

Zeitschrift:	Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri
Herausgeber:	Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe
Band:	52 (1974)
Heft:	3
Artikel:	Antenna of the swiss satelite earth station = L'antenne de la station terrienne suisse pour satellites
Autor:	Sarkar, Subrata K.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-874748

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Antenna of the Swiss Satellite Earth Station

L'antenne de la station terrienne suisse pour satellites

Subrata K. SARKAR, Bern

621.396.677.833.1.002:621.396.934:629.783
621.396.71(494):621.396.934:629.783

Die Antenne der schweizerischen Satelliten-Bodenstation

Zusammenfassung. Dieser Artikel beschreibt den Aufbau der 29,6-m-Parabolantenne der schweizerischen Satelliten-Bodenstation in Leuk. Behandelt werden die mechanische Struktur sowie die Subsysteme für Antrieb, Antennensteuerung und Enteisung. Die Antenne funktioniert einwandfrei und erfüllt alle Pflichtwerte.

Résumé. Le présent article décrit les détails constructifs de l'antenne parabolique de 29,6 m de la station terrière suisse pour satellites de Loèche. Il y est question de la structure mécanique, des sous-ensembles d'entraînement et de commande d'antenne ainsi que du dispositif de dégivrage. L'antenne fonctionne impeccablement et satisfait à toutes les valeurs imposées.

L'antenna della stazione terrestre svizzera per comunicazioni via satelliti

Riassunto. Nel presente articolo è descritta la struttura dell'antenna parabolica di 29,6 m della stazione terrestre svizzera per comunicazioni via satelliti di Leuk. Si considerano in modo particolare le strutture meccaniche come pure i sistemi secondari dei motori, i comandi dell'antenna e il riscaldamento per evitare la formazione di ghiaccio. L'antenna funziona in modo perfetto ed è conforme ai valori richiesti dal capitolato d'oneri.

1. Introduction

The Cassegrainian feed antenna has an azimuth-elevation mount where the fixed (azimuth) axis is vertical and the moving (elevation) axis rotates in a horizontal plane. The antenna is designed for communication, transmission 5925 MHz to 6425 MHz, and reception 3700 MHz to 4200 MHz, with Intelsat geostationary satellite. The selection, design and construction are based, on the one hand, on operational flexibility, future communication expansion possibility and the state of technology and, on the other hand, ability to withstand the physical environment and to harmonize with the natural surroundings.

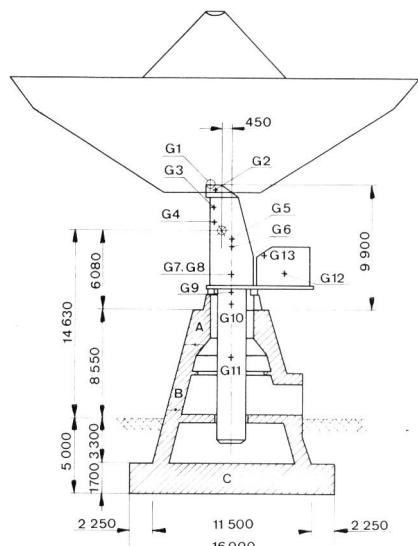


Fig. 1
Distribution of antenna weight — Répartition des charges sur l'antenne

G 1	Main reflector — Réflecteur principal	180 t
G 2	Pillow block — Bloc de coussinet	14 t
G 3	Feed room — Cabine d'alimentation	20 t
G 4	Yoke arms — Bras d'alimentation	24 t
G 5	Speed reducers — Reducteurs de vitesse	10 t
G 6	Elevator, etc. — Ascenseur, etc.	10 t
G 7	Speed reducer — Réducteur de vitesse	10 t
G 8	Joke body — Corps du joug	72 t
G 9	Bull gear, bearing — Couronne dentée, palier	20 t
G10	Steel base — Base d'acier	30 t
G11	Elevator shaft — Cage d'ascenseur	7 t
G12	HPA room, etc. — Cabine d'amplification de puissance, etc.	35 t
G13	Stair way — Escalier d'accès	4 t
Total		436 t
A	Top part of the tower — Partie supérieure de la tour	270 t
B	Middle part of the tower — Partie médiane de la tour	225 t
C	Concrete base of the tower — Base de la tour	820 t
* Dimensions are in mm — Dimensions en mm	Total	1751 t

1. Introduction

L'antenne alimentée selon le système Cassegrain est montée sur un support combiné pour les mouvements en azimut et en élévation; l'axe fixe (azimut) est vertical et l'axe mobile (élévation) pivote dans un plan horizontal. Destinée au trafic avec un satellite de télécommunication géostationnaire Intelsat, l'antenne émet dans la bande de 5925...6425 MHz et reçoit dans la plage de 3700...4200 MHz. Le choix, la conception et la construction de l'antenne sont basés, d'une part, sur la souplesse d'opération, les possibilités futures d'extension dans ce domaine des communications et l'état des techniques, d'autre part, sur l'aptitude à résister aux facteurs physiques de l'environnement et sur le problème que crée une implantation harmonieuse dans le site naturel.

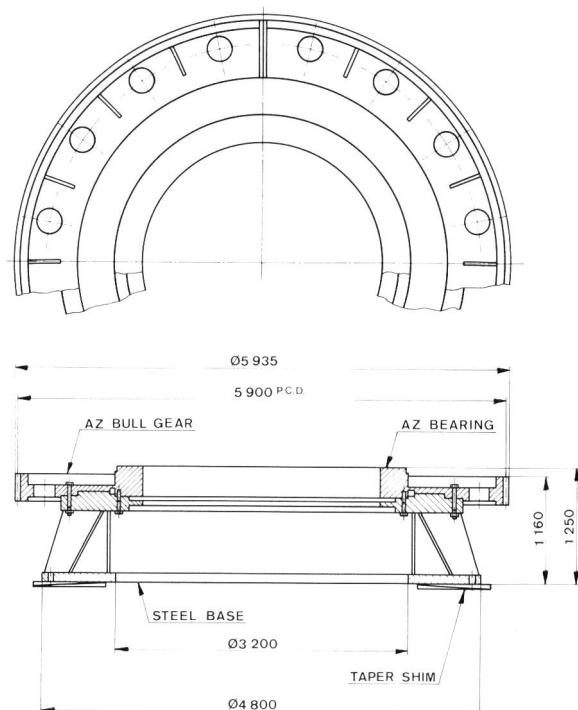


Fig. 2
Steel base assembly — Montage de la plaque de base en acier

AZ Bull gear — Couronne dentée d'azimut
AZ Bearing — Palier d'azimut
Steel base assembly — Montage de la plaque de base en acier
Taper shim — Appui conique
Steel base — Plaque de base en acier

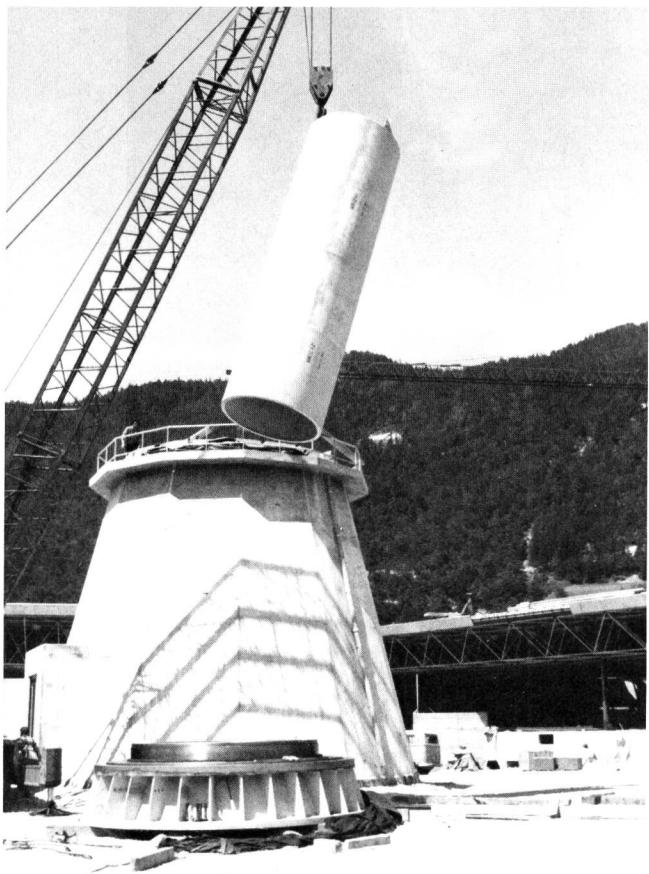


Fig. 3
Antenna tower, steel base and elevator shaft — Tour d'antenne,
base d'acier et cage d'ascenseur

2. Considérations portant sur la structure et la mécanique

2.1 Parties fonctionnelles

Les principales parties fonctionnelles de l'antenne sont les suivantes:

- a. La fondation et la tour (fig. 1).
- b. La structure d'azimut (base d'acier et joug, fig. 2...5).
- c. La structure d'élévation (moyeu central, fig. 6).
- d. La structure arrière du réflecteur (fig. 7 et 8).
- e. Le réflecteur principal.
- f. Le réflecteur auxiliaire et la construction métallique le supportant.
- g. Les parties mécaniques (telles que les dispositifs d'asservissement et d'entraînement, les engrenages, les paliers de chaque axe).
- h. Les annexes (telles que la cabine d'amplification de puissance, la cabine d'alimentation, l'ascenseur).

Toute l'antenne, y compris le réflecteur, la structure arrière, la structure d'élévation, le système d'équilibrage, la structure d'azimut, le socle de fondation, l'ancre au sol, etc., représente un ensemble essentiellement monolithique; sa stabilité est assurée par une préparation en conséquence de toute la surface d'assise. La précision de pointage du système d'antenne est comparable à celle d'un radiotéléscope de précision, également en ce qui concerne le réglage orthogonal des axes d'azimut et d'élévation.

L'erreur par rapport à la verticale de l'axe d'azimut de l'antenne ne dépasse pas 4 secondes d'arc à n'importe quel point d'un mouvement azimutal de 360° . Entre les axes d'azimut et d'élévation, l'erreur par rapport à l'angle droit n'excède pas 2 secondes d'arc à n'importe quel point d'un mouvement

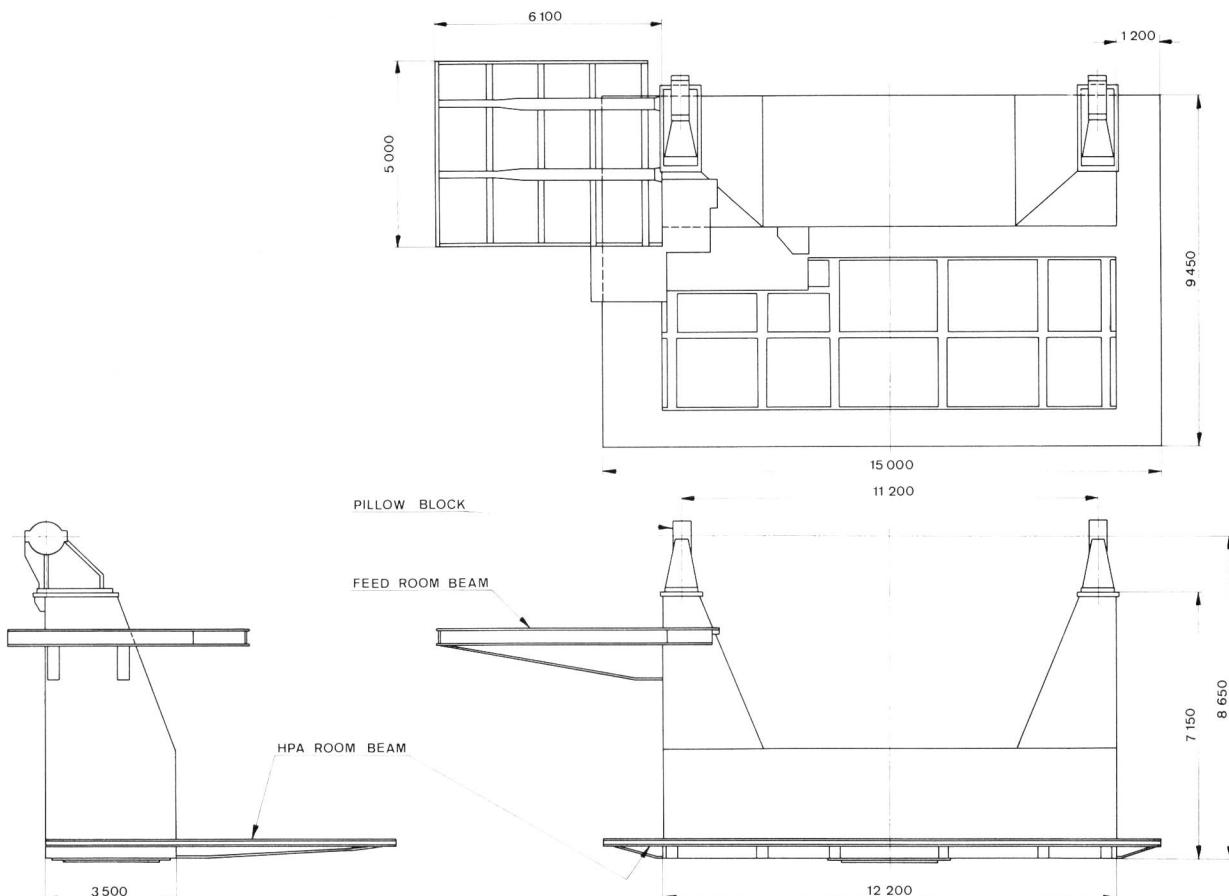


Fig. 4
Yoke assembly — Montage du joug

HPA room beam — Poutrelle de la cabine d'amplification de puissance
Feed room beam — Poutrelle de la cabine d'alimentation
Pillow block — Bloc de coussinet



Fig. 5
Yoke and tower — Tour et joug

2. Structural-Mechanical Aspects

2.1 Functional parts

The principal functional parts of the antenna are as follows:

- Foundation and Tower (*Fig. 1*)
- Azimuth structure (steel base and yoke, *Fig. 2 ... 5*)
- Elevation structure (center hub, *Fig. 6*)
- Reflector backup structure (*Fig. 7 and 8*)
- Main reflector
- Subreflector and quadripod
- Mechanical features (eg servo and drive, gears, bearings in each axis)
- Accessories (eg HPA room, feed room, elevator)

The complete antenna system including reflector, backup structure, elevation structure, counter balance, azimuth structure, tower, foundation footing and soil bearing, etc. is essentially a monolithic structure and is secured by proper preparation of the interface surface. The antenna system is matched to a precision radiotelescope by meeting comparable pointing accuracy, alignment of the azimuth axis vertically and elevation axis orthogonally. The antenna azimuth axis is vertical within an error of 4 seconds of arc anywhere around 360° of the azimuth axis. The azimuth-elevation axis is orthogonal within an error of 2 seconds of arc anywhere around 360° of azimuth axis. The measurements were done with level meter *Wild N 3*. The antenna structural parts were erected six months after completion of the foundation and tower, when the foundation had firmly settled.

All the moving parts are supported in azimuth by a large diameter combination roller bearing. The bearing is supported by a heavy steel base which is bolted to the top of the concrete tower. The azimuth bearing is able to resist simultaneously vertical load, horizontal load, and overturning moments. Thus all these forces are applied to the top of the concrete tower through the steel base. This type of bearing has been in use in several other antennas and has very high reliability. However, special provisions are made to replace it in a very short time or to temporarily fix it if required.

The whole steel structure is designed to the Swiss standard SIA 161 or approved equivalent. All materials are new and the specified quality is verified by the appropriate agency. Fabrication and shop proof assembly of the structure are within the specified tolerances and alignment requirements. All connections made in the shop are welded in accordance with the approved industrial standards and made by qualified and experienced welders. Joints, where the amount of weld-

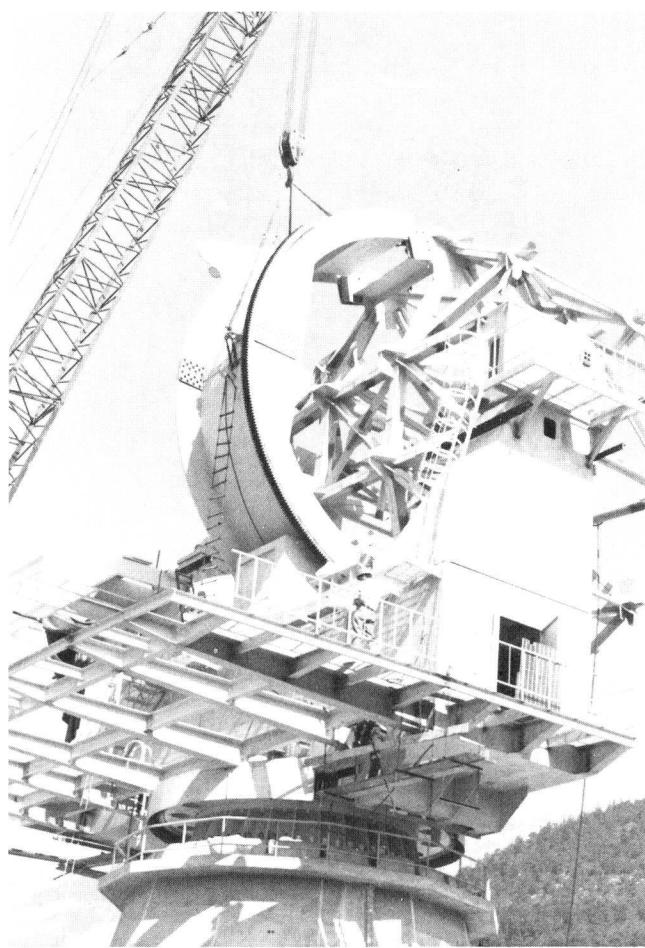


Fig. 6a
Elevation Bull gear Mount Assembly — Montage de la couronne dentée d'élévation



Fig. 6b
Center hub — Pivot central

ing resulted in high residual stresses, were stress relieved. Prior to shipping, the steel base, yoke, center hub, reflector backup structure, HPA and feed rooms were aligned and all discrepancies corrected in the shop to ensure accurate fit. All field connections were made only with high-strength bolts.

The center hub, reflector backup structure, quadripod, corrugated HPA and feed rooms, etc. were hot dip galvanized and covered with two coats of paint. Hot dip galvanizing was preceded by pickling of the parts. The parts that are too large (eg yoke) for hot dip galvanization were sand blasted, covered with zinc silicate and finished with two coats of paint. The materials were treated and painted by experts, in accordance with an approved corrosion protection plan. After suitable surface preparation, the front of each reflector panel was covered with one coat of zincchromate primer and two coats of diffusion paint.

2.2 Design parameters

The structural design is governed by the minimum deformation and highest natural frequency requirements for a given diameter antenna, where the mechanical load carries from the top to the bottom of the foundation. The minimum operating life is specified to be 20 years. The principal structural-mechanical design parameters are as follows:

a. Environmental effects

- Wind load: The antenna can operate in any position up to 120 km per hour steady wind and can survive in

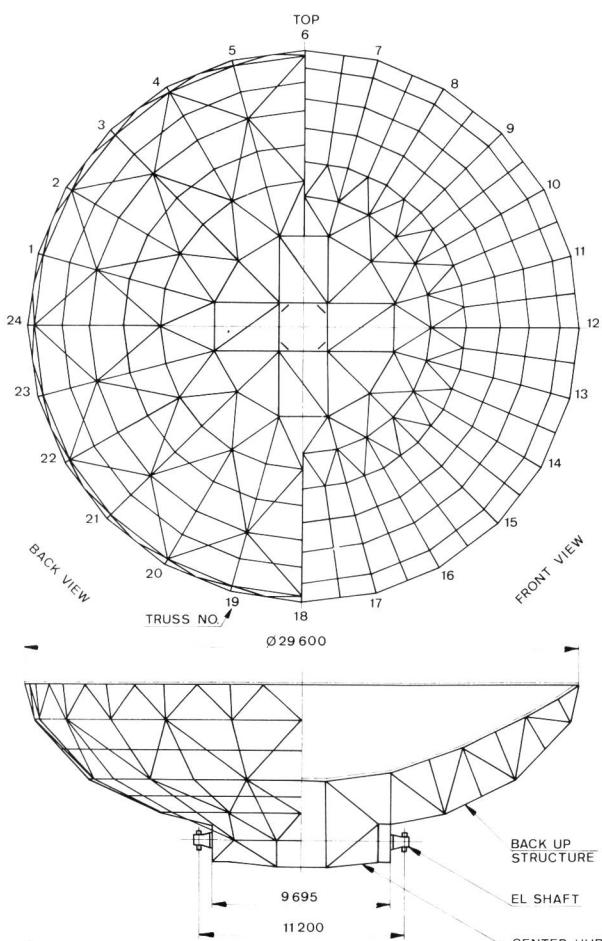


Fig. 7
Reflector backup structure — Configuration du réflecteur

Back up structure — Structure arrière

El(elevation) shaft — Axe d'élévation

Center hub — Moyeu central

Back view — Vue arrière

Truss N° — Travée N°

Front view — Vue de face

Top — Haut

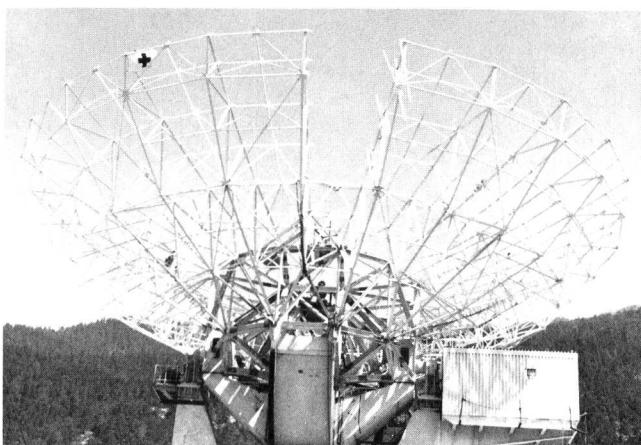


Fig. 8
Reflector backup structure — Configuration arrière du réflecteur

de rotation azimutal de 360°. Ces mesures ont été faites au moyen d'un niveau Wild N 3. Les travaux de montage des structures d'antenne n'ont débuté que six mois après l'achèvement des fondations et de la tour, afin que ces dernières puissent atteindre une stabilité optimale.

Toutes les parties mobiles sont supportées en azimut par un palier à rouleaux combiné de grand diamètre. Le palier est monté sur une plaque d'acier massive boulonnée au sommet de la tour de béton. Le palier d'azimut est capable de résister simultanément à des charges verticales, horizontales et à des moments de renversement. Tous ces efforts sont appliqués au sommet de la tour de béton par l'entremise de la plaque de base en acier. Ce genre de palier a été utilisé dans différentes antennes et s'est révélé très fiable. Toutefois, on a pris toutes mesures utiles pour qu'il puisse être remplacé en peu de temps ou réparé provisoirement si les circonstances l'exigent.

Toute la structure en acier est conçue conformément aux normes suisses SIA 161 ou à un équivalent approuvé. L'ensemble du matériel utilisé est neuf et les spécifications imposées sont vérifiées par les services intéressés. Les parties de la structure fabriquées et assemblées en usine répondent aux tolérances et aux cahiers des charges. Toutes les soudures faites en usine ont été effectuées par des soudeurs expérimentés et qualifiés et satisfont aux normes industrielles approuvées. Toute contrainte résiduelle aux joints décelée après soudure a été supprimée. Avant de les embarquer, on a soigneusement corrigé le plus petit gaufrage de la plaque de base et ajusté en usine le joug, le moyeu central, la structure arrière du réflecteur, les cabines HPA et d'alimentation d'antenne, afin que toutes ces pièces puissent être assemblées sans difficulté. Pour le montage sur place, il n'a été fait usage que de boulons à haute résistance.

Le moyeu central, la structure arrière du réflecteur, le support du réflecteur auxiliaire, les cabines en tôle cannelée de l'amplificateur de puissance et de l'alimentation d'antenne ont été galvanisés par immersion et recouverts de deux couches de peinture. Cette galvanisation a été précédée d'un décapage. Les pièces trop grandes pour être galvanisées (par exemple le joug) ont été sablées, puis recouvertes d'un vernis au silicate de zinc, avant de recevoir deux couches de peinture. Le matériel a été traité et peint par des peintres qualifiés, selon un plan approuvé de protection contre la corrosion. Après une préparation de surface adéquate, chaque panneau du réflecteur a reçu une couche de fond de chromate de zinc et deux couches de peinture de dispersion.

stow position at 192 km per hour steady wind.

- Seismic load: The antenna survives without any damage an earthquake of grade VIII (ground acceleration 0.3 g) on the modified Mercalli Intensity Scale.
- Solar radiation: 1.2 kW per square meter.
- Precipitation: Deicing system is implemented in order not to loose gain during communications due to snow and ice.

b. Surface accuracy

Reflector panel surface error results in loss of gain. The sources of error are:

- Deflections due to gravity, wind, thermal differentials, ice loadings.
- Panel manufacturing and alignment tolerances.

The surface accuracy was measured with Universal Theodolite *Wild T 2*. The 300 panels were set in 8 different rows. The initial settings were made with 348 targets. The final measurement was completed with 636 targets distributed uniformly from outer radius to inner radius of 16 circumferential sectors. This was within 0.4 mm RMS at normal wind condition.

c. Focal length

When the configuration of the primary feed, subreflector and the antenna diameter is known, the focal length to the antenna diameter ratio (F/D) is established. A longer focal length results in a shallow reflector, whereas a shorter focal length provides a deeper reflector. The F/D varies from 0.42 to 0.25 respectively from shallow to deeper reflector. The shallow reflector is easier to manufacture accurately, and has less deflection when pointing towards the horizon, thereby reducing weight and cost when it is compared to equal stiffer backup structure for the deeper reflector. However, the performance of the deeper reflector with respect to the antenna side-lobe pattern is better. A compromise design is adopted in this antenna, which is 0.35.

d. Pointing accuracy

The pointing error is the angle difference between the actual RF main beam axis and the readout angle of the data take-off device coupled to the antenna axis or the command angle of the manual pointing system. The sources of error are:

- Feed alignment
- Wind loading
- Gravity effects
- Antenna levelling
- Solar heating
- Orthogonality error
- Bearing error
- Readout error
- Servo error
- Friction error

The pointing Root Sum Square (RSS) error is less than 0.035° at 48 km per hour steady winds with gusts up to 72 km per hour (3σ). The arithmetic mean errors (ie deviation from predicted value) measured over 8 hours, is 0.01° in azimuth and 0.02° in elevation at 54 km per hour steady wind and 80 km per hour gusts.

2.2 Critères de conception

En ce qui concerne la conception mécanique, il y a lieu de tenir compte d'une déformation minimale et des exigences de la fréquence propre la plus élevée pour un diamètre d'antenne donné, aux endroits où la charge mécanique agit du sommet à la base de la construction. La durée d'exploitation minimale de l'antenne doit atteindre 20 ans. Les principaux paramètres concernant la structure et la mécanique sont les suivants:

a. Effets dus à l'environnement

- Charge du vent: L'antenne peut travailler dans n'importe quelle position par un vent constant soufflant jusqu'à 120 km/h; en position de survie, elle peut supporter sans dommage un vent pouvant atteindre une vitesse constante de 192 km/h.
- Secousses sismiques: L'antenne supporte sans dommage un tremblement de terre du degré VIII (accélération au sol 0,3 g) de l'échelle des intensités Mercalli modifiée.
- Rayonnement solaire: $1,2 \text{ kW/m}^2$
- Précipitations: Le dispositif de dégivrage est dimensionné de manière à éviter les pertes de gain du système de communication dues à la neige et à la glace.

b. Précision d'usinage

Si les panneaux du réflecteur présentent des erreurs de surface, il en résulte une perte de gain. Les sources d'erreur sont les suivantes:

- Déviations dues à la gravité, au vent, aux écarts de température, aux charges de glace
- Tolérances d'ajustage et de fabrication des panneaux

La précision d'usinage de surface a été mesurée à l'aide du théodolite universel *Wild T 2*. Les 300 panneaux ont été répartis en 8 rangées différentes. Les premières opérations de mise en place ont été faites au moyen de 348 cibles; les mesures finales ont été effectuées par le biais de 636 cibles réparties uniformément sur 16 circonférences concentriques. Les valeurs mesurées n'excédaient pas la tolérance de 0,4 mm admise, par vent normal.

c. Distance focale

Lorsque les configurations de la source primaire et du réflecteur auxiliaire ainsi que le diamètre de l'antenne sont connus, le rapport entre la distance focale et le diamètre de l'antenne (F/D) est établi. Plus la distance focale est longue plus le réflecteur est plat; inversement, une distance focale courte se traduit par un réflecteur profond. Le rapport F/D varie de 0,42 pour un réflecteur peu profond à 0,25 pour un réflecteur profond. Le réflecteur peu profond est plus facile à fabriquer avec précision et les déflections enregistrées lorsqu'il est pointé vers l'horizon sont moins importantes; de même, il est plus léger et moins coûteux qu'un réflecteur profond, vu que ce dernier doit avoir une structure arrière plus rigide. En revanche, les performances d'un réflecteur plus profond sont meilleures, compte tenu de la configuration des lobes secondaires d'antenne. Pour l'antenne de Brentjong, on a choisi un compromis de 0,35 pour le rapport F/D .

d. Précision de pointage

L'erreur de pointage est la différence angulaire entre l'axe du faisceau HF existant et l'angle relevé par le système

e. Tracking accuracy

The tracking error is the angle between the direction of the center of the earth station antenna radiation pattern and the arrival direction of the satellite beacon signal. The sources of error are, wind gusts, feed alignment, friction error, tracking receiver noise, servo error, tracking feed error. The specified RMS error in each axis for minimum beacon carrier power of -154 dBW (-180.8 dBW/m²) is less than 0.01° at 48 km per hour steady wind and gusts up to 72 km per hour (3 σ). The peak-to-peak errors, recorded over 8 hours are 0.008° in azimuth and 0.005° in elevation at 54 km per hour steady wind and 80 km per hour gusts.

f. Natural frequency

The structural dynamics decides the bandwidth requirements of the servo system. The concept of natural frequency is used in the theoretical structural analysis, and the "locked rotor frequency" is determined through test of the antenna complex. The theoretical and test results signify the same property of the antenna. The theoretical dynamic analysis is based on the assumption that the antenna is structurally and dynamically conservative. This leads to *Lagrange's* formulation of equation of motion for the antenna system. A computer program is used to calculate the natural frequencies. The inputs to the program are the mass, moment of inertia, stiffness (compliance), and geometrical position of each component structure including soil bearing, foundation, tower, yoke, backup structure, reflector and subreflector as well as drive motor and gear box. Hence, the model of the antenna is expressed as mass matrix, stiffness matrix, and transformation matrix which are used for calculation of natural frequencies for elevation and azimuth mode. The lowest frequency for elevation mode is 3.3 Hz and that of azimuth mode is 2.58 Hz.

The locked rotor frequency is the first antiresonance frequency in the velocity loop, and first resonance frequency in the position loop. During testing, when this frequency is reached, it appears as though the rotor is locked to the stator. The test data shows 2.5 Hz for both axes.

3. Servo and Drive Subsystem

The servo and drive system in conjunction with the entire structural and mechanical assembly, feed and tracking receiver have met the pointing and tracking objectives along with all other communication performances. The subsystem conforms to all the mode controls as defined in the antenna control subsystem (section 4).

3.1 Servo subsystem

3.1.1 Servo performance

The performance of the position loop is measured by the magnitude of the position error. See *Figure 9*, the simplified block diagram of the servo-subsystem for one of the axes. The steady state position error Φ_E can be calculated as follows:

$$\Phi_E = \frac{\Phi_R}{k_p} + \frac{\Phi'_R}{k_v} + \frac{\Phi''_R}{k_a} + \dots$$

k_p = position error constant

k_v = velocity error constant

k_a = acceleration error constant

de saisie de données couplé à l'axe de l'antenne, ou l'angle de commande du système de pointage manuel.

Les erreurs peuvent provenir:

- d'un défaut d'alignement de la source primaire,
- d'une charge due au vent,
- d'effets dus à la gravité,
- du nivellation de l'antenne,
- de la chaleur solaire,
- d'erreurs de perpendicularité,
- d'erreurs de relèvement,
- d'erreurs de saisie,
- d'erreurs d'asservissement,
- d'erreurs de friction.

L'erreur spécifiée (RSS = somme quadratique) est plus petite que 0,035° par vent constant de 48 km/h avec des rafales allant jusqu'à 72 km/h (3 σ). La moyenne arithmétique des erreurs (écart par rapport à la valeur prévue), mesurée pendant 8 heures, est de 0,01° en azimut et 0,02° en élévation, pour des vents permanents de 54 km/h et des rafales de 80 km/h.

e. Précision de traquage

L'erreur de traquage est la différence angulaire entre l'axe du lobe de rayonnement principal de l'antenne de la station terrière et l'axe d'arrivée du signal pilote du satellite. Les sources d'erreur sont: les rafales de vent, les défauts d'alignement de la source primaire, les erreurs de friction, le bruit des récepteurs traqueurs, les erreurs d'asservissement, les erreurs d'alimentation de dispositifs traqueurs. L'erreur spécifiée pour chaque axe à une puissance minimale de porteur pilote de -154 dBW (-180,0 dBW/m²) est inférieure à 0,01° par un vent constant de 48 km/h avec des rafales allant jusqu'à 72 km/h (3 σ). Les erreurs maximales enregistrées pendant 8 heures sont de 0,008° en azimut et de 0,005° en élévation pour des vents permanents de 54 km/h et des rafales de 80 km/h.

f. Fréquence propre

Les limites imposées au système d'asservissement dépendent des facteurs dynamiques de la structure. Le concept de «fréquence propre» est utilisé dans l'analyse théorique des structures et la «fréquence de rotor bloqué» est déterminée par des tests effectués sur le complexe d'antenne. Une concordance des valeurs théoriques et des tests signifie que les propriétés recherchées de l'antenne sont atteintes. L'analyse théorique dynamique est fondée sur l'hypothèse que l'antenne est structurellement et dynamiquement stable. Cette supposition conduit à énoncer, selon *Lagrange*, l'équation du mouvement du système d'antenne.

Pour calculer les fréquences propres, on recourt à un programme d'ordinateur. Les données du programme sont la masse, le moment d'inertie, la compliance, la position géométrique de chaque composant de la structure, y compris l'assise au sol, la fondation, la tour, le socle, la structure arrière, le réflecteur auxiliaire ainsi que le moteur d'entraînement et le bloc d'engrenage. Or, le modèle de l'antenne est exprimé en tant que matrice de masse, matrice de rigidité et matrice de transformation, qui sont utilisées pour calculer les fréquences propres des modes d'élévation et d'azimut. La fréquence la plus basse pour le mode d'élévation est 3,3 Hz et celle du mode d'azimut est 2,58 Hz.

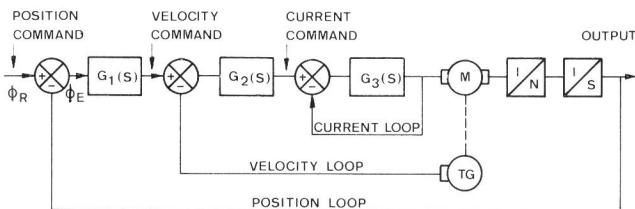


Fig. 9

Simplified block diagram for one antenna axis servo system (azimuth or elevation) — Schéma de principe simplifié d'un ensemble d'asservissement de l'un des axes d'antenne (azimut ou élévation)

Position command — Commande de position
 Velocity command — Commande de vitesse
 Current command — Commande de courant
 Output — Sortie
 Current loop — Boucle de courant
 Velocity loop — Boucle de vitesse
 Position loop — Boucle de position
 TG Tacho-generator — Générateur tachymétrique
 M Motor — Moteur

Φ_R is reference position and its derivatives represent reference velocity, acceleration, etc. Type 0 is a servo system where all of the constants are finite and the system has a finite steady state error. Type 1 is a servosystem which has a finite error with constant velocity and higher derivative inputs but $k_p = \infty$ and, therefore, no steady state position error. Type 2 is a servo system which has a finite error with constant acceleration and higher derivative inputs but $k_p = \infty$ and $k_v = \infty$, and, therefore, has no steady state position and velocity errors.

The servo in the autotracking mode is a Type 2 system, but has the capability of autotracking as a Type 1 as well. The position loop highest bandwidth is 15% to 25% of the locked rotor frequency. The three bandwidths 0.7 Hz (wide), 0.5 Hz (medium), and 0.3 Hz (narrow) for closed loop position bandwidths are selectable at the antenna control bay.

	Type 1	Type 2
Position loop bandwidth	k_v	k_a
0.7 Hz (wide)	106 rad per sec	10.6 rad per sec ²
0.5 Hz (medium)	44 rad per sec	4.4 rad per sec ²
0.3 Hz (low)	25 rad per sec	2.5 rad per sec ²

All the compensating networks are located in the servo control amplifier (SCA) panel. The maximum value of the tracking receiver sensitivity is 20 V per degree and maximum available speed at the output of the motor due to velocity command of 10 V is 0.3° per sec. Gain margin and phase margin for the Type 2 servo from the *Bode* diagram are 15 dB and 60°, respectively. The servo is designed to meet the transient response to an unsaturated step input in either axis or both axes simultaneously introduced into the manual or autotracking position loops under 48 km steady wind and gusts up to 72 km per hour (3σ). The settling time is less than 3 seconds and the amplitude of the first overshoot is less than 30% for the widest servo bandwidth (0.7 Hz). The settling time is defined as the time from the application of the step input to the time at which the response has settled to within 5% of its final value.

The frequency response for the velocity loop is more than 3 Hz (3 dB) measured at the output of the tachometer for both axes. The anti-resonance frequency (locked rotor frequency) lies within this bandwidth. The settling time is less than 0.8 sec for both axes in the velocity loop to an unsaturated step input.

La fréquence «rotor bloqué» est la première fréquence d'antirésonance de la boucle de vitesse et la première fréquence de résonance de la boucle de position. Lorsque cette fréquence est atteinte durant les tests, tout se passe comme si le rotor était bloqué par rapport au stator. Les données de test indiquent 2,5 Hz pour les deux axes.

3. Le sous-ensemble d'asservissement et d'entraînement

Conjointement à toutes les autres performances de communication, l'ensemble d'asservissement et de commande a satisfait aux exigences de pointage et de traquage, compte tenu de toutes les structures et de tous les mécanismes concernés, y compris les récepteurs d'alimentation et de traquage. Le sous-ensemble répond à tous les contrôles de mode, tels qu'ils sont définis au chapitre 4, réservé au sous-ensemble de contrôle de l'antenne.

3.1 Sous-ensemble d'asservissement

3.1.1 Performances d'asservissement

La performance de la boucle de position est définie par la grandeur de l'erreur de position (voir fig. 9), schéma de principe simplifié du sous-ensemble d'asservissement de l'un des axes. L'erreur de position d'état stationnaire Φ_E peut être calculée ainsi qu'il suit:

$$\Phi_E = \frac{\Phi_R}{k_p} + \frac{\Phi'_R}{k_v} + \frac{\Phi''_R}{k_a} + \dots$$

k_p = constante d'erreur de position

k_v = constante d'erreur de vitesse

k_a = constante d'erreur d'accélération

Φ_R est la position de référence; ses dérivées représentent la vitesse de référence, l'accélération, etc. Le type 0 est un ensemble d'asservissement où toutes les constantes sont des valeurs finies et ce système a une erreur d'état stationnaire finie. Le type 1 est un ensemble d'asservissement ayant une erreur finie avec une vitesse constante et des entrées de dérivées plus importantes, mais $k_p = \infty$, d'où, par conséquent, pas d'erreur de position d'état stationnaire. Le type 2 est un ensemble d'asservissement possédant une erreur finie avec une accélération constante, des entrées de dérivées plus importantes, mais $k_p = \infty$ et $k_v = \infty$, d'où, pas d'erreur de position d'état stationnaire ni d'erreur de vitesse.

L'asservissement du mode d'autotraquage est un système du type 2, tout aussi capable de satisfaire aux conditions requises que le type 1. La largeur de bande la plus élevée de la boucle de position est 15...20% de la fréquence «rotor bloqué». Les trois largeurs de bande 0,7 Hz (large), 0,5 Hz (moyenne) et 0,3 Hz (étroite), pour les largeurs de bande de position de boucle fermée, peuvent être réglées sur la baie de contrôle d'antenne.

	Type 1 k_v	Type 2 k_a
Largeur de bande de boucle de position		
0,7 Hz (large)	106 rad/s	10,6 rad/s ²
0,5 Hz (moyenne)	44 rad/s	4,4 rad/s ²
0,3 Hz (étroite)	25 rad/s	2,5 rad/s ²

Tous les dispositifs de compensation sont placés sur le tableau de l'amplificateur de contrôle d'asservissement (SCA). La valeur maximale de la sensibilité du récepteur de

3.1.2 Servo components

The analog antenna position indication or manual position command in azimuth and elevation axes are provided by positional instrument servo motors/tachogenerators which use 400 Hz AC power supply. The synchros CDX-synchro differential transmitter, CX-transmitter, CT-control transformer are used for angle detections and transmissions. Shaft position encoder in the follow-up servo unit is used for digital angle display. See block diagram of antenna control unit, figure 10.

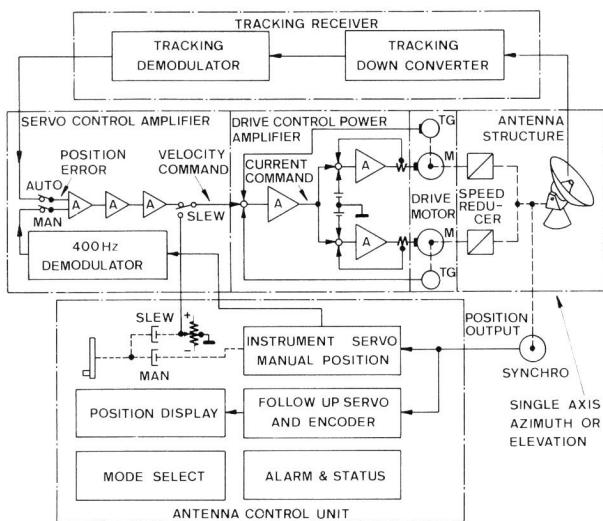


Fig. 10
Block diagram of antenna control — Schéma simplifié du contrôle d'antenne

Tracking receiver — Récepteur de traqueage
Tracking demodulator — Démodulateur de traqueage
Tracking down converter — Convertisseur-diviseur de traqueage
Servo control amplifier — Amplificateur d'asservissement
Position error — Erreur de position
Velocity command — Commande de vitesse
Auto(matic) — Automatique
Man(ual) — Manuel
400 Hz Demodulator — Démodulateur 400 Hz
Slew — Commande manuelle de la vitesse
Drive control power amplifier — Amplificateur de puissance de contrôle d'entraînement
Current command — Commande de courant
Antenna structure — Structure d'antenne
Speed reducers — Réducteurs de vitesse
Antenna control unit — Unité de contrôle d'antenne
Position display — Affichage de position
Mode select — Sélecteur de mode
Instrument servo manual position — Asservissement par instruments, position manuelle
Follow up servo and encoder — Capteur asservi et codeur
Alarm & status — Alarme et états
M Drive motors — Moteurs d'entraînement
A Amplifier — Amplificateur
TG Tacho-generator — Générateur tachymétrique
Position output — Position de sortie
Synchro — Synchrone
Single axis azimuth or elevation — Axe d'azimut ou d'élévation

3.1.3 Secant correction

When the antenna is tracking the beacon signal of the satellite, Θ_{AZ} and Θ_{EL} are true azimuth and elevation angle and $\Delta\Theta_{AZ}$ is the azimuth angle at the elevation angle Θ_{EL} . Therefore (spherical trigonometry and law of cosines)

$$\frac{\Delta\Theta_{AZ}}{\Theta_{AZ}} = \frac{\Theta_{EL} \cos \Theta_{EL}}{\cos 0^\circ}$$

$$\Theta_{AZ} = \Delta\Theta_{AZ} \sec \Theta_{EL}$$

Hence, a correction is applied to azimuth axis via cosine potentiometer and secant correction circuit. This correction is available for 0° to 85° elevation angle with an accuracy of $\pm 0.5^\circ$. The servo operates past 85° with reduced tracking loop gain.

traquage est 20 V par degré et la vitesse maximale disponible à la sortie du moteur est 0.3° par seconde pour une tension de commande de vitesse appliquée de 10 V. Selon le diagramme de *Bode*, la marge de gain est 15 dB et la marge de phase 60° pour le type 2. L'asservissement est prévu pour assurer la réponse transitoire lors d'un écart non saturé de la tension d'entrée pour l'un des deux axes ou pour les deux axes simultanément, si ce signal de commande est introduit dans les boucles de position en mode «manuel» ou «auto-traquage», pour un vent constant de 48 km/h et des rafales de 72 km/h (3σ). Le temps d'établissement est défini par le temps qui s'écoule entre l'application de l'écart de tension d'entrée et le moment auquel le système est au repos dans les limites de 5% de la valeur de consigne à atteindre.

La réponse en fréquence de la boucle de vitesse est 3 Hz (3 dB), mesurée à la sortie du tachomètre pour les deux axes. La fréquence d'antirésonance (fréquence de rotor bloqué) se situe à l'intérieur de cette largeur de bande. Le temps d'établissement est inférieur à 0,8 s pour les deux axes dans la boucle de vitesse pour un écart non saturé de la tension d'entrée.

3.1.2 Composants de l'asservissement

Les indications analogiques de la position d'antenne ou la commande manuelle de position en azimut et en élévation sont données par des instruments de positionnement, à savoir des servo-moteurs/tacho-générateurs alimentés par une source de courant alternatif de 400 Hz.

Les dispositifs synchrones, émetteur différentiel synchro CDX, émetteur CX, transformateur de contrôle CT, sont utilisés pour la détection et la transmission des angles. Pour l'affichage numérique de l'angle, on utilise un codeur de la position de l'arbre situé dans l'unité d'asservissement de poursuite. Voir le schéma de principe de l'unité de contrôle d'antenne (fig. 10).

3.1.3 Correction de la sécante

Lorsque l'antenne traque le signal pilote du satellite, Θ_{AZ} et Θ_{EL} sont des angles réels d'azimut et d'élévation et $\Delta\Theta_{AZ}$ est l'angle azimutal de l'angle d'élévation Θ_{EL} . D'où (selon la trigonométrie sphérique et la loi des cosinus),

$$\frac{\Delta\Theta_{AZ}}{\Theta_{AZ}} = \frac{\cos \Theta_{EL}}{\cos 0^\circ}$$

$$\Theta_{AZ} = \Delta\Theta_{AZ} \sec \Theta_{EL}$$

Par conséquent, une correction est appliquée à l'axe d'azimut par le biais du potentiomètre de cosinus et de circuit de correction de sécante. Cette correction est possible avec une précision de $\pm 0,5^\circ$ dans la plage des angles d'élévation de 0° à 85° . Au delà de 85° , l'asservissement travaille avec un gain réduit de la boucle de traque.

3.2 Sous-ensemble d'entraînement

Pour entraîner l'antenne en élévation et en azimut, on a choisi un système électro-mécanique. La puissance prise sur l'axe du moteur électrique est transmise aux axes d'antenne par l'intermédiaire de réducteurs. Chaque axe d'antenne est entraîné par un système moteur double, où l'un des moteurs développe le couple d'entraînement et l'autre, utilisé en frein, un couple antagoniste, ce qui diminue les erreurs dues au jeu (fig. 11). Chaque moteur shunt à courant continu est commandé et contrôlé par un dispositif à thyristors agissant sur les deux alternances de trois phases, tel un système de commutation *Ward Leonard*.

3.2 Drive subsystem

The electro-mechanical drive system for azimuth and elevation axes is selected. The electric motor shaft power is transmitted to the antenna axes via speed reducer of cyclo drive type. Each antenna axis is driven by dual-drive in aiding and opposing configuration to reduce backlash error (Fig. 11). Each direct-current shunt wound motor is driven and controlled by 3-phase full-wave thyristor controllers similar to Ward-Leonard motor-generator system.

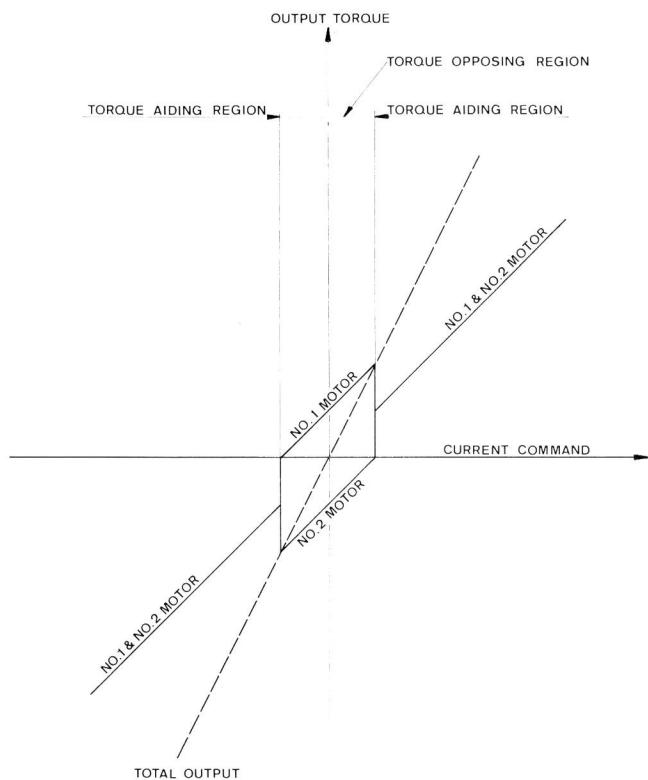


Fig. 11
Torque opposing-aiding drive — Couples d'opposition et d'assistance d'entraînement

Output torque — Couple de sortie
Torque aiding region — Zone du couple d'assistance
Torque opposing region — Zone du couple d'opposition
N° 1 Motor — Moteur N° 1
N° 2 Motor — Moteur N° 2
N° 1 & N° 2 Motor —
Moteurs N° 1 et N° 2
Current command — Commande de courant
Total output — Total sortie

3.2.1 Torque requirements

a. Wind torque

The wind torque is a function of both wind speed and antenna orientation relative to the wind. The required motor drive power is based on the peak wind torque for the worst antenna orientation at a specified wind speed. Required torque is based on the model antenna test in the wind tunnel and experience gathered in actual practice.

$$\text{Drive power} = \frac{T_w \Omega}{57 \cdot 3 \eta} \text{ Watts}$$

T_w = wind torque at a certain wind speed in Newton-meter

Ω = desired antenna velocity (eg 0.3°/sec)

η = efficiency in transmission drive

b. Acceleration torque

The torque required to accelerate the antenna is dependent on the inertia of the drive system and antenna. The

3.2.1 Couples nécessaires

- a. Couple dû au vent: Le couple dû au vent est une fonction comprenant à la fois la vitesse du vent et l'orientation de l'antenne par rapport au vent. La puissance d'entraînement que doit délivrer le moteur dépend du couple de crête dû au vent pour l'orientation la plus défavorable de l'antenne à une vitesse de vent donnée. Le couple requis est calculé d'après une maquette d'antenne testée en tunnel aérodynamique et des expériences faites en pratique.

$$\text{Puissance d'entraînement} = \frac{T_w \Omega}{57 \cdot 3 \eta} \text{ watts}$$

T_w = couple en Newton-mètres dû au vent à une vitesse du vent donnée.

Ω = vitesse désirée de l'antenne (par ex. 0,3°/s)

η = rendement de la transmission d'entraînement

- b. Couple d'accélération: Le couple requis pour accélérer l'antenne dépend de l'inertie du système d'entraînement et de celle de l'antenne. La plus grande inertie est inhérente au moteur, au système de freinage et aux réducteurs. Si l'on admet que cela représente 100% de l'inertie, la structure d'antenne aura une inertie de 2 à 3%.

$$T_A = \frac{J \alpha}{57 \cdot 3}$$

T_A = couple d'accélération maximal requis en Newton-mètres

α = accélération spécifiée maximale du système d'entraînement (par ex. 0,3°/s²)

J = inertie d'antenne totale, y compris la structure d'antenne, le moteur, les freins, les réducteurs, etc.

- c. Couple de crête: Le couple opérationnel de crête par axe est la plus forte valeur de couple requise pour actionner l'antenne aux conditions spécifiées les plus défavorables, à savoir

$$T = T_w + T_A$$

- d. Couple limite: Le couple maximal à délivrer par le moteur d'entraînement est:

$$T_M = T/\eta$$

En définitive, le couple limite de chaque moteur est:

$$T_L = \frac{T_M}{2N}$$

N = rapport de réduction nominal

- e. Couple d'assistance: Le couple limite de chaque moteur est utilisé en vue de fixer le couple d'assistance nécessaire pour rattraper le jeu. Il est déterminé par:

- le couple nécessaire pour éliminer le frottement de perte de freinage en l'absence de charge ou frottement statique des réducteurs
- le couple requis pour éviter que les deux pignons d'entraînement ne perdent simultanément le contact avec l'engrenage, ce qui créerait des oscillations de jeu (cycle limite).

Le couple nécessaire pour compenser le frottement statique est très faible. Le couple d'assistance est appliqué en cas d'une certaine charge de vent (par ex. 48 km/h) lorsque les couples des moteurs d'entraînement de chaque axe sont en opposition. Au delà de cette vitesse de vent, ce couple est supprimé et les couples des deux moteurs d'entraînement des axes s'assistent.

highest inertia is to be found in motor, brake, and cyclo-drive speed reducers. Assuming this to be 100% inertia, the antenna structure would be 2% to 3%.

$$T_A = \frac{J \alpha}{57.3}$$

T_A = maximum acceleration torque required in Newton-meter

α = maximum specified acceleration of the drive system (eg $0.3^\circ/\text{sec}^2$)

J = total antenna inertia including antenna structure, motor, brakes, speed reducer, etc.

c. Peak torque

The peak operational torque per axis is the largest value of torque required to operate under the worst specified condition which is

$$T = T_w + T_A$$

d. Torque limit

The maximum torque to be delivered from the drive motor is

$$T_M = T/\eta$$

The torque limit of each motor shall be at least

$$T_L = \frac{T_M}{2N}$$

N = nominal overall gear ratio

e. Torque bias

The torque limit of each motor is used to set the torque bias in order to eliminate backlash. This is determined by:

- The required torque to overcome the stiction (no load break loose friction or static friction) of speed reducers
- The required torque to prevent both drive pinions to be disengaged simultaneously and thereby creating backlash oscillation (limit cycle).

The required torque to compensate stiction is very small. The torque bias is applied to a certain wind load (eg 48 km/hour) when the torque of the drive motors for each axis are opposing. Beyond this wind speed, torque bias is removed and the torque of the drive motors for each axis is aiding.

3.2.2 Drive motors

Compared to the conventional direct current (dc) motor, this servo motor construction minimizes the mechanical inertia and the electrical time constant. Also, it withstands large overloads for short periods, 200% for 1 minute. It has an improved slow-speed tracking performance. Two motors are used for each axis. Azimuth motors are located in the indoor yoke room and, therefore, are forced-air ventilated to permit a continuous holding operation in high winds without overheating. Elevation motors are located in the open air near the elevation gear mount. Ratings of these motors are similar except physical layout according to indoor or outdoor units. Ratings for each motor are as follows:

	Elevation	Azimuth
Output	7.5 kW	7.5 kW
Speed	1250 rpm	1250 rpm
Line voltage	220 V	220 V
Armature current	37 A	39.5 A
Field current	1.75 A	2 A

3.2.2 Les moteurs d'entraînement

Comparés à des moteurs à courant continu conventionnels, ces servo-moteurs sont d'un modèle à inertie mécanique réduite et à faible constante de temps électrique. De même, ils sont en mesure de supporter de fortes surcharges de faible durée (par exemple 200% durant 1 minute). Les performances de pointage à faible vitesse de ces moteurs sont particulièrement bonnes. Chaque axe dispose de deux moteurs. Les moteurs d'azimut sont logés dans la cabine du joug et refroidis par une ventilation forcée, afin qu'ils ne s'échauffent pas en régime d'exploitation continu à de hautes vitesses de vent. Les moteurs d'élévation se trouvent en plein air, à coté du système d'engrenages d'élévation. Les caractéristiques de ces moteurs sont assez semblables, à l'exception de leur aspect extérieur, qui dépend de leur emploi à l'intérieur ou hors d'une cabine.

Les caractéristiques des moteurs sont les suivantes:

	moteur d'élévation	moteur d'azimut
Puissance de sortie	7,5 kW	7,5 kW
Vitesse	1250 tours/min	1250 tours/min
Tension d'alimentation	220 V	220 V
Courant d'induit	37 A	39,5 A
Courant de champ	1,75 A	2 A

Une génératrice tachymétrique est utilisée pour la rétro-transmission de la vitesse. Elle fournit 1 volt de sortie à 10 tours par minute. Le frein est du type électro-magnétique multidisques et l'embrayage est un modèle électro-magnétique monodisque.

3.2.3 Réducteurs de vitesse

Chaque axe est entraîné par l'intermédiaire de cyclo-réducteurs de vitesse; ce modèle a plusieurs avantages par rapport à un système d'engrenages conventionnel, tels que haut rendement, faible encombrement, haute résistance aux surcharges, faible délai de réponse, longue durée de vie due aux faibles frottements, etc.

Les rapports de réduction absolus pour les axes de chaque système d'entraînement sont les suivants:

Axe d'azimut

$$1505 \text{ (réducteur)} \times \frac{236 \text{ (couronne dentée)}}{15 \text{ (pignon)}} = 23678,66$$

Axe d'élévation

$$731 \text{ (réducteur)} \times \frac{500 \text{ (couronne dentée)}}{15 \text{ (pignon)}} = 24366,66$$

3.2.4 Amplificateur de puissance de contrôle d'entraînement (DCPA)

Cet amplificateur est équipé d'un circuit redresseur en pont, à deux alternances, travaillant sur trois phases et permettant un entraînement bidirectionnel. Il est possible d'opérer avec deux moteurs et un couple pour le rattrapage du jeu, mais aussi avec un seul moteur, en cas de panne de l'un d'eux. La connexion en pont assure un effet de freinage sur l'axe lorsque la direction de rotation du moteur est inversée. Le dispositif est protégé contre les surintensités, les surtensions et les sous-tensions par des ensembles de disjoncteurs et de fusibles.

L'amplificateur, le moteur d'entraînement et la génératrice tachymétrique constituent la boucle de contrôle de vitesse,

Tachogenerator is used for velocity feedback. It has 1 volt output for 10 rpm input. The brake is of the electro-magnetic fail-safe multiple-disc type. The clutch is electro-magnetic single disc type.

3.2.3 Speed reducer

In both cyclo drive type speed reducers are used. Cyclo drive has several advantages over conventional gear systems, such as high operating efficiency, spacesaving compactness, high overload capacity, quick response, improved life due to rolling action, etc.

Overall gear ratio for each axis of each drive is as follows:
Azimuth

$$1505 \text{ (cyclo drive)} \times \frac{236 \text{ (bull gear)}}{15 \text{ (pinion)}} = 23678.66$$

Elevation

$$731 \text{ (cyclo drive)} \times \frac{500 \text{ (bull gear)}}{15 \text{ (pinion)}} = 24366.66$$

3.2.4 Drive Control Power Amplifier (DCPA)

The DCPA has an anti-parallel three-phase full wave rectifier circuit for reversible drive. Dual drive motors with torque bias for antibacklash operation and single drive motor operation in case of failure of the other drive are possible. The anti-parallel connection provides regenerative braking per axis when the rotating direction of the motor is inverted to the forward or backward direction. The DCPA is protected against overcurrent, over-voltage, and under-voltage with associated circuit breakers and fuses.

DCPA makes the velocity control loop with drive motor and tachometer-generator. Velocity control loop has current control minor loop and counter e.m.f. compensation to improve response. The thyristor (SCR) power amplifier consists of an anti-parallel connected 3-phase controlled rectifier circuit. 12 SCR per motor are used for this purpose. Since SCR of forward or backward connection side are actuated according to polarities of inputs to the current control minor loop, the servo motor rotates in the forward or backward direction accordingly.

The DC output voltage is related to the input AC voltage as follows:

$$E_{DC} = 1.35 E_{AC} \cos \alpha$$

where α is the firing angle of the SCR.

The firing angle α can be controlled from 0 to 180 degrees, but due to operational safety the α is limited from 30 degrees to 150 degrees.

The maximum DC output voltage is

$$E_{DC} = 1.17 E_{AC}$$

Even if the motor is controlled at maximum velocity, the power factor of the SCR bridge circuit cannot exceed 86%.

$$\text{Power factor} = \frac{E_{DC}}{E_{DCO}} = \frac{1.17 E_{AC}}{1.35 E_{AC}} = 0.86$$

The approximate power factors of the DCPA are as follows, considering the operation and including design margins:

- a. Power factor = 75.3% on full power (aiding) dual drive at 0.3°/sec.
- b. Power factor = 15.4% on dual antibacklash drive (opposing) under the precise tracking at 0.01°/sec.

qui est assortie d'une sous-boucle de contrôle de courant et d'une compensation de contre-force électromotrice, en vue d'améliorer la caractéristique de réponse. L'amplificateur de puissance à thyristors est un circuit redresseur en pont (SCR) agissant sur trois phases. On utilise à cet effet 12 thyristors par moteur. Etant donné que les amplificateurs des circuits «marche avant» ou «marche arrière» sont actionnés en fonction de la polarité du courant provenant de la sous-boucle de contrôle de courant, le servo-moteur tourne en «marche avant» ou en «marche arrière» en conséquence.

La tension de sortie continue est liée à la tension d'entrée continue par la relation:

$$E_{DC} = 1.35 E_{AC} \cos \alpha$$

α étant l'angle d'amorçage de l'amplificateur de puissance à thyristors. L'angle d'amorçage α peut être commandé de 0 à 180 degrés, mais, pour des raisons de fiabilité, il est limité de 30 à 150 degrés.

La tension de sortie continue maximale est

$$E_{DC} = 1.17 E_{AC}$$

Même lorsque le moteur est à la vitesse maximale, le facteur de puissance du circuit SCR ne peut excéder 86%.

$$\text{Facteur de puissance} = \frac{E_{DC}}{E_{DCO}} = \frac{1.17 E_{AC}}{1.35 E_{AC}} = 0.86$$

Lors du fonctionnement et compte tenu des marges de fabrication, les facteurs de puissance du DCPA sont approximativement:

- a. facteur de puissance = 75,3% à pleine puissance en régime assisté par le deuxième moteur à 0,3°/s
- b. facteur de puissance = 15,4%, régime à deux moteurs en opposition (rattrapage du jeu) pour pointage de précision à 0,01°/s

4. Le sous-ensemble de contrôle de l'antenne

Ce sous-ensemble comprend la baie de contrôle d'antenne (ACB) ainsi qu'un dispositif portatif de contrôle d'antenne (ALCU), permettant de contrôler sur place différents modes d'opération de l'antenne. De la baie il est possible de contrôler continuellement la position des axes d'élévation et d'azimuth de l'antenne. En outre, la réception du signal pilote, la visualisation des données de traquage, la possibilité d'une commande manuelle et d'une surveillance de l'antenne par l'opérateur sont assurées. Dans la baie de contrôle, un moniteur permet de suivre les performances du récepteur de traquage. On y trouve aussi le moniteur de l'entraînement auxiliaire, celui de la boucle de contrôle de porteuse (LBC), des courants de moteurs d'azimut et d'élévation et des instruments concernant le système de dégivrage.

4.1 Modes d'opération

L'opérateur peut choisir le mode désiré.

4.1.1 Mode assisté

Le système d'entraînement est prêt à entrer immédiatement en action.

4.1.2 Mode de commande manuelle

Si l'on choisit ce mode, le système d'asservissement suit les signaux d'angle d'erreur engendrés par le synchro-

4. Antenna Control Subsystem

This subsystem consists of antenna control bay (ACB) and a portable antenna local control unit (ALCU) for different modes of antenna operation. The ACB has the capability of continually controlling the position of the antenna azimuth and elevation axes. The ACB provides acquisition of the beacon signal, tracking data visual read-out, the capability of direct manual control and the monitoring of the antenna operation by the operator. The performance of the tracking receiver is monitored at the ACB. The auxiliary drive monitoring, the loop back carrier monitoring, AZ and EL motor currents monitoring, and indicators for deicing are located at the ACB.

4.1 Modes of operation

These are selectable by the operator.

4.1.1 Stand-by mode

The drive system is ready for instantaneous operation.

4.1.2 Manual position mode

In this mode the servo system follows a generating angle error signal voltage from the synchro control transformer which is coupled with the mechanical counter, and the manual hand wheel on the panel of ACB. The selection overrides the automatic tracking mode. The manual positioning loop is a Type 1 servo system.

4.1.3 Slew mode

This is also known as manual velocity mode. The manual handle connected to the potentiometer shaft is rotated and signal voltage which corresponds to square of the rotated position is used as an input signal to the servo control amplifier for velocity control.

4.1.4 Autotracking mode

In this mode, the servo is operated by a DC voltage error signal derived from the tracking receiver. If the receiver RF signal is degraded below a preset level, or if lock is lost, autotrack mode has to change over to standby mode. At the same time alarm is indicated. The preset level is adjustable in the range – 154 dBW to – 130 dBW. As soon as the receiving beacon signal power increases and phase lock is recovered, the autotrack mode is made.

4.1.5 Program tracking mode

This mode can be selected only if a program unit is connected to the ACB. All interface connectors are provided for steering the antenna in position-loop from a program tracking equipment. In this mode, the servo accepts control signals generated by the antenna programmer, and the auto-tracking capability is completely disconnected from the position loop. The programmer accepts teletype tapes which have antenna pointing data in Intelsat format. Hence, the antenna is pointed to the satellite in response to the teletype tape information instead of the beacon signal.

4.1.6 Stow mode (in elevation)

When the stow mode is selected, the antenna automatically moves to the stow position. The operator can energize the stow pin only if the antenna is in stow position. The

transformateur couplé au compteur mécanique et au volant de commande manuelle du tableau ACB. Ce choix met hors circuit le système de poursuite automatique. La boucle de position à commande manuelle est un système d'asservissement du type 1.

4.1.3 Mode de commande manuelle de la vitesse

Ce mode d'exploitation consiste à envoyer à l'amplificateur de servo-contrôle un signal pris sur le potentiomètre dont l'axe est couplé au volant de commande manuelle; la tension prélevée correspond au carré de la position de rotation et permet, par le biais de l'amplificateur, de contrôler la vitesse de l'entraînement.

4.1.4 Mode de poursuite automatique

Ce mode est caractérisé par le fait qu'une tension continue d'erreur délivrée par le récepteur de traquage commande le servo-contrôle. Si le signal HF tombe en dessous d'un niveau préréglé ou si le verrouillage est perdu, le mode de poursuite automatique doit faire place au mode «stand-by». En même temps, une alarme est signalisée. Le niveau précité peut être ajusté dans les limites de – 154 dBW à – 130 dBW. Dès que la puissance du signal pilote reçu augmente et que le verrouillage de phase est rétabli, le mode de poursuite automatique est à nouveau enclenché.

4.1.5 Mode de poursuite programmée

Pour que ce mode puisse être choisi, il faut qu'une unité de programme soit connectée à la baie de contrôle ACB. Tous les connecteurs d'interface nécessaires pour pointer l'antenne par le biais d'une boucle de position commandée par un équipement de poursuite programmable existent. Dans ce mode, le servo-contrôle reçoit les signaux engendrés par le programme d'antenne et le mode de poursuite automatique est entièrement déconnecté de la boucle de position. Le processeur accepte des bandes perforées selon le programme de pointage de l'Intelsat. De ce fait, l'antenne est pointée vers le satellite conformément aux indications de la bande perforée et non plus selon le signal de commande du pilote.

4.1.6 Position de survie (en élévation)

Si l'on choisit ce mode, l'antenne se met automatiquement en position de survie (arrimage en position verticale). L'opérateur ne doit pouvoir actionner la cheville d'amarrage que si l'antenne est dans la position ad hoc. L'antenne peut adopter la position de survie à partir de n'importe quelle position d'azimut. Un dispositif de verrouillage manuel peut être inséré dans l'axe d'azimut uniquement à des fins d'entretien.

4.1.7 Mode de test

Dans ce mode, un interrupteur permet de déconnecter les signaux provenant de l'ACB. Il permet d'injecter des signaux de test et d'alignement dans les dispositifs de servo-contrôle et d'entraînement à partir de l'unité de contrôle d'antenne (ALCU) au niveau du joug de l'aérien. Lorsqu'on choisit ce mode, le dispositif ALCU a une priorité de contrôle qui n'est rendue à la baie ACB qu'après déconnexion de l'ALCU.

L'ALCU est un équipement portatif pesant environ 1,5 kg. Pour l'utiliser, on le branche au moyen des connecteurs d'interface placés près des moteurs d'azimut et d'élévation. Le dispositif ALCU assure les fonctions suivantes:

antenna can move to stow position from any azimuth location. A manual locking device is provided for local insertion in the azimuth axis only for maintenance purposes.

4.1.7 Test mode

In this mode an interrupt switch is provided to disconnect control signals from the ACB. This mode allows test and alignment signals to be introduced into the servo and drive system from the antenna local control unit (ALCU) at the antenna yoke area. In this mode the ALCU has the control priority. ACB regains its priority when the ALCU releases.

The ALCU is a portable equipment of about 1.5 kg. Interface connectors for use of this ALCU are provided near the azimuth and elevation drive motors. The functions of ALCU are as follows:

- Velocity control by linear potentiometer
- Brake on/off control and indicator
- Indication of local command possibility
- Switch to give back the priority to the ACB.

4.1.8 Manual override

This prevents changeover from manual position to auto-track mode.

4.1.9 Preset limit

With this function the antenna position can be limited to $\pm 1^\circ$ from the operating point, both in azimuth and elevation axes.

4.2 Looped-back carrier (LBC) monitor

The LBC monitor is located at the antenna control bay (ACB) and contains the following parts:

- Looped-back carrier monitoring meter
- Looped-back carrier level degrading alarm indicator and alarm threshold adjuster
- Receive RF level adjuster for normalization of the indicator zero dB reading
- Alarm output disable switch.

The input signal from LBC down converter is fed to a detector and a voltage comparator. When the receiving looped-back carrier moves below the pre-set alarm threshold level, the alarm is indicated by a red lamp. At the same time an alarm buzzer will ring at the ACB. The antenna control mode is automatically transferred to stand-by mode from any other operating mode, except stow mode, and if the alarm output disable button is in pushed position.

4.3 Auxiliary drive motors

Auxiliary drive motors for both the elevation and azimuth axes are provided. They are completely independent of the main drive motors and are linked to the no-break power network. Operation controls are located at the antenna control bay (ACB). The motors have capacity to drive the antenna on both axes during steady wind speeds of 48 km/h and gusts up to 72 km/h, with an updating speed of $0.0075^\circ/\text{sec}$.

4.4 Manual drives

These are provided on both axes and are located on the drive shaft to which access is easiest near the antenna yoke area. They are designed to prevent the activation

- contrôle de vitesse par le biais d'un potentiomètre linéaire;
- contrôle et signalisation du dispositif de freinage en circuit et hors circuit;
- indication de la possibilité de commande locale;
- commutation permettant de rendre la priorité à la baie ACB.

4.1.8 Poursuite manuelle fixée

Cette position doit empêcher le changement du mode de poursuite manuelle en poursuite automatique.

4.1.9 Limite préréglée

Cette fonction permet de limiter la position de l'antenne à $\pm 1^\circ$ de la position d'opération des axes d'azimut et d'élévation.

4.2 Moniteur de la boucle de contrôle de la porteuse (LBC)

Le moniteur LBC est situé dans la baie de contrôle d'antenne (ACB) et comprend les éléments suivants:

1. instrument moniteur de la boucle de contrôle de la porteuse;
2. indicateur d'alarme et réglage du seuil d'alarme en cas de fléchissement du niveau du signal de la boucle de contrôle de la porteuse;
3. réglage du niveau HF de réception permettant d'établir l'instrument au niveau 0 dB.
4. interrupteur de déconnexion de la sortie alarme.

Le signal d'entrée provenant du convertisseur/diviseur LBC est injecté dans un détecteur et un comparateur de tensions. Lorsque le signal fourni par la boucle de contrôle de la porteuse descend en dessous d'un seuil d'alarme préréglé, une alarme est signalée par une lampe rouge. En même temps, un ronfleur d'alarme retentit dans la baie ACB. Le mode de contrôle d'antenne est automatiquement transféré en mode assisté, à partir de n'importe quel mode opérationnel, sauf si l'antenne est en position de survie et si l'interrupteur de déconnexion d'alarme a été actionné.

4.3 Moteurs d'entraînement auxiliaires

Des moteurs d'entraînement auxiliaires sont prévus tant pour l'axe d'azimut que pour l'axe d'élévation. Ils sont entièrement indépendants des moteurs d'entraînement principaux et sont alimentés par le réseau sans coupure. Les organes de contrôle sont logés dans la baie de contrôle d'antenne (ACB). Les moteurs sont capables d'entraîner l'antenne sur ses deux axes par un vent constant de 48 km/h et des rafales allant jusqu'à 72 km/h à une vitesse soutenue de $0,0075^\circ/\text{s}$.

4.4 Dispositifs d'entraînement manuel

Les deux axes sont pourvus. Ces dispositifs sont placés sur l'axe d'entraînement auquel il est le plus facile d'accéder à partir de la plate-forme d'antenne. Ils permettent d'éviter la mise en marche des moteurs d'entraînement principaux ou auxiliaires, lorsqu'on se propose de mouvoir l'antenne manuellement. La parabole d'antenne peut être déplacée dans les deux axes au moyen de volants; la force qu'il faut leur imprimer à la main n'excède pas 5 kg par un vent constant de 48 km/h.

of the main drive motor and auxiliary drive motor during the time that the manual drive is engaged. The antenna is able to rotate about each axis through hand wheels with a hand force not exceeding 5 kg during steady wind speeds of 48 km/h.

5. Deicing Subsystem

During the winter, active means for preventing (anti-icing) and curating (deicing) the accumulation of ice and snow on the reflector, subreflector, and its quadripod support structures and feed (feedome, corner reflector, ducts) are provided. Normal operation, surface accuracy of the reflector panels as well as electrical and mechanical functioning of the antenna are maintained permanently.

The required power density in Watt per square meter can be estimated through heat transfer and fluid mechanics (*Reynolds*, *Nusselt*, *Prandtl* und *Grashof* numbers) for the main reflector surface of different environmental conditions. However, a simplified model is assumed with the following constant values:

- a. The power density required to melt snow to water of 1 mm per hour water content is 90 W/m².
- b. Additional amount of power density required to increase in degree Celsius is 0.6 W/m² °C per mm/hour.
- c. The power density required to compensate energy loss due to convection for the wind velocity is
 - 20 W/m² °C per 10 meter/sec wind speed
 - 30 W/m² °C per 20 meter/sec wind speed

The combinations for the different conditions of precipitation (eg water content in mm/hour, temperature, wind speed) and the required power density are as follows:

Precipitation mm/h	Precipitation W/m ²	Wind speed m/sec.	Total power density W/m ²
H ₂ O	°C	W/m ²	
8	720	- 5	24
2	180	-20	24
1	90	-25	15
10	900	- 5	30
			10
			100
			844
			804
			855
			1030

5.1 System configuration

The deicing system consists of heater elements and temperature sensors, power equipment and control equipment. The heating control system is divided into 19 independent zones. The main reflector surface with 300 panels is divided into 16 zones and the three additional heating zones are subreflector, quadripod, and feed (feedome, corner reflector, ducts). Each heating zone is individually controlled by means of on/off control. A platinum 100-Ohm resistor is used as a zone temperature sensor. Five snow/ice detectors near each pod of the quadripod and panel opening hatch, are furnished on the main reflector for monitoring purposes only.

Several heater elements are available for the deicing system. These are: heater strips, heater wire or cable and infrared. A heater element is to be selected which heats up uniformly the surface area with a minimum loss of electrical energy. Reliability, maintenance and operating costs must also be taken into account. Considering all this, heater strips of the printed type have been chosen for the main reflector and feed (corner reflector and ducts). The printed heater is

5. Le sous-ensemble de dégivrage

Durant la saison d'hiver, on dispose de moyens actifs permettant de prévenir le givrage (lutte anti-givre) et de dégivrer le réflecteur principal, le réflecteur secondaire et son support, la source primaire (radôme, réflecteur angulaire, guides d'ondes), c'est-à-dire de débarrasser ces éléments de neige et de glace. Ainsi, une exploitation normale, des surfaces précises des panneaux de réflecteur et un fonctionnement électrique et mécanique parfait de l'antenne sont garantis en tout temps.

La densité de puissance requise, en watts par m², peut être estimée à l'aide de formules relevant du transfert de chaleur et de la mécanique des fluides (nombres de *Reynolds*, *Nusselt*, *Prandtl* et *Grashof*) pour la surface du réflecteur principal, lors de différentes conditions d'environnement. Toutefois, on admettra l'hypothèse d'un modèle simplifié possédant les valeurs constantes suivantes:

- a. La densité de puissance nécessaire pour transformer la neige en eau, à raison d'un mm d'eau par heure est 90 W/m².
- b. La densité de puissance supplémentaire pour augmenter la température en degrés Celsius est 0,6 W/m² °C par mm/h.
- c. La densité de puissance nécessaire pour compenser la perte d'énergie due à la convection pour une vitesse de vent donnée est
 - 20 W/m² °C pour une vitesse de vent de 10 m/s
 - 30 W/m² °C pour une vitesse de vent de 20 m/s

La densité de puissance résultant des diverses combinaisons des conditions de précipitations (par exemple eau recueillie en mm/h, température, vitesse du vent) est représentée ci-dessous:

Précipitations mm/h	Température de précipitation °C	Vitesses du vent m/s	Densité de puissance totale W/m ²	
			S/m ²	W/m ²
H ₂ O				
8	720	- 5	24	10
2	180	-20	24	20
1	90	-25	15	20
10	900	- 5	30	10
			100	100
				844
				804
				855
				1030

5.1 Configuration du système

Le système de dégivrage comprend des éléments de chauffage, des capteurs de température et des équipements d'alimentation et de contrôle.

Le système de contrôle du chauffage est réparti en 19 zones indépendantes. La surface du réflecteur principal comprenant 300 panneaux est subdivisée en 16 zones chauffantes, les trois autres étant le réflecteur auxiliaire, son support et la source primaire (radôme, réflecteur angulaire et guides d'ondes). Chaque zone chauffante est contrôlée individuellement par un système d'enclenchement et de déclenchement. Une résistance de platine de 100 ohms est utilisée comme capteur de température de zone. À des fins de surveillance, cinq détecteurs de neige et de glace sont disposés sur le réflecteur principal, dont quatre au pied de chaque poutre du support d'antenne auxiliaire et un près d'une ouverture d'accès.

Un système de dégivrage peut être constitué par différents éléments de chauffage. On connaît: les rubans de chauffage, les fils et les câbles chauffants et les corps de chauffe à

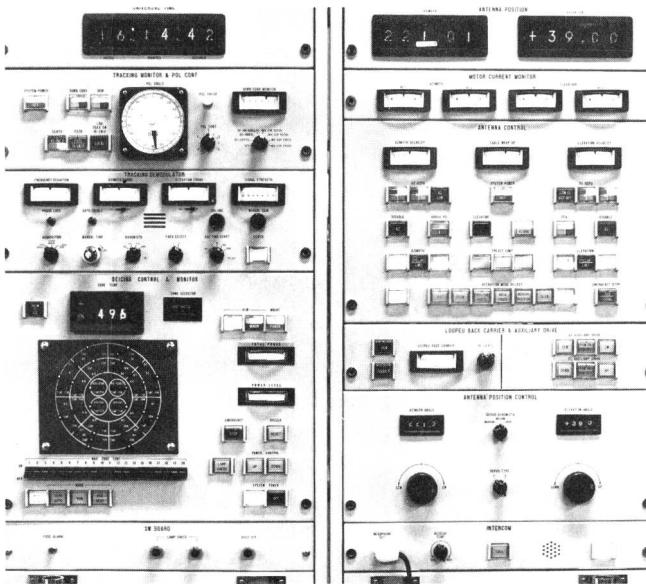


Fig. 12
Deicing control panel at the antenna control bay — Panneau de contrôle du dégivrage dans la baie de contrôle d'antenne

prepared by automatic continuous process through laminating a silicone rubber impregnated glass cloth on one side with 18Cr-8Ni stainless steel foil, printing a circuit for heating current and further laminating a silicone rubber impregnated glass cloth over it. After bonding the heater strip on the backside of the aluminium panel surface, a thermal insulation is placed and later covered with a backskin. Flat wire inconel ribbon heating elements for subreflector and hot air blower for feedome are used. MIC (Mineral Insulated Cable) heater elements are provided for the quadripod. The two types of MIC, the lead cable and the heating cable are joined by connectors. The lead cable is required to connect heating cable to the terminal box as the heating cable operates at a high temperature (eg around 130°C).

5.2 Power equipments

The following power equipments are provided:

- Air circuit breaker (ACB)
- Main power transformer (MPT)
- Variable auto transformer
- Booster transformer
- Main power distribution board (MPD)
- Circuit breakers, thermal and magnetic trips, and fuses.

The heater power input voltage range is from 240 V to 420 V between phases, and this voltage can be monitored by the power level meter calibrated in per cent of nominal power level setting (750 kW at 380 V = 100%) on the deicing control panel by means of a motor driven continuously variable auto-transformer.

The outputs of the main power distribution board are fed through azimuth and elevation cable wrap to the respective zone. Each zone has a junction box to which each terminal box of the panel is connected through corrugated armoured cable. In the junction box, circuit breakers are provided for protection of each panel. The terminal box inside each panel connects all the printed heaters. These printed heaters are connected in parallel or series according to different sizes (eg 8 different panel sizes). The 300 panels in 16 zones are arranged in such a way that each phase to neutral carries equal load current.

l'infrarouge. Le système retenu devait chauffer la surface en question de manière homogène avec un minimum de pertes d'énergie électrique. Il fallait aussi tenir compte de facteurs tels que la fiabilité et les frais d'entretien et d'exploitation. Après avoir considéré tous ces points, on a choisi des rubans chauffants selon le principe d'un circuit imprimé pour le réflecteur principal et la source primaire (réflecteur angulaire et guides d'ondes). Les éléments chauffants sont fabriqués selon un processus continu consistant à laminer un tissu de fibres de verre imprégné à la gomme de silicium sur l'une des faces d'une feuille d'acier au chrome-nickel (18 Cr - 8 Ni), à y imprimer un circuit pour le courant de chauffage, puis à recouvrir la feuille d'acier d'une deuxième couche de fibres de verre imprégnée, à la manière d'un sandwich. Ces bandes chauffantes sont ensuite collées au dos des panneaux d'aluminium puis recouvertes d'un revêtement isolant. Le dégivrage du réflecteur secondaire est assuré par un ruban chauffant en fil plat d'inconel et celui du radôme par une soufflerie à air chaud. Le support du réflecteur secondaire est dégivré par des câbles chauffants isolés par une matière minérale (MIC). Le câble chauffant proprement dit est relié au conjoncteur par un câble en plomb car sa température d'exploitation est assez élevée (quelque 130°).

5.2 Alimentation en énergie

L'alimentation en énergie du système de dégivrage comprend

- des disjoncteurs à air (ACB)
- un transformateur d'alimentation secteur (MPT)
- un autotransformateur variable
- un transformateur-survolteur
- un tableau de distribution à courant fort (MPD)
- des disjoncteurs, des commutateurs thermiques et magnétiques, des fusibles.

La tension d'entrée du système de chauffage varie de 240 à 420 V entre phases; cette tension peut être réglée sur le tableau de contrôle du dégivrage au moyen d'un auto-transformateur variable à commande par moteur et la valeur réglée peut être lue sur un wattmètre calibré en pourcent de la puissance nominale mise en œuvre (750 kW/380 V = 100%).

Les sorties du tableau de distribution secteur sont conduites à la zone voulue par l'intermédiaire de conducteurs passant par les gaines des câbles d'azimut et d'élévation. Chaque zone a sa boîte de raccordement à laquelle la boîte terminale du tableau est connectée par le biais d'un câble flexible armé. Pour protéger les panneaux du réflecteur, chacun dispose d'un disjoncteur monté dans la boîte de raccordement. La boîte terminale de chaque panneau connecte tous les rubans de chauffage. Ceux-ci sont montés en série ou en parallèle suivant leur dimension (il y a, par exemple, 8 grandeurs de panneau). Les éléments de chauffage des 300 panneaux des 16 zones sont montés de manière que chaque phase ait la même charge de courant par rapport au neutre.

5.3 Equipements de contrôle

Toutes les fonctions de contrôle et de surveillance du système sont centralisées sur le tableau de contrôle de dégivrage, de manière que l'opérateur puisse effectuer tous les réglages à partir de la baie de contrôle d'antenne (fig. 12).

L'opérateur peut choisir l'un des trois modes d'exploitation suivants: semi-automatique, manuel, régime de pré-chauffage.

5.3 Control equipments

All control and monitor functions of the system are centralized on the deicing control panel, so that an operator can operate and monitor at the antenna control bay (*Fig. 12*).

The operator can select one of the control modes out of semi-automatic, manual and preheat.

a. Semi-automatic mode

In this mode, the power on/off control for each heating zone will be effected sequentially. At the moment when the semi-automatic mode is selected, all the contactors of the main-power distribution board are at off status. After the mode select, the scanner circuit operates to control contactors one by one with 2.5 seconds interval, so as to limit inrush current to the power system. Each heating zone temperature is measured by a platinum resistor and controlled by means of on/off control. The on/off timing of each zone is gated by a scanning signal so that it is not possible to turn on or off more than one zone at a time. The temperatures at which the power is switched on or off are presetable at the deicing control bay for each zone respectively. When the operator wants to stop the deicing system, the mode reset button must be pushed. During the following one scanning cycle after the mode reset button is pushed, the heating power for each zone is turned off, one by one. When all the contactors of the main-power distribution board go to off status, the system power-off switch becomes operable. The reason for the sequence described above is that a sudden cut would be harmful to the station power source.

b. Manual mode

In this mode, the operator can select the zone to be heated with the manual zone select switch. With the heating power on, the temperature is controlled in much the same way as in the semi-automatic mode. The manual mode is provided as an alternative to the semi-auto mode, with scanning control not being used. The probability of simultaneous power on/off for more than one zone exists in the manual mode, but the probability may be low enough. For mode reset, the operator has to turn off every zone switch step by step and then push the mode reset button.

c. Preheat mode

This mode is provided to prevent moisture in the main reflector panels due to radiation losses at low temperatures. The selection of the preheat mode activates all preheat contactors in the main distribution board simultaneously. However, as the power level for preheating is less than 7% of the installed capacity of the deicing power system, there will be no problems arising from inrush current. The temperature cannot be controlled in this mode.

d. System protection

1. Temperature control

The temperature of each zone is detected by a platinum resistor and controlled by a 1 P-1C controller (1 point 1 control) that has the following functions:

- Control range (full scale) – 30°C to +20°C
- Control manner on/off control with dead zone
- Setting $\pm 1^\circ$ to $\pm 5^\circ$ adjustable range.

a. Mode semi-automatique

En l'occurrence, le contrôle d'enclenchement et de déclenchement de la puissance de chauffage de chaque zone se fait de manière séquentielle. Lorsque le mode semi-automatique est choisi, tous les contacteurs du tableau de distribution du secteur sont à l'état déclenché. Dès lors, un circuit séquentiel commande les contacteurs à un intervalle réglé à 2,5 s, de manière à limiter les à-coups de courant dans le dispositif d'alimentation. La température de chaque zone est mesurée par le capteur à fil de platine et réglée par enclenchement/déclenchement.

La cadence d'enclenchement et de déclenchement de chaque zone est commandée par un signal cyclique, si bien qu'il est impossible que plus d'une zone à la fois soit enclenchée ou déclenchée. Lorsque l'opérateur veut arrêter le dégivrage, il doit appuyer sur un bouton de mise à zéro. Durant le cycle d'exploration qui suit cette opération, la puissance de chauffage de chacune des zones est mise cycliquement hors circuit. Tous les contacteurs du tableau de distribution du secteur étant déconnectés, il est possible d'actionner l'interrupteur de puissance principal du système. La raison de ce processus de déclenchement successif du chauffage est que la coupure brusque d'une telle puissance serait préjudiciable aux installations d'énergie de la station.

b. Mode manuel

Dans ce mode, l'opérateur peut choisir la zone qu'il veut chauffer par l'intermédiaire du sélecteur manuel de zone. Une fois la puissance appliquée à la zone, le contrôle de température se fait de manière analogue au mode semi-automatique. Le mode manuel est prévu à titre de mode redondant pour le mode semi-automatique, si bien que la commande cyclique n'est pas mise à contribution. Il est possible, en l'occurrence, d'enclencher ou de déclencher simultanément plusieurs zones de chauffage, mais on a admis que cette probabilité était d'un ordre négligeable. Pour la mise hors service, l'opérateur doit ramener chaque sélecteur de zone à zéro puis appuyer sur le bouton de mise à zéro.

c. Mode de préchauffage

Ce mode sert à éviter l'humidité pouvant se déposer sur le réflecteur principal, en raison de pertes de rayonnement à basse température. En choisissant le mode de préchauffage, on met en circuit simultanément tous les contacteurs de préchauffage du tableau de distribution, mais le niveau de puissance n'étant que de 7% environ de la puissance disponible pour le dégivrage, des à-coups de courant ne sont pas à craindre. Ce mode ne permet pas de contrôler la température.

d. Protection du système

1. Contrôle de la température

La température de chaque zone est détectée par une résistance au platine et contrôlée par un dispositif ad hoc (1 point – 1 contrôle) assurant les fonctions suivantes:

- gamme de contrôle (échelle complète) $-30^\circ\text{C} \dots +20^\circ\text{C}$
- genre de contrôle: enclenchement/déclenchement avec zone morte
- gamme réglable de $\pm 1^\circ \dots \pm 5^\circ$.

On dispose de deux boutons de réglage, l'un pour le point de contrôle, l'autre pour l'alarme. Tous deux peu-

There are two setting knobs, one for the control point and the other for the alarm. Both control and alarm points are settable at arbitrary points within the full scale, but the dead zone can be fixed within the adjustable range. If the controller misses the power-off, the alarm point cuts the power when the temperature goes through that. Also, there is a burn-out protection circuit between the sensor and the controller that cuts the power for that particular zone.

2. Power distribution

The power distribution system is designed to have selective interruption for short-circuit protection. The hierarchy of interruption is following three stages:

- Circuit breaker in the junction box
- Zone circuit breaker with thermal and magnetic trip in the main power distribution board
- Air circuit breaker in the feeder panel.

As for grounding protection, a relay is provided between neutral of the isolated transformer (MPT) and earth.

5.4 Snow/ice detector

For snow/ice detector, two water sensors are used, one of which is equipped with a heater. They are operated as follows:

Water sensor with heater	Water sensor without heater	Condition
on	on	rain
on	off	snow/ice
off	off	no rain, no snow

The water sensor is based on the detection of electrostatic capacity changes between two electrodes. When the water bridges the two electrodes, the oscillator stops oscillation by the change of capacitance between the electrodes. The detectors are used only for monitoring purposes and have no command or control function.

6. Conclusion

System aspects as well as the details of different subsystems and technical disciplines were considered from the design stage to the completion of the antenna. The results of the final tests are very satisfactory. An article will be published in the future, providing in detail the analysis and the measurement results of the antenna radiation characteristics. The long-term performance will show the benefit of cooperation in this interdisciplinary work by our suppliers and consultants with the PTT Research and Development as well as Radio and Television Divisions.

vent être réglés à volonté dans les limites de la gamme entière. La zone morte peut être fixée à l'intérieur de la gamme réglable. Si la puissance n'était pas déconnectée par le dispositif de contrôle, cette fonction serait assurée par le dispositif d'alarme lorsque la température atteindrait le seuil préréglé. De même, un circuit à fusible est intercalé entre le capteur et le dispositif de contrôle, capable lui aussi d'interrompre la puissance de chauffage de la zone concernée.

2. Répartition de la puissance

Le système de répartition de puissance peut procéder à des interruptions sélectives s'il s'agit de parer aux effets de courts-circuits. La hiérarchie d'interruption comprend trois niveaux:

1. le coupe-circuit de la boîte de raccordement
2. le coupe-circuit de zone avec le commutateur thermique et magnétique du tableau de distribution du secteur.
3. le disjoncteur pneumatique du panneau d'alimentation

La protection de mise à terre est assurée par un relais de mise à terre intercalé entre le neutre du transformateur isolé et la terre.

5.4 Détecteur de neige et de glace

Pour assurer cette fonction, on recourt à une paire de détecteurs d'eau. L'un d'eux est chauffé et l'autre ne l'est pas. Les renseignements logiques que ces détecteurs fournissent découlent du tableau suivant:

Détecteur d'eau chauffé	Détecteur d'eau non chauffé	Etat atmosphérique affectant l'antenne
enclenché	enclenché	pluie
enclenché	déclenché	neige/glace
déclenché	déclenché	pas de pluie, pas de neige

Le détecteur d'eau est basé sur le principe de la variation de capacité survenant entre deux électrodes, en présence d'eau. Si de l'eau fait varier la capacité inter-électrodes, un oscillateur cesse d'osciller. Ces détecteurs ne servent qu'à des fins de surveillance et n'ont aucune fonction de commande et/ou de contrôle.

6. Conclusion

Depuis la conception de l'antenne jusqu'à son achèvement, on a attaché toute l'importance voulue à deux points: les aspects du système et les détails des divers sous-ensembles, compte tenu de leur desserte technique. Les résultats des tests finaux sont très satisfaisants. Nous publierons prochainement un article traitant en détail de l'analyse des mesures faites à l'antenne et de ses caractéristiques de sayonnement. Des performances satisfaisantes de longue durée montreront les heureux effets de la coopération des divers organismes intéressés, à savoir nos fournisseurs et conseillers ainsi que la division des recherches et du développement et celle de la radio et de la télévision.