interface TAB. Ces deux impulsions étroites sont entrées dans un circuit à coïncidence. Quand le signal Loran-C simulé est correctement aligné avec le TAB, une sortie du circuit de coïncidence se produit toutes les 447 secondes aux instants prévus par la table des « Temps de coïncidence ».

Le signal Loran-C simulé est alors retardé d'une valeur connue fixe et couplé dans l'antenne de réception des signaux provenant des stations d'émission. Le signal simulé et les signaux émis par les stations de Lessay et Soustons passent dans les coupleurs d'antenne et sont reçus par les récepteurs Loran-C où leurs écarts de temps sont mesurés avec précision.

Ces mesures permettent de connaître les temps de propagation entre les émetteurs et la station de contrôle. Ces données sont fournies au calculateur où elles constituent l'un des paramètres qui entrera dans l'algorithme de contrôle de chaîne.

Le même dispositif existe dans les stations de mesure de Lessay et Soustons pour mesurer la durée de propagation du signal provenant de l'autre station, mais le signal simulé est dans ce cas synchronisé sur l'horloge de référence locale. Ces données sont également transmises au calculateur de la station de contrôle.