

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
60835-3-2**

Première édition  
First edition  
1995-12

---

**Méthodes de mesure applicables au matériel  
utilisé pour les systèmes de transmission  
numérique en hyperfréquence**

**Partie 3:**

Mesures applicables aux stations terriennes  
de télécommunications par satellite

Section 2: Antenne

**Methods of measurement for equipment used in  
digital microwave radio transmission systems**

**Part 3:**

Measurements on satellite earth stations

Section 2: Antenna



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60835-3-2: 1995

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI\***
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**60835-3-2**

Première édition  
First edition  
1995-12

**Méthodes de mesure applicables au matériel  
utilisé pour les systèmes de transmission  
numérique en hyperfréquence**

**Partie 3:**

Mesures applicables aux stations terriennes  
de télécommunications par satellite

Section 2: Antenne

**Methods of measurement for equipment used in  
digital microwave radio transmission systems**

**Part 3:**

Measurements on satellite earth stations

Section 2: Antenna

© IEC 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni  
utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun  
procédé, électronique ou mécanique, y compris la photo-  
copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in  
any form or by any means, electronic or mechanical,  
including photocopying and microfilm, without permission in  
writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

XA

*Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

	Pages
<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>4</b>
<b>Articles</b>	
1 <b>Domaine d'application .....</b>	<b>6</b>
2 <b>Références normatives .....</b>	<b>6</b>
3 <b>Définitions .....</b>	<b>8</b>
4 <b>Conditions de mesure .....</b>	<b>18</b>
5 <b>Gain de l'antenne .....</b>	<b>20</b>
5.1 <b>Considérations générales .....</b>	20
5.2 <b>Méthode de mesure .....</b>	20
5.3 <b>Présentation des résultats .....</b>	30
5.4 <b>Détails à spécifier .....</b>	32
6 <b>Diagramme de rayonnement de l'antenne .....</b>	<b>32</b>
6.1 <b>Considérations générales .....</b>	32
6.2 <b>Mesures terrestres du diagramme de rayonnement avec antenne de visée ..</b>	34
6.3 <b>Mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne à l'aide d'un satellite ..</b>	38
6.4 <b>Diagramme des antennes à impulsion unique .....</b>	42
6.5 <b>Précision de mesure .....</b>	44
6.6 <b>Présentation des résultats .....</b>	44
6.7 <b>Détails à spécifier .....</b>	46
7 <b>Polarisation .....</b>	<b>46</b>
7.1 <b>Calcul du rendement de polarisation .....</b>	46
7.2 <b>Discrimination de polarisation croisée (XPD) .....</b>	48
7.3 <b>Découplage entre deux accès pour les antennes à double polarisation à réutilisation de fréquence .....</b>	56
7.4 <b>Présentation des résultats .....</b>	66
7.5 <b>Détails à spécifier .....</b>	66
8 <b>Facteur de qualité en réception (G/T) .....</b>	<b>66</b>
9 <b>Température de bruit de l'antenne .....</b>	<b>66</b>
9.1 <b>Considérations générales .....</b>	66
9.2 <b>Méthode de mesure .....</b>	68
9.3 <b>Présentation des résultats .....</b>	70
9.4 <b>Détails à spécifier .....</b>	70
10 <b>Affaiblissement d'adaptation de l'antenne .....</b>	<b>70</b>
10.1 <b>Méthode de mesure .....</b>	70
10.2 <b>Présentation des résultats .....</b>	70
10.3 <b>Détails à spécifier .....</b>	70
11 <b>Isolation émission-réception entre accès .....</b>	<b>70</b>
11.1 <b>Méthode de mesure .....</b>	70
11.2 <b>Présentation des résultats .....</b>	72
11.3 <b>Détails à spécifier .....</b>	72
<b>Figures .....</b>	<b>74</b>
<b>Annexe A – Bibliographie .....</b>	<b>104</b>

## CONTENTS

	Page
<b>FOREWORD .....</b>	<b>5</b>
<b>Clause</b>	
<b>1 Scope .....</b>	<b>7</b>
<b>2 Normative references .....</b>	<b>7</b>
<b>3 Definitions .....</b>	<b>9</b>
<b>4 Conditions of measurement .....</b>	<b>19</b>
<b>5 Antenna gain .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1 General considerations .....</b>	21
<b>5.2 Method of measurement .....</b>	21
<b>5.3 Presentation of results .....</b>	31
<b>5.4 Details to be specified .....</b>	33
<b>6 Antenna pattern .....</b>	<b>33</b>
<b>6.1 General considerations .....</b>	33
<b>6.2 Terrestrial bore-sight pattern measurements .....</b>	35
<b>6.3 Measurement of antenna pattern via satellite .....</b>	39
<b>6.4 Antenna monopulse pattern .....</b>	43
<b>6.5 Measurement accuracy .....</b>	45
<b>6.6 Presentation of results .....</b>	45
<b>6.7 Details to be specified .....</b>	47
<b>7 Polarization .....</b>	<b>47</b>
<b>7.1 Calculation of the polarization efficiency .....</b>	47
<b>7.2 Cross-polarization discrimination (XPD) .....</b>	49
<b>7.3 Two-port discrimination of dual polarized frequency re-use antennas .....</b>	57
<b>7.4 Presentation of results .....</b>	67
<b>7.5 Details to be specified .....</b>	67
<b>8 Receive figure of merit (G/T) .....</b>	<b>67</b>
<b>9 Antenna noise temperature .....</b>	<b>67</b>
<b>9.1 General considerations .....</b>	67
<b>9.2 Method of measurement .....</b>	69
<b>9.3 Presentation of results .....</b>	71
<b>9.4 Details to be specified .....</b>	71
<b>10 Antenna return loss .....</b>	<b>71</b>
<b>10.1 Method of measurement .....</b>	71
<b>10.2 Presentation of results .....</b>	71
<b>10.3 Details to be specified .....</b>	71
<b>11 Transmit-receive isolation .....</b>	<b>71</b>
<b>11.1 Method of measurement .....</b>	71
<b>11.2 Presentation of results .....</b>	73
<b>11.3 Details to be specified .....</b>	73
<b>Figures .....</b>	<b>75</b>
<b>Annex A – Bibliography .....</b>	<b>105</b>

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### MÉTHODES DE MESURE APPLICABLES AU MATÉRIEL UTILISÉ POUR LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE EN HYPERFRÉQUENCE -

#### Partie 3: Mesures applicables aux stations terriennes de télécommunications par satellite -

##### Section 2: Antenne

###### AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant des questions techniques, représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales; ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 835-3-2 a été établie par le sous-comité 12E: Systèmes de communications par faisceaux hertziens et satellites, du comité d'études 12 de la CEI: Radiocommunications.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
12E/247/FDIS	12E/262/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**METHODS OF MEASUREMENT FOR EQUIPMENT USED IN  
DIGITAL MICROWAVE RADIO TRANSMISSION SYSTEMS –****Part 3: Measurements on satellite earth stations –****Section 2: Antenna****FOREWORD**

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, express as nearly as possible an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 835-3-2 has been prepared by sub-committee 12E: Radio relay and satellite communication systems, of IEC technical committee 12: Radio-communications.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
12E/247/FDIS	12E/262/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Annex A is for information only.

## MÉTHODES DE MESURE APPLICABLES AU MATÉRIEL UTILISÉ POUR LES SYSTÈMES DE TRANSMISSION NUMÉRIQUE EN HYPERFRÉQUENCE -

### Partie 3: Mesures applicables aux stations terriennes de télécommunications par satellite -

#### Section 2: Antenne

##### 1 Domaine d'application

La présente section de la CEI 835-3 traite des définitions et des méthodes de mesure applicables aux caractéristiques électriques des antennes des stations terriennes de liaison par satellite dans les gammes de fréquences au-dessus d'environ 1 GHz. Ces méthodes s'appliquent aux antennes de type réflecteur assurant la transmission de signaux analogiques et numériques.

Le but de ces mesures est principalement de vérifier que les performances des antennes des stations terriennes sont conformes aux spécifications généralement données par l'opérateur d'un système par satellite et basées sur les règlements des radio-communications et les normes internationales applicables comme par exemple la Recommandation S.733-1 de l'UIT-R et les Recommandations 465-4, 580-3, 731 et 732 du CCIR. Les procédures de mesure sont souvent prescrites par les organisations internationales de service de liaison par satellite.

Les mesures sont effectuées dans les conditions où tous les équipements du sous-système d'antenne sont connectés, sauf indication contraire.

##### 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente section de la CEI 835-3. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente section de la CEI 835-3 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 50(60): 1970, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 60: Radio-communications*

CEI 50(712): 1992, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 712: Antennes*

CEI 835-1-2: 1992, *Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence – Partie 1: Mesures communes aux faisceaux hertziens terrestres et aux stations terriennes de télécommunications par satellite – Section 2: Caractéristiques de base*

CEI 835-3-4: 1993, *Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence – Partie 3: Mesures applicables aux stations terriennes de télécommunications par satellite – Section 4: Amplificateur à faible bruit*

## METHODS OF MEASUREMENT FOR EQUIPMENT USED IN DIGITAL MICROWAVE RADIO TRANSMISSION SYSTEMS –

### Part 3: Measurements on satellite earth stations –

#### Section 2: Antenna

##### 1 Scope

This section of IEC 835-3 gives definitions and methods of measurement of the electrical characteristics of satellite earth-station antennas for frequencies above about 1 GHz. The methods are applicable to reflector type antennas for digital and analog signal transmission.

The purpose of the measurements is mainly to confirm that earth-station antenna performance complies with the requirements generally given by the satellite system provider based on the Radio Regulations and applicable international standards such as ITU-R Recommendation S.733-1 and the CCIR Recommendations 465-4, 580-3, 731 and 732. The measurement procedures are often prescribed by international satellite service organizations.

Measurements are performed under the condition that all antenna subsystem equipment is connected unless otherwise stated.

##### 2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this section of IEC 835-3. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this section of IEC 835-3 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 50(60): 1970, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 60: Radio-communications*

IEC 50(712): 1992, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 712: Antennas*

IEC 835-1-2: 1992, *Methods of measurement for equipment used in digital microwave radio transmission systems – Part 1: Measurements common to terrestrial radio-relay systems and satellite earth stations – Section 2: Basic characteristics*

IEC 835-3-4: 1993, *Methods of measurement for equipment used in digital microwave radio transmission systems – Part 3: Measurements on satellite earth stations – Section 4: Low noise amplifier*

CEI 835-3-7: 1995, *Méthodes de mesure applicables au matériel utilisé pour les systèmes de transmission numérique en hyperfréquence – Partie 3: Mesures applicables aux stations terriennes de télécommunications par satellite – Section 7: Facteur de qualité du système de réception*

UIT-R S.465-5: 1993, *Diagramme de rayonnement de référence de station terrienne, à utiliser pour la coordination et pour l'évaluation des brouillages dans la gamme des fréquences comprises entre 2 et environ 30 GHz.*

UIT-R S.580-4: 1993, *Diagramme de rayonnement à utiliser comme objectifs de conception pour les antennes des stations terriennes fonctionnant avec des satellites géostationnaires*

UIT-R S.731: 1992, *Diagramme de rayonnement contrapolaire de référence de station terrienne, à utiliser pour la coordination des fréquences et pour l'évaluation des brouillages dans la gamme des fréquences comprises entre 2 et environ 30 GHz*

UIT-R S.732: 1992, *Méthode de traitement statistique des crêtes des lobes latéraux d'antenne de station terrienne*

UIT-R S.733-1: 1993, *Détermination du rapport G/T des stations terriennes du service fixe par satellite*

### 3 Définitions

Pour les besoins de la présente section de la CEI 835-3, les définitions suivantes s'appliquent.

Pour les définitions des termes généraux utilisés dans cette section, se reporter à la CEI 60 et à la CEI 50(712). En cas de conflit, c'est la définition indiquée ici qui est retenue.

#### 3.1 Sous-système d'antenne

Un sous-système d'antenne est la partie de l'équipement de la station terrienne de communication qui comprend l'antenne et sa source d'alimentation, tels qu'indiqué figure 1. L'antenne présentée dans cette section est une antenne à réflecteur, composée d'un réflecteur principal, de réflecteurs secondaires le cas échéant et d'une source primaire. La source peut comporter en général des duplexeurs, des filtres réjecteurs d'émission, des hybrides et un duplexeur de polarisation (transducteur orthomode) ou un polariseur, auxquels sont raccordés les guides d'onde d'alimentation vers les équipements de multiplexage et de commutation d'émission et de réception, ainsi que vers le récepteur de poursuite. Le sous-système d'antenne peut également comporter les dispositifs nécessaires au pointage de l'antenne. Il y a lieu de spécifier les accès pour une mesure donnée.

#### 3.2 Accès de l'antenne

On peut définir l'accès de l'antenne à une quelconque interface de la source où les mesures r.f. sont habituellement effectuées. Pour distinguer les caractéristiques de l'antenne de celles de la source, la bride du guide d'onde du cornet d'alimentation est parfois prise comme accès de l'antenne, mais alors des mesures complémentaires comprenant l'ensemble du réseau source peuvent être importantes.

IEC 835-3-7: 1995, *Methods of measurement for equipment used in digital microwave radio transmission systems – Part 3: Measurements on satellite earth stations – Section 7: Figure-of-merit of receiving system*

ITU-R S.465-5: 1993, *Reference earth-station radiation pattern for use in coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz*

ITU-R S.580-4: 1993, *Radiation diagrams for use as design objectives for antennas of earth stations operating with geostationary satellites*

ITU-R S.731: 1992, *Reference earth-station cross-polarized radiation pattern for use in frequency coordination and interference assessment in the frequency range from 2 to about 30 GHz*

ITU-R S.732: 1992, *Method for statistical processing of earth-station antenna side-lobe peaks*

ITU-R S.733-1: 1993, *Determination of the G/T ratio for earth stations operating in the fixed-satellite service*

### 3 Definitions

For the purpose of this section of IEC 835-3, the following definitions apply.

For definitions of the general terms used in this section, reference should be made to IEC 60 and IEC 50(712). In case of conflict, the definition given here takes precedence.

#### 3.1 Antenna subsystem

An antenna subsystem is that part of the earth-station communication equipment which comprises the antenna and the feed network, as shown in figure 1. The antenna considered in this section is a reflector antenna consisting of the main reflector, secondary reflectors, if any, and the primary radiator. The feed network usually may contain frequency diplexers, transmit reject filters, hybrids, and a polarization diplexer (orthomode transducer) or a polarizer, to which are connected the waveguide feeders to the transmit and receive multiplexing and switching equipment and to the tracking receiver. The antenna subsystem may also include provisions for pointing the antenna. The terminals of the antenna subsystem should be specified for a given measurement.

#### 3.2 Antenna port (antenna terminal)

An antenna port may be defined at any interface of the feed network where r.f. measurements are usually made. To separate antenna and feed network properties, sometimes the feed horn waveguide flange is defined as the antenna port, but in that case additional measurements including the whole feed network may be important.

### 3.3 Gain de l'antenne

Le gain de l'antenne d'émission est le rapport entre le flux de puissance dans la zone située en champ lointain, à une distance et dans une direction donnée, et le flux de densité de puissance produit à la même distance par une antenne isotrope sans perte recevant la même puissance de la même source que celle de l'antenne à l'essai.

Pour les antennes de réception, une définition du gain peut être déduite de la surface effective  $A_e$  (voir 3.5) par l'équation:

$$G = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2} \quad (3-1)$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde.

Avec la même antenne utilisée pour l'émission et la réception à la même fréquence et avec les mêmes points d'accès, les gains définis ci-dessus pour l'émission et la réception seront égaux grâce au principe de réciprocité des antennes.

En théorie, le gain ne prend pas en compte les pertes provenant des désadaptations de polarisation et d'impédance au plan de référence du système d'alimentation. Toutefois, elles sont en général très faibles et peuvent être négligées lors des mesures pratiques. Néanmoins, il est parfois nécessaire d'indiquer la part du gain de l'antenne (gain partiel tel que défini dans le VEI 712-02-44) correspondant à une polarisation particulière. Dans ce cas, il convient que la polarisation de référence soit mentionnée par exemple par «gain en polarisation circulaire droite» ou «gain en polarisation linéaire horizontale». Le gain partiel est égal au gain multiplié par le rendement de polarisation correspondant à la polarisation spécifiée. Il peut être mesuré par exemple à l'aide d'une antenne située dans l'axe de visée et ayant la polarisation spécifiée rayonnant vers l'antenne à l'essai. Si la polarisation de l'antenne est décomposée en deux composantes orthogonales (ce qui est toujours possible), le gain de l'antenne est alors la somme des gains partiels correspondant aux polarisations des composantes.

NOTE – Sauf spécification contraire, le gain sera défini comme le gain dans l'axe de visée (gain maximal).

### 3.4 Diagramme de rayonnement de l'antenne

Le diagramme de rayonnement de l'antenne est le tracé angulaire de la puissance du signal émis ou reçu par l'antenne référencé à un accès donné. Il correspond normalement à la co-polarisation ou à la polarisation croisée.

### 3.5 Surface effective d'une antenne

Dans une direction spécifiée, la surface effective d'une antenne est le rapport entre la puissance fournie à une charge adaptée située à l'accès de l'antenne et le flux de puissance d'une onde incidente dans le plan de polarisation adapté à l'antenne.

NOTE – La surface effective est en général définie à partir de la mesure de gain à l'aide de l'équation (3-1).

### 3.3 Antenna gain

The gain of a transmitting antenna is the ratio of the power flux density produced in the far-field region, in a given direction and at a given distance from the antenna, to the power flux density which would be produced at the same distance by a loss-free isotropic antenna which accepts the same power from the same source as the antenna under test.

For receiving antennas, a definition of gain can be derived from that of effective area  $A_e$  (see 3.5) by the equation:

$$G = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2} \quad (3-1)$$

where  $\lambda$  is the wavelength.

For the same antenna used for transmitting and receiving on the same frequency and with the same terminals, the gains defined above for transmitting and for receiving will be equal, because of the reciprocity of the antenna.

Theoretically, gain does not include losses arising from polarization mismatches and from impedance mismatches at the gain-reference plane of the feed system. However, in practical measurements these effects normally are very small and may then be neglected. Nevertheless it may sometimes be necessary to give that part of the antenna gain (partial gain as defined in IEC 712-02-44) corresponding to a specified polarization. In this case the reference polarization should be indicated for example by "right-hand circular polarization gain" or "horizontal linear polarization gain". The partial gain is the gain multiplied with the polarization efficiency corresponding to the specified polarization. It may be measured, for example, with a bore-sight antenna radiating with the specified polarization towards the antenna under test. If the antenna polarization is split into two orthogonal components (which is always possible), then the antenna gain is the sum of the partial gains corresponding to the polarizations of the components.

NOTE – Unless otherwise specified, gain will be defined as the gain in bore-sight direction (maximum gain).

### 3.4 Antenna pattern

The antenna (radiation) pattern is an angular plot of the signal strength radiated from or received by the antenna with respect to a specified port. It normally corresponds to co- or cross-polarization.

### 3.5 Effective area of an antenna

For a specified direction, the effective (active) area of an antenna is the ratio between the power delivered to a matched load at the antenna terminals and the power flux density in a polarization matched plane wave incident on the antenna.

NOTE – The effective area is normally determined by a gain measurement using equation (3-1).

### 3.6 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne  $\eta$  est le rapport entre la surface effective maximale et la surface  $A$  de l'antenne projetée dans le plan perpendiculaire à l'axe de rayonnement maximal. La surface effective maximale est reliée au gain maximal  $G$  défini en 3.3. Par conséquent:

$$\eta = \frac{A_e}{A} = \frac{G\lambda^2}{4\pi A} \quad (3-2)$$

où  $\lambda$  est la longueur d'onde.

NOTE – Il convient que le plan de référence pour le rendement soit le même que celui pour le gain.

### 3.7 Antenne étalon

Une antenne dont le gain est connu de manière précise. Le gain de l'antenne en essai peut être comparé à celui de l'antenne étalon par commutation entre ces deux antennes. L'antenne étalon est souvent beaucoup plus petite que l'antenne à l'essai.

### 3.8 Axe de visée

Pour les antennes munies d'un dispositif de poursuite à détection de zéro, l'axe de visée correspond à la direction où l'erreur de pointage est nulle. Pour les antennes directives non munies d'un dispositif de poursuite à détection de zéro, l'axe de visée est la direction correspondant au niveau de rayonnement maximal.

NOTE – Les mesures dans l'axe de visée sont des mesures effectuées au moyen d'une antenne auxiliaire (antenne de visée) montée généralement sur une tour (tour de visée) située dans l'axe de visée.

### 3.9 Polarisation de l'antenne

La polarisation de l'antenne est la polarisation du champ électrique dans la zone à champ lointain dans une direction spécifiée de l'antenne rayonnante. C'est également la polarisation d'une onde plane provenant d'une direction donnée et ayant un flux de densité d'énergie donné qui fournit la puissance maximale à l'accès de l'antenne.

NOTE – Sauf spécification contraire, la direction spécifiée est celle de l'axe de visée. La polarisation est caractérisée par l'ellipse de polarisation ou par la somme des composantes en co-polarisation et en polarisation croisée. Ainsi, les propriétés de polarisation dans toutes les directions sont aussi fournies par les diagrammes de rayonnement de l'antenne en co-polarisation et en polarisation croisée.

### 3.10 Rapport axial

Le rapport axial  $r$  (ou taux d'ellipticité) est défini comme le rapport entre le grand axe et le petit axe de l'ellipse de polarisation (la polarisation linéaire correspond à  $r = \infty$ , la polarisation circulaire à  $r = 1$ ).

### 3.11 Co-polarisation (polarisation nominale)

La co-polarisation (d'une antenne) est la polarisation que l'antenne est censée rayonner (ou recevoir).

### 3.6 *Antenna efficiency*

The antenna efficiency  $\eta$  is the ratio of the maximum effective area to the projected area  $A$  of the antenna in a plane perpendicular to the direction of maximum radiation. The maximum effective area is related to the maximum gain  $G$  as defined in 3.3. So:

$$\eta = \frac{A_e}{A} = \frac{G\lambda^2}{4\pi A} \quad (3-2)$$

where  $\lambda$  is the wavelength.

NOTE – The reference plane for the efficiency should be the same as for the gain.

### 3.7 *Gain-reference antenna*

An antenna with precisely known gain. The gain of the antenna under test may be compared with the gain of a reference antenna by switching between these antennas. The reference antenna is often much smaller than the antenna under test.

### 3.8 *Bore-sight direction*

For tracking antennas, the bore-sight direction is the direction of the tracking null. For non-tracking directive antennas, the bore-sight direction is the direction of the beam maximum.

NOTE – Bore-sight measurements are measurements with an ancillary antenna (bore-sight antenna) usually mounted on a tower (bore-sight tower), located at the bore-sight direction.

### 3.9 *Antenna polarization*

The antenna polarization is the polarization of the electric far-field in a specified direction of a radiating antenna. It is also that polarization of a plane wave, incident from a given direction and having a given power flux density, which results in maximum available power at the antenna terminals.

NOTE – If not otherwise defined, the specified direction is the bore-sight direction. The polarization is characterized by the polarization ellipse, or by a sum of a co- and a cross-polarized component. Therefore, the polarization properties for all directions are also given by co- and cross-polarized antenna patterns.

### 3.10 *Axial ratio*

Axial ratio (or ellipticity ratio)  $r$  is defined as the ratio of the major axis to the minor axis of the polarization ellipse (linear polarization is given by  $r = \infty$ , circular polarization by  $r = 1$ ).

### 3.11 *Co-polarization (nominal polarization)*

Co-polarization (of an antenna) is that polarization which the antenna is intended to radiate (or receive).

Pour un transfert de puissance maximal dans les conditions opérationnelles, la polarisation fixée aux antennes des stations terriennes est la co-polarisation de l'antenne du satellite dans la direction de l'antenne de la station terrienne. Pour une polarisation linéaire, la direction de la polarisation du satellite dépend à la fois des positions de la station terrienne et du satellite et, dans une faible mesure, des caractéristiques de polarisation et de la stabilité de la direction de l'antenne du satellite.

NOTE – Normalement, la co-polarisation est exactement circulaire ou linéaire. La co-polarisation linéaire est spécifiée en général par rapport au sol ou au plan du méridien correspondant à la position du satellite. En pratique, on dit également qu'une antenne est co-polarisée même si elle n'est co-polarisée que de manière partielle avec la polarisation prévue (par exemple le vecteur électrique en champ lointain peut se déplacer légèrement avec la fréquence).

### 3.12 *Polarisation croisée*

La polarisation croisée (pour une co-polarisation donnée) est la polarisation orthogonale à la co-polarisation (les deux ondes ayant la même direction de propagation). Deux polarisations sont dites orthogonales si les ellipses de polarisation ont des sens de rotation opposés, le même rapport axial et des grands axes perpendiculaires.

Deux antennes sont dites en polarisation croisée si leurs polarisations sont orthogonales. Elles sont dites en polarisation croisée nominale si leurs co-polarisations (polarisations nominales) sont orthogonales.

NOTE – En pratique, on dit également parfois que deux antennes sont en polarisation croisée, si elles sont approximativement orthogonales.

### 3.13 *Discrimination de polarisation croisée (XPD)*

La discrimination de polarisation croisée XPD d'une antenne dans une direction donnée et un accès spécifié est le rapport de puissance, exprimé en décibels, entre la composante en co-polarisation et la composante en polarisation croisée. La discrimination de polarisation croisée en décibels est donnée par la relation  $x = 10 \log X$ . Dans le cas de la réception, par exemple, on peut mesurer ce rapport en observant le rapport des puissances lorsque l'on commute l'antenne d'émission de la co-polarisation à la polarisation croisée orthogonale en laissant inchangée la puissance d'émission.

NOTE – Sauf spécification contraire, on suppose que la direction est l'axe de visée. La polarisation croisée est définie pour chacun des accès dans le cas d'une antenne à accès multiples.

### 3.14 *Rendement de polarisation*

Le rendement de polarisation  $\eta$  est le facteur, inférieur ou égal à 1, qui apparaît dans l'équation suivante:

$$P_r(\Phi, \theta) = A_e(\Phi, \theta) \cdot S \cdot \eta \quad (3-3)$$

où

$A_e(\Phi, \theta)$  est la surface effective de l'antenne de réception pour les angles d'incidence spécifiés  $(\Phi, \theta)$ ;

$S$  est la densité de flux de puissance d'une onde incidente plane dans la direction  $(\Phi, \theta)$ ;

$P_r(\Phi, \theta)$  est la puissance fournie à l'accès spécifié de l'antenne dans une charge adaptée.

In view of maximum power transfer under operational conditions the intended polarization for earth-station antennas is the co-polarization of the satellite antenna in the direction of this earth-station antenna. For linear polarization the direction of the satellite polarization depends on the positions of the earth station and the satellite and, to a small amount, on the polarization characteristic and direction stability of the satellite antenna.

NOTE – The co-polarization is normally exactly circular or linear. Linear co-polarization is usually specified with respect to the ground or the earth meridian plane belonging to the satellite position. In practice, an antenna is also called co-polarized, even if it is only approximately co-polarized with the intended polarization (for example, the far-field electric vector can move slightly with the frequency).

### 3.12 *Cross-polarization*

Cross-polarization (to a given co-polarization) is the polarization orthogonal to the co-polarization (with both waves having the same direction of propagation). Two polarizations are said to be orthogonal, if the polarization ellipses have opposite senses of rotation, the same axial ratios and orthogonal major axes.

Two antennas are said to be cross-polarized, if their polarizations are orthogonal. Two antennas are said to be nominally cross-polarized if their co-polarizations (nominal polarizations) are orthogonal.

NOTE – In practice, two antennas are sometimes also called cross-polarized, if they are only approximately orthogonal.

### 3.13 *Cross-polarization discrimination (XPD)*

For a given direction and a specified port, the cross-polarization discrimination XPD of an antenna is the power ratio in decibels of the co-polarized and cross-polarized component of the antenna polarization. The cross-polarization discrimination in decibels is given by  $x = 10 \log X$ . In the receive case, for example, this ratio may be measured by observing the power ratio, when the polarization of the transmitting antenna is switched over from co-polarization to the orthogonal cross-polarization, keeping the transmit power unchanged.

NOTE – Unless otherwise specified, the bore-sight direction is assumed. Cross-polarization is defined for each port of a multi-port antenna.

### 3.14 *Polarization efficiency*

The polarization efficiency  $\eta$  is a factor, of unity or less, which is employed in the following equation:

$$P_r(\Phi, \theta) = A_e(\Phi, \theta) \cdot S \cdot \eta \quad (3-3)$$

where

- $A_e(\Phi, \theta)$  is the effective area of a receiving antenna in a given direction  $(\Phi, \theta)$  of incidence;
- $S$  is the power flux density of an incident plane wave from the direction  $(\Phi, \theta)$ ;
- $P_r(\Phi, \theta)$  is the power delivered by a specified port of the receiving antenna to a matched termination.

### 3.15 Antenne à double polarisation

Une antenne à double polarisation est une antenne conçue pour émettre et/ou recevoir simultanément des signaux ayant deux polarisations orthogonales (polarisations croisées). Si elle a un accès émission et un accès réception, alors les co-polarisations correspondant à ces accès sont orthogonales. Si l'antenne fonctionne en réutilisation de fréquence et, de ce fait, possède quatre accès pour les signaux de communication, les co-polarisations correspondant aux deux accès de réception et aux deux accès d'émission sont orthogonales dans chacun des cas.

NOTE – Si l'on ne prend en considération que l'une des polarisations opérationnelles reçues ou émises, les accès correspondant à la même direction de propagation du signal sont parfois appelés accès «co-polaires» ou accès «à polarisation croisée». Mais il convient que les polarisations de l'antenne correspondant à ces accès, tout en n'étant qu'approximativement co-polaires ou à polarisation croisée, soient alors distinguées de ces polarisations.

### 3.16 Découplage entre deux accès (TDP)

Le découplage entre deux accès (découplage entre accès, isolation) d'une antenne à double polarisation à réutilisation de fréquence est définie pour les deux accès de réception et les deux accès d'émission.

Si l'antenne du satellite émet dans l'une des deux polarisations opérationnelles, le découplage entre les deux accès de réception de l'antenne à l'essai correspondant à cette polarisation est le rapport entre la puissance reçue sur l'accès de réception correspondant et la puissance reçue sur l'autre accès de réception (les deux accès étant raccordés à des charges adaptées).

Si l'antenne à l'essai émet dans l'une des deux polarisations opérationnelles vers le satellite, le découplage entre les deux accès d'émission de l'antenne à l'essai correspondant à cette polarisation est le rapport entre la puissance reçue sur l'accès correspondant de l'antenne du satellite et la puissance reçue sur le même accès lorsque la puissance de l'antenne à l'essai est commutée de l'un à l'autre des accès d'émission (les accès de l'antenne du satellite étant raccordés à des charges adaptées).

Le TDP est fonction de la polarisation opérationnelle qui est respectivement émise ou reçue. Il dépend également des caractéristiques du satellite ou de l'antenne de visée intervenant dans l'essai, ainsi que du trajet de transmission. Ce n'est donc souvent pas une mesure suffisante de la qualité de l'antenne à l'essai, mais ce peut être la seule quantité mesurable dans certaine situations.

NOTE – Il y a lieu que le découplage entre deux accès ne soit pas confondu avec l'isolation émission-réception d'une antenne multi-accès (voir 3.17), ni avec la discrimination de polarisation croisée (voir 3.13 et 7.2) définies pour chaque accès de l'antenne. L'égalité exacte ou approximative pour ces quantités ne peut exister qu'à des fréquences particulières ou pour des caractéristiques idéales d'antenne.

### 3.17 Isolation émission-réception

L'isolation émission-réception d'une antenne est le rapport entre la puissance émise sur l'accès émission de l'antenne et la puissance reçue sur l'accès de réception de l'antenne (par couplage).

NOTE – L'isolation émission-réception peut comprendre la contribution du filtre de réjection de l'émission dans la chaîne de réception.

### 3.15 *Dual-polarized antenna*

A dual-polarized antenna is an antenna designed for simultaneously transmitting and/or receiving signals having two orthogonal (cross-polarized) polarizations. If it has one receive and one transmit port, then the co-polarizations related to these ports are orthogonal. If it operates with frequency re-use and therefore has four communication signal ports, the co-polarizations related to the two receive and the two transmit ports are orthogonal in each case.

NOTE – If only one of the two received or transmitted operational polarizations is considered, sometimes the ports corresponding to the same signal propagation direction are called "co-polar" and "cross-polar" ports. But the antenna polarizations related to these ports, despite approximating the intended co- and cross-polarization, should then be distinguished from these polarizations.

### 3.16 *Two-port discrimination (TPD)*

The two-port discrimination (port-to-port discrimination, isolation) of a dual polarized frequency re-use earth-station antenna is defined for the two receive ports and the two transmit ports.

If the satellite antenna radiates with one of the two operational polarizations, the receive two-port discrimination of the antenna under test related to this polarization is the ratio of the power received at the corresponding receive port to the power received at the other receive port (with both ports terminated with matched loads).

If the antenna under test radiates with one of the two operational polarizations to the satellite, the transmit two-port discrimination of the antenna under test related to this polarization is the ratio of the power received at the corresponding port of the satellite antenna to the power received at the same port when the power at the antenna under test is switched over from one to the other transmit port (satellite antenna ports terminated with matched loads).

The TPD depends on which of the two operational polarizations is transmitted or received respectively. It will also be affected by properties of the satellite or bore-sight antenna involved in the test and the transmission path. Therefore it is often not a sufficient measure of quality of the antenna under test, but it may be the only measurable quality in some practical situations.

NOTE – The two-port discrimination normally has to be distinguished from the transmit-receive isolation of a multi-port antenna (see 3.17), as well as from the cross-polarization discrimination (see 3.13, 7.2) defined for each of the antenna ports. Equal or approximately equal values for these quantities may exist only at special frequencies or for idealized antenna properties.

### 3.17 *Transmit-receive isolation (TRI)*

The transmit-receive isolation of an antenna is the power ratio of the power transmitted at a transmit port of the antenna to the power received at a receive port of the antenna (by coupling).

NOTE – The transmit-receive isolation may include the contribution of a transmit reject filter in the receive line.

### 3.18 Champ lointain (zone lointaine, zone de Fraunhofer)

La zone à champ lointain d'une antenne commence à une distance  $L$  où le diagramme de rayonnement de l'antenne est à peu près indépendant de la distance à laquelle il est mesuré. La distance de la zone à champ lointain  $L$  est généralement définie par l'équation:

$$L = \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (3-4)$$

où

$D$  est la dimension maximale d'ouverture de l'antenne;

$\lambda$  est la longueur d'onde.

Pour les mesures en champ lointain, la distance de mesure sera supérieure à la valeur maximale de la distance correspondant à la longueur d'onde de fonctionnement minimale.

#### NOTES

1 Lorsque la dimension  $d$  de l'ouverture maximale de l'antenne opposée est supérieure à environ 0,64  $D$ , la distance minimale suivante peut être nécessaire pour les mesures:

$$L = \frac{Dd}{0,32 \lambda} \quad (3-5)$$

Si  $D < 0,64 d$ , il convient d'utiliser la valeur  $d$  à la place de  $D$  dans l'équation (3-4)

2 Pour des antennes possédant des lobes latéraux très faibles, des distances de mesure plus importantes que celle donnée par l'équation (3-4) peuvent être nécessaires.

### 3.19 Température de bruit de l'antenne

La température de bruit de l'antenne est la température d'une résistance qui présente une puissance par unité de bande passante égale à celle présente à la sortie de l'antenne à une fréquence donnée.

NOTE – La température de bruit d'une antenne dépend de son couplage avec toutes les sources de bruit dans son environnement ainsi que du bruit généré à l'intérieur de l'antenne (par exemple par les pertes ohmiques).

## 4 Conditions de mesure

Les mesures décrites dans cette norme doivent autant que possible être réalisées dans des conditions opérationnelles réalistes. Elles doivent être effectuées dans toutes les bandes de fréquence indiquées dans les spécifications détaillées de l'équipement. Elles peuvent l'être dans différentes conditions d'environnement dans des limites définies par accord entre les parties concernées, par exemple:

- vitesse du vent;
- grêle;
- gel;
- pluie;
- neige;
- rayonnement solaire;
- gamme de température.

Il faut savoir que les déformations mécaniques de la géométrie de l'antenne dues à l'influence de la gravité, du vent et de l'angle de pointage des antennes peuvent avoir un effet sur le résultat des mesures, en particulier celles du gain, des lobes latéraux, de la discrimination de polarisation croisée et du découplage entre accès.

### 3.18 Far-field (far-zone, Fraunhofer zone)

The far-field of an antenna begins at that distance  $L$  from the antenna, where the antenna pattern is approximately independent of the distance where it is measured. The far-field distance  $L$  is normally defined by the equation:

$$L = \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (3-4)$$

where

$D$  is the maximum aperture dimension of the antenna;

$\lambda$  is the wavelength.

For far-field measurements the measurement distance will be greater than the maximum far-field distance resulting from the minimum operational wavelength.

#### NOTES

1 When the maximum aperture dimension  $d$  of the opposite antenna is larger than approximately 0,64  $D$ , the following minimum distance may be required for measurement:

$$L = \frac{Dd}{0,32 \lambda} \quad (3-5)$$

If  $D < 0,64 d$ , then equation (3-4) should be used with  $d$  instead of  $D$ .

2 For low sidelobe antennas, measurement distances longer than that of equation (3-4) may be required.

### 3.19 Noise temperature of an antenna

The noise temperature of an antenna is the temperature of a resistor having an available power per unit bandwidth equal to that at the antenna output at a specified frequency.

NOTE – The noise temperature of an antenna depends on its coupling to all noise sources in its environment as well as noise generated within the antenna (for example, by ohmic losses).

## 4 Conditions of measurement

The measurements described in this standard shall be made as far as possible under realistic operational conditions. They shall be carried out within all the frequency bands given in the detailed equipment specification. The measurements may be made under different environmental conditions within the limits agreed between the parties concerned, for example:

- wind velocity;
- hail;
- ice;
- rain;
- snow;
- solar radiation;
- temperature range.

It should be recognized that mechanical deformations of the antenna geometry, due to the influence of gravity, wind and antenna pointing angle, can affect the results of the measurements, particularly those of gain, sidelobes, cross-polarization and two-port discrimination.

## 5 Gain de l'antenne

### 5.1 Considérations générales

On peut mesurer le gain d'une antenne de station terrienne de liaison par satellite à l'aide de l'une des quatre méthodes suivantes:

- a) comparaison avec le gain d'une antenne de référence;
- b) méthode de substitution satellite (bande de réception);
- c) méthode du bilan de puissance de la liaison avec le satellite (bande d'émission);
- d) méthode de la radiosource stellaire.

La comparaison avec une antenne de gain de référence (méthode du cornet à gain étalon) est applicable si l'on dispose d'une base de mesures dans l'axe de visée. Cette zone doit être d'une longueur suffisante et présenter des réflexions sur le sol suffisamment faibles pour la mesure. Cette méthode peut être utilisée lorsque la longueur de la zone est supérieure à la distance du champ lointain (voir 3.18).

La méthode de substitution satellite et la méthode du bilan de liaison satellite sont des méthodes pratiques pour les antennes de toutes les tailles, mais en général, ce ne sont pas des méthodes très précises. Elles sont applicables lorsque l'on ne dispose pas de base de mesures dans l'axe de visée et que l'antenne à l'essai n'est pas suffisamment grande pour que la méthode de la radiosource stellaire soit applicable.

La méthode de la radiosource stellaire s'applique aux grandes antennes. La possibilité d'application de cette méthode dépend de la densité de flux de la radiosource stellaire, du gain de l'antenne, de la température de bruit du système et de la visibilité de la radio-source stellaire. Cette méthode est applicable lorsque le facteur  $Y$  (rapport entre la puissance reçue provenant de la radiosource stellaire et la puissance de bruit du ciel) est supérieur à 2 dB (voir la CEI 835-3-7). La mesure est effectuée par mesure simultanée du G/T et de la température de bruit du système.

Il existe de petites antennes dont le système d'alimentation comporte un amplificateur faible bruit ou un amplificateur d'émission. Pour ces antennes, on peut utiliser un autre sous-système d'alimentation équivalent pour la mesure. La méthode appropriée est celle du cornet à gain normalisé utilisant une base de mesures.

Les points de référence du sous-système d'antenne où l'on mesure les gains d'émission et de réception doivent être spécifiés. On doit également spécifier les filtres, coupleurs, commutateurs et autres composants de la chaîne de transmission dont les pertes doivent être inclus dans le calcul du gain et dans les mesures.

### 5.2 Méthode de mesure

#### 5.2.1 Comparaison avec une antenne de gain de référence

##### 5.2.1.1 Considérations générales

La mesure de gain par rapport à l'antenne de gain de référence implique la comparaison du niveau du signal reçu par une antenne de référence et de celui reçu par l'antenne en essai à partir de la même source lointaine de rayonnement (antenne de visée).

Il est préférable que le type de polarisation (par exemple linéaire ou circulaire) de l'antenne source et de l'antenne de gain de référence soit le même que celui de l'antenne à l'essai. Il est toutefois possible d'utiliser une antenne source et/ou une antenne de référence à polarisation linéaire pour les mesures d'une antenne à polarisation circulaire en effectuant des corrections (voir 5.2.1.3).

NOTE – En règle générale, les dimensions physiques et, donc, le gain de l'antenne en essai, sont supérieures à celles de l'antenne de référence.

## 5 Antenna gain

### 5.1 General considerations

The antenna gain of a satellite earth station may be measured by one of the following four methods:

- a) comparison with a gain-reference antenna;
- b) satellite substitution method (receive band);
- c) satellite link power method (transmit band);
- d) radio star method.

The comparison with a gain-reference antenna (standard gain-horn method) is applicable if a terrestrial bore-sight range is available. The range shall have sufficient length and sufficiently low ground reflection for the measurement. This method may be carried out when the length of the range is greater than the far-field distance (see 3.18).

The satellite substitution method and satellite link power method are practical and convenient methods for antennas of all sizes, but are in general not very accurate. These methods are applicable when the bore-sight range is not available and when the antenna under test is not large enough for the radio star method.

The radio star method is feasible for large antennas. Practicality of the method depends on the radio star flux density, the antenna gain, system noise temperature and visibility of the radio star. This method is applicable when the Y-factor (the ratio of the received power from the radio star to the sky noise power) is greater than 2 dB (see IEC 835-3-7). The measurement is performed by the simultaneous measurement of G/T and the system noise temperature.

There are some small antennas whose feed includes a non-detachable low noise amplifier or transmit power amplifier. For these antennas, an equivalent alternative feed subsystem can be used for the measurement. The appropriate method is the standard gain-horn method using a terrestrial bore-sight range.

The reference points in the antenna subsystem at which the transmit and receive gains are to be measured or referred shall be specified. Also, the extent of filters, couplers, switches and other components in the transmission line, whose losses are to be included in the gain computation and measurement, should be specified.

### 5.2 Methods of measurement

#### 5.2.1 Comparison with a gain-reference antenna

##### 5.2.1.1 General considerations

Gain measurement by comparison with a gain-reference antenna involves the comparison of the signal level received by a gain-reference antenna and that received by the antenna under test from the same distant radiating source (bore-sight antenna).

It is preferable that the type of polarization (for example, linear or circular) of the source antenna and the gain-reference antenna is the same as that of the antenna under test. However, it is possible to use a linear polarized source antenna and/or gain-reference antenna for the measurement of a circular polarized antenna with correction (see 5.2.1.3).

NOTE – Generally, the physical dimensions, and hence gain, of the antenna under test are greater than those of the gain-reference antenna.

### 5.2.1.2 Méthode de mesure

La figure 2 montre le schéma fonctionnel de deux montages équivalents couramment utilisés pour la mesure du gain d'antenne par comparaison de gain.

Le récepteur r.f. est successivement connecté à l'antenne à l'essai et à l'antenne de gain de référence, soit par un câble coaxial flexible terminé par une transition coaxiale/guide d'onde et un isolateur soit par un commutateur en guide d'onde associé à deux tronçons de guide d'onde étalonnés dont les caractéristiques d'affaiblissement ont été mesurées.

Au début de la mesure, les deux antennes, l'antenne de référence et l'antenne à l'essai, doivent être légèrement dépointées d'une fraction de l'angle d'ouverture en azimut ou en site. Les antennes sont alors orientées ou tournées en azimut et/ou en site de part et d'autre du point de puissance maximale du signal puis à nouveau réglée sur ce point afin d'établir la direction de visée en azimut et en site pour chaque antenne qui donne la puissance de réception maximale. Les réglages en azimut et en site de l'antenne de gain de référence et de l'antenne à l'essai sont alors maintenus pendant la durée des mesures. En outre, le réglage exact de la polarisation des antennes devrait être vérifié et, si nécessaire, ajusté pour la puissance de réception maximale.

**Etape 1:** Connecter l'équipement de réception à l'antenne de gain de référence et noter ou enregistrer la puissance  $P_r$  reçue.

**Etape 2:** Connecter l'équipement de réception à l'antenne à l'essai, augmenter l'affaiblissement de l'atténuateur variable afin de recevoir le même ordre de grandeur de puissance reçue, et noter ou enregistrer la puissance reçue  $P_a$  et la différence des valeurs de l'atténuateur variable entre les étapes 1 et 2.

**Etape 3:** Répéter les étapes 1 et 2 jusqu'à ce qu'un degré acceptable de reproductibilité soit obtenu dans la mesure de  $P_r$  et  $P_a$ . Le manque de reproductibilité peut être dû à une instabilité de la source d'émission, ou de l'équipement de réception, ou des conditions de propagation sur le trajet du montage d'essai.

Le gain mesuré de l'antenne à l'essai peut être déterminé par la formule générale suivante:

$$G_a (\text{dB}) = 10 \log \left( \frac{P_a}{P_r} \right) + L_{\text{eq}} + G_r \quad (5-1)$$

où

$G_a$  est le gain calculé de l'antenne à l'essai au point de référence du gain;

$G_r$  est le gain de l'antenne de référence;

$L_{\text{eq}}$  est la différence entre le réglage de l'atténuateur à l'étape 2 et le réglage de l'atténuateur à l'étape 1 (en règle générale,  $L_{\text{eq}} > 0 \text{ dB}$ ).

#### NOTES

1 Pour éliminer l'influence des réflexions sur le sol, on notera la puissance reçue par l'antenne de référence à différentes hauteurs par rapport au sol. Les interférences dues aux réflexions sur le sol de l'onde directe reçue provoquent des variations à peu près périodiques du niveau en fonction de la hauteur. La valeur de la variation de la hauteur de l'antenne de référence sera suffisante pour que l'on enregistre une ou plusieurs oscillations. (On recommande l'utilisation d'un dispositif séparé pour le déplacement précis de l'antenne de gain de référence.) On déterminera le niveau moyen reçu par l'antenne de gain de référence et on utilisera cette valeur pour le calcul du gain. Avec un bon site d'essai, les variations crête-à-crête du niveau peuvent être inférieures à 0,4 dB.

2 On utilise en général un balayage en fréquence pour la mesure de  $P_r$  et  $P_a$  en fonction de la fréquence. Toutefois, dans le cas d'une mesure à fréquence fixe, il sera plus facile de régler  $P_a$  pour obtenir exactement la même valeur que  $P_r$ , ce qui simplifie l'équation précédente et, par conséquent, le calcul de  $G_a$ .

### 5.2.1.2 Method of measurement

Figure 2 shows the block diagrams of two similar arrangements commonly used for the measurement of the antenna gain-by-gain comparison.

The r.f. receiver is successively connected to the antenna under test and to the gain-reference antenna, using either a flexible coaxial cable terminated by a coaxial-to-waveguide transition and an isolator or by a waveguide switch associated with two waveguide runs with known losses.

At the beginning of the measurement, both antennas, the gain-reference antenna and the antenna under test, shall be slightly de-pointed by a fraction of a beamwidth alternately in azimuth and elevation. The antennas are then panned or rotated in azimuth and/or elevation, through the point of maximum signal strength and then reset to that point in order to establish the bore-sight direction in azimuth and elevation for each antenna in turn for maximum received power. The azimuth and elevation settings of both the gain-reference antenna and the antenna under test are then maintained for the duration of the measurements. In addition, the exact polarization of the antennas should be checked and, if necessary, adjusted for maximum receive level.

**Step 1:** Connect the receiving equipment to the gain-reference antenna and note or record the indicated received power,  $P_r$ .

**Step 2:** Connect the receiving equipment to the antenna under test, increase the attenuation of the variable attenuator in order to receive the same order of magnitude of indicated received power, and note or record the received power,  $P_a$ , and the difference in the variable attenuator readings recorded in steps 1 and 2.

**Step 3:** Repeat steps 1 and 2 until an acceptable repeatability is achieved in the measurement of  $P_r$  and  $P_a$ . Lack of repeatability may be due to instability in the transmitting source, or in the receiving equipment, or in the test-range propagation path conditions.

The gain of the antenna under test can then be calculated by the following general expression:

$$G_a \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{P_a}{P_r} \right) + L_{eq} + G_r \quad (5-1)$$

where

$G_a$  is the calculated gain of the antenna under test at the gain-reference point;

$G_r$  is the gain of the gain-reference antenna;

$L_{eq}$  is the difference between the attenuator reading in step 2 and the reading in step 1 (generally,  $L_{eq} > 0$  dB).

#### NOTES

1 To eliminate the influence of ground reflections, the power received by the gain-reference antenna should be recorded for different heights of the gain-reference antenna above ground. Interference of the ground reflections with the directly received wave cause a nearly periodic level variation with height. The amount of the variation of the gain-reference antenna height should be large enough to record one or more of these oscillations. (A separate construction for accurate moving of the gain-reference antenna is recommended.) The average level received by the gain reference antenna should be determined and used for the gain calculation. For a good test range, the peak-to-peak level variation with height may be less than 0,4 dB.

2 Most often, a swept-frequency measurement is used to measure  $P_r$  and  $P_a$  as a function of frequency. However, in the case of a fixed frequency measurement there will be less difficulty in adjusting  $P_a$  to exactly the same value as  $P_r$ , which will then simplify the above equation and hence calculation of  $G_a$ .

**5.2.1.3 Correction pour une antenne à polarisation circulaire mesurée à l'aide d'une source et/ou d'une antenne de référence à polarisation linéaire**

**Cas 1:** Pour une antenne à l'essai ayant un bon rapport axial

Lorsque le rapport axial de l'antenne à l'essai est inférieur à 2 dB environ, les corrections simples décrites ci-dessous peuvent être appliquées:

- a) antenne source à polarisation linéaire et antenne de référence à polarisation linéaire.

Le gain mesuré de l'antenne à l'essai est inférieur de 3 dB au gain réel. On doit donc ajouter 3 dB au gain mesuré.

- b) antenne source à polarisation circulaire et antenne de référence à polarisation linéaire.

Le niveau reçu par l'antenne de gain de référence est inférieur de 3 dB à celui d'une antenne à polarisation circulaire de même gain. On doit donc soustraire 3 dB au gain mesuré.

NOTE – Lorsque l'on utilise une antenne de gain de référence à polarisation circulaire, aucune correction n'est nécessaire.

**Cas 2:** Pour une antenne à l'essai avec un mauvais rapport axial utilisant une antenne source à polarisation linéaire

Mesurer d'abord le gain de l'antenne  $G_0$  (dB) avec un angle de polarisation de l'antenne source. Tourner ensuite l'angle de polarisation de l'antenne source de  $90^\circ$  et mesurer de nouveau le gain de l'antenne  $G_{90}$  (dB). Appliquer la même correction qu'en 1 a) si une antenne de gain de référence à polarisation linéaire est utilisée. Le gain de l'antenne,  $G$ , est alors défini par:

$$G = 10 \log \frac{10^{\left(\frac{G_0}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{G_{90}}{10}\right)}}{2} \quad (\text{dB}) \quad (5-2)$$

NOTE – Lorsque l'on utilise une antenne source à polarisation circulaire, aucune correction n'est nécessaire, à part celle du cas 1 b) ci-dessus.

**5.2.1.4 Précision de la mesure du gain**

Comme cette méthode ne suppose que la comparaison entre deux antennes, la précision absolue du dispositif de mesure de la puissance n'est pas importante.

Pour minimiser les erreurs dues aux différences de gain entre les équipements de réception et les autres équipements électroniques actifs, par exemple les enregistreurs utilisés lors des mesures, on utilise en général le même jeu d'équipements électroniques de réception, d'enregistreurs, etc. pour les mesures avec l'antenne de référence et avec l'antenne en essai. On doit faire attention à minimiser les erreurs dues aux dérives de gain des équipements électroniques de réception, des enregistreurs, etc. ainsi que celles dues aux variations de puissance de sortie et de fréquence de la source d'émission. L'intervalle entre les mesures doit être aussi court que possible afin d'éviter les effets de ces variations.

Pour minimiser les erreurs de non-linéarité dues aux détecteurs de signal, aux équipements électroniques de réception, aux enregistreurs, etc. qui sont utilisés pour la réception et l'enregistrement de signaux à des niveaux très différents, il est souhaitable d'atténuer à l'aide d'un atténuateur calibré le signal reçu par l'antenne à l'essai qui est généralement plus grande afin d'obtenir le même niveau qu'avec l'antenne de référence qui est généralement plus petite.

**5.2.1.3 Correction for a circularly polarized antenna measured by using a linearly polarized source and/or gain-reference antenna**

**Case 1:** For an antenna under test with a good axial ratio

When the axial ratio of the antenna under test is less than about 2 dB, simple corrections described below can be applied:

- a) a linearly polarized source antenna and a linearly polarized gain-reference antenna.

The measured gain of the antenna under test is 3 dB lower than the actual gain. Therefore, 3 dB shall be added to the measured gain.

- b) a circularly polarized source antenna and a linearly polarized gain-reference antenna.

The received level by the gain-reference antenna is 3 dB lower than by a circularly polarized antenna of the same gain. Therefore, 3 dB shall be subtracted from the measured gain.

NOTE – When a circularly polarized gain-reference antenna is used, no correction is necessary.

**Case 2:** For an antenna under test with a poor axial ratio using a linearly polarized source antenna

Firstly measure the antenna gain,  $G_0$  (dB), with an appropriate polarization angle of the source antenna. Then rotate the polarization angle of the source antenna by 90° and measure the antenna gain,  $G_{90}$  (dB), again. Apply the same correction as for case 1 a) if a linear polarized gain-reference antenna is used. Then the antenna gain,  $G$ , can be derived as:

$$G = 10 \log \frac{10 \left( \frac{G_0}{10} \right) + 10 \left( \frac{G_{90}}{10} \right)}{2} \quad (\text{dB}) \quad (5-2)$$

NOTE – When a circularly polarized source antenna is used, no correction is necessary other than the same correction as for case 1 b) above.

**5.2.1.4 Gain measurement accuracy**

As this method involves only a comparison between two antennas, the absolute accuracy of the power-meter used is not important.

To minimize the errors associated with gain differences between the receiving equipment and other active electronic equipment, for example recorders, involved in the measurements, a single common set of receiving electronic equipment, recorders, etc. is normally used for both measurements with the gain-reference antenna and with the antenna under test. Care shall also be taken to minimize errors associated with gain drift in the receiving electronic equipment, recorders etc., as well as changes of power output and frequency of the transmitting source. The time between measurements shall be as short as possible to avoid the effects of such variation.

To minimize the non-linearity errors associated with the signal detectors, electronic receiving equipment, recorders, etc. which are used to receive and record signals at widely different levels, it is desirable to reduce the received signal level of the generally larger antenna under test to the same level as that received by the smaller gain-reference antenna by using a calibrated attenuator.

Il est important de déterminer au préalable la linéarité du récepteur dans l'ensemble de la gamme des niveaux de signaux que l'on peut recevoir au cours des mesures.

Pour minimiser les erreurs dues à la non-uniformité du champ d'illumination, l'antenne de référence et l'antenne en essai doivent être situées aussi près l'une de l'autre que possible.

On doit faire attention à ce que les effets de la structure de l'antenne à l'essai, qui peut être de taille importante, ne modifient pas de manière sensible les caractéristiques de l'antenne de référence.

Dans le cas où le champ incident illuminant l'antenne à l'essai diffère de manière significative d'une onde plane, amplitude et phase uniforme, un facteur de correction du transfert de puissance est également nécessaire pour chaque antenne afin de déterminer avec précision le gain de l'antenne en essai.

Les autres causes d'erreur sont les suivantes:

- imprécision de l'étalonnage de l'antenne de référence et de l'atténuateur variable;
- augmentation ou diminution des pertes sur le trajet du site d'essai à cause des effets de la propagation en y incluant l'influence de l'environnement;
- rapport signal sur bruit insuffisant;
- erreurs dans l'observation des mesures;
- réflexions sur le sol et/ou autres réflexions.

#### 5.2.2 Méthode de substitution de satellite (bande de réception)

Le principe de cette technique de mesure consiste à comparer le niveau du signal reçu par l'amplificateur faible bruit (AFB) à partir d'un satellite avec celui d'une source connue injectée à l'entrée du même AFB (voir figure 3).

Au cours de la première étape, une porteuse non modulée est transmise vers le satellite à partir de la station de surveillance du système de satellite (SSS) (ou à partir de l'antenne en essai en coordination avec la SSS). La PIRE de la voie descendante pour le signal provenant du satellite est mesurée par la SSS. Dans la direction de l'antenne en essai, le bilan de liaison descendant est le suivant:

$$\text{PIRE} - L - a + G = P \quad (5-3)$$

où

PIRE est la puissance isotrope rayonnée équivalente de l'antenne du satellite (dBW) dans la direction du maximum de rayonnement de l'antenne satellite;

$L$  est l'affaiblissement de transmission du trajet descendant entre le satellite et l'antenne en essai (dB) (y compris les pertes d'absorption atmosphérique, le cas échéant);

$a$  est la différence entre le diagramme d'illumination maximal ou «empreinte» sur la surface terrestre et l'illumination réelle dans la direction de la station terrienne (dB);

$G$  est le gain de l'antenne en essai (dB);

$P$  est le niveau de puissance au point de référence pour le gain de l'antenne (dBW) (c'est-à-dire à l'entrée de l'AFB).

It is essential to establish the linearity of the receiver over the whole range of signal levels likely to be received during the measurements.

To minimize any errors associated with non-uniformities in the illuminating field, the gain-reference antenna and the antenna under test shall be located as close to each other as possible.

Care shall be taken to ensure that the effect of the structure associated with the antenna under test, which may be large, does not significantly alter the characteristics of the gain-reference antenna.

In cases where the incident field illuminating the aperture of the antenna under test departs significantly from a plane wave front having uniform amplitude and phase, a power transfer correction factor for each antenna is also required in order to accurately establish the gain of the antenna under test.

Other causes of error are as follows:

- the inaccuracy of calibration of the gain-reference antenna and of the variable attenuator;
- an increase or decrease of the test-range path loss, due to propagation effects, including environmental influences;
- an insufficient signal-to-noise ratio;
- measurement observation errors;
- ground and/or other reflections.

### 5.2.2 *Satellite substitution method (receive band)*

The principle of this measurement technique is to compare the signal level received by the low noise amplifier (LNA) from the satellite with that of a known source injected at the input of the same LNA (see figure 3).

In the first step, an unmodulated carrier is transmitted to the satellite from the satellite system monitoring station (SSM) (or from the antenna under test in coordination with the SSM). The downlink EIRP of the signal from the satellite is measured by the SSM. In the direction of the antenna under test, the downlink power relationship is:

$$\text{EIRP} - L - a + G = P \quad (5-3)$$

where

EIRP is the effective isotropically radiated power of the satellite antenna (dBW) into the direction of the maximum of the satellite illumination pattern;

*L* is the downlink path loss from the satellite to the antenna under test (dB) (including atmospheric absorption loss, if necessary);

*a* is the difference between the maximum of the satellite illumination pattern or "footprint" on the earth and the actual illumination into the direction of the earth station (dB);

*G* is the gain of the antenna under test (dB);

*P* is the power level at the gain-reference point of the antenna (dBW) (that is input to the LNA).

Le niveau de puissance  $P_0$  à la sortie de l'AFB est affiché sur un analyseur de spectre et noté. On arrête ensuite l'émission provenant du satellite et on injecte une porteuse non modulée provenant d'un générateur de signal à l'aide d'un coupleur à guides croisés à l'entrée de l'AFB. On règle le niveau du signal de telle sorte que le niveau de puissance à la sortie de l'AFB soit égal à  $P_0$ . On note la puissance de sortie du générateur de signal.

Ensuite:

$$P_{\text{gén}} - \alpha = P \quad (5-4)$$

où

$P_{\text{gén}}$  est la puissance de sortie du générateur de signal réglée à l'aide d'un atténuateur de précision (dBW);

$\alpha$  est le facteur de couplage des guides croisés rapporté au point de référence de mesure du gain (dB);

$P$  est le niveau de puissance équivalent au point de référence de gain de l'antenne égal à celui mesuré lors de la réception du signal du satellite (dBW).

On calcule alors, par substitution, le gain de l'antenne à l'essai au moyen de la formule suivante:

$$G = (P_{\text{gen}} - \alpha) - (\text{PIRE} - L - a) \quad (5-5)$$

où

$P_{\text{gen}}$  et PIRE sont les valeurs mesurées et où les valeurs des autres paramètres ont été déterminées à partir de mesures précédentes ou du calcul.

La précision de la mesure dépend principalement de celle de la PIRE du satellite qui est mesurée par la SSS. L'erreur totale est en général de l'ordre de 1 dB à 2 dB.

Lors de cette mesure, la polarisation de l'antenne du satellite et celle de l'antenne à l'essai doivent être alignées dans le cas d'une polarisation linéaire. L'erreur due à un défaut d'alignement de l'angle de polarisation de l'ordre de 8° par exemple est d'environ 0,08 dB.

### 5.2.3 Méthode du bilan de puissance de la liaison avec le satellite (bande d'émission)

La mesure du gain de l'antenne dans la bande d'émission (voir figure 4) repose sur la connaissance du gain de l'antenne de la station de référence de surveillance du système satellite (SSS).

Lors de la première étape de la mesure, la SSS transmet une porteuse non modulée avec une PIRE inférieure au niveau de saturation du répéteur du satellite. Le bilan de puissance de la liaison montante est le suivant:

$$G_m + P_m - L_m - a_m = S_m \quad (5-6)$$

où

$G_m$  est le gain de l'antenne (dB);

$P_m$  est la puissance de la liaison montante mesurée au point de référence de gain de l'antenne (dBW);

$L_m$  est l'affaiblissement de propagation de la liaison montante entre la station terrienne et le satellite (dB), (y compris les pertes d'absorption atmosphérique, le cas échéant);

$a_m$  est la différence entre le maximum du diagramme d'illumination du satellite ou «empreinte» sur la surface terrestre et l'illumination réelle dans la direction de la station terrienne;

$S_m$  est la puissance du signal arrivant au satellite (dBW).

The power level  $P_0$  at the LNA output is displayed on a spectrum analyzer and recorded. Then the transmission from the satellite is stopped, and an unmodulated carrier from a signal generator is injected by means of a cross-guide coupler at the input to the LNA. The signal level is adjusted so that the power level at the output of the LNA is equal to  $P_0$ . The output power of the signal generator is recorded.

Now:

$$P_{\text{gen}} - \alpha = P \quad (5-4)$$

where

$P_{\text{gen}}$  is the output power of the signal generator adjusted by a precision attenuator (dBW);

$\alpha$  is the cross-guide coupling factor referenced to the antenna gain-reference point (dB);

$P$  is the equivalent power level at the antenna gain-reference point equal to that measured while looking at the satellite signal (dBW).

Then, by substitution, the gain of the antenna under test is calculated from the following formula:

$$G = (P_{\text{gen}} - \alpha) - (\text{EIRP} - L - a) \quad (5-5)$$

where

$P_{\text{gen}}$  and EIRP are measured values and the values of the other parameters are known from previous measurements or calculation.

The measurement accuracy depends mainly on that of the satellite EIRP, which is measured at the SSM. The total error may be typically of the order of 1 dB to 2 dB.

In this measurement, the polarization of the satellite antenna and that of the antenna under test shall be aligned in case of linear polarization. The error due to a misalignment of the polarization angle of 8°, for example, is approximately 0,08 dB.

### 5.2.3 Satellite link power method (transmit band)

The measurement of transmit band antenna gain (see figure 4) relies on a knowledge of the antenna gain of the reference satellite system monitoring station (SSM).

In the first step of the measurement, the SSM transmits an unmodulated carrier with EIRP which is below the saturation of the operating satellite transponder. The uplink power relationship is:

$$G_m + P_m - L_m - a_m = S_m \quad (5-6)$$

where

$G_m$  is the antenna gain (dB);

$P_m$  is the uplink power measured at the gain-reference point of the antenna (dBW);

$L_m$  is the uplink path loss from the earth station to the satellite (dB) (including atmospheric absorption loss, if necessary);

$a_m$  is the difference between the maximum of the satellite illumination pattern or "footprint" on the earth and the actual illumination in the direction of the earth station;

$S_m$  is the power of the signal arriving at the satellite (dBW).

L'indice «m» fait référence à la SSS. La SSS note la puissance d'émission  $P_m$ .

Dans ces conditions, le satellite génère une certaine PIRE. La SSS mesure le niveau de puissance de la liaison descendante  $P_{SSS}$  qui correspond au retour de son propre signal émis sur la liaison montante. L'antenne à l'essai émet ensuite une porteuse non modulée avec une PIRE telle que la SSS mesure la même valeur de  $P_{SSS}$  qu'auparavant. Dans ce cas, le bilan de liaison de la liaison montante est:

$$G_t + P_t - L_t - a_t = S_t = S_m \quad (5-7)$$

où

l'indice «t» fait référence à l'antenne à l'essai. On note la puissance d'émission de l'antenne à l'essai,  $P_t$ .

D'après ce qui précède, le gain de l'antenne à l'essai peut être calculé par:

$$G_t = (G_m + P_m) + (L_t - L_m) + (a_t - a_m) - P_t \quad (5-8)$$

où

$P_m$  et  $P_t$  sont des valeurs mesurées et où les valeurs des autres paramètres ont été déterminées à partir de mesures précédentes ou du calcul.

La précision de la mesure dépend principalement de celle du gain de l'antenne de la SSS et de celle de la puissance d'émission de l'antenne de la SSS et de l'antenne à l'essai. L'erreur totale est en général de l'ordre de 1 dB à 2 dB.

Lors de cette mesure, la polarisation de l'antenne du satellite et celle de l'antenne à l'essai doivent être alignées dans le cas de polarisation linéaire. L'erreur due à un défaut d'alignement des polarisations de l'ordre de 8° par exemple est d'environ 0,08 dB.

#### 5.2.4 Méthode de la radiosource stellaire

La mesure du gain à l'aide d'une radiosource stellaire est effectuée par la mesure de G/T et de la température de bruit du système au même point de référence de l'antenne. Le gain de l'antenne est calculé à partir de l'équation suivante:

$$G = (G/T) + 10 \log T_s \quad (5-9)$$

où

$G$  est le gain de l'antenne à l'essai (dB);

$G/T$  est le facteur de mérite en réception mesuré par la méthode de la radiosource stellaire (dB/K);

$T_s$  est la température de bruit du système mesurée (K).

Les méthodes de mesure de la température de bruit du système et de G/T sont décrites respectivement aux articles 8 et 9.

### 5.3 Présentation des résultats

Le gain de l'antenne au point de référence du gain, pour les fréquences et les polarisations spécifiées, doit être exprimé en décibels par rapport à une source isotrope. Il est préférable d'effectuer les mesures pour au moins trois fréquences dans la bande de fréquence spécifiée et de représenter graphiquement le gain en fonction de la fréquence.

Subscript "m" refers to the SSM. The SSM records the transmit power,  $P_m$ .

Under these conditions, the satellite will generate a certain EIRP. The SSM measures the downlink power level,  $P_{SSM}$ , of the loop-back of its own uplink signal. The antenna under test then transmits an unmodulated carrier with an EIRP for which the SSM measures the same value of  $P_{SSM}$  as before. For this, the uplink power relationship is:

$$G_t + P_t - L_t - a_t = S_t = S_m \quad (5-7)$$

where

subscript "t" refers to the antenna under test. The transmit power from the antenna under test,  $P_t$ , is recorded.

From the above, the gain of the antenna under test can be calculated as:

$$G_t = (G_m + P_m) + (L_t - L_m) + (a_t - a_m) - P_t \quad (5-8)$$

where

$P_m$  and  $P_t$  are measured values and the values of the other parameters are known (from previous measurements or calculation).

The measurement accuracy mainly depends on that of the antenna gain of the SSM and the measurement accuracy of the transmit power from the SSM antenna and the antenna under test. The error is typically of the order of 1 dB to 2 dB.

In this measurement, the polarization of the satellite antenna and that of the antenna under test shall be aligned in case of linear polarization. The error due to a misalignment of the polarization angle of 8°, for example, is approximately 0,08 dB.

#### 5.2.4 Radio star method

The gain measurement using a radio star is performed by a measurement of G/T and the system noise temperature at the same reference point of the antenna. The antenna gain is calculated by the following equation:

$$G = (G/T) + 10 \log T_s \quad (5-9)$$

where

$G$  is the gain of the antenna under test (dB);

$G/T$  is the receive figure of merit measured by the radio star method (dB/K);

$T_s$  is the measured system noise temperature (K).

The measurements of the system noise temperature and G/T are described in clauses 8 and 9, respectively.

### 5.3 Presentation of results

The antenna gain at the gain-reference point shall be expressed in decibels relative to an isotropic source for the specified frequencies and polarizations. It is preferable to perform the measurements at least at three frequencies within the specified frequency band and to represent the frequency dependence of the gain graphically.

#### 5.4 *Détails à spécifier*

Les points suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- a) méthodes de mesures;
- b) fréquences de mesure;
- c) polarisation;
- d) point d'interface du système d'antenne où le gain doit être mesuré;
- e) conditions météorologiques;
- f) valeur minimum exigée pour le gain de l'antenne;
- g) radiosource stellaire utilisée (dans le cas de la méthode de la radiosource stellaire).

### 6 Diagramme de rayonnement de l'antenne

#### 6.1 *Considérations générales*

Si l'antenne possède des accès séparés (pour différentes bandes de fréquence, pour les polarisations ou pour les signaux de poursuite), les diagrammes de rayonnement doivent être mesurés sur chacun des accès. Ils peuvent également être mesurés pour chacune des polarisations de fonctionnement. Pour un accès donné à une fréquence donnée, les diagrammes de rayonnement d'émission et de réception sont identiques. Le niveau de signal mesuré sur un accès d'antenne spécifié est en général exprimé en décibels par rapport au champ maximal co-polarisé ou en décibels par rapport à une antenne isotrope.

Les diagrammes de rayonnement de l'antenne doivent normalement être mesurés dans les conditions de champ lointain. On peut y parvenir en utilisant comme seconde antenne une antenne de station terrienne située dans l'axe de visée et satisfaisant à la condition de champ lointain ou une antenne de satellite. L'antenne en essai peut être utilisée comme antenne d'émission ou antenne de réception. On doit mesurer les diagrammes de rayonnement de l'antenne en co-polarisation et en polarisation croisée et ce pour les deux axes principaux (azimut et site). Comme des lobes latéraux à des niveaux non tolérables peuvent apparaître dans des plans à  $\pm 45^\circ$ , des mesures de diagramme de rayonnement dans ces plans peuvent également être utiles.

Les antennes plus petites sont parfois montées sur des dispositifs de positionnement à variation chronométrique de l'angle de déclinaison (monture polaire). Dans ce cas, lorsque l'on effectuera des mesures avec un satellite, on doit mesurer des diagrammes dans le plan orbital (déclinaison constante) au lieu de diagramme en azimut (site constant). On peut également effectuer des mesures dans l'axe de visée en plaçant le dispositif de positionnement de l'antenne sur un dispositif positionnant le site et l'azimut séparément.

Si l'on ne peut utiliser qu'un dispositif de positionnement en azimut, on peut également mesurer les diagrammes en site sous réserve de pouvoir faire tourner l'antenne à l'essai de  $90^\circ$  autour de l'axe principal de rayonnement. (Si l'antenne est symétrique, il suffit de faire tourner la source.)

Compte tenu de la précision limitée en résolution, les diagrammes des antennes très directives doivent normalement être mesurés non seulement dans un large intervalle angulaire, mais également dans un intervalle angulaire étroit autour du faisceau principal

#### 5.4 Details to be specified

The following items shall be included, as required, in the detailed equipment specifications:

- a) method of measurement;
- b) measuring frequency;
- c) polarization;
- d) the interface point in the antenna system at which the gain is to be measured;
- e) weather conditions;
- f) minimum required antenna gain;
- g) radio star to be used (in case of radio star method).

### 6 Antenna pattern

#### 6.1 General considerations

If the antenna has separated ports (for different frequency bands, polarizations or tracking signals), patterns shall be measured at each of the ports. Patterns may also be measured for each operational polarization. For a given port and frequency, transmit and receive patterns are the same. The signal level, measured at a specified antenna port, is typically expressed in decibels relative to the co-polarized beam peak or in decibels relative to an isotropic radiator.

Antenna patterns shall normally be measured under far-field conditions. This may be achieved by a remote terrestrial bore-sight antenna positioned in the far-field or by a satellite antenna as the second antenna. The antenna under test may be used as transmit or receive antenna. Co- and cross-polarization antenna patterns of both principal axes shall be measured. If intolerable high sidelobes could occur in the  $\pm 45^\circ$  cuts, pattern measurements in these planes may be useful too.

Smaller antennas are sometimes mounted on an hour-declination-angle positioner (polar mount). In this case, making satellite measurements, orbit plane patterns (constant declination) instead of azimuth patterns (constant elevation) shall be measured. Alternatively bore-sight measurements may be performed putting the antenna-positioner-unit on a separate elevation over azimuth positioner.

If only an azimuth positioner can be used, elevation patterns may also be measured, provided it is possible to rotate the antenna under test  $90^\circ$  around the main beam axis. (If the antenna is symmetric the feed alone may be rotated.)

Because of the limited resolution accuracy, patterns of highly directive antennas normally shall not only be measured in a wide angle range, but also in an extended near-in angle range around the main beam, including some of the first sidelobes. The cross-polarized

comprenant les premiers lobes latéraux. On ne mesure en général le diagramme en polarisation croisée que dans l'intervalle angulaire étroit au voisinage du faisceau principal. Le niveau en polarisation croisée pour des angles élevés peut également être intéressant s'il est situé au-dessus du niveau en co-polarisation. On remarquera que le diagramme en polarisation croisée dépend des orientations possibles de l'antenne dues au système de montage de l'antenne et à la position angulaire de l'antenne source.

On trouve en général un maximum en polarisation croisée dans la zone d'annulation du faisceau de l'antenne. Avec des polarisations linéaires verticales ou horizontales, le maximum est souvent déterminé par le cornet d'alimentation et se trouve en général dans les plans à  $\pm 45^\circ$ .

#### NOTES

- 1 Les lobes latéraux de l'antenne ne provoquent de brouillages que dans la direction des autres satellites de télécommunication (pour les satellites géostationnaires, il existe des directions presque parallèles au plan équatorial) ou dans des directions horizontales (vers les stations de faisceaux hertziens terrestres).
- 2 Il convient que les diagrammes de rayonnement mesurés de l'antenne à l'essai ne dépendent pas des caractéristiques de l'antenne source (dans l'axe de visée ou satellite) et, selon le site d'essai, du sol, de l'atmosphère, ainsi que des sources de bruit externe et de brouillage, mais ils peuvent également dépendre de ces paramètres.
- 3 Lors de la mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne au moyen d'un signal émis par un satellite (voir 6.3), il est parfois difficile de mesurer avec précision le faible niveau des lobes latéraux pour une antenne à très grand gain (par exemple, une antenne de 32 m de diamètre) sur un intervalle angulaire important à cause du bruit et des signaux parasites reçus par le lobe principal de l'antenne à l'essai. Dans ce cas, il peut être possible d'utiliser pour les mesures sur une grande dynamique angulaire une seconde antenne avec un gain approprié amenée sur le site pour la mesure. Le signal reçu par la seconde antenne est utilisé comme référence pour apprécier d'une manière cohérente le niveau du signal reçu par l'antenne à l'essai dans une bande très étroite de telle sorte que le bruit et les signaux parasites soient réduits de manière efficace. (Voir CCIR Rapport 390-6 et CCIR Doc. 4/304.)
- 4 Les mesures de diagramme de rayonnement sont également souvent importantes pour contrôler l'alignement initial de l'antenne.
- 5 Correction cosécante pour le diagramme tracé avec l'axe azimut, l'angle à partir du maximum de rayonnement doit être corrigé (voir 6.6).

## 6.2 Mesures terrestres du diagramme de rayonnement avec antenne de visée

### 6.2.1 Considérations générales

Les mesures du diagramme de rayonnement de l'antenne à l'aide d'une antenne de visée terrestre peuvent être intéressantes ou nécessaires dans les cas suivants:

- si l'on ne dispose pas encore de satellites ou de fréquences de mesure;
- si la dynamique des mesures avec satellite ne permet pas de mesurer les faibles niveaux des lobes latéraux;
- si le signal en polarisation croisée du satellite est si élevé et qu'il n'est pas possible d'effectuer des mesures précises des caractéristiques en polarisation de l'antenne à l'essai.

D'autres avantages de la mesure avec antenne de visée sont les suivants:

- aucune coordination n'est nécessaire avec la station de contrôle du satellite;
- il est possible d'éliminer l'influence de la polarisation croisée de l'antenne de visée;
- il n'est pas nécessaire de faire des corrections d'azimut ou des corrections de même type pour les coupes sous l'angle de  $45^\circ$ .

pattern is normally measured only in the near angle range. The wide angle cross-polarization level may be of interest if it lies above the co-polarization level. Notice that the wide-range cross-polarization pattern depends on the possible antenna orientations due to the antenna mounting system and the angle position of the source antenna.

The cross-polarization maximum is usually found within the null-width of the antenna beam. With linear vertical or horizontal co-polarization, this maximum is often determined by the feed horn and then normally occurs in the  $\pm 45^\circ$  planes.

#### NOTES

- 1 Antenna sidelobes cause interference only in the direction of other communication satellites (for geostationary satellites these are directions nearly parallel to the equatorial plane) or in horizontal directions (to terrestrial radio relay link stations).
- 2 Measured antenna patterns should not, but may also, represent properties of the bore-sight or the satellite antenna and – depending on the test range – of the ground and the atmosphere as well as the influence of external noise and interference sources.
- 3 In the measurement of the antenna pattern using the signal from the satellite (see 6.3), it is sometimes difficult to measure the low sidelobe levels of a very high gain antenna (for example, of 32 m diameter) over a wide angle range accurately due to noise and unwanted signals picked up by the main lobe of the antenna under test. Measurement with a high dynamic range for such a case may be possible by using a second antenna with adequate gain, provided for measurement at the test site. The signal received by the second antenna is used as a reference to detect coherently the signal level received by the antenna under test in a very narrow bandwidth so that the noise and unwanted signals are effectively eliminated. (See CCIR Report 390-6 and CCIR Doc. 4/304.)
- 4 Pattern measurements are often also important for the control of initial antenna alignment.
- 5 Cosecant correction for the pattern chart with the azimuth axis; the angle from the maximum antenna pattern should be corrected (6.6).

## 6.2 Terrestrial bore-sight pattern measurements

### 6.2.1 General considerations

Antenna pattern measurements with a terrestrial bore-sight antenna may be of interest or necessary:

- if appropriate measurement satellites or frequencies are not yet available;
- if the dynamic range with satellite measurements does not allow the measurement of low sidelobes;
- if the cross-polarization of the satellite signal is so high, that no precise measurements of the antenna polarization properties are possible.

Further advantages of bore-sight measurements are:

- no coordination with the satellite control station necessary;
- elimination of the bore-sight antenna cross-polarization influence is possible;
- no azimuth correction or related corrections for  $45^\circ$  cuts necessary.

Les inconvénients de la mesure avec antenne de visée sont les suivants:

- il arrive que les antennes de visée ne se trouvent pas dans la zone de champ lointain de l'antenne à l'essai;
- position non fonctionnelle de l'antenne (par exemple, déformation du contour du réflecteur à cause de la gravité);
- réflexions sur le sol et sur des obstacles à cause du faible angle de site de l'antenne de visée;
- effets de diffraction variant avec le temps causés par exemple par les couches d'air réchauffées par le soleil au-dessus du sol.

La tour portant l'antenne de visée doit se trouver dans la zone du champ lointain et être aussi élevée que possible (par exemple, située sur une montagne ou une colline). La directivité de l'antenne de visée doit être suffisante si l'on veut éviter d'importantes réflexions sur le sol. Au moins, les deux premières zones de Fresnel entre l'antenne à l'essai et l'antenne de visée doivent être libres d'obstacles. De plus, pour les mesures dans les plages angulaires en azimut et en site, le lobe principal de l'antenne à l'essai ne doit pas rencontrer d'obstacles. S'il est impossible de l'éviter, les positions angulaires de ces obstacles doivent être marquées sur les tracés des diagrammes de l'antenne. (A cause de la modification du sens de la polarisation dans le cas de la polarisation circulaire, il se peut que l'on n'observe les réflexions que sur le diagramme en polarisation croisée.) La coupe en site ne doit couvrir que la partie inférieure afin que le lobe principal ne vise pas vers le sol.

### 6.2.2 Méthode de mesure

Le montage et la procédure de mesure des diagrammes de rayonnement dans les bandes réception et émission sont les mêmes que celui présenté à la figure 5 et décrite en 6.3 pour les mesures dans la bande de réception à l'aide du satellite. Pour les mesures en émission, les accès d'émission  $T_{x1}$ ,  $T_{x2}$  sont connectés au lieu de  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ . L'antenne du satellite doit être remplacée par une antenne de visée. Généralement, l'antenne de visée peut émettre les deux fréquences émission et réception de la station terrière. L'antenne à l'essai ne fait alors que recevoir les signaux.

On peut parfois éviter les fluctuations dues aux effets thermiques dans la zone d'essai en effectuant les mesures de nuit.

Si l'angle de site de l'antenne de visée est en dehors de l'intervalle d'angle de site spécifié pour les réglages de l'antenne et pour la précision de surface du réflecteur principal, il peut se produire une certaine dégradation de la forme des lobes latéraux.

NOTE - Les diagrammes mesurés en polarisation croisée ne décrivent que les propriétés caractéristiques de l'antenne en essai si la discrimination en polarisation croisée de l'antenne de visée est grande par rapport à celle de l'antenne à l'essai. En ce qui concerne la différence entre la discrimination en polarisation croisée et le découplage entre accès pour les antennes à réutilisation de fréquence, se reporter à 3.13, 3.16 et 7.3.

### 6.2.3 Correction de champ proche

Lorsque l'antenne de visée est située dans la zone de champ proche de l'antenne à l'essai, il peut se produire une augmentation intolérable du diagramme des lobes latéraux. L'antenne à l'essai doit alors être refocalisée par rapport à l'antenne de visée. On peut réaliser cette opération par exemple en réglant la position axiale de l'alimentation et/ou du sous-réflecteur pour obtenir la puissance de réception maximale; un dispositif de déplacement continu doit alors être fourni. Une fois la mesure effectuée, l'antenne doit à nouveau être focalisée sur le satellite.

Disadvantages of bore-sight measurements are:

- bore-sight antennas sometimes not in the far-field of the antenna under test;
- non-operational antenna position (for example, reflector contour distortions because of gravity);
- reflections from the ground and from obstacles because of the low elevation of the bore-sight antenna;
- time varying diffraction effects caused, for example, by sun-heated air sheets above the ground.

The bore-sight tower shall be positioned in the far-field and be as high as possible (for example, placed on a hill or mountain). The directivity of the bore-sight antenna shall be high enough to avoid severe ground reflections. At least the first two Fresnel zones between the antenna under test and the bore-sight antenna shall be free of obstacles. In the measured azimuth and elevation range additionally the main lobe of the antenna under test shall not hit any obstacles. If this is not avoidable, the angle positions of the obstacles shall be marked in the antenna pattern plots. (Because of change in the polarization sense, with circular polarization, reflections may be seen only in the cross-polarization pattern.) The elevation cut shall cover only the lower part, where the main lobe does not point at the ground.

#### 6.2.2 *Method of measurement*

The test set-up and the test procedure for pattern measurements in the receive and transmit band is the same as shown in figure 5 and described in 6.3 for the receive band measurement via satellite. For transmit measurements the transmit ports  $T_{x1}$ ,  $T_{x2}$  are connected instead of  $R_{x1}$ ,  $R_{x2}$ . The satellite antenna shall be replaced by the bore-sight antenna. The bore-sight antenna normally transmits both the transmit and receive frequencies of the earth station. The antenna under test then only receives signals.

Level fluctuations caused by thermal effects across the range are sometimes avoidable by making measurements at night.

If the bore-sight antenna elevation is outside the elevation range specified for the antenna adjustments and the main reflector surface accuracy, then some degradation in the side-lobe structure may occur.

**NOTE** – Measured cross-polarization patterns only describe the characteristic properties of the antenna under test if the cross-polarization discrimination of the bore-sight antenna is large compared with that of the antenna under test. For the difference between cross-polarization discrimination and the two-port discrimination of frequency re-use antennas, see 3.13, 3.16 and 7.3.

#### 6.2.3 *Near-field correction*

When the bore-sight antenna is situated within the near-field of the antenna under test an unacceptable increase of pattern sidelobes may occur. Then the antenna under test shall be refocussed with respect to the bore-sight antenna. This can be done, for example, by axial adjustment of feed and/or subreflector for maximum receive power and the facility for continuous displacement shall then be provided. After the measurement is taken the antenna shall again be focussed on the satellite.

Il est aussi possible, au lieu de refocaliser l'antenne, d'effectuer une correction numérique approchée du diagramme déformé à l'aide d'un programme informatique. Dans ce cas, il convient que les données mesurées soient sauvegardées automatiquement sur un dispositif de sauvegarde de masse.

### 6.3 Mesure du diagramme de rayonnement de l'antenne à l'aide d'un satellite

#### 6.3.1 Méthode de mesure pour la bande de réception

La distance d'essai, terre-satellite, permet de mesurer les diagrammes de rayonnement de l'antenne à champ lointain dans des conditions opérationnelles sans brouillage par le sol ou par des sources de bruit terrestres. On trouvera ci-dessous une procédure d'essai, dans la bande de réception, pour les diagrammes en co-polarisation et en polarisation croisée.

Se reporter à la figure 5 pour la configuration de mesure.

- a) Etalonner la vitesse de déplacement de l'antenne à l'essai.
- b) Prendre les dispositions pour qu'une porteuse non modulée de PIRE connue soit transmise à partir du satellite grâce à une station de contrôle terrestre (connue également sous le nom de SSS – station de surveillance du système de satellite).
- c) Pointer l'antenne de la station terrienne pour obtenir un signal descendant co-polarisé maximal.
- d) Ajuster les niveaux d'un analyseur de spectre et d'un traceur X-Y afin d'obtenir une échelle convenable pour le tracé du diagramme en amplitude sur la plage angulaire fixée. S'assurer de la linéarité du système.
- e) Décaler l'antenne par rapport à la direction du satellite de l'angle voulu en azimut pour aller à la position de départ.
- f) Déplacer l'antenne de sa position de départ vers la position finale dans l'intervalle d'azimut souhaité en s'assurant du passage par le point où le faisceau en co-polarisation est maximal. Faire fonctionner en même temps le traceur X-Y et étalonner l'échelle angulaire.
- g) Revenir à la position centrale du faisceau.
- h) Pointer de nouveau l'antenne de la station terrienne afin d'obtenir un signal descendant co-polarisé maximal, puis commuter pour passer sur le dispositif d'alimentation à la condition de polarisation croisée. Si le dispositif d'alimentation est muni d'un accès séparé pour la polarisation croisée ( $R_{x2}$  sur la figure 5), se brancher sur cet accès. Pour les antennes à polarisation linéaire sans accès en polarisation croisée, tourner de 90° l'antenne à l'essai ou son dispositif d'alimentation (si l'antenne est à symétrie de rotation) (pour le réglage de la polarisation, se reporter à 7.2.3).
- i) Répéter les étapes e) et f) pour mesurer le diagramme en polarisation croisée, puis revenir à la position du maximum en co-polarisation.
- j) Etalonner l'échelle de puissance relative en utilisant l'atténuateur de l'analyseur de spectre.
- k) Noter les niveaux affichés sur l'analyseur de spectre en (C+N)/N.
- l) Répéter pour le plan de l'angle de site et, si cela est possible et nécessaire, pour au moins l'un des plans à  $\pm 45^\circ$ .

Instead of refocussing, an approximate numerical correction of the distorted pattern by means of a computer program is also possible. In this case the measured data shall be automatically stored in a mass storage device.

### 6.3 Measurement of antenna pattern via satellite

#### 6.3.1 Method of measurement for the receive band

The earth-satellite test range allows far-field antenna radiation patterns to be measured under operational conditions without interferences from ground or terrestrial noise sources in points. A receive band test procedure for co-polarization and cross-polarization patterns is given:

Refer to figure 5 for measurement set-up.

- a) Calibrate the rate of motion of the antenna under test.
- b) Arrange for a clean unmodulated carrier of known EIRP to be transmitted from the satellite by a monitoring earth station (also known as an SSM-satellite system monitoring station).
- c) Point the earth-station antenna for maximum downlink co-polarization signal.
- d) Set levels on the spectrum analyzer and the X-Y recorder for convenient position of pattern amplitude scale, and angular range, and assure system linearity.
- e) Move the antenna off the satellite by the required angle in azimuth to the starting position.
- f) Move the antenna from the starting position through the desired azimuth range to the required end position being sure to include the co-polarization beam maximum. At the same time let the X-Y recorder run. Calibrate the angle scale.
- g) Return to the beam centre.
- h) Point the earth-station antenna again for maximum co-polarization signal and then switch to cross-polarization condition on the feed. If the feed has a separate cross-polar port ( $R_{x2}$  in figure 5) then switch to this port. For linear polarized antennas without a cross-polar port, rotate the antenna under test or its feed (if the antenna has rotational symmetry) by 90° (for polarization adjustment, see also 7.2.3).
  - i) Repeat the steps e) and f) to measure the cross-polarization pattern, then return to the co-polarization maximum position.
  - j) Calibrate the relative power level scale using the attenuator on the spectrum analyzer.
  - k) Record the spectrum analyzer output (C+N)/N.
  - l) Repeat for the elevation plane and, if possible and necessary, for at least one of the ±45° planes also.

La figure 6 présente un exemple de diagramme de réception mesuré sur une antenne Norme A Intelsat de 32 m dans la zone des angles faibles.

#### NOTES

- 1 On peut également enregistrer le diagramme en polarisation croisée en même temps que celui en co-polarisation (voir les parties en pointillé de la figure 5 et les courbes inférieures sur la figure 6).
- 2 L'information angulaire pour l'enregistreur peut être fournie soit directement, soit à l'aide d'une base de temps (s'il n'est pas possible de faire autrement).
- 3 Les mesures de diagramme en azimut nécessitent la correction de l'échelle angulaire définie en 6.6.

#### 6.3.2 Méthode de mesure dans la bande d'émission

Se reporter à la figure 7 pour la configuration de mesure.

##### **Méthode 1 – Plage dynamique normale (petit intervalle angulaire)**

- a) Etalonner la vitesse de déplacement de l'antenne à l'essai.
- b) Initier la coordination avec la station de surveillance terrestre (SSS).
- c) Pointer l'antenne de la station terrestre pour obtenir un signal descendant co-polarisé maximal en utilisant l'indication donnée par l'analyseur de spectre.
- d) Emettre à partir de l'antenne à l'essai un signal non modulé de PIRE approprié au-dessous du niveau de saturation du répéteur du satellite en fonctionnement. Vérifier la linéarité.
- e) Noter le niveau de puissance appliquée à la ligne d'alimentation de l'antenne.
- f) Se coordonner avec la SSS pour la mesure et l'enregistrement du niveau du signal reçu par la SSS en co-polarisation et en polarisation croisée pendant que l'antenne à l'essai se déplace dans l'intervalle angulaire spécifié dans les plans en azimut et en site.

##### **Méthode 2 – Plage dynamique étendue (intervalle angulaire étendu)**

- a) Etalonner la vitesse de déplacement de l'antenne à l'essai.
- b) Initier la coordination avec la station de surveillance terrestre (SSS).
- c) Pointer l'antenne de la station terrestre pour obtenir un signal descendant co-polarisé maximal en utilisant l'indication donnée par l'analyseur de spectre.
- d) Emettre à partir de l'antenne à l'essai un signal non modulé de PIRE appropriée au-dessous du niveau de saturation du répéteur du satellite en fonctionnement.
- e) Noter le niveau de puissance appliquée à la ligne d'alimentation de l'antenne.
- f) En coordination avec la station de surveillance, augmenter le niveau de puissance jusqu'au niveau de saturation du répéteur du satellite pour disposer d'une dynamique maximale.
- g) Noter de nouveau le niveau de puissance appliquée à la ligne d'alimentation de l'antenne.
- h) Se coordonner avec la SSS pour la mesure et l'enregistrement du niveau du signal reçu par la SSS en co-polarisation et en polarisation croisée pendant que l'antenne à l'essai se déplace dans l'intervalle angulaire étendu voulu (selon la dynamique disponible) dans les plans en azimut et en site.
- i) Corriger ensuite les niveaux des lobes proches et les niveaux en polarisation croisée en soustrayant la différence entre les niveaux de puissance dans les conditions de saturation et de non-saturation mesurés aux étapes e) et f).

Figure 6 shows an example of a measured receive pattern of a 32 m Intelsat standard A antenna in the near-in angle range.

#### NOTES

- 1 The cross-polarization pattern may also be recorded simultaneously with the co-polarization pattern (see dashed parts of figure 5 and the lower curves in figure 6).
- 2 The angle information for the recorder may be given either directly or by a timebase (if otherwise not possible).
- 3 Azimuth pattern measurements require the angle scale correction given in 6.6.

#### 6.3.2 *Method of measurement for the transmit band*

Refer to figure 7 for measurement set-up.

##### **Method 1 – Normal dynamic range (small angle range)**

- a) Calibrate the rate of motion of the antenna under test.
- b) Initiate coordination with the monitoring station (SSM).
- c) Point the earth-station antenna under test for maximum down-link co-polarization signal as monitored on a spectrum analyzer.
- d) Transmit from the antenna under test an unmodulated carrier of adequate EIRP which is below saturation level of the operating transponder. Check linearity.
- e) Record the feed power level.
- f) Coordinate with the SSM to measure and record the received signal level at the SSM for both co- and cross-polarization while moving the antenna under test over the required angle range in azimuth and elevation planes.

##### **Method 2 – Increased dynamic range (extended angle range)**

- a) Calibrate the rate of motion of the antenna under test.
- b) Initiate coordination with the monitoring station (SSM).
- c) Point the earth station antenna under test for maximum down-link co-polarization signal as monitored on a spectrum analyzer.
- d) Transmit from the antenna under test an unmodulated carrier of adequate EIRP, which is below the saturation level of the operating transponder.
- e) Record the feed power level.
- f) In coordination with the monitoring station, increase the power level to the saturation level of the satellite for maximum dynamic range.
- g) Record again the feed power level.
- h) Coordinate with the SSM to measure and record the received signal level at the SSM for both co- and cross-polarization while moving the antenna under test over the required extended angle range (depending on the available dynamic range) in azimuth and elevation planes.
- i) Near-in sidelobes and cross-polarization levels should be corrected by subtracting the feed power level difference between saturated and unsaturated conditions, measured in steps e) and f).

La figure 8 présente un exemple de diagramme d'émission d'une antenne norme A Intelsat de 32 m dans un intervalle angulaire étendu.

#### NOTES

- 1 Prendre soin de ne pas pointer l'antenne à l'essai vers des satellites voisins pendant qu'elle émet.
- 2 Pour augmenter encore la dynamique, il est possible de mesurer le diagramme du lobe principal et des premiers lobes latéraux avec une pré-atténuation (par exemple 30 dB). Pour l'intervalle angulaire restant, cette atténuation est supprimée.
- 3 Les mesures des diagrammes en azimut nécessitent la correction d'échelle angulaire définie en 6.6.

#### 6.4 Diagramme des antennes à impulsion unique

Avec les antennes employant un système de poursuite monopulse pour la détection du désalignement entre l'axe de visée et la source balise du satellite, la sensibilité de la poursuite peut être mesurée de la même manière que celle utilisée avec les diagrammes d'antenne dans le sens montant et descendant et discutée en 6.3. La caractéristique principale des diagrammes des antennes de poursuite monopulse est la présence d'un lobe principal double dans chacun des deux plans orthogonaux (azimut et site) avec une annulation commune le long de l'axe. L'annulation, qui signifie une inversion de phase entre les deux lobes, définit la direction réelle de pointage de l'antenne. Le système de commande de poursuite est configuré pour déplacer l'antenne dans les plans en site et/ou en azimut jusqu'à obtention d'une tension nulle (minimale) qui est réalisée lorsque l'antenne dirige le zéro du diagramme de poursuite vers le satellite.

La sensibilité de poursuite est définie par la pente de la tangente au diagramme à double lobe (différence) au point d'annulation comparée au niveau du signal sur l'accès en co-polarisation pour les signaux de radiocommunication (diagramme somme). Plus la pente est élevée, plus la sensibilité de poursuite est importante.

Pour les balises à polarisation linéaire, le coupleur de poursuite monopulse dispose de deux accès de signal d'erreur, un pour l'azimut et un pour le site. Avec une polarisation circulaire, il n'existe qu'un accès.

#### Procédure d'essai pour les balises à polarisation linéaire

Se reporter à la figure 9 pour la configuration de mesure.  $R_{x1}$  est la sortie de réception (sortie somme) correspondant à la polarisation opérationnelle de la balise.

- a) Etalonner la vitesse de déplacement de l'antenne à l'essai.
- b) Recevoir le signal de la balise émise par le satellite.
- c) Effectuer une poursuite du satellite pour obtenir le niveau maximal du signal descendant en co-polarisation.
- d) Ajuster les niveaux d'un analyseur de spectre et d'un traceur X-Y afin d'obtenir une échelle convenable pour le tracé du diagramme somme en amplitude sur la plage angulaire fixée. S'assurer de la linéarité du système.
- e) Décaler l'antenne de une à deux largeurs de faisceau en azimut pour aller au point de départ.
- f) Déplacer l'antenne de la position de départ en azimut vers la position finale spécifiée pendant que l'enregistreur X-Y fonctionne.
- g) Revenir au centre du faisceau.
- h) Brancher l'AFB sur l'accès différence des signaux.
- i) S'assurer que l'antenne pointe dans la direction produisant le zéro en azimut.
- j) Décaler l'antenne en azimut jusqu'à la position juste au-dessous du maximum du diagramme de la différence.

Figure 8 shows an example of a transmit pattern of a 32 m Intelsat standard A antenna in the extended angle range

#### NOTES

- 1 Do not allow the antenna to point towards neighbouring satellites while transmitting.
- 2 For further increase of the dynamic range, measure the pattern of the main lobe and the first sidelobes with a pre-attenuation (for example, 30 dB). For the remaining angle range remove the attenuation.
- 3 Azimuth pattern measurements require the angle scale correction given in 6.6.

#### 6.4 Antenna monopulse pattern

For antennas employing a monopulse-tracking system to detect misalignment between bore-sight direction and the satellite beacon source, the tracking sensitivity can be measured in the same manner as the up-and down-link antenna patterns discussed in 6.3. The main feature of the patterns associated with monopulse tracking antennas is a double main lobe in each of two orthogonal planes (azimuth and elevation), with a common null along the axis. The null, signifying a phase reversal from one lobe to the other, determines the actual pointing direction of the antenna. The tracking servo control system is set up to drive the antenna in elevation and/or azimuth planes toward zero (minimum) voltage derived from the condition when the antenna directs the null of the tracking pattern towards the satellite.

Tracking sensitivity is defined as the slope of the tangent to the double lobed (difference) pattern measured in the null compared to the signal level at the co-polarization port for communication signals (sum pattern). The steeper the slope, the greater the tracking sensitivity.

With linear polarized beacons the monopulse tracking coupler has two error signal terminals, one for azimuth and one for elevation. With circular polarization there exists only one terminal.

##### *Test procedure for linearly polarized beacons*

Refer to figure 9 for measurement set-up.  $R_{x_1}$  is the communication receive terminal (sum terminal) corresponding to the operational polarization of the beacon.

- a) Calibrate the rate of motion of the antenna under test.
- b) Receive a beacon signal from the satellite.
- c) Track the satellite for maximum down-link co-polarization signal.
- d) Set levels on the spectrum analyzer and the X-Y recorder for convenient position of sum pattern amplitude scale and angular range, and assure system linearity.
- e) Move the antenna off the satellite by one to two beamwidths in azimuth to the starting position.
- f) Move the antenna from the starting position in azimuth to the required end position at the same time letting the X-Y recorder run.
- g) Return to the beam centre.
- h) Switch the LNA connection to the azimuth difference signal port.
- i) Ensure that the antenna is pointing in the direction producing the azimuth null.
- j) Drive the antenna off the satellite in azimuth to just beyond one of the difference pattern maxima.

- k) Déplacer l'antenne dans l'autre sens en azimut vers un point situé juste au-dessous de l'autre maximum du diagramme de la différence en passant par le point d'annulation et enregistrer le diagramme différence en azimut.
- l) Reconnecter l'AFB sur la sortie somme en co-polarisation et revenir au centre du faisceau.
- m) Brancher l'AFB sur l'accès de signal de différence en site.
- n) Décaler l'antenne en azimut jusqu'à la position juste au-dessous du maximum du diagramme de la différence.
- o) Déplacer l'antenne dans l'autre sens en azimut vers un point situé juste au-dessous de l'autre maximum du diagramme différence en passant par le point de zéro et enregistrer le diagramme de diaphonie azimut-site.
- p) Reconnecter l'AFB sur la sortie somme du signal de radiocommunication et revenir au centre du faisceau.
- q) Répéter les étapes a) à p) en déplaçant l'antenne en site au lieu de la déplacer en azimut afin d'enregistrer les diagrammes de différence pour la poursuite en site en branchant l'AFB sur l'accès de signal de différence en site et la diaphonie site-azimut en branchant l'AFB sur l'accès de signal de différence en azimut.
- r) Convertir en tension l'échelle de puissance relative des diagrammes différence pour la poursuite par rapport au diagramme somme du signal de radiocommunication et le tracer en fonction de l'écart angulaire autour de la direction du satellite. Mesurer la pente du diagramme autour de la position de zéro exprimée en [volt/degré]/[volt]

NOTE – Pour les mesures du signal d'erreur, on peut en pratique substituer à la combinaison AFB/analyseur de spectre le dispositif initial d'amplificateur de poursuite. Un réglage est alors nécessaire pour obtenir des amplifications égales.

#### *Procédure d'essai pour les balises à polarisation circulaire*

La procédure d'essai est la même que celle indiquée ci-dessus jusqu'au point k), à une différence près: le mot «azimut» doit être supprimé au point h). Les points restants doivent être omis.

La figure 10 présente un diagramme réel mesuré dans une plage angulaire légèrement plus grande.

#### *6.5 Précision de mesure*

La précision de mesure du diagramme dépend fortement de la disponibilité d'une source extrêmement stable de signaux non modulés pour que l'on obtienne des rapports signal à bruit significatifs. De telles sources de signal doivent être aussi stables et exemptes de modulation que le sont les balises de poursuite d'un satellite quelconque actuellement en orbite.

Les diagrammes d'antenne mesurés représentent en réalité les valeurs de C+N. A cause de l'addition du bruit, les niveaux des lobes latéraux mesurés près du plancher de bruit apparaissent plus élevés qu'ils ne le sont en réalité et ils doivent être corrigés. La figure 11 présente de manière graphique la correction à effectuer pour les valeurs de (C+N)/N mesurées. Pour enregistrer les enveloppes de diagramme les plus précises, il faut donc un plancher de bruit bas (c'est-à-dire une augmentation de la dynamique). Si la dynamique dépasse de 10 dB à 15 dB l'enveloppe spécifiée (en dBi) pour les valeurs angulaires importantes, l'erreur sur l'enveloppe sera inférieure à 0,5 dB.

#### *6.6 Présentation des résultats*

On représentera les résultats de préférence sous forme graphique, par exemple sous la forme d'une copie de la sortie du traceur. Les figures 6, 8 et 10 donnent des exemples de présentation des diagrammes.

- k) Move the antenna back through the null to just beyond the other difference pattern maximum, and record the azimuth difference pattern.
- l) Switch the LNA to the co-polarization communication sum terminal, and return to beam centre.
- m) Switch the LNA to the elevation difference signal port.
- n) Drive the antenna off the satellite in azimuth to just beyond one of the difference pattern maxima.
- o) Move the antenna back through the null to just beyond the other difference pattern maximum, and record the azimuth-to-elevation crosstalk pattern.
- p) Switch the LNA to the communication sum terminal and return to the beam centre.
- q) Repeat steps a) to p), but moving the antenna in elevation instead of azimuth. Record the elevation tracking difference patterns by connecting the LNA to the elevation difference signal port, and elevation-to-azimuth crosstalk by connecting the LNA to the azimuth difference signal port.
- r) Convert the relative power scale of the tracking difference patterns to voltage relative to the communication sum pattern, and plot as a function of angular offset around the satellite direction. Measure the slope of the pattern through the null position, expressed as [volt/degree]/[volt]

NOTE – For error signal measurements in practice the original tracking amplifier device may be substituted for the combination LNA/spectrum analyzer. Then tuning for equal amplification of both systems is necessary.

#### *Test procedure for circularly polarized beacons*

The test procedure is the same as above until point k), the only difference being that the word "azimuth" in point h) shall be deleted. The remaining points shall be omitted.

An example of an actual pattern, measured over a slightly increased angle range, is shown in figure 10.

#### *6.5 Measurement accuracy*

The pattern measurement accuracy relies strongly on the availability of extremely stable unmodulated signals in order to derive meaningful signal-to-noise ratios. Such signal sources shall be as stable and free of modulation as the tracking beacon on any of the satellites now in orbit.

The measured antenna patterns really represent the C+N values. Because of the addition of noise, the sidelobe level measured near the noise floor will appear higher than it actually is, and must be corrected. Figure 11 shows graphically the correction for measured (C+N)/N values. Therefore, to record the most accurate pattern envelopes, it is necessary to have a low noise floor (that is, increase the dynamic range). If a dynamic range extends below the specified envelope (in dB) at the large off-axis angles by at least 10 dB to 15 dB then the error in envelope will be less than 0,5 dB.

#### *6.6 Presentation of results*

The results will preferably be presented in graphical form, for example as a copy of a recording sheet or plotter output. Figures 6, 8 and 10 show examples of pattern presentation.

Noter toutes les informations pertinentes sur le diagramme, notamment (le cas échéant):

- les valeurs spécifiées (voir 6.7);
- les conditions sur la liaison descendante et les conditions particulières au site, les conditions météorologiques;
- les conditions d'utilisation de l'analyseur de spectre (par exemple bande passante, plancher de bruit, etc.);
- (C+N)/N.

Correction de l'échelle d'azimut:

Dans les cas où les diagrammes en azimut sont mesurés à l'aide d'un satellite situé à un angle de site au-dessus de l'horizon réel, l'échelle d'azimut indiquée doit être modifiée à l'aide de l'expression suivante:

$$\Delta Az_{\text{corrige}} = 2 \sin^{-1} \left( \sin \left( \frac{\Delta Az}{2} \right) \cdot \cos El \right) \quad (6-1)$$

où

$\Delta Az$  est l'angle d'azimut indiqué à partir de la direction de visée;

$El$  est l'angle de site indiqué au-dessus de l'horizon vrai.

#### NOTES

- Une antenne bien focalisée et bien conçue présente en général des annulations profondes entre le lobe principal et les premiers lobes latéraux pour le diagramme en co-polarisation et une structure symétrique des lobes latéraux aux petits angles.
- Généralement il est admis que certains lobes latéraux dépassent la spécification d'enveloppe pour les lobes latéraux. Dans les cas critiques, on peut parfois appliquer une méthode de traitement statistique des lobes latéraux (voir CCIR Rec. 732).
- Aucune correction n'est nécessaire pour les diagrammes en site.

### 6.7 Détails à spécifier

Les points suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- fréquences;
- polarisation;
- type de coupe du diagramme (par exemple Az-, El-, plans  $\pm 45^\circ$ , plan orbital);
- angle de site pour le diagramme en azimut (dans le cas d'une mesure par satellite);
- enveloppe maximale autorisée pour les lobes latéraux.

## 7 Polarisation

### 7.1 Calcul du rendement de polarisation

Pour la définition du rendement de polarisation, se reporter à 3.14. Le rendement de polarisation peut être utilisé pour le calcul de la discrimination de polarisation croisée (voir 7.2) et du découplage entre accès (voir 7.3) et est nécessaire pour le bilan de liaison. Si les polarisations de l'onde incidente et de l'antenne à l'essai sont identiques,  $\eta$  est égal à 1, sinon  $\eta$  est plus petit que 1. En pratique, le rendement de polarisation doit être proche de 1.

Record all pertinent information on the pattern chart, including (if applicable):

- a) Specified quantities (see 6.7);
- b) Satellite down-link and special site conditions, weather;
- c) Spectrum analyzer set-up (for example, bandwidth, noise level, etc.);
- d) (C+N)/N.

Azimuth scale correction:

For those cases, in which azimuth patterns are measured using a satellite located at an elevation angle above true horizon, the indicated azimuth scale shall be modified, using the following expression:

$$\Delta Az_{\text{corrected}} = 2 \sin^{-1} \left( \sin \left( \frac{\Delta Az}{2} \right) \cdot \cos El \right) \quad (6-1)$$

where

$\Delta Az$  is the indicated azimuth angle from bore-sight;

$El$  is the indicated elevation angle above true horizon.

#### NOTES

- 1 A well focused and designed antenna normally shows deep nulls between the main lobe and the first sidelobes of the co-polarized patterns and symmetry of near-in sidelobe structure.
- 2 Normally some sidelobes are allowed to exceed the sidelobe envelope specification. In critical cases, sometimes a specified method of statistical sidelobe processing can be applied (see CCIR Rec. 732).
- 3 No correction is necessary for elevation patterns.

### 6.7 Details to be specified

The following items shall be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) frequency;
- b) polarization;
- b) type of pattern cut (for example, Az–, El–,  $\pm 45^\circ$  plane, orbit plane);
- c) elevation angle for the azimuth pattern (in case of measurement via satellite);
- d) maximum permitted sidelobe envelopes.

## 7 Polarization

### 7.1 Calculation of the polarization efficiency

For definition of the polarization efficiency, see 3.14. The polarization efficiency may be used for calculating the cross-polarization discrimination (see 7.2) and the two-port discrimination (see 7.3), and it is needed for the power budget of the communication link. If the polarizations of the incident wave and the antenna under test are the same, then  $\eta$  equals 1, otherwise  $\eta$  is smaller than 1. In practice the polarization efficiency shall be nearly 1.

L'expression générale pour le calcul du rendement de polarisation  $\eta$  à partir des paramètres des ellipses de polarisation est la suivante:

$$\eta = \frac{(1 + r_1^2)(1 + r_2^2) \pm 4 r_1 r_2 + (1 - r_1^2)(1 - r_2^2) \cos 2\alpha}{2(1 + r_1^2)(1 + r_2^2)} \quad (7-1)$$

où

- $r_1$  est le rapport axial du champ électrique dans la zone lointaine, qui serait émis dans une direction donnée par l'antenne si celle-ci était utilisée en émission;
- $r_2$  est le rapport axial du champ électrique de l'onde électromagnétique incidente provenant de la même direction;
- $\alpha$  est la différence angulaire entre les grands axes des deux ellipses de polarisation.

#### NOTES

- 1 On utilise un signe positif si les deux polarisations ont le même sens de rotation et un signe négatif si elles ont des sens de rotation opposés.
- 2 Si  $\eta$  est égal à zéro, l'antenne est en polarisation croisée par rapport à l'onde incidente et les polarisations de l'antenne et de l'onde incidente sont dites orthogonales.
- 3 Pour la détermination expérimentale du rapport axial, voir 7.2.3 à 7.2.5

## 7.2 Discrimination de polarisation croisée (XPD)

### 7.2.1 Considérations générales

Se reporter à 3.13 pour la définition de la discrimination de polarisation croisée. Contrairement au découplage entre accès décrit en 7.3, la XPD est une caractéristique propre à l'antenne et est importante pour l'évaluation des brouillages de polarisation avec des signaux en polarisation croisée sur la même liaison ou sur d'autres liaisons. La valeur minimale exigée dans la direction du satellite doit donc normalement être spécifiée. Pour les antennes à réutilisation de fréquence à double polarisation, on spécifie en général le découplage entre accès au lieu de la XPD et celui-ci doit donc être mesuré et/ou calculé (voir 7.3).

Toutes les mesures doivent être effectuées à différentes fréquences dans les bandes spécifiées, notamment aux fréquences limites si cela est possible. Si la XPD est spécifiée dans un certain intervalle angulaire autour de la direction de visée, les mesures doivent être répétées dans les directions critiques à l'intérieur de cet intervalle.

### 7.2.2 Calcul de la discrimination de polarisation croisée

Pour une co-polarisation arbitraire, on peut calculer la discrimination de polarisation croisée  $X$  de l'antenne à l'aide de l'équation (7-2), où  $\eta$  est le rendement de polarisation calculé à l'aide de l'équation (7-1) (où  $r_2$  dans l'équation (7-1) correspond à la co-polarisation).

$$X = \frac{\eta}{1 - \eta} \quad \text{co-polarisation arbitraire} \quad (7-2)$$

$$X = r^2 \quad \text{co-polarisation linéaire} \quad (7-3)$$

$$X = \left( \frac{r + 1}{r - 1} \right)^2 \quad \text{co-polarisation circulaire} \quad (7-4)$$

The general expression for calculating the polarization efficiency  $\eta$  from the parameters of the polarization ellipses is given by:

$$\eta = \frac{(1 + r_1^2)(1 + r_2^2) \pm 4 r_1 r_2 + (1 - r_1^2)(1 - r_2^2) \cos 2\alpha}{2(1 + r_1^2)(1 + r_2^2)} \quad (7-1)$$

where

- $r_1$  is the electric field axial ratio of the far-zone that would be radiated in a given direction by the antenna if it were used for transmitting;
- $r_2$  is the electric field axial ratio of the incident electromagnetic plane wave coming from that same direction;
- $\alpha$  is the angular difference between the major axes of the two polarization ellipses.

#### NOTES

- 1 A positive sign is used when both polarizations have the same sense of rotation; a negative sign is used when the senses of rotation are opposite.
- 2 If  $\eta$  is zero, the antenna is cross-polarized to the incident wave, and the polarizations of the antenna and the incident wave are said to be orthogonal.
- 3 For the experimental determination of the axial ratio, see 7.2.3 to 7.2.5

## 7.2 Cross-polarization discrimination (XPD)

### 7.2.1 General considerations

For the definition of cross-polarization discrimination see 3.13. Contrary to the two-port discrimination described in 7.3, the XPD is a pure antenna property, important for the assessment of polarization interference with cross-polarized signals of the same or of other communication links. Therefore its minimum required value in the direction of the satellite shall normally be specified. For dual polarized frequency re-use antennas, instead of the XPD, generally the two-port discrimination is specified and therefore, shall be measured and/or calculated (see 7.3).

All measurements shall be made for different frequencies within the specified bands including the edge frequencies if possible. If the XPD is specified in some angle range around the bore-sight direction, then the measurements should also be repeated for critical directions within this range.

### 7.2.2 Calculation of the cross-polarization discrimination

For arbitrary co-polarization, the cross-polarization discrimination  $X$  of an antenna may be calculated by equation (7-2), where  $\eta$  is the polarization efficiency calculated by equation (7-1) (with  $r_2$  in (7-1) corresponding to the co-polarization).

$$X = \frac{\eta}{1 - \eta} \quad \text{arbitrary co-polarization} \quad (7-2)$$

$$X = r^2 \quad \text{linear co-polarization} \quad (7-3)$$

$$X = \left( \frac{r + 1}{r - 1} \right)^2 \quad \text{circular co-polarization} \quad (7-4)$$

Pour la co-polarisation linéaire, la discrimination de polarisation croisée maximale  $X$ , qui se produit lorsque le grand axe de l'ellipse de polarisation de l'antenne est parallèle à la co-polarisation, est donnée pour l'équation (7-3), où  $r$  est le rapport axial de l'antenne de la station terrienne (pour obtenir ce résultat à partir de l'équation (7.2), fixer  $r_1 = r$  et  $r_2 = \infty$  dans l'équation (7.1)). Pour une co-polarisation circulaire, la relation entre  $r$  et  $X$  est fournie par l'équation (7-4).

### 7.2.3 Méthode de mesure pour les antennes à polarisation quasi-linéaire

Une antenne conçue pour une polarisation linéaire dans la direction du faisceau principal a en pratique une ellipse de polarisation avec un rapport axial élevé. Le grand axe de l'ellipse peut présenter un petit angle d'inclinaison par rapport à la direction de co-polarisation. En règle générale, les deux effets contribuent à la XPD, mais l'on peut réduire à zéro l'angle d'inclinaison car la position angulaire de l'ellipse de polarisation de l'antenne à l'essai est généralement réglable. On peut donc appliquer l'équation (7-3). Mais même si l'antenne à l'essai offre la possibilité d'un réglage mécanique de la polarisation, une position de réglage optimale pour le minimum en polarisation croisée, effectuée à une fréquence et dans une direction données, ne pourra être modifiée en pratique pour d'autres fréquences et d'autres directions. Dans ce sens, une polarisation réglable non parfaite correspond au cas normal.

Les méthodes de mesure suivantes utilisent une antenne source à polarisation linéaire séparée. La XPD de l'antenne source ou celle de l'onde reçue doivent respectivement être importantes par rapport à la XPD de l'antenne en essai et la position angulaire de l'ellipse de polarisation de l'antenne source doit être réglable.

#### *Méthode de base – Antenne en essai sans réglage de l'angle de polarisation*

Pour la mesure de la XPD dans la direction principale du faisceau, l'antenne à mesurer est montée dans sa position opérationnelle sur la plate-forme d'essai et illuminée par l'antenne source mentionnée ci-dessus, située dans la zone de champ lointain. Les deux antennes sont dirigées l'une vers l'autre, c'est-à-dire dans les positions angulaires correspondant au maximum du gain. On règle alors l'angle de polarisation de l'antenne source dans une direction exactement parallèle à la direction de la co-polarisation voulue et l'on enregistre la puissance  $P_{\max}$  reçue par l'antenne en essai. On tourne alors de 90° exactement l'antenne source autour de l'axe de son faisceau et l'on enregistre de nouveau la puissance reçue  $P_{90^\circ}$ . Dans le but d'avoir une meilleure précision de la XPD, ajuster l'angle pour avoir un niveau minimal, puis la source est tournée de -90° pour vérifier que  $P_{\max}$  est le même. La discrimination de polarisation croisée  $X$  est donnée par la relation:

$$X = \frac{P_{\max}}{P_{90^\circ}} \quad (7-5)$$

S'il y a lieu, on répète les mêmes opérations pour d'autres directions et d'autres fréquences. Lorsque l'on enregistre les diagrammes de rayonnement d'antenne en co-polarisation et en polarisation croisée dans un intervalle angulaire étroit autour du faisceau principal, selon la description donnée à l'article 6, la XPD, en décibels, peut être obtenue de ces diagrammes en tant que différence de niveau entre les points appartenant à la même direction.

#### *Antenne en essai avec un angle de polarisation réglable*

Si l'angle de polarisation de l'antenne à l'essai est réglable, il est possible de régler la polarisation pour obtenir une XPD maximale. Mais le réglage effectué sur un accès donné, dans une direction de pointage et pour une fréquence particulières, ne doit pas être modifié

For linear co-polarization, the maximum cross-polarization discrimination  $X$ , occurring when the major axis of the antenna polarization ellipse is parallel to the co-polarization, is given by equation (7-3), where  $r$  is the axial ratio of the earth station antenna (to get this result from equation (7-2) set  $r_1 = r$  and  $r_2 = \infty$  in equation (7-1). For circular co-polarization, the relationship between  $r$  and  $X$  is given by equation (7-4).

### 7.2.3 Method of measurement for quasi-linearly polarized antennas

An antenna designed for linear polarization in main beam direction, in practice has a polarization ellipse with a high axial ratio. The major axis of the ellipse may have a small tilt angle against the direction of the co-polarization. Normally both effects contribute to the XPD, but the tilt angle may be reduced to zero because the angular position of the polarization ellipse of the antenna under test is usually adjustable. Then equation (7-3) is applicable. But even if the antenna under test has the possibility of mechanical polarization adjustment, an optimum adjustment position for minimum cross-polarization, found for one frequency and direction can not in practice be altered for other frequencies and directions. In this sense inexact adjustable polarization is normal.

The following methods of measurement use a separate linearly polarized source antenna. The XPD of the source antenna or the received wave respectively shall be high compared with the SPD specification of the antenna under test and the angle position of the source antenna polarization ellipse shall be adjustable.

#### *Basic method – Antenna under test with non-adjustable polarization angle*

For measurement of the XPD in the main beam direction the antenna to be measured is mounted on a test range in its operational position and illuminated by means of the above-mentioned source antenna situated in the far-field. Both antennas are directed to each other, that is to the angle positions of maximum gain. The source antenna polarization angle is then adjusted exactly parallel to the intended co-polarization and the power  $P_{\max}$  received at the antenna under test is recorded. The source antenna is then rotated around its beam axis by exactly  $90^\circ$  and the received power  $P_{90^\circ}$  is again recorded. In order to have a more accurate value of the XPD, adjust the angle to have the minimum level, then the source antenna is rotated again by  $90^\circ$  in order to check that  $P_{\max}$  is the same. The cross-polarization discrimination  $X$  is given by:

$$X = \frac{P_{\max}}{P_{90^\circ}} \quad (7-5)$$

The same is then repeated for other directions and frequencies if necessary. When co- and cross-polarized antenna patterns are recorded in the near angle range around the main beam, as described in clause 6, the XPD in decibels may also be extracted from these patterns as the level difference between points belonging to the same direction.

#### *Antenna under test with adjustable polarization angle*

If the polarization angle of the antenna under test is adjustable, the polarization may be adjusted for maximum XPD. The adjustment chosen for a particular port, pointing direction and frequency shall not be altered for other ports, pointing directions and frequencies.

pour les autres accès, directions de pointage et fréquences. On peut optimiser la XPD correspondant à un accès particulier, une direction et une fréquence données ou pour un intervalle angulaire et une bande de fréquences spécifiés. Pour trouver le maximum dans une direction et à une fréquence données, la procédure est la suivante:

Vérifier à la fréquence donnée et dans la position choisie, en faisant tourner légèrement l'antenne source autour de sa position à 90°, si celle-ci correspond à la position du minimum de transfert de puissance (polarisation «nulle»). Si ce n'est pas le cas et que l'on trouve un petit angle d'inclinaison, régler la polarisation «nulle» de l'antenne à l'essai afin de la faire coïncider avec la position à 90° et notez la puissance minimale  $P_{\min}$ . Pour déterminer la XPD, utilisez de nouveau l'équation (7-5) après avoir remplacé  $P_{90^\circ}$  par  $P_{\min}$ . Cela donne une valeur améliorée pour  $X$ . L'équation (7-3) est alors applicable,  $r$  étant le rapport axial de l'ellipse de polarisation de l'antenne à l'essai.

Comme il y a lieu de ne pas modifier le réglage de la polarisation ensuite, la méthode de base décrite plus haut doit s'appliquer sur les autres accès, dans les autres directions et pour les autres fréquences.

Si la XPD doit être optimisée dans un intervalle angulaire et pour une bande de fréquences spécifiés, on peut enregistrer les diagrammes de la XPD aux fréquences critiques et pour plusieurs réglages de la polarisation au voisinage de la position à 90°. Le réglage qui donnera la plus grande valeur au plus faible enregistrement de la discrimination de polarisation croisée sera alors choisi. Cette procédure est recommandée si une amélioration significative de la XPD est escomptée.

Avec les antennes à double polarisation orthogonale, on doit déterminer la XPD pour les deux accès correspondant aux deux co-polarisations. Pour des polarisations qui ne sont pas exactement orthogonales, il n'est généralement pas possible de régler l'angle de l'antenne ou du dispositif d'alimentation afin d'obtenir simultanément une XPD maximale sur les deux accès en même temps. On peut toutefois trouver un réglage optimal qui rend égales les XPD mesurées sur les deux accès.

Pour les antennes à double polarisation à réutilisation de fréquence qui ont deux accès d'émission et deux accès de réception, on mesure en général le découplage entre accès (voir 7.3) à l'aide d'un satellite au lieu de mesurer la XPD. Mais comme le découplage entre accès fait intervenir également les caractéristiques de l'antenne du satellite, la connaissance de la XPD peut aussi être utile comme facteur de qualité de l'antenne (dans ce cas la méthode indiquée en 7.3.3 n'est pas appliquée).

#### NOTES

1 Il convient que l'antenne source soit construite de telle manière que le maximum du diagramme en co-polarisation corresponde à une annulation du diagramme en polarisation croisée. Il y a lieu que l'axe du faisceau corresponde à l'axe de rotation mécanique et soit aligné avec précision dans la direction de l'antenne à l'essai.

2 Il est important que le niveau des signaux réfléchis sur le site d'essai soit inférieur à un niveau qui pourrait influer sur la précision de la mesure.

3 La méthode de mesure décrite en 7.2.3 peut ne pas être adaptée à des antennes de stations terriennes de grande taille, car il est parfois difficile de disposer l'antenne source dans la zone à champ lointain et à une hauteur rendant les réflexions sur le sol négligeables. Il est alors parfois préférable d'effectuer les mesures avec une antenne de satellite. Mais cette méthode suppose que l'on puisse commuter l'antenne du satellite d'une polarisation linéaire à une polarisation linéaire quasi orthogonale par rapport à la première ou bien la possibilité de faire tourner le dispositif d'alimentation de l'antenne à l'essai au lieu de faire tourner la polarisation de l'antenne source, et ce, sans modifier les propriétés de polarisation de l'antenne à l'essai (ce qui est possible avec des antennes à symétrie de révolution).

The XPD corresponding to a special port may be maximized for a given direction and frequency or a specified angle and frequency range. To find the maximum for a given direction and frequency proceed as follows.

Check at the chosen frequency and position, by rotating the source antenna a little around the 90° position, if the position of minimum power transfer (polarization null) coincides with the 90° position. If this is not true and a small tilt angle is found, then adjust the polarization null of the antenna under test to coincide with the 90° position and record the minimum power  $P_{\min}$ . For the determination of the XPD, use again equation (7-5) after having replaced  $P_{90^\circ}$  by  $P_{\min}$ . This gives an improved value for  $X$ . Also equation (7-3) is now applicable, with  $r$  being the axial ratio of the polarization ellipse of the antenna under test.

As the polarization setting should not be altered, the basic method shall be applied for other ports, directions and frequencies.

If the XPD is to be maximized in a specified angle and frequency range, XPD patterns may be recorded for critical frequencies and several polarization settings near the 90° position. That setting giving the highest minimum value of the cross-polarization discrimination shall then be selected. This procedure is recommended if a significant improvement of the XPD is to be expected.

With dual orthogonally polarized antennas the XPD shall be determined for the two ports corresponding to the two co-polarizations. For not exactly orthogonal polarizations, it is usually not possible to adjust the antenna or the feed angle to obtain the maximum XPD for both ports at the same time. But an optimum polarization setting can be found when the measured minimum XPD at both ports is made equal.

With dual polarized frequency re-use antennas having two transmit and two receive ports, usually the two-port discrimination (see 7.3) is measured via satellite instead of the XPD. But because the two-port discrimination also includes properties of the satellite antenna, the XPD in this case may also be useful as a quality figure of the antenna (in case the method given in 7.3.3 is not applied).

#### NOTES

- 1 The source antenna should be constructed in such a way that the peak of the co-polarized pattern is coincident with the null of the cross-polarized pattern. The beam axis should coincide with the mechanical axis of rotation, and should be precisely aligned with the direction of the antenna under test.
- 2 It is important that the levels of the signals reflected from the test range are below a level which affects the accuracy of the measurement.
- 3 The method of measurement described in 7.2.3 may be inadequate for large size earth station antennas, because it is sometimes difficult to locate a source antenna in the far-zone at a height where ground reflections in the frequency test range can be neglected. In this case, sometimes measurements with a satellite antenna are to be preferred. But this method needs the possibility of switching the satellite polarization from one linear polarization to a highly orthogonal linear polarization, or the possibility of rotating the feed of the antenna under test instead of the source antenna polarization, without changing the polarization properties of the antenna under test (possible with antennas of rotational symmetry).

#### 7.2.4 Méthode de mesure pour des antennes à polarisation elliptique

L'antenne à mesurer est installée sur la plate-forme d'essai et est illuminée par l'intermédiaire d'une antenne source à polarisation linéaire située dans la zone à champ lointain, les deux antennes étant placées précisément dans la position de maximum de gain, selon la description donnée en 7.2.3. On fait ensuite tourner l'antenne source autour de l'axe du faisceau sur au moins  $180^\circ$ , de manière à observer le maximum  $P_{\max}$  et le minimum  $P_{\min}$  de la puissance reçue. Le rapport axial  $r$  de l'antenne à l'essai est donné par:

$$r = \sqrt{\frac{P_{\max}}{P_{\min}}} \quad (7-6)$$

Les équations (7-1) à (7-4) peuvent alors être utilisées pour le calcul de la discrimination de polarisation croisée  $X$  de l'antenne à l'essai pour les co-polarisations spécifiées. Si plusieurs co-polarisations opérationnelles sont disponibles, les mesures doivent être répétées pour chacune de ces co-polarisations.

Les notes 2 et 3 de 7.2.3 s'appliquent également.

La méthode indiquée ici pour une antenne à polarisation elliptique s'applique également à une antenne à l'essai à polarisation presque circulaire, sous réserve que l'erreur de mesure attendue sur les différences de puissances, en décibels, incluant la stabilité des valeurs au cours du temps, soit faible par rapport à la valeur également faible, en dB, du rapport axial  $r$  de l'antenne à l'essai. Si le facteur  $r$  est proche de 1, la différence  $(r - 1)$  dans l'équation (7-4) devient imprécise. Dans ce cas, on préférera la méthode donnée au paragraphe suivant. Il en est de même si la XPD de l'antenne source à polarisation presque linéaire n'est pas assez élevée.

#### 7.2.5 Méthode de mesure pour les antennes à polarisation presque circulaire

##### Méthode 1 – Commutation de la polarisation de la source de la co-polarisation à la polarisation croisée

Cette méthode s'applique si l'on dispose d'une antenne source à double polarisation avec des polarisations circulaires de très bonne qualité. Dans ce cas, on commute simplement la polarisation de la source de la co-polarisation à la polarisation croisée et l'on observe ou l'on enregistre, pour une direction donnée, la différence entre les niveaux de puissance reçus sur l'accès en co-polarisation de l'antenne à l'essai. Si l'on enregistre les diagrammes de rayonnement de l'antenne en co-polarisation et en polarisation croisée (voir l'article 6), on peut de nouveau tirer directement la XPD en décibels comme différence de niveau entre les deux diagrammes.

##### NOTES

- 1 Si l'on utilise une antenne de satellite comme antenne source, on n'obtient généralement pas de mesures de haute précision à cause de la XPD limitée de l'antenne du satellite.
- 2 Pour des mesures de haute précision avec une antenne source terrestre, on peut utiliser un polariseur de source réglable pour obtenir des niveaux de polarisation croisée très faibles sur des fréquences particulières. Mais dans ce cas, la méthode 2 décrite ci-dessous est préférable.

##### Méthode 2 – Rotation de l'ellipse de polarisation de la source

Cette méthode peut être utilisée lorsque la méthode 1 n'est pas applicable car la XPD mesurée est largement faussée par la polarisation croisée de l'antenne source.

#### 7.2.4 Method of measurement for elliptically polarized antennas

The antenna to be measured is mounted on a test range and illuminated by means of a linearly polarized source antenna situated in the far-field region with both antennas located precisely in the positions of maximum gain, as described in 7.2.3. The source antenna is then rotated about its beam axis by at least  $180^\circ$  to observe the maximum  $P_{\max}$  and the minimum  $P_{\min}$  of the received power. The axial ratio  $r$  of the antenna under test, is given by:

$$r = \sqrt{\frac{P_{\max}}{P_{\min}}} \quad (7-6)$$

Equations (7-1) to (7-4) can then be used to calculate the cross-polarization discrimination  $X$  of the antenna under test for given co-polarizations. If more than one operational co-polarization is provided, the measurements shall be repeated for these co-polarizations.

Notes 2 and 3 of 7.2.3 also apply.

The method given here for an elliptically polarized antenna, is applicable also for a nearly circular polarized antenna under test, provided the expected measurement error of the power differences in decibels, including the stability of the values over time, is small enough compared with the equally small axial ratio  $r$  in decibels of the antenna under test. If the factor  $r$  is close to 1, the difference  $r - 1$  in equation (7-4) is correspondingly inaccurate. In this case the method given in the next subclause shall be preferred. The same is valid if the XPD of the nearly linear polarized source antenna is not high enough.

#### 7.2.5 Method of measurement for quasi-circularly polarized antennas

##### Method 1 – Switching the source polarization from co-polarization to cross-polarization

This method is applicable if a dual polarized source antenna with extremely good circular polarizations is available. In this case, the source polarization is simply switched from co-polarization to cross-polarization and the power level difference at the co-polarized port of the antenna under test is observed or recorded for a given direction. If co- and cross-polarized antenna patterns are recorded (see clause 6), then the XPD in decibels may again be directly extracted as the level difference between the two patterns.

##### NOTES

- 1 If a satellite antenna is used as the source antenna, normally high accuracy is not achieved, because of the limited XPD of the satellite antenna.
- 2 For high precision measurements with a terrestrial source antenna, a source polarizer tunable to very low cross-polarization at special frequencies could be used. But in this case, method 2 described below may be preferred.

##### Method 2 – Rotating the source polarization ellipse

This method may be used if method 1 above is not applicable because of the measured XPD being falsified by the source antenna cross-polarization to an intolerable extent.

Il est possible d'éliminer complètement l'influence de la polarisation croisée de l'antenne source si l'on peut faire tourner le polariseur circulaire ou l'ensemble de l'antenne source autour de son axe principal. Procéder alors comme suit:

- a) Enregistrer un diagramme de rayonnement d'antenne (voir l'article 6) sur l'accès en co-polarisation de l'antenne à l'essai dans un intervalle angulaire comprenant les directions souhaitées (en général, la valeur efficace de la plage de poursuite ou la largeur du faisceau à 1 dB).
- b) Faire passer l'antenne de visée de la co-polarisation à la polarisation croisée.
- c) Tourner la polarisation de l'antenne source sur au moins 180° et enregistrer le niveau de puissance reçu sur l'accès en co-polarisation de l'antenne à l'essai.
- d) Identifier la valeur maximale  $x_{\max}$  et la valeur minimale  $x_{\min}$  (toutes deux en dB > 0) à partir du niveau enregistré.
- e) Calculer les rapports axiaux  $R_1$ ,  $R_2$  (en dB > 0) de l'antenne à l'essai et de l'antenne source à partir de:

$$R_{1,2} \approx \frac{17,37}{2} \left( 10 \frac{-X_{\max}}{20} \pm 10 \frac{-X_{\min}}{20} \right) \quad (7-7)$$

En comparant  $R_1$  et  $R_2$  avec le rapport axial mesuré par ailleurs de l'antenne source, il est généralement possible d'identifier laquelle des deux valeurs de  $R$  correspond à l'antenne à l'essai. La valeur correspondante de la discrimination peut alors être calculée à l'aide de l'équation (7-4). Pour réduire les erreurs de mesure statistiques, on doit effectuer plusieurs mesures, de préférence dans des conditions météorologiques différentes; les valeurs de  $R_1$  et  $R_2$  seront alors calculées à partir des moyennes arithmétiques des valeurs de  $x_{\max}$  et  $x_{\min}$  en décibels.

#### NOTES

- 1 Les grands axes des ellipses de polarisation de l'antenne source et de l'antenne à l'essai sont parallèles pour  $x_{\min}$  et orthogonaux pour  $x_{\max}$ .
- 2 L'équation (7-7) est une approximation pour les valeurs importantes des discriminations de polarisation croisée.

### 7.3 Découplage entre deux accès pour les antennes à double polarisation à réutilisation de fréquence

#### 7.3.1 Considérations générales

Pour la définition du découplage entre accès, se reporter à 3.16.

Ce paragraphe traite de la mesure du découplage (isolation) entre les accès des antennes de grande dimension des stations terriennes avec double polarisation orthogonale et la possibilité de réutilisation de fréquence. Le découplage entre accès est influencé par les caractéristiques de l'antenne à l'essai mais aussi par celles du trajet du chemin de transmission et de l'antenne à l'autre extrémité du site d'essai. Il correspond donc à une polarisation opérationnelle spécifiée. Il faut distinguer le découplage entre deux accès de la discrimination de polarisation croisée définie en 3.13 pour un accès unique. Le découplage entre deux accès n'est identique à la discrimination de polarisation croisée que si le signal reçu par l'antenne à l'essai est exactement co-polarisé et que les polarisations d'antenne correspondant aux deux accès de réception ou aux deux accès d'émission sont exactement orthogonales. Si les deux polarisations d'antenne sont approximativement orthogonales et si l'onde reçue est presque co-polarisée, comme c'est le cas dans la pratique, le découplage entre deux accès et la discrimination de polarisation croisée ne peuvent normalement être considérées comme approximativement égales (ce ne serait possible que dans le cas improbable où la polarisation croisée de l'onde reçue serait petite par rapport à la polarisation croisée définie sur chacun des accès de l'antenne).

A complete elimination of the source antenna cross-polarization influence is possible if the circular polarizer or the whole source antenna is made rotatable around its main beam axis. Then proceed as follows:

- a) Record an antenna pattern (see clause 6) at the co-polarized port of the antenna under test within an angle range including the wanted directions (normally the r.m.s. tracking range, or the 1 dB beamwidth).
- b) Switch the bore-sight antenna from co- to cross-polarization.
- c) Rotate the source antenna polarization by at least 180° and record the power level at the co-polarization port of the antenna under test.
- d) Identify maximum value  $x_{\max}$  and minimum value  $x_{\min}$  (both in dB > 0) from the recorded level.
- e) Calculate the axial ratios  $R_1$ ,  $R_2$  (in dB > 0) of the antenna under test and the source antenna from:

$$R_{1,2} \approx \frac{17.37}{2} \left( 10 \frac{-X_{\max}}{20} \pm 10 \frac{-X_{\min}}{20} \right) \quad (7-7)$$

By comparing  $R_1$  and  $R_2$  with the separately measured axial ratio of the source antenna, it is normally possible to identify the correct one of the two  $R$  values for the antenna under test. The corresponding discrimination may then be calculated by equation (7-4). To reduce statistical measurement errors several measurements shall be made, preferably under different weather conditions, and  $R_1$ ,  $R_2$  will then be calculated from the arithmetically averaged values  $x_{\max}$  and  $x_{\min}$  in decibels.

#### NOTES

- 1 The major axis of the polarization ellipses of the source antenna and the antenna under test are parallel for  $x_{\min}$  and orthogonal for  $x_{\max}$ .
- 2 Equation (7-7) is an approximation for large cross-polarization discriminations.

### 7.3 Two-port discrimination of dual polarized frequency re-use antennas

#### 7.3.1 General considerations

For the definition of the two-port discrimination see 3.16.

This sub-clause is concerned with the measurement of the discrimination (isolation) between related ports of large earth-station antennas with dual orthogonal polarization and frequency re-use capability. The two-port discrimination is influenced by the properties of the antenna under test as well as by properties of the transmission path and the antenna at the other end of the test range. It is therefore related to a specified operational polarization. The two-port discrimination has to be distinguished from the cross-polarization discrimination defined in 3.13 for a single port. Only if the signal received by the antenna under test is exactly co-polarized and the antenna polarizations related to the two receive ports or two transmit ports are exactly orthogonal, is the two-port discrimination the same as the cross-polarization discrimination. If the two antenna polarizations are approximately orthogonal, and the received wave is quasi-co-polarized as it is in practice, the two-port and the cross-polarization discrimination normally cannot be approximately equated (this would be tolerable only in the non-realistic case where the cross-polarization of the received wave is small compared with the cross-polarization defined for each of the antenna ports).

Pour distinguer physiquement deux accès correspondants (dans la même bande de fréquence), on les désignera comme l'accès 1 et l'accès 2. Pour les distinguer électriquement, l'accès qui reçoit le niveau de puissance le plus important est appelé (expression quelque peu exagérée) accès en «co-polarisation» et l'autre, accès en «polarisation croisée», du fait de la quasi-orthogonalité des polarisations correspondantes de l'antenne. (Cela ne signifie pas que l'on puisse en général mesurer sur l'accès en polarisation croisée, la polarisation croisée de l'accès 1, telle qu'elle est définie en 3.12.) Les discriminations entre deux accès seront notés de la façon suivante en fonction des polarisations opérationnelles / ou // appliquées:

$$\begin{aligned} X'_{12} &= \frac{1}{X'_{21}} && \text{co-polarisation /} \\ X''_{21} &= \frac{1}{X''_{12}} && \text{co-polarisation //} \end{aligned} \quad (7-8)$$

La polarisation / signifie que l'accès 1 est en co-polarisation et la polarisation // signifie que l'accès 2 est en co-polarisation.  $X'_{12}$  signifie alors que la puissance sur l'accès 1 en co-polarisation est divisée par la puissance reçue sur l'accès 2 en polarisation croisée, etc. Les quantités dans la partie gauche sont supérieures à 1 par définition et doivent être retenues de préférence.

NOTE – Il convient que le découplage entre deux accès d'une antenne soit mesuré sur une largeur angulaire correspondant au moins à la largeur du faisceau de poursuite. De plus, comme le découplage entre deux accès varie avec la fréquence, il est recommandé de faire pour chacune des polarisations opérationnelles des mesures sur l'ensemble des fréquences de la bande d'émission et de réception. Lorsque l'on utilise des satellites opérationnels avec une polarisation circulaire, il convient de vérifier le sens de polarisation. Les fréquences d'essai disponibles où il est possible d'effectuer des mesures peuvent être limitées.

### 7.3.2 Mesure du découplage entre deux accès via un satellite

#### 7.3.2.1 Généralités

Les mesures du découplage entre deux accès à l'aide de satellites opérationnels ne sont pas influencées par les réflexions sur le sol ni par les sources de bruit terrestres. Les effets de diffraction atmosphérique et les scintillations dues au voisinage du sol sont également réduits. Les mesures via un satellite sont donc conseillées. Il faut que la pureté de polarisation de l'antenne du satellite soit suffisante (voir 7.3.4).

#### 7.3.2.2 Méthode de mesure

La méthode suivante s'applique aux polarisations linéaire et circulaire. Il faut que le satellite soit exploité pour que l'on puisse faire des mesures à la station terrienne dans des conditions de boucle r.f. lorsque l'on effectue les essais.

Une configuration de mesure possible est présentée sur la figure 12. La station terrienne rayonne un signal r.f. non modulé vers le satellite et ce signal renvoyé par le satellite est reçu par la station terrienne en rebouclage, et où la puissance (niveau) du signal reçu est mesurée à l'aide d'un analyseur de spectre. Si l'on utilise un convertisseur abaisseur de fréquence accordable, l'analyseur de spectre peut également être branché sur la sortie f.i. du convertisseur.

On peut également utiliser une autre station terrestre, éventuellement la station du système de surveillance du satellite (SSS) pour la réception (mesure du découplage en émission) ou pour l'émission (mesure du découplage en réception) du signal d'essai.

To distinguish physically between two related ports (of the same frequency band), they are designated as port 1 and port 2. To distinguish electrically, the port with the higher power level is called (somewhat imprecisely) the "co-polar" port and the other, because of its related quasi-orthogonal antenna polarization, the "cross-polar" port. (This does not mean that at the cross-polar port the cross-polarization of port 1, as defined in 3.12, may normally be measured.) The two-port discriminations will be designated by:

$$\begin{aligned} X'_{12} &= \frac{1}{X'_{21}} && \text{co-polarization } / \\ X''_{21} &= \frac{1}{X''_{12}} && \text{co-polarization } // \end{aligned} \quad (7-8)$$

depending on whether the operational polarizations */* or *//* are applied. "Polarization */*" means that port 1 is co-polar, and "polarization *//*" that port 2 is co-polar. So  $X'_{12}$  means that the power of the co-polar port 1 is divided by the power of the cross-polar port 2, etc. The quantities on the left side are greater than 1 by definition and shall normally be preferred.

NOTE – The antenna two-port discrimination should be measured over an angular beamwidth extending to at least the tracking beamwidth. Furthermore, since the two-port discrimination varies with frequency, measurements across the whole transmit and receive band should be made for each operational polarization. When using operational satellites with circular polarization, the sense of polarization should be verified. The available test frequencies at which the tests may be carried out may be limited.

### 7.3.2 *Measurement of two-port discrimination via satellite*

#### 7.3.2.1 *General*

Measurements of the two-port discrimination using operational satellites are not influenced by ground reflections or terrestrial noise sources. Also the effects of atmospheric diffraction and scintillations caused near the ground are reduced. Measurements via satellite are the preferred technique. The polarization purity of the satellite antenna has to be high enough (see 7.3.4).

#### 7.3.2.2 *Method of measurement*

The following method applies to linear and circular polarization. The satellite needs to be operated so that measurements can be made under r.f. loop conditions at the earth station where the tests are to be carried out.

A possible measurement arrangement is shown in figure 12. The earth station radiates an unmodulated r.f. signal to the satellite and the "looped-back" signal is received by the earth station, where the power (level) of the received signal is measured by means of a spectrum analyzer. If a tunable down-converter is available, the spectrum analyzer can alternatively be connected to the i.f. output of the down converter.

Alternatively, another earth station, possibly the satellite system monitoring station (SSM), may be used to receive (for transmit discrimination measurement) and transmit (for receive discrimination measurement) the test signal.

Les paramètres de transmission doivent être définis de telle sorte que le satellite et la station terrienne soient tous deux exploités dans la région linéaire de leurs caractéristiques de transfert.

La configuration de mesure doit permettre de mesurer indépendamment les découplages entre accès dans les conditions d'émission et de réception. Cela est réalisé lorsque l'on peut exploiter le satellite pour chacune des deux co-polarisations possibles, de telle sorte que le trajet en polarisation croisée soit coupé et que seul le signal co-polarisé (plus précisément quasiment co-polarisé) puisse passer à travers le répéteur du satellite. La PIRE de la station terrienne et la bande passante de mesure de l'analyseur de spectre doivent être telles que le rapport porteuse sur bruit ne soit pas inférieur à 45 dB pour la mesure en co-polarisation.

Pour les systèmes à polarisation linéaire, on doit régler la polarisation pendant l'émission en polarisation croisée en faisant tourner le polariseur de la station terrienne de manière à obtenir la meilleure annulation possible. Le polariseur doit ensuite rester dans cette position. Si le réglage dépend de la fréquence, le réglage doit être tel que la meilleure discrimination de polarisation croisée dans toute la gamme de fréquence soit obtenue. Les mesures doivent être effectuées pour les deux co-polarisations prévues. Elles doivent également être répétées pour différents points dans la largeur du faisceau de poursuite.

#### *Découplage entre les deux accès d'émission*

On émet une porteuse non modulée à partir de l'antenne à l'essai co-polarisée (dans l'une des deux co-polarisations possibles) vers le satellite à travers l'amplificateur de puissance N° 1 connecté à l'accès co-polarisé du polariseur (ou respectivement sur le transducteur orthomode). La puissance (niveau) de la porteuse reçue est mesurée, dans la même station terrienne par rebouclage ou dans une autre station terrienne (SSS), à l'aide d'un analyseur de spectre à travers l'amplificateur à faible bruit N° 1 branché sur l'accès en co-polarisation du polariseur. L'antenne à l'essai émet alors la même puissance dans le mode en polarisation croisée (c'est-à-dire l'autre co-polarisation) à travers l'amplificateur de puissance N° 2 connecté à l'accès en polarisation croisée du polariseur. La composante en polarisation croisée est alors mesurée, dans la même station terrienne par rebouclage ou dans une autre station terrestre (SSS), à l'aide d'un analyseur de spectre à travers l'amplificateur faible bruit N° 1 branché sur le même accès en co-polarisation.

Le rapport des puissances exprimées en décibels entre les deux mesures est le découplage entre les deux accès d'émission.

#### *Découplage entre les deux accès de réception*

Une porteuse non modulée est émise en co-polarisation par l'antenne à l'essai vers le satellite à travers l'amplificateur de puissance N° 1. Les puissances des composantes en co-polarisation et en polarisation croisée sont mesurées à l'aide d'un analyseur de spectre à travers l'amplificateur faible bruit connecté sur les accès de sortie en co-polarisation et en polarisation croisée de l'antenne à l'essai.

On peut effectuer cette mesure par rebouclage et, le cas échéant, en utilisant une autre station terrienne (SSS).

Le rapport des puissances exprimé en décibels entre les deux mesures à chaque accès de réception est le découplage entre les deux accès de réception.

#### NOTES

- 1 Avant le début de chaque mesure, il convient que le pointage de l'antenne soit optimisé pour ses caractéristiques en co-polarisation.
- 2 L'utilisation d'une autre antenne de station terrienne est conseillée car, dans ce cas, le gain de réception (pour la mesure de découplage d'émission) ou le gain d'émission (pour la mesure du découplage de réception) ne varie pas lors du changement de la direction de l'antenne à l'essai.

Transmission parameters shall be established in such a manner that both the satellite and earth station are operated in the linear region of their transfer characteristics.

The measurement configuration shall permit independent measurements of the antenna two-port discrimination under transmit and receive conditions. This is realized if the satellite can be operated for each of the two possible co-polarizations in such a way that the cross-polarized path is switched off and only the co-polarized (more accurately quasi-co-polarized) signal can pass through the satellite transponder. The EIRP of the earth station and the measurement bandwidth of the spectrum analyzer shall be such that for the co-polarized measurement the carrier-to-noise ratio is not less than 45 dB.

For linearly polarized systems, the polarization shall be adjusted during transmission in the cross-polarized sense by rotating the earth-station polarizer to achieve the best null. The polarizer shall be maintained at this setting. If the setting depends on the frequency, a setting shall be used which gives the best cross-polarization discrimination across the whole frequency band. The measurements shall be carried out for both of the two intended co-polarizations. They shall also be repeated for different points within the tracking beamwidth.

#### *Transmit two-port discrimination*

An unmodulated carrier is transmitted from the antenna under test co-polarized (in one of the two possible co-polarizations) to the satellite through the high-power amplifier no. 1 connected to the co-polarized port of the polarizer (or orthomode transducer respectively). The power (level) of the received carrier is measured on a "looped-back" basis by the same earth station or by another earth station (SSM), by a spectrum analyzer through the low-noise amplifier no. 1 connected to the co-polarized port of the polarizer. The antenna under test then radiates the same power in the cross-polarized mode (that is the alternative co-polarization) through high-power amplifier no. 2 connected to the cross-polarized port of the polarizer. The cross-polarized component of the carrier is then measured on a "looped-back" basis at the same earth station, or at another earth station (SSM), by a spectrum analyzer through the low-noise amplifier no. 1 connected to the same co-polarized port.

The power ratio expressed in decibels between the two measurements is the transmit two-port discrimination.

#### *Receive two-port discrimination*

An unmodulated carrier is transmitted co-polarized to the satellite through the high-power amplifier No. 1 by the antenna under test. The powers of the received co-polarized and cross-polarized components are measured by a spectrum analyzer through low-noise amplifier connected to the co-polarized and cross-polarized polarizer output ports of the antenna under test.

This can be achieved on a "loop-back" basis or, if necessary, by utilizing another earth station (SSM).

The power ratio expressed in decibels between the two measurements at each receive port of the polarizer is the receive two-port discrimination.

#### NOTES

- 1 Before starting each measurement, the antenna pointing should be optimized in terms of its co-polar response.
- 2 The use of another earth station is preferable since the receive gain (for transmit discrimination measurement), or the transmit gain (for receive discrimination measurement), will not vary when the direction of the antenna under test is moved.

### 7.3.3 Mesure du découplage entre accès à l'aide d'une antenne de visée terrestre en polarisation circulaire

Les isolations entre accès en polarisation circulaire mesurés via un satellite sont souvent fortement influencés par la valeur élevée de la polarisation croisée de l'antenne du satellite. Dans ce cas, des mesures avec antenne de visée, similaires à la méthode 2 décrite en 7.2.5 pour les mesures de discrimination de polarisation croisée, peuvent être appropriées car elles permettent de réduire ou d'éliminer l'influence de la polarisation de l'antenne de visée.

Procéder comme dans la méthode 2 de 7.2.5, la seule différence concerne l'étape 2: changer le branchement de l'antenne à l'essai en passant de l'accès en co-polarisation à l'accès en polarisation croisée au lieu de modifier la polarisation de l'antenne de visée. Le rapport axial de l'antenne à l'essai est calculé de nouveau à l'aide de l'équation (7-7), la quantité  $x = 10 \log X$  étant maintenant le découplage entre accès en décibels. La valeur corrigée du découplage entre accès peut alors être considérée comme un facteur de qualité de l'antenne à l'essai.

### 7.3.4 Précision de mesure du découplage entre accès

#### 7.3.4.1 Généralités

Lorsque l'on utilise une source (satellite ou antenne de visée) avec une polarisation imparfaite, le découplage entre accès d'une antenne à double polarisation orthogonale à réutilisation de fréquence est fonction du rapport axial de l'antenne de la station terrienne, du rapport axial de l'antenne source et de la différence d'angle d'inclinaison entre les grands axes des deux ellipses de polarisation. Il peut être défini à partir du rendement de polarisation défini en 3.14. Si les accès correspondants de l'antenne sont désignés comme l'accès 1 et l'accès 2 et que les rendements correspondants sont notés  $\eta_1$  et  $\eta_2$ , alors les découplages entre accès,  $X'_{12}$  entre l'accès 1 et l'accès 2 pour la polarisation / de la source et  $X''_{21}$  entre l'accès 2 et l'accès 1 pour la polarisation // de la source, sont définies par:

$$X'_{12} = \frac{\eta'_1}{\eta'_2} \approx \frac{1}{\eta'_2} \quad (7-9)$$

$$X''_{21} = \frac{\eta''_2}{\eta''_1} \approx \frac{1}{\eta''_1} \quad (7-10)$$

$\eta_1$ ,  $\eta_2$  peuvent être calculés à l'aide de la relation (7-1):

Pour l'équation (7-9), effectuer le remplacement suivant:

$$r_1 = r_{e2}, r_2 = r_{s1}, \alpha = \alpha'_2$$

Pour l'équation (7-10), effectuer le remplacement suivant:

$$r_1 = r_{e1}, r_2 = r_{s2}, \alpha = \alpha''_2$$

où

$r_{e1}$ ,  $r_{e2}$  sont les rapports axiaux en tension sur les accès 1 et 2 de l'antenne de la station terrienne (pour la définition, se reporter à 3.10);

$r_{s1}$ ,  $r_{s2}$  sont les rapports axiaux en tension de l'onde reçue pour les polarisations opérationnelles / et // de l'antenne source;

$\alpha'_2$  est la différence d'angle d'inclinaison entre les grands axes de l'ellipse de polarisation / de l'antenne source et de l'ellipse de polarisation correspondant à l'accès 2 de l'antenne de la station terrienne;

$\alpha''_2$  est la différence d'angle d'inclinaison entre les grands axes de l'ellipse de polarisation // de l'antenne source et de l'ellipse de polarisation correspondant à l'accès 1 de l'antenne de la station terrienne.

### 7.3.3 Measurement of two-port discrimination via terrestrial bore-sight antenna at circular polarization

Two-port isolations at circular polarization measured via satellite are often strongly influenced by the high cross-polarization of the satellite antenna. In this case bore-sight measurements similar to method 2 given in 7.2.5 for cross-polarization discrimination measurements may be suitable, because this gives the possibility to reduce or eliminate the polarization influence of the bore-sight antenna.

Proceed as in method 2 in 7.2.5, with the only difference concerning step 2, switch the antenna under test from the co-polar port to the cross-polar port instead of switching the bore-sight antenna polarization. The axial ratio of the antenna under test is again calculated by equation (7-7), the quantity  $x = 10 \log X$  now being the two-port discrimination in decibels. The corrected value of the two-port discrimination then may be considered as a figure of quality of the antenna under test.

### 7.3.4 Measurement accuracy of two-port discrimination

#### 7.3.4.1 General

The discrimination between related ports of a dual orthogonal polarized frequency re-use antenna, when using a source (satellite or bore-sight antenna) with imperfect polarization, is a function of the axial ratio of the earth-station antenna, the axial ratio of the source antenna and the tilt-angle difference between the major axes of the two polarization ellipses. It may be determined from the polarization efficiency defined in 3.14. If related ports of the antenna are designated by port 1 and 2 and the corresponding efficiencies by  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ , then the two-port discrimination  $X_{12}^I$  between port 1 and port 2 for the source polarization  $I$ , and  $X_{21}^{II}$  between port 2 and port 1 for the source polarization  $II$ , are given by:

$$X_{12}^I = \frac{\eta_1^I}{\eta_2^I} \approx \frac{1}{\eta_2^I} \quad (7-9)$$

$$X_{21}^{II} = \frac{\eta_2^{II}}{\eta_1^{II}} \approx \frac{1}{\eta_1^{II}} \quad (7-10)$$

$\eta_1$ ,  $\eta_2$  may be calculated using (7-1):

For equation (7-9), replace so that:

$$r_1 = r_{e2}, r_2 = r_{s1}, \alpha = \alpha_2^I$$

For equation (7-10), replace so that:

$$r_1 = r_{e1}, r_2 = r_{s2}, \alpha = \alpha_2^{II}$$

where

$r_{e1}$ ,  $r_{e2}$  are the voltage axial ratios of the earth station antenna at port 1 and port 2 (for definition, see 3.10);

$r_{s1}$ ,  $r_{s2}$  are the voltage axial ratios of the received wave for the operational polarizations  $I$  and  $II$  of the source antenna;

$\alpha_2^I$  is the tilt-angle difference between the major axes of the polarization ellipse  $I$  of the source antenna and the ellipse corresponding to port 2 of the earth-station antenna;

$\alpha_2^{II}$  is the tilt-angle difference between the major axes of the polarization ellipse  $II$  of the source antenna and the ellipse corresponding to port 1 of the earth-station antenna.

Les approximations fournies sont valables pour les découplages élevés et si les ellipses de polarisation des accès 1 et 2 ont respectivement le même sens de rotation que les polarisations / et // de la source.

Les polarisations circulaire et linéaire sont des cas limites de la polarisation elliptique. En pratique, la polarisation est dite circulaire si le rapport axial est proche de un et linéaire si le rapport axial est très grand (tendant vers l'infini).

NOTE – Pour la polarisation quasi-circulaire, on utilisera le signe inférieur (négatif) dans la formule du rendement (7-1) car l'ellipse de polarisation de l'accès 2 a un sens de rotation opposé à celui de l'ellipse I et celle de l'accès 1 un sens de rotation opposé à celui de l'ellipse II. Pour la polarisation quasi-linéaire, il est toutefois nécessaire d'inclure les deux signes dans l'équation car le sens de polarisation n'est pas toujours connu. Il en est de même avec la polarisation circulaire nominale si l'antenne source n'est pas orientée vers la région angulaire du lobe principal de l'antenne de la station terrienne, car la polarisation peut être dégradée. (Dans ce cas, l'accès en «polarisation croisée» est en général celui des deux accès qui présente le niveau de puissance le plus faible.)

#### 7.3.4.2 Sources d'erreur

Les principales sources d'erreur de mesure et leurs effets sont les suivants:

- Dans le cas de la polarisation linéaire, les erreurs dans les équations (7-9) et (7-10) dues à l'incertitude donnée par le double signe dans le calcul de  $\eta$  dans la relation (7-1) deviennent faibles lorsque les rapports axiaux sont très grands.
- Pour les antennes à polarisation linéaire, on peut éliminer la différence d'angle d'inclinaison en faisant tourner le polariseur de la station terrienne afin d'obtenir le meilleur alignement possible.
- Pour les antennes à polarisation circulaire, l'angle d'inclinaison provoque des incertitudes de mesure à moins que l'on n'effectue une mesure de phase
- Lorsque la discrimination de polarisation croisée de l'onde reçue et le découplage entre accès de la station terrienne sont plus grandes que 100 environ, c'est-à-dire 20 dB, le découplage  $X_e$  entre les accès de l'antenne de la station terrienne peut se trouver dans l'intervalle suivant:

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{X_m}} + \frac{1}{\sqrt{X_s}}\right)^2} < X_e < \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{X_m}} - \frac{1}{\sqrt{X_s}}\right)^2} \quad (7-11)$$

où

$X_s$  est la discrimination de polarisation croisée de l'onde reçue dans la direction du satellite;

$X_m$  est le découplage entre accès mesuré;

$X_e$  peut être identifié avec  $X_{12}^I$  ou  $X_{21}^{II}$  des équations (7-9) et (7-10) en fonction de la polarisation du satellite.

**Exemple:** Si le découplage entre accès de l'antenne du satellite est de 37 dB ( $X_s = 5\ 000$ ) et que la valeur mesurée est de 33 dB ( $X_m = 2\ 000$ ), alors le découplage entre accès de l'antenne de la station terrienne est supposé se trouver entre 28,8 dB ( $X_e = 750$ ) et 41,7 dB ( $X_e = 14\ 805$ ).

The approximations given are valid for high discriminations and if the polarization ellipses of port 1 and 2 have the same sense of rotation as source polarization I and II respectively.

Circular and linear polarization are limiting cases of elliptical polarization. In practice polarization is called circular when the axial ratio is near to one, and linear when the axial ratio is very large (tending to infinity).

NOTE – For quasi-circular polarization the lower sign in the efficiency formula (7-1) is to be used, because the polarization ellipse of port 2 has opposite sense of rotation to ellipse I and that of port 1 has opposite sense to ellipse II. For quasi-linear polarization, however, it is necessary to include an alternative sign in the equation, because the polarization sense is not always known. The same is necessary for nominal circular polarization if the source antenna is not within the angular region of the main lobe of the earth-station antenna, because there the polarization may be degraded. (In this case the "crosspolar" port is normally that one of the two related ports which gives the lower power level.)

#### 7.3.4.2 Sources of error

The principal sources of measurement error and their effects are the following:

- In the case of linear polarization, the errors in equations (7-9) and (7-10) due to uncertainty of the double sign of  $\eta$  in equation (7-1) become small when the axial ratios are very large
- For linear polarized antennas, the tilt-angle difference can be eliminated by rotating the earth-station polarizer for best alignment.
- For circularly polarized antennas, the tilt-angle causes uncertainty in the measurement unless a phase measurement is made.
- When the cross-polarization discrimination of the received wave and the two-port discrimination of the earth station are greater than about 100, that is 20 dB, the two-port polarization discrimination  $X_e$  of the earth-station antenna may be within the following range:

$$\frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{X_m}} + \frac{1}{\sqrt{X_s}}\right)^2} < X_e < \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{X_m}} - \frac{1}{\sqrt{X_s}}\right)^2} \quad (7-11)$$

where

$X_s$  is the cross-polarization discrimination of the wave received from the direction of the satellite;

$X_m$  is the measured two-port discrimination;

$X_e$  may be identified with  $X_{12}^I$  or  $X_{21}^{II}$  of equations (7-9) and (7-10) depending on the satellite polarization.

**Example:** If the two-port discrimination of the satellite antenna is 37 dB ( $X_s = 5\,000$ ) and the measured value is 33 dB ( $X_m = 2\,000$ ) then the two-port discrimination of the earth station antenna is assumed to lie between 28,8 dB ( $X_e = 750$ ) and 41,7 dB ( $X_e = 14\,805$ ).

Une autre formule simple à peu près équivalente à la relation (7-11) est donnée ci-dessous:

$$|R_m - R_s| < R_e < |R_m + R_s| \quad (7-12)$$

où

$R_m$ ,  $R_s$  et  $R_e$  sont les rapports axiaux, en décibels, correspondant aux quantités en échelle linéaire  $X_m$ ,  $X_s$  et  $X_e$ .

$R$ , en décibels, peut être calculé pour les valeurs élevées de  $X$  à l'aide de:

$$R = \frac{17,37}{\sqrt{X}} \quad (7-13)$$

#### 7.4 Présentation des résultats

Les taux de discrimination de polarisation croisée et de découplages entre accès mesurés en émission et en réception doivent être exprimés en décibels et notés pour chaque position et pour chaque fréquence de mesure. La largeur du faisceau utilisée lors des mesures doit être indiquée. Les résultats peuvent être présentés sous la forme d'une matrice de points dans le plan Az/EI avec un contour tracé pour l'isolation minimale spécifiée.

La figure 13 montre une autre représentation des résultats. Les limites de l'erreur sur les points mesurés doivent être calculées (voir 7.3.4) et tracées.

#### 7.5 Détails à spécifier

Les points suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- a) gamme de fréquences dans laquelle les mesures doivent être effectuées;
- b) type de polarisation (linéaire ou circulaire);
- c) plans de l'antenne et largeur angulaire du faisceau pour lesquels les mesures doivent être effectuées;
- d) accès (un ou plusieurs) de l'antenne pour les mesures;
- e) valeur minimale de la discrimination de polarisation croisée ou du découplage entre accès.

### 8 Facteur de qualité en réception (G/T)

On doit mesurer ce paramètre en se référant à la CEI 835-3-7. Des informations utiles sont également contenues dans la Recommandation S.733-1 de l'UIT-R.

### 9 Température de bruit de l'antenne

#### 9.1 Considérations générales

La température de bruit de l'antenne est la température de bruit rapportée aux accès de sortie du sous-système d'antenne lorsque l'antenne pointe vers le ciel «froid». Ce paramètre comporte la contribution correspondant à l'émission par l'atmosphère (température de bruit du ciel) qui dépend fortement des conditions météorologiques (teneur en vapeur d'eau) et également des émissions du sol captées par l'intermédiaire des lobes latéraux de l'antenne.

Another simple formula, which is approximately equivalent to equation (7-11), is given by:

$$|R_m - R_s| < R_e < |R_m + R_s| \quad (7-12)$$

where

$R_m$ ,  $R_s$  and  $R_e$  are the axial ratios in decibels corresponding to the linear quantities  $X_m$ ,  $X_s$  and  $X_e$ .

The  $R$  in decibels can be computed for large factors  $X$  by:

$$R = \frac{17.37}{\sqrt{X}} \quad (7-13)$$

#### 7.4 Presentation of results

The measured transmit and receive cross-polarization or two-port polarization discrimination ratios shall be expressed in decibels and tabulated for each position and measurement frequency. The beamwidth within which the measurements were made shall be stated. The results may be presented as quadratic point matrix in the Az/EI plane with a drawn-in contour for the specified minimum isolation.

Another representation of results is shown in figure 13. Error limits for the measured points shall be calculated (see 7.3.4) and drawn in.

#### 7.5 Details to be specified

The following items shall be included, as required, in the detailed equipment specification:

- a) frequency range within which measurements are to be made;
- b) type of polarization (linear or circular);
- c) antenna planes and beam angle within which measurements are to be made;
- d) antenna port(s) for measurement;
- e) minimum required cross-polarization or two-port discrimination.

### 8 Receive figure of merit (G/T)

This item shall be measured referring to IEC 835-3-7. Also, useful information is contained in ITU-R Recommendation S.733-1.

### 9 Antenna noise temperature

#### 9.1 General considerations

The antenna noise temperature is the noise temperature referred to the antenna subsystem output terminals when the antenna points at the cold sky. This parameter includes the contribution associated with the emission of the atmosphere (sky noise temperature), which depends strongly on meteorological conditions (amount of the water vapour), and also emissions of the ground coupled by the antenna sidelobes.

## 9.2 Méthode de mesure

La température de bruit de l'antenne  $T_a$  est définie par la relation suivante:

$$T_a = T_s - T_r \quad (9-1)$$

où

$T_s$  est la température de bruit du système et  $T_r$  la température de bruit de l'AFB (en K). Ces valeurs sont mesurées par la méthode suivante.

### 9.2.1 Température de bruit de l'AFB

On peut mesurer ce paramètre en se référant à la CEI 835-1-2 et à la CEI 835-3-4.

#### NOTES

- 1 Cet essai est en général effectué en usine. Il est toutefois préférable d'effectuer cette mesure sur le site en même temps que la mesure du bruit du système.
- 2 Il existe de petites antennes où le dispositif d'alimentation intègre un amplificateur de faible bruit ou un amplificateur d'émission non séparables. Avec ces antennes, on peut utiliser pour la mesure un dispositif d'alimentation équivalent et un amplificateur approprié.

### 9.2.2 Température de bruit du système

Dans cette mesure, le bruit provenant de l'antenne est comparé à celui provenant d'une charge de référence.

Dans la procédure suivante, la charge froide est utilisée comme charge de référence. Dans le cas où une charge froide n'est pas disponible, on peut toutefois utiliser à sa place une charge chaude comme charge de référence.

Les meilleures conditions d'essai sont un temps clair et calme et un horizon local bas.

En se reportant à la figure 14, régler, une fois que la charge froide a été connectée au l'AFB, l'atténuateur de précision du récepteur de mesure du bruit afin d'obtenir un niveau de référence facile à lire sur l'enregistreur et noter la valeur de l'atténuateur,  $L_c$ .

Après avoir branché l'AFB sur l'accès d'alimentation de l'antenne, régler de nouveau l'atténuateur de précision de façon à obtenir la même valeur sur l'enregistreur que ci-dessus. Noter le nouveau réglage de l'atténuateur,  $L_s$ .

La différence entre  $L_c$  et  $L_s$  est égale au facteur  $Y$  du système d'antenne. A partir de la relation suivante:

$$L_c - L_s = Y = 10 \log \left( \frac{T_r + T_c}{T_s} \right) \quad (9-2)$$

On en déduit la relation:

$$T_s = (T_r + T_c) / y = T_r + T_a \quad (9-3)$$

où

- $T_r$  est la température de bruit de l'AFB (K);
- $T_s$  est la température de bruit du système (K);
- $T_a$  est la température de bruit de l'antenne (K);
- $T_c$  est la température de la charge froide (K);
- $y = 10^{(Y/10)}$ .

NOTE – Le choix de la charge chaude ou froide sera celui qui donnera la valeur de  $Y$  la plus forte afin d'augmenter la précision de la mesure.

## 9.2 Method of measurement

Antenna noise temperature  $T_a$  is defined by the following relationship:

$$T_a = T_s - T_r \quad (9.1)$$

where

$T_s$  is system noise temperature and  $T_r$  is LNA noise temperature (in K). These values can be measured by the following method.

### 9.2.1 LNA noise temperature

This item should be measured referring to IEC 835-1-2 and IEC 835-3-4.

#### NOTES

1 This test is normally performed as an in-plant test. It is preferable, however, to perform this measurement on site, at the same time with the system noise measurement.

2 There are some small antennas whose feed incorporates a non-detachable low noise amplifier or transmit power amplifier. For these antennas, an equivalent alternative feed and appropriate amplifier can be used for the measurement.

### 9.2.2 System noise temperature

In this measurement, noise from the antenna is compared with the noise from the reference load.

In the following procedure, the cold load is used as a reference load. In the case where the cold load is not available, however, a hot load (for example, a calibrated noise diode) can be used as a reference load instead.

The preferred test conditions are clear, calm weather and low local horizon.

Referring to figure 14, after connecting the cold load to the LNA, set the attenuation of the precision attenuator of the noise test receiver to provide a convenient reference level on the recorder, and note the attenuator value,  $L_c$ .

After switching the LNA to the antenna feed port, reset the precision attenuator to provide the same reading on the display as above. Note this new attenuator setting,  $L_s$ .

The difference between  $L_c$  and  $L_s$  equals the antenna system Y-factor. The following relationship is valid:

$$L_c - L_s = Y = 10 \log \left( \frac{T_r + T_c}{T_s} \right) \quad (9.2)$$

From this relationship:

$$T_s = (T_r + T_c) / y = T_r + T_a \quad (9.3)$$

where

$T_r$  is the LNA noise temperature (K);

$T_s$  is the system noise temperature (K);

$T_a$  is the antenna noise temperature (K);

$T_c$  is the temperature of the cold load (K);

$y = 10^{(Y/10)}$ .

NOTE 1 – The use of a cold or hot load is chosen in order to have the largest value of the Y-factor to increase the measurement accuracy.

### 9.3 *Présentation des résultats*

Les résultats présentés doivent indiquer la valeur calculée de la température de bruit de l'antenne. Il est préférable que les mesures soient effectuées pour plus de trois fréquences dans la bande de fréquence. Il est également préférable que la mesure soit effectuée pour plusieurs angles de site et que la température de bruit de l'antenne en fonction de l'angle de site soit représentée graphiquement.

### 9.4 *Détails à spécifier*

Les éléments suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- a) fréquences;
- b) polarisation de l'antenne;
- c) angle de site;
- d) conditions météorologiques;
- e) valeur maximale autorisée pour la température de bruit de l'antenne.

## 10 **Affaiblissement d'adaptation de l'antenne**

### 10.1 *Méthode de mesure*

Se reporter à la CEI 835-1-2 pour la mesure de ce paramètre.

Dans les dispositifs d'alimentation à double polarisation à réutilisation de fréquence, une partie de la puissance réfléchie apparaît sur l'accès correspondant à l'autre polarisation aussi bien que sur l'accès en mesure. L'accès correspondant à l'autre polarisation doit donc être terminé par une charge adaptée. L'affaiblissement d'adaptation doit être mesuré sur les accès correspondant aux deux polarisations. Des mesures en balayage de fréquences sont conseillées.

### 10.2 *Présentation des résultats*

On doit représenter de préférence les résultats de manière graphique en indiquant l'affaiblissement d'adaptation, en décibels, en fonction de la fréquence.

### 10.3 *Détails à spécifier*

Les éléments suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- a) bande de fréquences;
- b) accès mesuré;
- c) valeur minimale exigée de l'affaiblissement d'adaptation.

## 11 **Isolation émission-réception entre accès**

### 11.1 *Méthode de mesure*

La configuration de mesure type est présentée à la figure 15. On doit mesurer les pertes entre l'accès d'émission et l'accès de réception en se référant à la CEI 835-1-2. Des mesures avec balayage en fréquence sont conseillées.

### 9.3 *Presentation of results*

The results shall be presented stating the calculated value of the antenna noise temperature. It is preferable that the measurement is performed at more than three frequencies within the frequency band. It is also preferable that the measurement is performed at several elevation angles and that the antenna noise temperature versus elevation angle is represented graphically.

### 9.4 *Details to be specified*

The following items shall be included, as required, in the detailed equipment specifications:

- a) frequencies;
- b) antenna polarization;
- c) elevation angle;
- d) weather conditions;
- e) maximum permitted antenna noise temperature.

## 10 Antenna return loss

### 10.1 *Method of measurement*

This item shall be measured referring to IEC 835-1-2.

In dual polarization frequency re-use feed, a part of the reflected power appears at the port of the other polarization as well as at the test port. Therefore, the other polarization port shall be terminated by a matched load. The return loss shall be measured at both polarization ports. Swept frequency measurements are preferable.

### 10.2 *Presentation of results*

The results shall be presented preferably graphically showing the return loss in decibels versus frequency.

### 10.3 *Details to be specified*

The following items shall be included, as required, in the detail equipment specifications:

- a) frequency band;
- b) port under test;
- c) minimum required return loss.

## 11 Transmit-receive isolation

### 11.1 *Method of measurement*

Typical measurement set-up is shown in figure 15. The loss between the transmit port and the receive port shall be measured referring to IEC 835-1-2. The swept frequency measurement is preferable.

Comme les isolations émission-réception sont souvent très élevées, des amplificateurs auxiliaires peuvent être nécessaires, comme indiqué à la figure 15. On veillera à ce que des fuites électromagnétiques dans le montage de mesure ne provoquent pas d'erreurs de mesure.

Pour les dispositifs d'alimentation des antennes à double polarisation à réutilisation de fréquence, une partie de la puissance réfléchie apparaît sur les autres accès d'émission et de réception. Ces autres accès doivent donc être terminés par des charges adaptées. L'isolation entre accès doit être mesurée pour toutes les combinaisons d'accès d'émission et de réception.

### 11.2 *Présentation des résultats*

On doit représenter les résultats de manière graphique en indiquant l'isolation, en décibels, en fonction de la fréquence.

### 11.3 *Détails à spécifier*

Les éléments suivants doivent, le cas échéant, être inclus dans les spécifications détaillées de l'équipement:

- a) Bande de fréquences;
- b) Accès d'entrée et de sortie du signal de mesure;
- c) Isolation minimale exigée.

Because the transmit-receive isolation is usually very high, auxiliary amplifier(s) may be necessary as shown in figure 15. Care should be taken so that any leakage from the test set-up does not cause measurement errors.

In dual polarization frequency re-use-feed, a part of the reflected power appears at the other transmit and receive ports. Therefore, the other ports shall be terminated by matched loads. The transmit-receive isolation shall be measured for all combinations of transmit and receive ports.

#### 11.2 *Presentation of results*

The results shall be presented, preferably graphically, showing the isolation in decibels versus frequency.

#### 11.3 *Details to be specified*

The following items should be included, as required, in the detailed equipment specifications:

- a) Frequency band;
- b) Test signal input and output ports;
- c) Minimum required isolation.

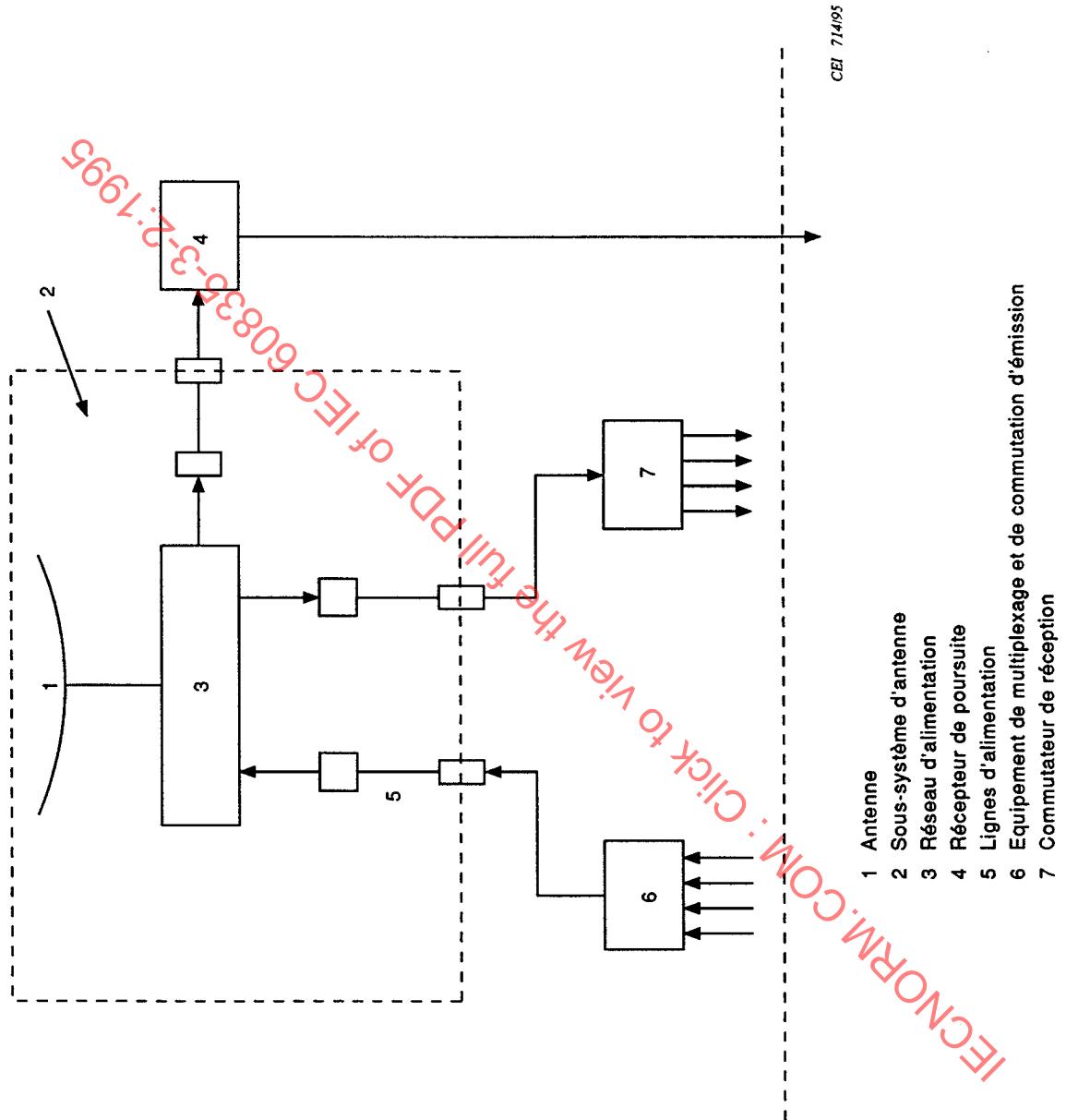


Figure 1 – Sous-système d'antenne

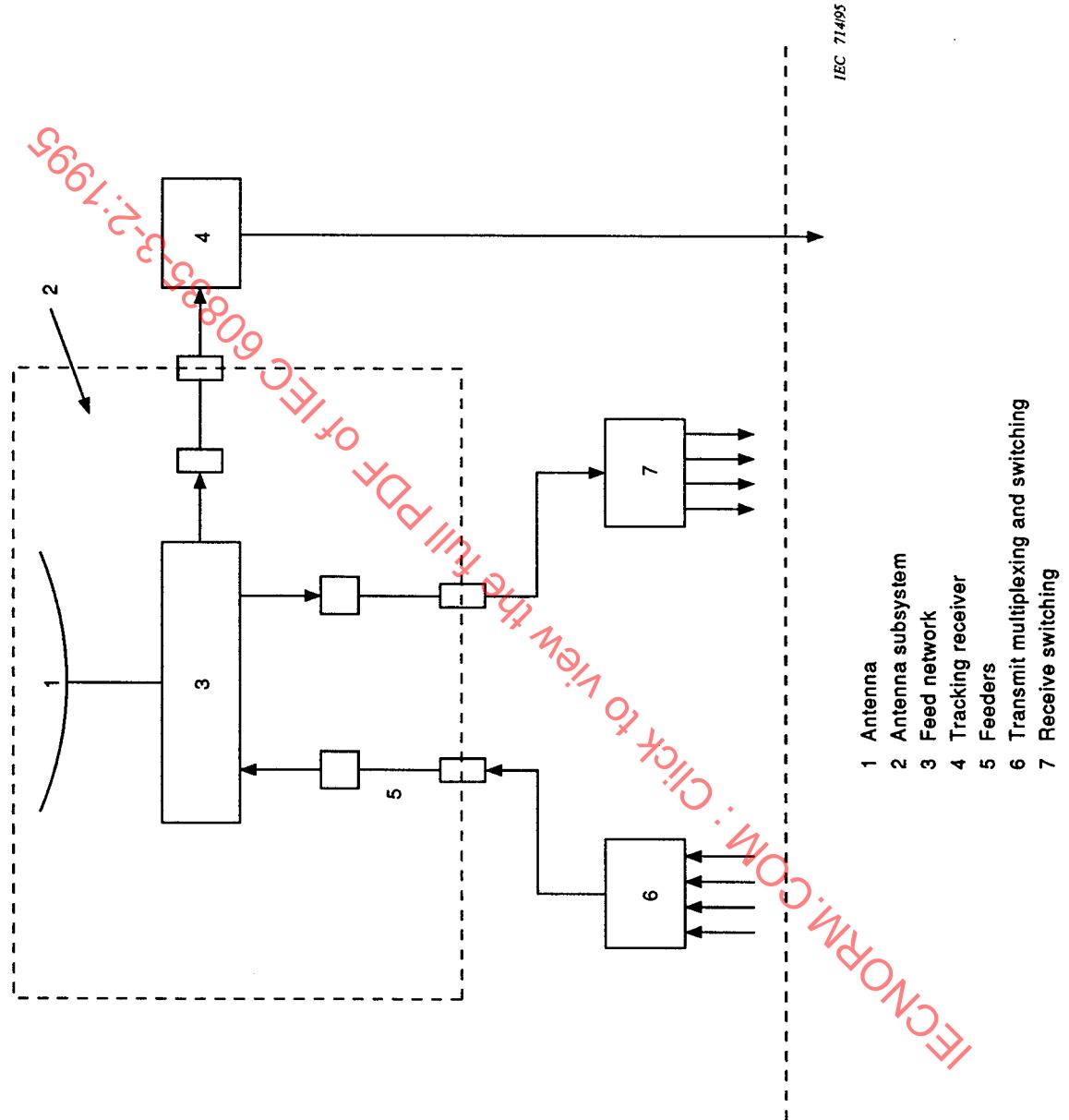


Figure 1 – Antenna subsystem

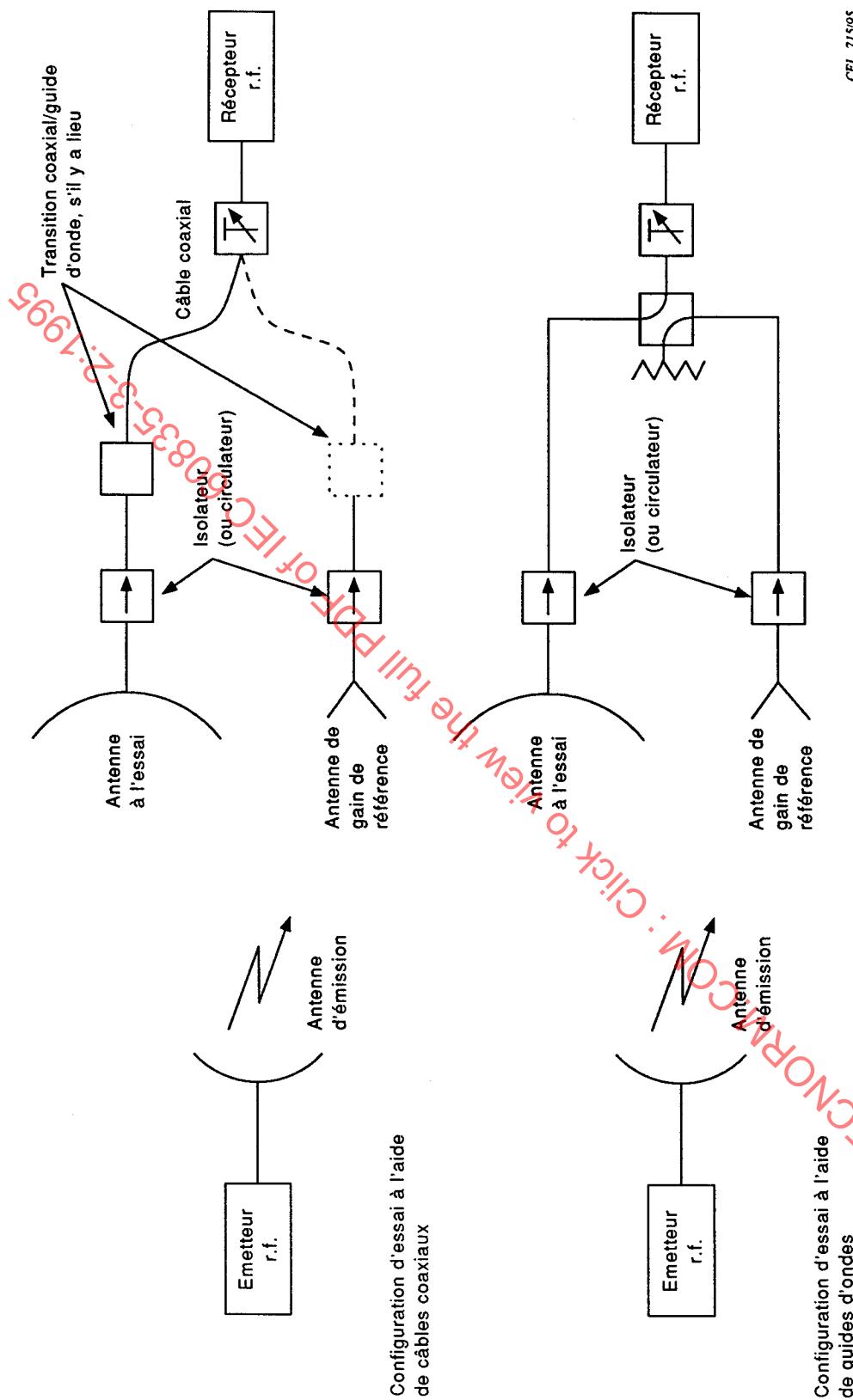


Figure 2 – Mesure du gain de l'antenne par comparaison avec une antenne de gain de référence

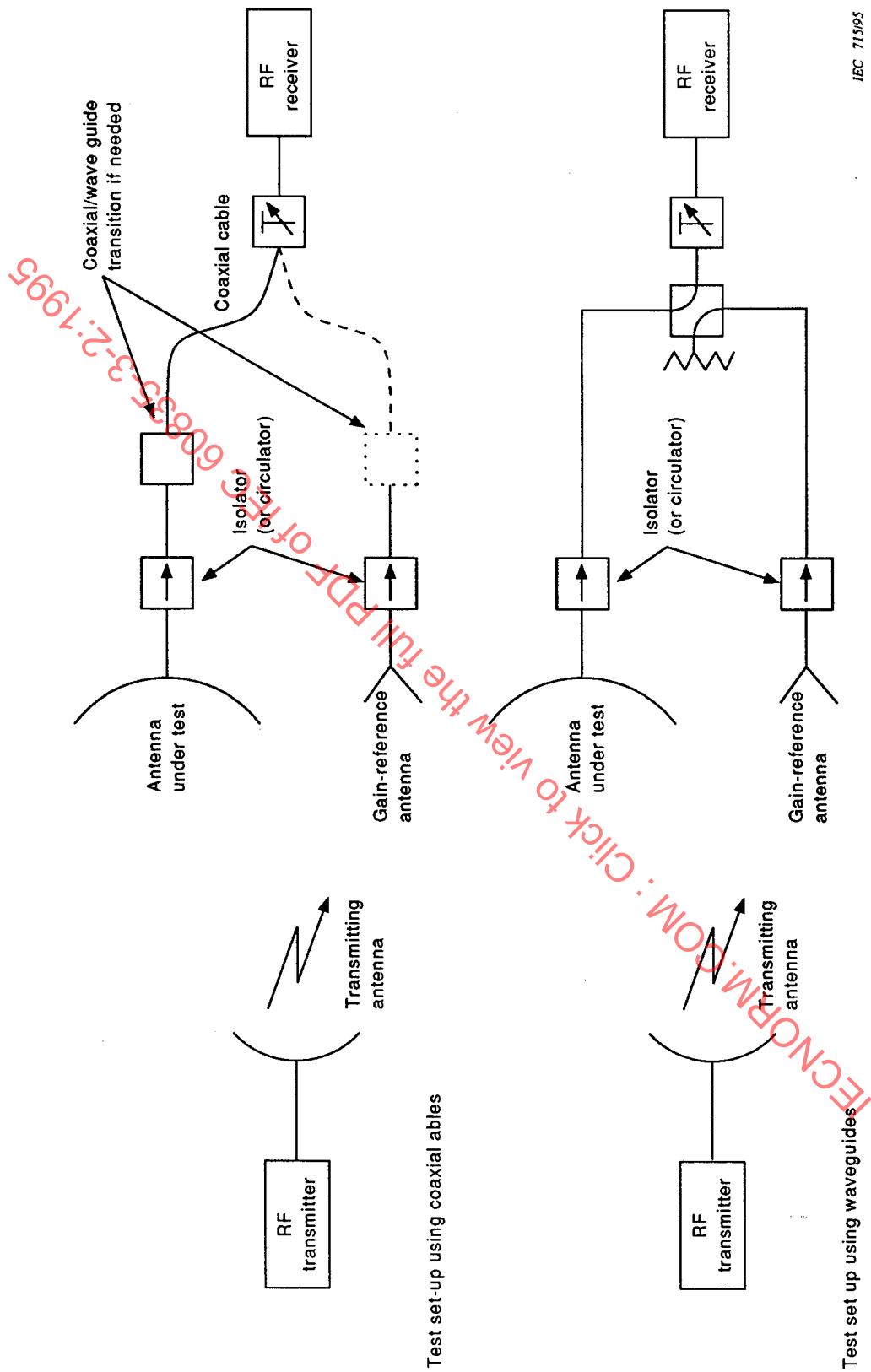


Figure 2 – Measurement of antenna gain by comparison with a gain-reference antenna

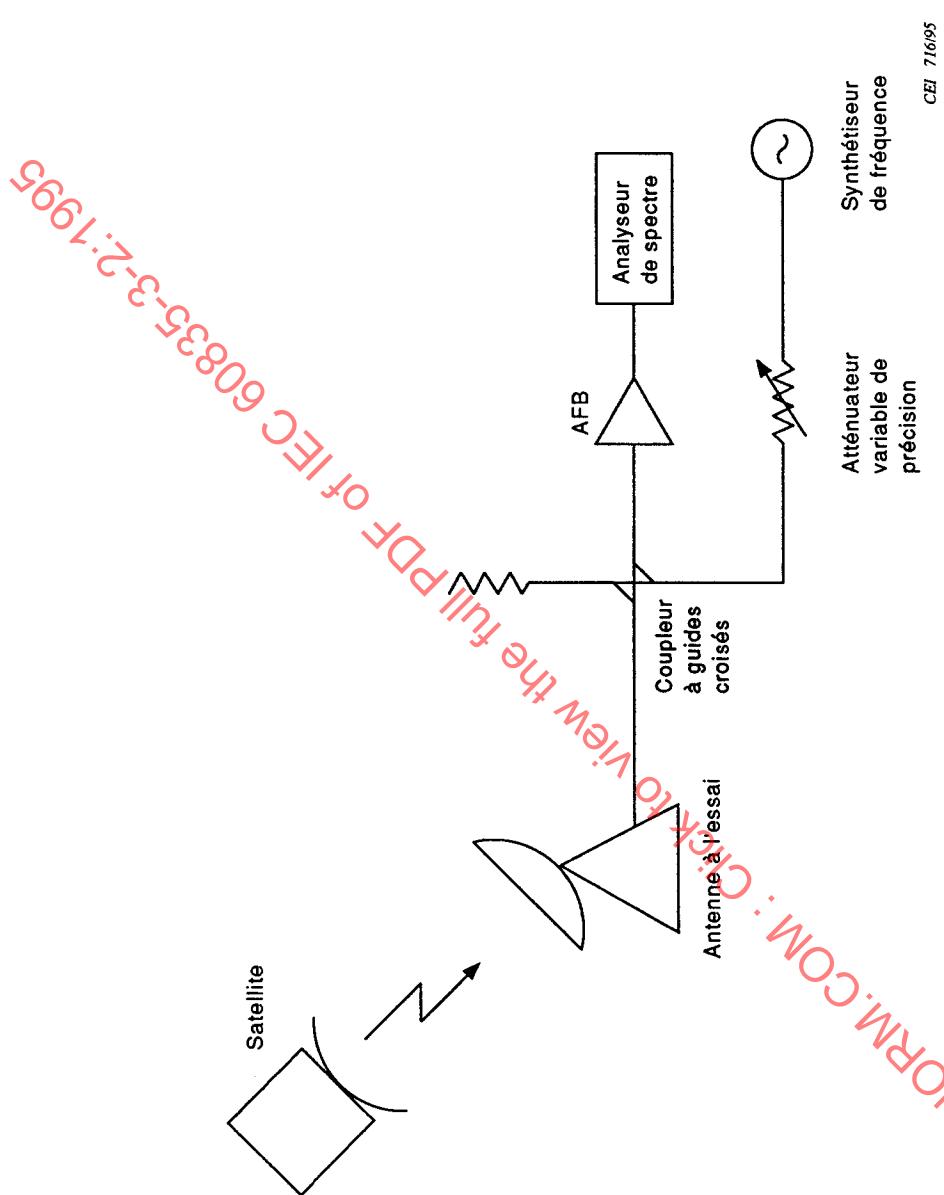


Figure 3 – Configuration de mesure du gain de l'antenne de réception (méthode de substitution par satellite)

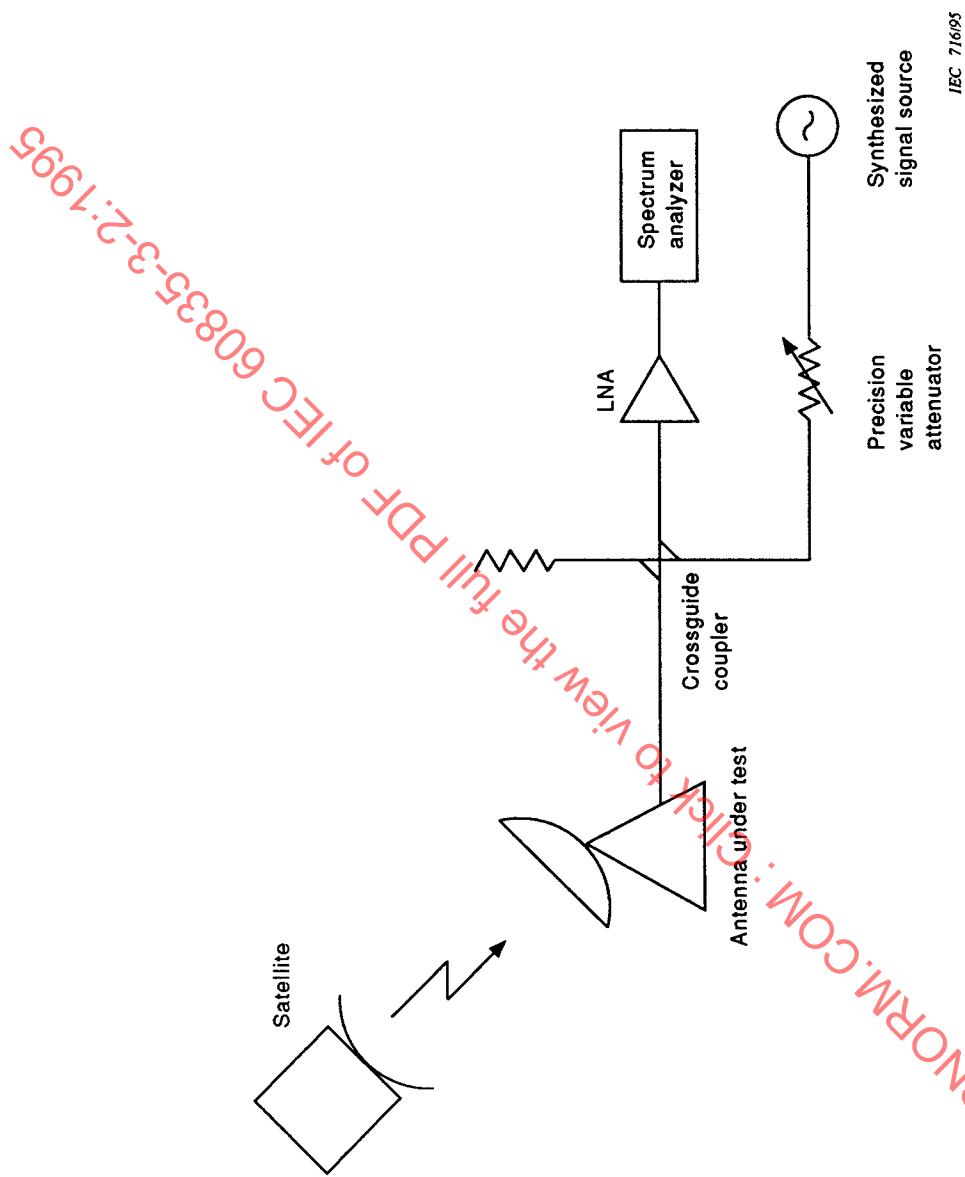


Figure 3 – Receive antenna gain measurement set-up (satellite substitution method)

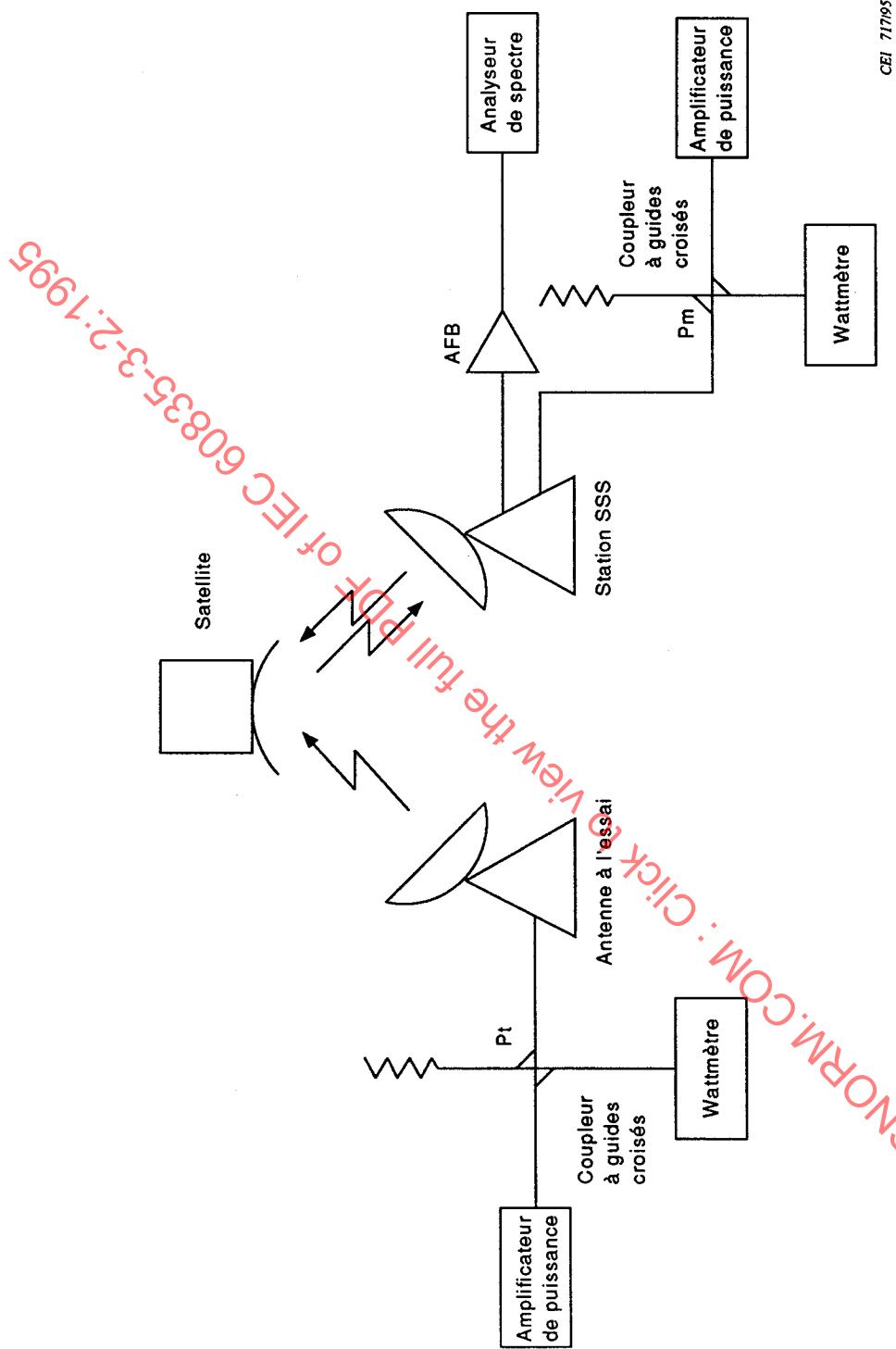


Figure 4 – Configuration de mesure du gain de l'antenne d'émission (méthode du bilan de liaison par satellite)

CEI 77795

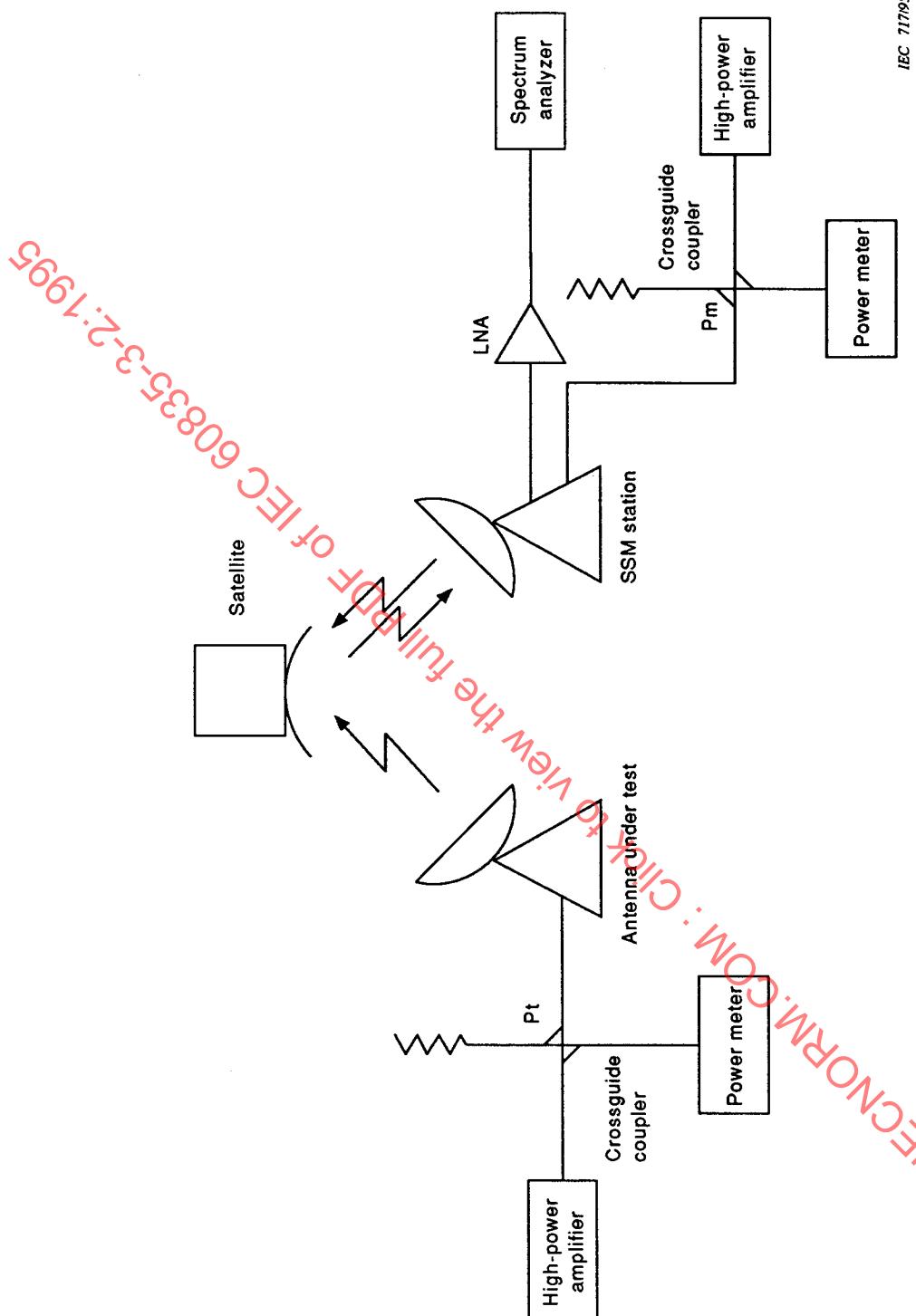


Figure 4 – Transmit antenna gain measurement set-up (satellite link power method)

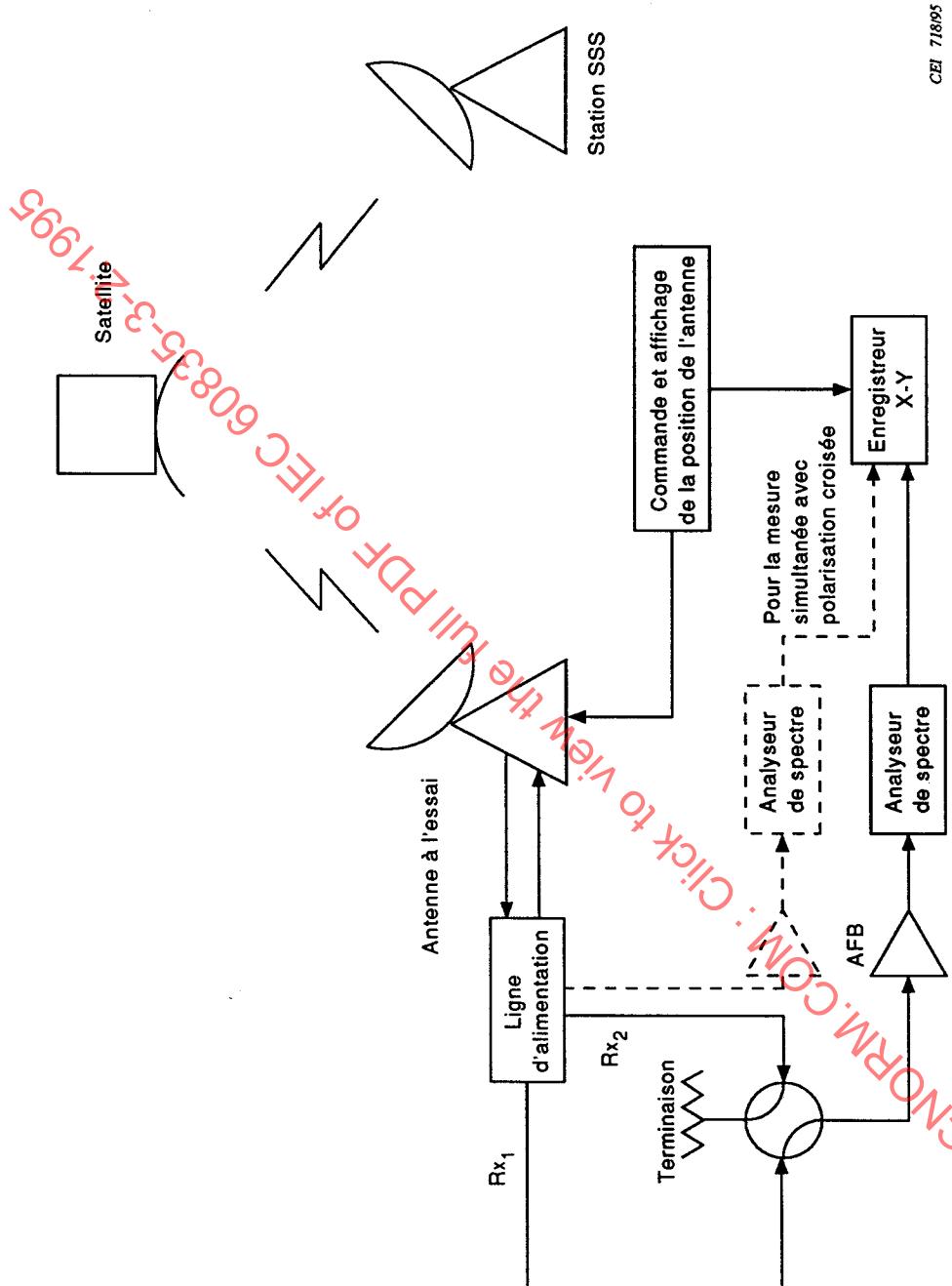


Figure 5 – Configuration de mesure du diagramme de l'antenne – Bande de réception