

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Airborne instrumentation for measurement of terrestrial gamma radiation

Instrumentation aéroportée pour mesures du rayonnement gamma terrestre

With IECnorm.com: Click to view the full PDF of IEC 61134:1992



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 1992 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Airborne instrumentation for measurement of terrestrial gamma radiation

Instrumentation aéroportée pour mesures du rayonnement gamma terrestre

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

U

ICS 17.240

ISBN 2-8318-2356-0

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Références normatives	6
3 Définitions	8
4 Spécifications	10
4.1 Ensemble détecteur	12
4.2 Système électronique	14
4.3 Réglages du système	18
4.4 Détermination de l'altitude de vol et de la localisation géographique	20
4.5 Système de mémorisation des données	20
4.6 Spécifications à porter dans les manuels d'instruction	22
4.7 Unité de traitement des données	22
4.8 Représentation des données radiométriques enregistrées	28
4.9 Conditions d'environnement	30
4.10 Prescriptions mécaniques	30
4.11 Méthodes pour les essais mécaniques	34
5 Etalonnage	42
5.1 Modèles d'étalonnage	42
5.2 Mesures d'étalonnage	42
5.3 Calculs des facteurs d'étalonnage	42
6 Prescriptions de sécurité	50
6.1 Potentiel électrique des parties métalliques accessibles	50
6.2 Impédance vue de l'extérieur	50
6.3 Protection mécanique du module haute tension	50

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 Definitions	9
4 Requirements	11
4.1 Detector assembly	13
4.2 System electronics	15
4.3 System adjustment	19
4.4 Determination of flight altitude and geographic location	21
4.5 Data storage system	21
4.6 Specifications to be given in instruction manuals	23
4.7 Data processing	23
4.8 Representation of radiometric survey data	29
4.9 Environmental requirements	31
4.10 Mechanical requirements	31
4.11 Mechanical test methods	35
5 Calibration	43
5.1 Calibration pads	43
5.2 Calibration measurements	43
5.3 Calculation of calibration factors	43
6 Safety requirements	51
6.1 Electrical potential of accessible metal parts	51
6.2 Impedance as seen from the exterior	51
6.3 Mechanical protection of the high voltage supply unit	51

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

INSTRUMENTATION AÉROPORTÉE POUR MESURES DU RAYONNEMENT GAMMA TERRESTRE

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
45(BC)188	45(BC)193

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

Cette version bilingue (1992-06) remplace la version monolingue anglaise.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**AIRBORNE INSTRUMENTATION FOR MEASUREMENT
OF TERRESTRIAL GAMMA RADIATION**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 45: Nuclear instrumentation.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
45(CO)188	45(CO)193

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

This bilingual version (1992-06) replace the English version.

INSTRUMENTATION AÉROPORTÉE POUR MESURES DU RAYONNEMENT GAMMA TERRESTRE

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale est applicable aux systèmes aéroportés de détection de radioprotection utilisés en relevé géologique, en prospection régionale et locale de minerais d'uranium et pour la localisation et les mesures de changements de la radio-activité ambiante, à la suite de travaux engagés par l'homme.

Cette norme a pour objet:

- d'établir les définitions;
- d'indiquer les exigences pour l'instrumentation;
- de donner les instructions concernant les méthodes d'étalonnage et d'essais.

Un système aéroporté radiométrique comprend en général les parties suivantes:

- un organe détecteur comportant un ou plusieurs détecteurs à scintillations incluant les photomultiplicateurs-amplificateurs assemblés, l'alimentation haute tension et, si nécessaire, un stabilisateur de spectres;
- un analyseur d'amplitude type quatre canaux ou multicanal;
- un système d'enregistrement (carte simplifiée et enregistreur numérique sur bande magnétique);
- un altimètre et des appareils de mémorisation du plan de vol de navigation.

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 Norme internationale. 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 Norme internationale 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 253: 1967, *Alimentation des appareils de prospection radiométrique portés par véhicules aéronautiques ou terrestres.*

CEI 278: 1968, *Documentation à fournir avec les appareils de mesure électroniques.*

CEI 348: 1978, *Règles de sécurité pour les appareils de mesure électroniques.*

CEI 421: 1973, *Radiamètres portatifs de prospection à tube compteur de Geiger-Müller (appareils à lecture linéaire).*

CEI 462: 1974, *Méthodes d'essais normalisées des tubes photomultiplicateurs utilisés dans les ensembles de comptage à scintillation.*

CEI 578: 1977, *Analyseurs d'amplitude multicanaux. Types, principales caractéristiques et prescriptions techniques.*

AIRBORNE INSTRUMENTATION FOR MEASUREMENT OF TERRESTRIAL GAMMA RADIATION

1 Scope and object

This International Standard is applicable to airborne radiation detection systems used in geologic mapping, in regional and local prospecting for uranium mineralizations and for locating and monitoring man-made changes in environmental radioactivity.

The object of this standard is to:

- establish definitions;
- state requirements for instrumentation;
- give instructions for test and calibration methods.

An airborne radiometric system usually comprises the following parts:

- a detecting device with one or more scintillation detectors including a photomultiplier-preamplifier assembly(ies), a high voltage supply and, if necessary, a spectrum stabilizer;
- a four-channel or multichannel amplitude analyzer;
- a recording system (strip chart and digital magnetic tape recorder);
- an altimeter and navigational and flight path recovery instruments.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard 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 253: 1967, *Power supply for air and land vehicle-mounted prospection equipment for radioactive materials.*

IEC 278: 1968, *Documentation to be supplied with electronic measuring apparatus.*

IEC 348: 1978, *Safety requirements for electronic measuring apparatus.*

IEC 421: 1973, *Portable prospecting radiation meters with Geiger-Müller counter tube (linear scale instruments).*

IEC 462: 1974, *Standard test procedures for photomultiplier tubes for scintillation counting.*

IEC 578: 1977, *Multichannel amplitude analyzers. Types, main characteristics and technical requirements.*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1 résolution en énergie: Largeur à mi-hauteur de la raie du ^{137}Cs (0,662 MeV) exprimée en MeV, divisée par 0,662 (FWHM: pleine largeur à la valeur moitié du maximum).

3.2 bruit de fond: Mesure du taux de comptage dans une fenêtre d'énergie donnée sans contribution de la radioactivité du sol (peut être mesurée à une altitude de plus de 1 000 m au-dessus du sol et en appliquant les corrections d'altitude pour le rayonnement cosmique ou au-dessus d'une grande étendue d'eau ayant des dimensions supérieures à 2 km et une profondeur de plus de 1 m. Le cas échéant, la contribution des éléments radioactifs de l'eau doit être prise en compte).

3.3 fenêtre d'énergie: Une certaine fraction du spectre énergétique total du rayonnement gamma, limitée entre deux valeurs d'énergie «basse» et «haute».

3.4 soustraction Compton: Soustraction de la contribution au taux de comptage, dans une fenêtre d'énergie donnée, de la part due à la diffusion des gamma de plus haute énergie.

3.5 sensibilité: Taux de comptage mesuré après certaines corrections (voir 3.2 et 3.4) par unité de concentration de radioélément dans le sol (par exemple: coups/seconde/ppm.U).

3.6 amplificateur-sommeur: Amplificateur qui combine linéairement les signaux recueillis en sortie de différents détecteurs photomultiplicateurs (TPM) sur une seule sortie.

NOTE - Il convient que la non-linéarité de l'amplificateur n'excède pas $\pm 0,5\%$.

3.7 ligne de vol: Ligne de vol prévue, tracée sur une carte topographique ou séries aériennes.

3.8 ligne de vol actualisée: Ligne de vol actuellement suivie, conforme au plan de vol.

3.9 position fixe: Point marqué, normalement près de la région examinée, qui peut facilement être identifié en vol, sur le sol, aussi bien que sur la carte.

3.10 remise à jour: Remplacement de mauvaises coordonnées possibles données par le système de navigation, par les coordonnées correctes relevées au-dessus du point fixe.

3.11 variation magnétique: Différence entre les directions du nord géographique et du nord magnétique.

3.12 échantillon d'étalonnage: Habituellement une source radioactive cylindrique contenant des concentrations connues de matériaux radioactifs, d'étendue et d'épaisseur suffisantes pour approximer une source non finie.

3.13 intervallo-mètre: L'intervallomètre produit des marques de temps (fiducielles) qui sont enregistrées par les différentes unités du système aéroporté (caméra, enregistreur analogique, enregistreur à bande magnétique) pour synchroniser les différentes données acquises.

3 Definitions

For the purposes of this International Standard, the following definitions apply.

3.1 energy-resolution: Width in MeV at half-maximum of the line of ^{137}Cs (0,662 MeV) divided by 0,662 (FWHM: full width at half maximum).

3.2 background: Measured count rate in a given energy window with no terrestrial radioactivity contribution (may be measured at altitudes of more than 1 000 m above ground, and applying altitude correction for cosmic radiation, or above large water bodies with more than 2 km extension and more than 1 m depth. If necessary, the contribution of radioactive element concentrations in the water shall be taken in account).

3.3 energy window: Certain fraction of the gamma ray spectrum between an upper and a lower energy limit.

3.4 Compton stripping: Removal of contributions to count rate in a given energy window due to scattered higher energy gamma quanta.

3.5 sensitivity: Measured count rate after certain corrections (see 3.2 and 3.4) per unit concentration of radioelement in the ground (for example: cps/ppm.U).

3.6 summing amplifier: Amplifier which linearly combines output signals from different detector photomultiplier tube (PMT) units to one output.

NOTE - The non-linearity of the amplifier should not exceed $\pm 0,5\%$.

3.7 flight line: Planned line of flight plotted on a topographic map or aerial photo-mosaics.

3.8 actual flight line: Line actually flown as determined by flight path recovery.

3.9 position fix: Reference point normally just outside of the survey area which can easily be identified from the air as well as on the map.

3.10 updating: Replacement of the possibly wrong coordinates given by the navigation system by the correct coordinates above a position fix.

3.11 magnetic variation: Difference between the geographic and the magnetic north direction.

3.12 calibration pad: Usually a cylindrical radioactive source containing known concentrations of radioactive materials of sufficient lateral extension and depth to approximate an infinite source.

3.13 intervalometer: The intervalometer produces time marks (fiducials) which are recorded by different units of the airborne system (camera, analog recorder, magnetic tape recorder) to synchronize the different data sets.

Plus de précisions sont données dans la CEI 253, la CEI 462 et la CEI 578.

4 Spécifications

Le système complet de mesures radiométriques aéroporté comporte en général plusieurs parties comme montré à la figure 1.

Unités d'acquisition de données comprenant:

- un ou plusieurs ensembles de détecteurs comprenant un détecteur gamma, comme des cristaux NaI(Tl) optiquement couplés à des tubes photomultiplicateurs* disposés dans un coffret maintenu à température constante. Préamplificateur, circuit de mise en forme d'impulsions avec circuit de sortie, pour chaque TPM qui sont aussi placés à l'intérieur du coffret;
- un altimètre pour mesurer l'altitude au-dessus du sol;
- un système de navigation.

Mémorisation des données et unités de visualisation:

- enregistreur à bande magnétique neuf pistes;
- unités de visualisation telle que compteurs digitaux pour quatre canaux (d'énergie), ou visualisation totale du spectre;
- enregistreur analogique multiplume (habituellement quatre canaux d'énergie gamma, altitude, ^{214}Bi dans l'air, température de l'air et marques fiducielles).

Pupitre opérateur pour contrôler les organes de calcul et pour les entrées manuelles des informations opérateurs.

* TPM: Tube Photo Multiplicateur.

Other definitions are given in IEC 253, IEC 462 and IEC 578.

4 Requirements

The complete airborne radiometric survey system usually consists of several components as shown in figure 1.

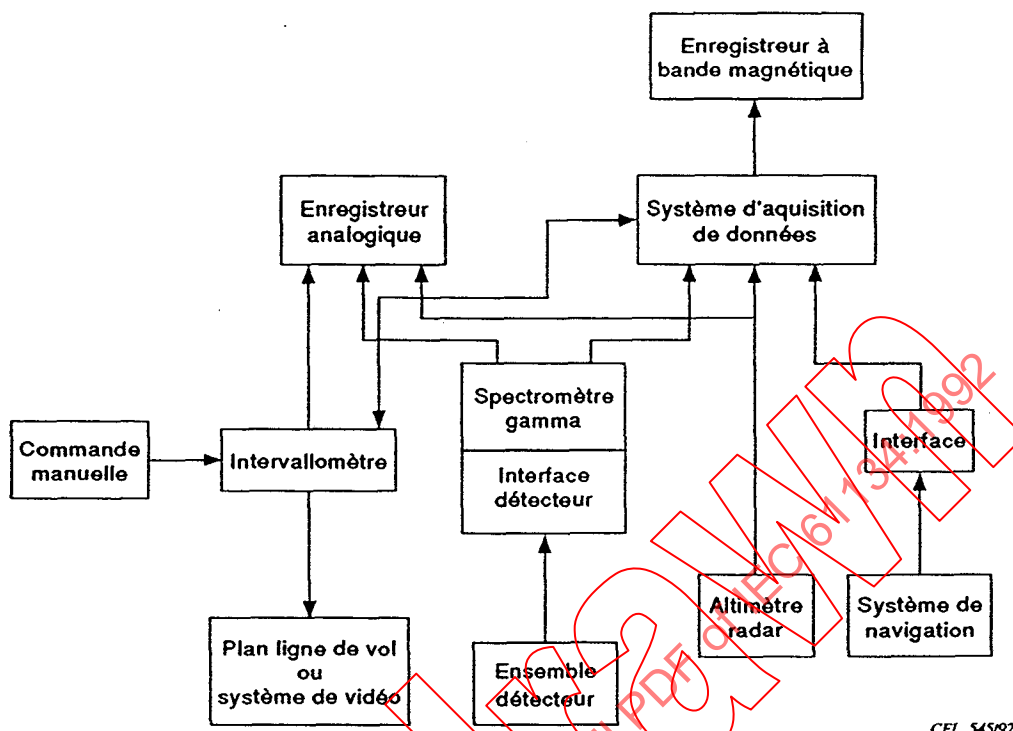
Data collecting units include:

- one or more detector assemblies consisting of a gamma sensitive unit such as NaI(Tl) crystals optically coupled to photomultiplier tubes (PMT), placed in a constant temperature box. Preamplifier, pulse shaper and line driver for each PMT are also placed inside this box;
- altimeter to measure the altitude above ground;
- navigation system.

Data storage and display units:

- nine-track magnetic tape recorder;
- data display units such as digital counters for four channels or total spectrum display;
- multipen analog recorder (usually four gamma energy channels, altitude, ^{214}Bi in the air, air temperature and fiducial marks).

Operator's keyboard to control computing devices and manual input of operator information.



CEI 545/92

Figure 1 - Spectromètre gamma aéroporté - Synoptique

4.1 Ensemble détecteur

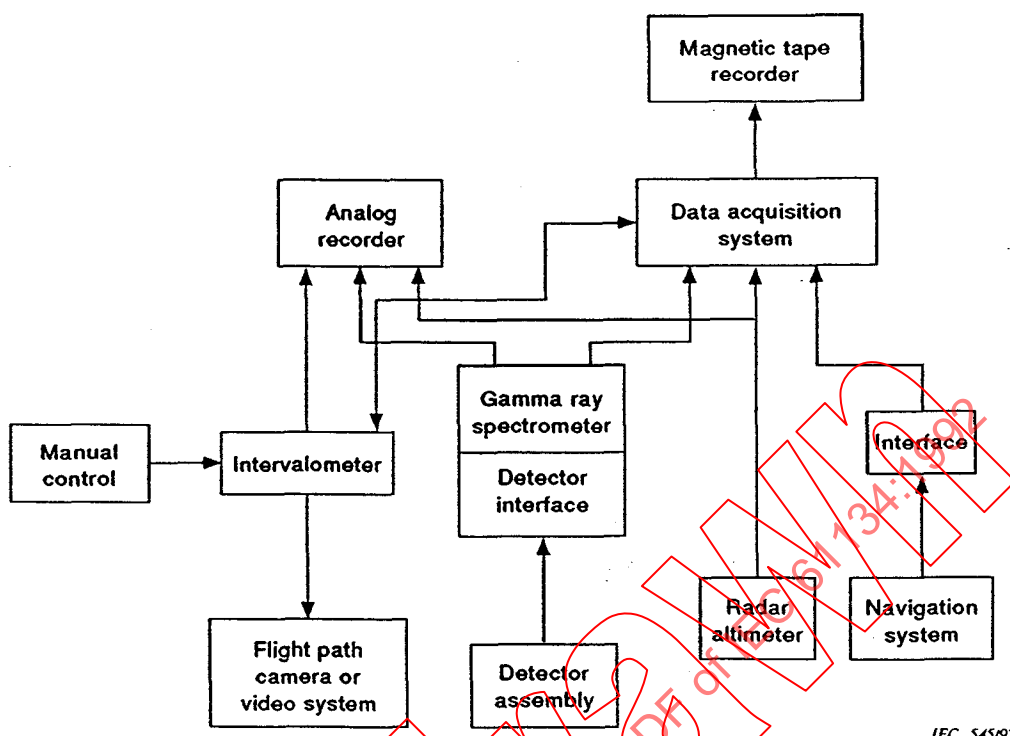
4.1.1 Le détecteur

Le détecteur comprend un ou plusieurs cristaux NaI(Tl) de grand volume, chacun associé à un tube photomultiplicateur (TPM) suivi par un préamplificateur. Le volume total du cristal peut être d'environ 50 l ou plus. Des ensembles comprenant quatre cristaux de 10 cm x 10 cm x 42 cm (≈ 16 l) chacun sont en général utilisés. Si plusieurs TPM sont connectés en parallèle, des précautions doivent être prises pour obtenir des impulsions d'égale amplitude pour des énergies gamma données. Il convient que la résolution (voir largeur à mi-hauteur) des différents détecteurs NaI(Tl)-TPM assemblés soit à peu près identique.

L'ensemble détecteur doit être monté dans une enceinte stabilisée en température pour éviter la dérive de gain due au changement de température. La température doit être constante à $\pm 0,1$ °C pendant les mesures.

Le détecteur doit être monté dans l'avion ou l'hélicoptère de telle manière que l'absorption des rayons gamma émis du sol soit minimisée et plus spécialement que les variations d'absorption en fonction du temps (réservoirs d'essence) soient évitées.

D'autres types de détecteurs, comme Ge(Li), détecteurs à état solide, peuvent être utilisés pour applications spéciales.



IEC 545/92

Figure 1 - Airborne gamma ray survey system - Signal flow

4.1 Detector assembly

4.1.1 The detector

The detector usually consists of one or more large volume NaI(Tl) crystals, each mounted on a photomultiplier tube (PMT) followed by a preamplifier. The total crystal volume may be up to 50 l or more. Assemblies containing four crystals, 10 cm x 10 cm x 42 cm (≈ 16 l) each, are commonly in use. If several PMTs are connected in parallel, provision shall be made to obtain equal pulse amplitudes for given gamma energies. The resolution (i.e. FWHM) of the different NaI(Tl)-PMT assemblies should be almost equal.

The detector assembly shall be mounted in a temperature stabilized housing to avoid overall gain drift due to temperature changes. The temperature shall be constant at $\pm 0,1$ °C during operation.

The detector shall be mounted in the aircraft or helicopter in such a way that absorption of gamma rays from the ground is minimized and especially that variations of absorption with time (fuel tanks) are avoided.

Other types of detectors, such as Ge(Li) solid-state detectors, may be used for special applications.

4.1.2 Unité d'alimentation haute tension

Il convient que la haute tension pour les TPM, qui est usuellement d'environ 1 200 V continue, soit constante à ± 1 V à toutes les températures de fonctionnement.

4.1.3 Stabilisation du spectre

Un système de stabilisation du spectre à partir d'une impulsion artificielle lumineuse (diode PIN) ou d'une source radioactive de référence telle que du ^{133}Ba (0,356 MeV) peut être incluse dans le bloc de détecteur.

4.1.4 Détecteur orienté vers l'espace

Quelques systèmes sont équipés d'un second ensemble détecteur orienté vers l'espace pour détecter l'activité dans l'air du ^{222}Rn . Les détecteurs sont blindés, vers le bas ou sur la moitié de leurs côtés, par 50 mm de plomb pour réduire le fond du rayonnement γ de 2,6 MeV, à une valeur < 20 %.

4.1.5 Accès au contrôle du gain

Il y a lieu que le contrôle de gain des préamplificateurs et le voltage de focalisation de tous les TPM soient accessibles à travers des orifices, sans détruire l'isolation thermique.

4.1.6 Spécifications pour les signaux de sortie

Il convient que la réponse du circuit de sortie soit linéaire dans la gamme de 0 V à 10 V; l'impulsion de forme gaussienne aura une largeur d'environ 1 μs .

4.1.7 Résolution

Il y a lieu de tester la résolution propre des détecteurs pris individuellement ainsi que celle du système. Il est préférable que la résolution du système n'excède pas la valeur de 0,12 (12 %).

4.2 Système électronique

4.2.1 Amplificateur sommateur (AS)

En général les impulsions en sortie de chacun des TPM sont appliquées à l'amplificateur sommateur et sont amplifiées proportionnellement à l'amplitude requise pour convenir à l'électronique qui suit. Il y a lieu que la «somme» ne conduise pas à une dégradation de la résolution supérieure à 1 %.

Chaque TPM peut être déconnecté individuellement dans un but d'étalonnage et de contrôle. Il convient que le gain de chaque voie puisse être ajusté avec un facteur compris entre 0,5 et 1,5 à l'aide de son propre potentiomètre, de même pour la voie de l'amplificateur sommateur. Des potentiomètres additionnels doivent être prévus pour ajuster les limites «basse» et «haute» du domaine de mesure du système.

Il convient que l'amplitude du signal, en sortie du sommateur, soit comprise entre 0 V et 10 V pour une gamme d'énergie s'étendant entre 0 MeV et 3 MeV.

Trois fois quatre lignes d'entrée pour les détecteurs orientés vers le bas (sol) et une fois deux lignes d'entrée pour les détecteurs orientés vers le haut (espace) ont lieu d'être prévues, ainsi qu'une sortie de contrôle pour chacun des détecteurs.

4.1.2 *High-voltage supply unit*

The high voltage for the PMTs, which is usually about 1 200 V d.c., should be constant within ± 1 V at any operating temperature.

4.1.3 *Spectrum stabilization*

Active spectrum stabilization systems such as artificial pulsed light flashes (PIN diodes) or reference sources such as ^{133}Ba (0,356 MeV) may be included in the detector casing.

4.1.4 *Upward-looking detector*

Some systems are equipped with a second upward-looking detector to detect airborne ^{222}Rn activity. They are shielded downwards and half sideways by 50 mm of lead to reduce 2,6 MeV ground γ radiation down to a value < 20 %.

4.1.5 *Access to gain control*

The control of preamplifier gain and focus voltage of all PMTs should be accessible through a separate covered port hole without destroying the temperature insulation.

4.1.6 *Requirements for output signals*

Output signals should be linear from 0 V to 10 V; the Gaussian pulse shape should be approximately 1 μs wide.

4.1.7 *Resolution*

Proper resolution of the individual crystals as well as of the systems should be checked. It is preferable that the resolution of the system not exceed 0,12 (12 %).

4.2 *System electronics*

4.2.1 *Summing amplifier (SA)*

Typically the output pulses of each of the PMT line drivers are fed to the summing amplifier and are amplified proportionally to the proper pulse amplitude required by the succeeding electronics. The summing should not lead to a degradation in resolution greater than 1 %.

Each PMT can be disconnected individually for calibration/control purposes. Each line should be adjustable in gain (0,5 to 1,5) by its own potentiometer, as well as the sum of lines. Additional potentiometers shall be available for setting the lower and upper range limits of the system.

The output signal of the summed pulses should be from 0 V to 10 V for the gamma ray energy range from 0 MeV to 3 MeV.

Three 4-core input lines for downward-detectors and one two-core input line for upward-detectors should be available as well as a summed output line for each detector.

Les réglages d'étalonnage doivent être effectués manuellement afin d'ajuster, à la valeur correspondante, les amplitudes de sortie de chaque détecteur, avec au moins deux sources parmi: ^{137}Cs , ^{226}Ra (^{214}Bi), ^{228}Th (^{208}Tl).

4.2.2 Interface et unité de traitement de données

Cette unité reçoit tous les signaux de données issus des différents circuits et les conditionne en dimension, forme et séquence pour être en accord avec les unités de traitement comme les échelles de comptage, analyseurs multicanaux, enregistreurs analogiques multitraces et enregistreurs à bande magnétique. Cette unité comprend aussi une base de temps pour fixer le temps de présélection de comptage, ainsi que les intervalles de temps de lecture, visualisation et stockage des données. La stabilité de cette horloge de base doit être de $\pm 0,1\%$ et toutes les conversions d'entrée-sortie doivent être assurées dans un domaine de températures compris entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Deux types d'acquisition de données sont utilisés: un système à quatre canaux et un multicanal avec enregistrement.

4.2.2.1 Enregistrement avec quatre canaux d'énergie

Pour les quatre canaux d'énergie utilisant les cristaux NaI, les fenêtres suivantes peuvent être sélectionnées:

Potassium ^{40}K = 1,46 MeV, fenêtre: 1,36 - 1,56 MeV
 Uranium ^{214}Bi = 1,76 MeV, fenêtre: 1,66 - 1,86 MeV
 Thorium ^{208}Tl = 2,62 MeV, fenêtre: 2,41 - 2,81 MeV
 Comptage total fenêtre: 0,41 - 3,00 MeV

D'autres fenêtres d'énergie peuvent être sélectionnées pour la détection d'autres radiations. Les comptages obtenus, pendant les intervalles de temps de 0,5 s, 1 s ou 2 s, sont enregistrés par les quatre échelles et doivent être immédiatement transférés dans une mémoire tampon et stockés sur la bande magnétique, au cours de la période de comptage suivante.

4.2.2.2 Enregistrement en multicanal

Les impulsions des détecteurs sont adressées à un AMC* qui permet de visualiser le spectre énergétique gamma complet sur un écran. Les contenus enregistrés pour chaque canal doivent être transférés sur une bande magnétique à intervalle échantillonné.

Cette dernière méthode exige le traitement rapide d'un grand nombre de données, mais elle offre plus de facilités pour l'évaluation des données en direct et en temps différé.

4.2.2.3 Recommandations complémentaires

Il est vivement recommandé d'utiliser un AMC au moins comme contrôle, et mieux encore pour enregistrer les données acquises. L'enregistrement du spectre gamma complet (entre 0,3 MeV et 2,9 MeV) n'est pas seulement un procédé plus sophistiqué et entraînant une meilleure résolution spatiale, mais il permet, principalement, d'effectuer des corrections après le vol dans le cas où se produiraient des dérives en canaux, sans perte de précision. La méthode des quatre fenêtres de comptage souffre beaucoup de l'impossibilité d'effectuer ces dernières corrections.

* AMC: analyseur multicanal.

Calibration controls shall be made manually by adjusting each detector output signal peak to the proper position of at least two test sources: ^{137}Cs , ^{226}Ra (^{214}Bi), ^{228}Th (^{208}Tl).

4.2.2 Interface and data processing unit

This unit accepts all signals from the data producing components and converts them in size, shape and sequence as required by the output units such as digital counters or multichannel analyzers, analog multitrack recorders and magnetic tape recorders. It also contains a timing unit to control the preselected signal collection time as well as the time interval of data reading, displaying and storing. This internal clock shall be stable within $\pm 0,1\%$ and all input-output conversions shall be assured within a temperature range from 0°C to 40°C .

There are two types of data collection in use: a four-channel and a multichannel recording.

4.2.2.1 Four-channel recording

For typically four-energy channel recording using NaI-crystals, the following windows may be used:

Potassium ^{40}K = 1,46 MeV, window: 1,36 - 1,56 MeV
Uranium ^{214}Bi = 1,76 MeV, window: 1,66 - 1,86 MeV
Thorium ^{208}Tl = 2,62 MeV, window: 2,41 - 2,81 MeV
Total count window: 0,41 - 3,00 MeV

Other energy windows may be selected for detection of other radiation. The counts collected within time intervals of 0,5 s, 1 s or 2 s are shown on four digital counters and shall be immediately transferred to a buffer and stored on the magnetic tape during the next counting period.

4.2.2.2 Multichannel recording

The detector pulses are fed to an MCA* which shows the complete gamma energy spectrum on a display. The number of counts of each channel shall be transferred to the magnetic tape at a sampling interval.

This method requires rapid processing of large numbers of data but it offers a much more flexible on-line and off-line data evaluation.

4.2.2.3 Further recommendations

It is strongly recommended to use an MCA at least for monitoring but even better for recording of acquired data. The recording of the full gamma spectrum (a range of at least 0,3 MeV to 2,9 MeV) gives not only a more sophisticated processing thus achieving higher spatial resolution, but it mainly enables post-flight channel correction in case of the occurrence of channel shifts without loss of accuracy. The four-window method suffers severely from the lack of the latter facility.

* MCA: Multichannel analyzer.

L'enregistrement digital est actuellement obligatoire; en conséquence, un convertisseur analogique digital (CAN) pour l'amplitude des impulsions (énergie) est recommandé dans le but d'accumuler les impulsions individuelles selon leur énergie ou canal propre.

Une identification et un étalonnage faciles du système sont donnés en choisissant une largeur par canal de 10 keV et un rapport constant de 100 entre le nombre de canaux et l'énergie en MeV.

Si un système orienté vers l'espace est utilisé, on a besoin d'un deuxième convertisseur CAN. Dans ce cas, un dépassement d'adresse de canal de 512 est ajouté aux résultats du système orienté vers l'espace pour adjoindre une mise en mémoire des données à celle du système principal sur une mémoire de 1 K mot de 16 bits pouvant être transférée sur bande magnétique.

La conversion analogique digitale est assurée par un convertisseur rapide du type «WILKINSON» dont la fréquence horloge est au moins de 50 MHz.

Par exemple, en prenant un convertisseur à 100 MHz et en supposant un temps de 3,5 µs pour transférer le résultat en mémoire, le système présente un temps mort (TM) en µs/s, pendant lequel les impulsions d'entrée sont perdues, qui est:

$$TM = 3,5 \sum_{a}^{b} N_i + 0,01 \sum_{a}^{b} i N_i$$

où

i est le numéro du canal

N_i est le taux de comptage en coups par seconde dans le canal i pendant le temps d'échantillonnage

a est $i_{\min}$ du spectre sélectionné

b est $i_{\max}$ du spectre sélectionné

$$N'_i = \frac{N_i}{1 - TM \cdot 10^{-6}}$$

N'_i est le taux de comptage corrigé des pertes par temps mort. Les pertes typiques pour un détecteur de 50 l sont ≤ 3 %.

Afin d'éviter des pertes plus considérables par temps mort pendant le transfert des données de la mémoire vers l'enregistreur à bande magnétique, une double mémoire est utilisée pour alterner les stockages en cadence avec les temps de comptage.

Le spectre numérisé est actualisé et présenté, simultanément sur un écran cathodique, en cadence avec les temps de comptage, dans le but de faciliter les contrôles et les étalonnages.

4.3 Réglages du système

4.3.1 Photomultiplicateurs

Les tensions de réglage de l'optique d'entrée et du gain doivent être en accord avec les spécifications du constructeur.

Today digital recording is obligatory, so consequently, a fast A/D conversion of the pulses for their amplitude (energy) is recommended with the aim of properly accumulating the individual pulses according to their energy or channel.

An easy identification and easy calibration of the system are given once a channel width of 10 keV is chosen and the channel number and energy in MeV show a constant ratio of 100.

If an upward-looking system is used, a second A/D converter is needed. In this case, a channel address offset of 512 is added to the results of the up-system for joint digital storage with the main system on a dual 1 K 16-bit memory prior to tape recording.

The fast WILKINSON A/D converter is used with a clock frequency of at least 50 MHz.

For example, using a 100 MHz A/D converter and with a time needed of 3,5 μ s for adding the 16-bit results to the memory, the system shows a relative dead time (DT), in μ s/s, during which pulses are lost, which is expressed as:

$$DT = 3,5 \sum_a^b N_i + 0,01 \sum_a^b i N_i$$

where

i is the channel number

N_i is the count rate in counts per s in channel i during set sampling time

a is the $i_{\min}$ of used spectrum

b is the $i_{\max}$ of used spectrum

$$N'_i = \frac{N_i}{1 - DT \cdot 10^{-6}}$$

N'_i is the count rate corrected for dead time losses. Typical DT loss of a 50-litre system is ≤ 3 %.

In order to avoid larger dead time during data transfer from the memory to the digital tape recorder, a dual memory operation is applied for alternate storage with the sampling rate.

The achieved digital spectrum is simultaneously displayed and refreshed with the sampling rate on a cathode ray tube for monitoring and calibration purposes.

4.3 System adjustment

4.3.1 Photomultipliers

Focus voltage and gain shall be set according to the manufacturer's specification.

4.3.2 Ajustement du gain

Il y a lieu d'utiliser des sources d'essais pour basse énergie (^{137}Cs à 0,662 MeV) et haute énergie (^{208}Tl à 2,62 MeV) pour l'étalonnage en canaux du spectre.

Il convient de vérifier la résolution individuelle de chaque ensemble cristal/PM à intervalle de trois mois (valeur 8 % à 12 %).

Journellement, avant et après chaque vol, le contrôle individuel des cristaux sera effectué avec trois enregistrements de durée de 120 s et répété sans source, avec une source de ^{214}Bi et avec une source de ^{208}Tl .

4.4 Détermination de l'altitude de vol et de la localisation géographique

Afin d'obtenir la distribution spatiale de la concentration des radioéléments, chaque mesure des taux de comptage doit être référencée avec la localisation géographique exacte. Cela peut être fait en enregistrant le plan de vol en utilisant une caméra-vidéo et par corrélation avec les photos aériennes, en reportant manuellement les informations sur une carte spécifique ou en utilisant un système de navigation électronique tel qu'un radar Doppler.

4.4.1 Système de navigation Doppler

La précision du système de navigation Doppler est principalement influencée par la référence de base. En pratique, une précision globale meilleure que 1 % sur la distance le long du parcours semble réaliste. Pour cela, il convient de considérer les points suivants au cours du plan de réalisation d'un relevé géophysique par technique aérienne.

- Il convient que la distance de la ligne de vol soit corrélée avec la distance entre les lignes interceptées. Comme règle générale, il y a lieu que la distance entre chaque point des relevés soit prise égale à environ 1 % de la distance entre ces lignes.
- Avant et après chaque ligne relevée, l'hélicoptère ou l'avion passera sur une position fixe. Les coordonnées de ces positions fixes seront déterminées aussi précisément que possible avant le départ du vol fixé. Aussitôt qu'une position fixe sera passée, le système de navigation Doppler sera remis à jour.
- A la fin d'une ligne de vol, l'erreur de transversale (erreur de distance perpendiculaire à la direction du vol) au-dessus de la position fixe sera mesurée. Si, pour une direction de vol, l'erreur transversale est toujours dans le même sens, cela indique une possibilité d'ajustement des références de base. Cette erreur peut être minimisée par de petites corrections de variations qui sont à fournir au calculateur du système Doppler avant le commencement de chaque vol.
- Si la variation optimale pour une direction de vol diffère de la variation de la direction opposée par $0,5^\circ$ ou plus, un réajustement des références de base du système est nécessaire.
- L'erreur de positionnement, au point fixe, sera corrigée par rapport aux coordonnées Doppler en utilisant une loi d'interpolation linéaire.

D'autres systèmes de navigation peuvent être appliqués.

4.5 Système de mémorisation des données

Après chaque période de mesure (par exemple, une fois par seconde), la donnée radiométrique (quatre dans le cas du système à quatre canaux, jusqu'à plusieurs milliers dans le cas d'un AMC) aussi bien que la hauteur du vol au-dessus du sol et la localisation

4.3.2 Gain setting

Test sources for low energy (^{137}Cs at 0,662 MeV) and high energy (^{208}Tl at 2,62 MeV) should be used for calibration of spectrum channels.

Resolution of the individual crystals/photomultipliers should be checked at intervals of three months (8 % to 12 %).

On a daily basis for prior and post flight, the setting of the individual crystals should be tested for proper operation by three 120 s system records and replay without a source, with a ^{214}Bi source and with a ^{208}Tl source.

4.4 Determination of flight altitude and geographic location

In order to obtain the spatial distribution of the radioactive element concentration, each measurement shall be labelled with the exact geographical location. This may be done by recording the flight-path using a strip camera or a video camera and by correlation with aerial photos and manual reconstruction of the actual flight-path on a suitable map or from an electronic navigation system such as Doppler radar.

4.4.1 Doppler navigation system

The accuracy of the Doppler navigation system is mainly influenced by the heading reference. In practice, an overall accuracy better than 1 % of distance travelled seems to be realistic. Therefore, the following points should be considered during planning and realization of an airborne geophysical survey.

- The length of the flight lines should correlate to the distance between the lines. As a rule of thumb, the distance between survey lines should be about 1 % of the length of these lines.
- Before and after each survey line, the helicopter or aircraft shall pass a position fix. The coordinates of these position fixes shall be determined as precisely as possible before starting the survey flight. As soon as a position fix is passed, the Doppler navigation system shall be updated.
- After finishing a flight line, the cross error (distance error perpendicular to flight direction) over the position fix shall be checked. If, for one flight direction, the cross error is always in the same direction, it indicates an adjustment error of the heading reference. This error can be minimized by small corrections of the variation which shall be given to the computer of the Doppler system before the beginning of each flight.
- If the optimum variation for a flight direction differs from the variation for the opposite direction by 0,5° or more, a readjustment of the heading reference system will be necessary.
- The positioning error at the position fixes shall be removed from the Doppler coordinates using linear interpolation.

Other navigation systems may be used.

4.5 Data storage system

After each measuring period (e.g. once per second) the radiometric data (four in case of a four-channel system; up to several thousand in case of an MCA) as well as flight height above ground and geographic location provided from the navigation system shall be stored

géographique provenant du système de navigation doivent être enregistrées sur une bande magnétique. Le système doit effectuer une «lecture après écriture» qui permet le contrôle, par comparaison de la donnée stockée avec la donnée originale obtenue après chaque transfert d'information de l'unité d'acquisition vers l'enregistreur à bande magnétique.

Etant donné que, d'une part, le taux d'échantillonnage est lié à la vitesse de vol et à l'altitude et que, d'autre part, le comptage statistique est lui-même dépendant du taux d'échantillonnage et de la sensibilité, la détermination de l'un de ces paramètres peut être effectuée en optimisant les autres.

4.6 Spécifications à porter dans les manuels d'instruction

La CEI 278 prescrit le manuel d'instruction comme un document obligatoire. Ce manuel d'instruction doit contenir les informations nécessaires, pour une application correcte en ce qui concerne les tests, les opérations de maintenance et de réparations de l'appareillage et pour la compréhension de son fonctionnement.

4.7 Unité de traitement des données

4.7.1 Réduction du bruit de fond

Chaque fenêtre d'énergie enregistre un certain bruit de fond comme un taux de comptage sans U, Th, ou K présents dans le sol. Ces bruits de fond sont issus de deux sources: un rayonnement constant de l'avion et des matériaux composants de l'appareillage et une composante variant avec l'altitude produite par les radiations cosmiques. Ces bruits de fond doivent être déterminés expérimentalement par des vols à altitude suffisamment élevée et à différents niveaux, où la radiation terrestre est insignifiante (de préférence au-dessus de nappes d'eau). Il convient de les soustraire des taux de comptage pour obtenir des taux de comptage nets. Etant donné qu'il existe une relation linéaire entre taux de comptage pour des énergies >3 MeV (N_3) et les bruits de fond dans les fenêtres K, U, Th et les taux de comptage enregistrés dans les fenêtres (b_K , b_U , b_T , b_{Tot}),

$$b_T = b_{T0} + a_T N_3$$

$$b_U = b_{U0} + a_U N_3$$

$$b_K = b_{K0} + a_K N_3$$

$$b_{Tot} = b_{Tot0} + a_{Tot} N_3$$

une correction automatique du bruit de fond est possible; a_x et b_{x0} ($x = T, U, K, Tot$) sont des constantes expérimentales.

4.7.2 Normalisation en fonction de l'altitude

L'intensité de radiation $I(h)$ mesurée à une altitude h au-dessus d'un plan infini de radio-activité homogène est donnée par:

$$I(h) = K \int_h^{\infty} \frac{e^{-\mu x}}{x^2} dx = K E_2(h)$$

safely on a magnetic tape. The system shall have a "read after write" head which allows a check by comparison of the stored data set with the original data set after each data transfer from data handling unit to tape recorder.

Since from one side, the sampling rate is related to the velocity of flight and altitude and from the other side, the counting statistics are dependent on the sampling rate and sensitivity, the determination of one of these parameters may be done by optimizing the others.

4.6 Specifications to be given in instruction manuals

IEC 278 requires the instruction manual to be a mandatory document. This instruction manual shall contain the information necessary for the correct application, tests, operation maintenance and repair of the apparatus and for understanding its operation.

4.7 Data processing

4.7.1 Background reduction

Each energy window registers a certain background i.e. a count rate without U, Th or K present in the ground. These backgrounds have two sources: a constant radiation from aircraft and instrument material and an altitude dependent component produced by cosmic radiation. These backgrounds shall be determined experimentally by multi-level flights at sufficient altitudes where terrestrial radiation is insignificant, preferably over water. They should be subtracted from the corresponding count rates to obtain the net count rates. Since there exists a linear relationship between the count rates >3 MeV (N_3) and backgrounds in the K, U, Th and total count windows (b_K , b_U , b_T , b_{Tot}),

$$b_T = b_{T0} + a_T N_3$$

$$b_U = b_{U0} + a_U N_3$$

$$b_K = b_{K0} + a_K N_3$$

$$b_{Tot} = b_{Tot0} + a_{Tot} N_3$$

an automatic background correction is possible; a_x and b_{x0} ($x = T, U, K, Tot$) are experimental constants.

4.7.2 Altitude normalization

The radiation intensity $I(h)$ measured at an altitude h above an infinite plane of a homogeneous radioactivity is given by:

$$I(h) = K \int_h^{\infty} \frac{e^{-\mu x}}{x^2} dx = K E_2(h)$$

où $E_2(h)$ est une fonction tabulée, K l'intensité au niveau du sol et μ le coefficient d'absorption de l'air, dépendant de l'énergie gamma. Cette équation peut être approximée dans certaines limites de variation d'altitude de ± 25 m par une fonction exponentielle:

$$I(h) \approx K'e^{-\mu'h}$$

où K' et μ' sont des constantes expérimentales.

Les lectures, prises à différentes hauteurs (h), seront corrigées à la valeur nominale au niveau du sol ou à hauteur zéro, en utilisant la formule de correction mentionnée ci-dessus. Le coefficient d'absorption de l'air μ (ou μ') dépend évidemment de la pression barométrique et de l'humidité contenue et il convient de le calculer pour chaque condition météorologique ou de le déterminer expérimentalement par vols ascendants avec un hélicoptère.

4.7.3 Réduction des fluctuations statistiques

Le nombre de coups du comptage N obtenu à chaque période de comptage (par exemple chaque seconde) dans les différentes fenêtres d'énergie, présente un bruit statistique

$\sigma(N) = \sqrt{N}$. Ce bruit peut être réduit par utilisation d'un filtre digital et le nombre $\bar{N}_i$ lissé peut être calculé¹⁾:

$$\bar{N}_i = \sum_{K=-n}^{+n} w_K N_{i+K}$$

avec $\sum_{K=-n}^{+n} w_K = 1$

Les nombres mesurés des coups avant et après une valeur individuelle N_i sont utilisés pour améliorer la validité de N_i . L'AIEA²⁾ recommande les filtres à 7 points ($n = 3$) avec les facteurs de poids w_K suivants:

$$w_0 = 0,312$$

$$w_{\pm 1} = 0,234$$

$$w_{\pm 2} = 0,094$$

$$w_{\pm 3} = 0,016$$

D'autres filtres digitaux peuvent être utilisés. Il convient de vérifier que l'application de ces filtres n'apporte pas de distorsion d'un point source, mesuré de manière aberrante en altitude nominale de vol, de plus de 25 %.

4.7.4 Correction due à l'effet Compton

Les γ diffusés par effet Compton ainsi que ceux issus des pics d'énergies plus basses sont enregistrés également dans les fenêtres U et K; dans la fenêtre U, les γ du Th, dans

1) Voir le Rapport technique AIEA 186, page 61.

2) Agence Internationale de l'Energie Atomique.

where $E_2(h)$ is a tabulated function, K is the intensity at ground level and μ is the absorption coefficient of air depending on the gamma energy. This equation may be approximated at a certain limited altitude range of ± 25 m by an exponential function:

$$I(h) \approx K'e^{-\mu'h}$$

where K' and μ' are experimental constants.

Reading taken at different heights shall be corrected to a constant nominal flight height to ground level or to zero height using the above mentioned correction formula. The absorption coefficient of air μ (or μ') depends slightly on the barometric pressure and the moisture content and should be calculated for each meteorologic condition or determined experimentally by ascending flights with a helicopter.

4.7.3 Reduction of statistical noise

The number of counts N obtained during each counting period (e.g. each second) in the different energy windows shows a statistical noise of $\sigma(N) = \sqrt{N}$. This noise can be reduced by application of a digital filter and the smoothed count number $\bar{N}_i$ is then calculated¹⁾:

$$\bar{N}_i = \sum_{K=-n}^{+n} w_K N_{i+K}$$

with $\sum_{K=-n}^{+n} w_K = 1$

The measured numbers of counts before and after one individual value N_i are used to improve the reliability of N_i . The IAEA²⁾ recommends a 7-point filter ($n = 3$) with weight-factors w_K as follows:

$$w_0 = 0,312$$

$$w_{\pm 1} = 0,234$$

$$w_{\pm 2} = 0,094$$

$$w_{\pm 3} = 0,016$$

Other digital filters may be used. It should be shown that the application of these filters does not distort a point source anomaly measured in nominal flight altitude by more than 25 %.

4.7.4 Compton correction

Due to Compton scattering and lower energy peaks, the K- and U-windows collect additional counts. The γ -quanta of Th are recorded in the U-window, and the U and Th

1) See the IAEA Technical Report No. 186, page 61.

2) International Atomic Energy Agency.

la fenêtre K, ceux de U et Th. Afin d'obtenir l'intensité des radiations des radioéléments caractéristiques de l'énergie de la fenêtre considérée seulement, la contribution due aux deux autres composantes doit être soustraite (stripping) de telle sorte que les taux de comptage vrais n_T , n_U , n_K (corrigés du bruit de fond) soient réduits à n_T' , n_U' et n_K' comme suit:

$$n_T' = n_T - bn_U' = \frac{1}{1 - \alpha b} (n_T - bn_U)$$

$$n_U' = n_U - \alpha n_T' = \frac{1}{1 - \alpha b} (n_U - \alpha n_T)$$

$$n_K' = n_K - \beta n_T' - \gamma n_U'$$

Les facteurs de soustraction α , β , γ et b sont déterminés sur l'aire d'étalonnage (voir article 5). Ils dépendent un peu de l'altitude du vol (voir par exemple Rapport technique AIEA 186). Il y a lieu de déterminer cette dépendance soit par calcul soit expérimentalement. Dans ce cas, le n_U' n'est pas corrigé pour le ^{222}Rn de l'air ambiant.

4.7.5 Conversion en unités absolues

Après application des formules de correction (voir 4.7.1 à 4.7.4), les résultats sont encore exprimés en taux de comptage. Pour convertir ces taux de comptage n_T' , n_U' , n_K' , n_{Tot}' en équivalence de concentration, ils doivent être divisés par les sensibilités S_K , S_U , S_T et S_{Tot} qui doivent être déterminées expérimentalement (voir articles 5 et 4.8.1). Les résultats finaux seront donnés comme suit:

$$K = \frac{n_K'}{S_K} \quad (\% \text{ K ou } ^\circ/\text{oo K})$$

$$U = \frac{n_U'}{S_U} \quad (\text{ppm U})$$

$$T = \frac{n_T'}{S_T} \quad (\text{ppm Th})$$

$$\text{Tot} = \frac{n_{\text{Tot}}'}{S_{\text{Tot}}} \quad (\text{Ur})$$

Pour de grands cristaux (>6 l), les sensibilités par 1 000 cm³ de NaI sont approximativement:

$$S_K = 7 \quad (\text{cps}/\% \text{ K})$$

$$S_U = 0,65 \quad (\text{cps/ppm eU})$$

$$S_T = 0,34 \quad (\text{cps/ppm eTh})$$

$$S_{\text{Tot}} = 15 \quad (\text{cps/ppm Ur})$$

gammas are recorded in the K-window. In order to obtain the radiation intensity of the radioelement characteristic of the particular energy window only, the contribution of the other two components shall be subtracted (stripped) such that the gross count rate n_T , n_U and n_K (corrected for background) are reduced to n_T' , n_U' and n_K' as follows:

$$n_T' = n_T - bn_U' = \frac{1}{1 - \alpha b} (n_T - bn_U)$$

$$n_U' = n_U - \alpha n_T' = \frac{1}{1 - \alpha b} (n_U - \alpha n_T)$$

$$n_K' = n_K - \beta n_T' - \gamma n_U'$$

The stripping factors α , β , γ and b are determined on calibration pads (see clause 5). They depend slightly on the flight altitude (see, for example, IAEA Technical Report No. 186). This dependence should be determined either by calculation or by experiment. In this case, the n_U' is not corrected for airborne ^{222}Rn .

4.7.5 Conversion into absolute units

After application of the corrections (see 4.7.1 to 4.7.4), the results are still given in count rates. In order to convert these count rates n_T' , n_U' , n_K' , n_{Tot}' into equivalent concentrations, they shall be divided by the sensitivities, S_K , S_U , S_T and S_{Tot} , which shall be determined experimentally (see clause 5 and 4.8.1). The final results are given as:

$$K = \frac{n_K'}{S_K} \quad (\% \text{ K or } ^\circ/\text{oo K})$$

$$U = \frac{n_U'}{S_U} \quad (\text{ppm U})$$

$$T = \frac{n_T'}{S_T} \quad (\text{ppm Th})$$

$$\text{Tot} = \frac{n_{\text{Tot}}'}{S_{\text{Tot}}} \quad (\text{Ur})$$

For large crystals (>6 l), the sensitivities per 1 000 cm³ of NaI are approximately the following:

$$S_K = 7 \quad (\text{cps}/\% \text{ K})$$

$$S_U = 0,65 \quad (\text{cps/ppm eU})$$

$$S_T = 0,34 \quad (\text{cps/ppm eTh})$$

$$S_{\text{Tot}} = 15 \quad (\text{cps/ppm Ur})$$

où cps signifie coups par seconde; eU et eTh représentent la concentration équivalente, homogène en U ou Th; d'un demi-espace infini que donne le taux de comptage mesuré au niveau du sol et 1 Ur est le taux de comptage total produit par tous les éléments radioactifs équivalents à 1 ppm U¹⁾.

4.8 Représentation des données radiométriques enregistrées

4.8.1 Unités

Il convient que le traitement des données radiométriques fournisse des données de sortie (résultats) dans les unités suivantes:

- a) pour des mesures géologiques: ppm eTh, ppm eU, % (ou ‰) K; Ur (pour le comptage total dans la fenêtre);
- b) pour des mesures d'environnement: $\mu\text{R/h}$ ou nGy/h ou mrem/a ou $1 \mu\text{R/h} = 8,33 \text{ mrem/a}$ pour des radiations gamma.

Le tableau suivant indique les relations existant entre les unités données ci-dessus²⁾ :

1 % eK	1 ppm eU	1 ppm eTh
13,0 nGy/h	5,39 nGy/h	2,70 nGy/h
2,5 Ur	1,0 Ur	0,50 Ur
15,0 nSv/h	6,2 nSv/h	3,1 nSv/h

4.8.2 Visualisation des données

Les données radiométriques et leurs positions géographiques sont normalement présentées sous la forme de:

- profils;
- cartes des lignes de contours.

Les profils seront présentés avec des échelles étalonnées, pour les abscisses en unités de longueur correspondant à la ligne de vol et pour les ordonnées, en unités de radiations (voir ci-dessus). Il convient de reporter la position des profils sur une carte topographique.

Il y a lieu que les cartes des lignes de contours, qui sont les représentations des résultats des radiations pour une certaine zone, contiennent:

- les lignes échantillonnées d'intensités de radiations (isorads);
- la position et la valeur des maxima ou des minima des intensités de radiations dans les surfaces fermées d'isorads;
- les lignes de vol actualisées;

1) Valeurs tirées des Rapports techniques AIEA 174 et 186.

2) Valeurs tirées du chapitre 5.3 du Rapport technique AIEA, série 174.

where cps is the number of counts per second; eU and eTh represent the equivalent concentrations of the homogeneous U or Th of an infinite half space which produces the measured count rate at ground level and 1 Ur is the total count rate produced by all radioactive elements equal to 1 ppm U¹⁾.

4.8 Representation of radiometric survey data

4.8.1 Units

Processing of the radiometric data should yield output data (results) in the following units:

- a) for geologic applications: ppm eTh, ppm eU, % (or ‰) K; Ur (for total count window);
- b) for environmental applications: $\mu\text{R/h}$ or nGy/h or mrem/a, where 1 $\mu\text{R/h}$ = 8,33 mrem/a for gamma radiation.

The following table shows the relationship between the above units²⁾:

1 % eK	1 ppm eU	1 ppm eTh
13,0 nGy/h	5,39 nGy/h	2,70 nGy/h
2,5 Ur	1,0 Ur	0,50 Ur
15,0 nSv/h	6,2 nSv/h	3,1 nSv/h

4.8.2 Data display

The radiometric data and their geographical position are normally presented in the form of:

- profiles;
- contour line maps.

Profiles require scaling of the abscissa in units of length along the flight-line; the ordinate shall be scaled in one of the above radiation units. The position of the profiles should be shown on a topographic map.

Contour line maps are representations of the radiation results within a certain area. They should contain:

- scaled lines of equal radiation intensity (isorades);
- position and value of maximum or minimum radiation intensity within areas of closed isorades;
- the actual flight-lines;

1) Numbers taken from IAEA Technical Reports No. 174 and No. 186.

2) These numbers are taken from IAEA Technical Report No. 174, Chapter 5.3.

- les caractéristiques topographiques de la surface relevée, de préférence une carte topographique et son échelle;
- une légende.

La légende doit contenir les informations suivantes:

- système de mesure, dimensions du cristal, taux d'échantillonnage, limites des fenêtres d'énergie;
- moyenne de l'altitude du vol au niveau du détecteur, vitesse au cours du vol, espace des lignes de vol;
- facteurs de réduction appliqués en fonction de l'altitude du vol, du Compton diffusé et de l'influence du bruit de fond;
- unités des paramètres fournis;
- mise à niveau des procédures (égalisation au cours des différents vols par soustraction d'une seule constante de base par «coupe de profil»);
- type de filtre utilisé (voir 4.7.3);
- méthode d'interpolation, espacement de la grille;
- dates des relevés;
- nom de la compagnie ayant effectué les mesures.

4.9 Conditions d'environnement

4.9.1 Froid et chaleur sèche

Le domaine d'utilisation pour tous les composants électroniques doit être compris entre + 10 °C et + 40 °C (domaine minimal).

4.9.2 Chaleur humide

Les instruments doivent être capables de fonctionner en chaleur humide avec 90 % d'humidité relative et à +40 °C pendant 12 h.

4.9.3 Basse pression de l'air

Les instruments doivent être capables de fonctionner sous une pression atmosphérique correspondant à une altitude de 4 000 m (= 61 610 Pa).

4.9.4 Etanchéité

Voir la CEI 421.

4.10 Prescriptions mécaniques

4.10.1 Catégories d'appareils

Les instruments de bord de l'instrumentation embarquée sont divisés en deux catégories:

- catégorie I: instruments destinés à être embarqués dans un fuselage d'avion ou d'hélicoptère;
- catégorie II: instruments destinés à être embarqués dans des containers à l'extérieur d'un avion ou d'un hélicoptère.

- topographical features of the survey area, preferably a topographical map and its scale;
- a legend.

The legend shall provide the following information:

- measuring system, crystal size, sampling rate, setting of energy window;
- average flight altitude of the detector, flight speed, line spacing;
- applied data reduction processes like flight altitude, Compton scatter and background reduction;
- units of the output parameters;
- levelling procedures (i.e. matching of different flights by removing a constant bias by "cross profiles");
- type of filter used (see 4.7.3);
- interpolation method, grid spacing;
- dates of survey;
- name of survey company.

4.9 *Environmental requirements*

4.9.1 *Cold and dry heat*

The rated range of use for all electronic components shall be from + 10 °C to + 40 °C (minimum range).

4.9.2 *Damp heat*

The instrument shall be able to operate at a damp heat of up to 90 % relative humidity at + 40 °C for 12 h.

4.9.3 *Low air pressure*

The instruments shall be able to operate at an air pressure corresponding to 4 000 m altitude (= 61 610 Pa).

4.9.4 *Waterproof*

See IEC 421.

4.10 *Mechanical requirements*

4.10.1 *Categories of instruments*

The onboard instruments of airborne instrumentation are divided into two categories:

- category I: instruments to be mounted within a fuselage of an airplane or a helicopter;
- category II: instruments to be mounted in containers outside an airplane or a helicopter.

4.10.2 Capacité de survie aux chocs et aux vibrations

Les appareils doivent être résistants aux chocs et aux vibrations, ce qui veut dire qu'en régime de marche, ils doivent résister sans dommage aux vibrations et aux chocs mentionnés dans le tableau 1 et que, arrêtés, leurs performances doivent être tenues dans les limites spécifiées dans le cahier des charges.

Tableau 1 - Caractéristiques des conditions opérationnelles

Conditions d'essais	Paramètres d'influence		Valeurs des limites d'influence pour les appareils des catégories	
			I	II
Régime de marche	Vibration	Fréquence, Hz	10 - 70	10 - 70
		Maximum d'accélération, m/s ²	40	40
		Durée de l'essai, h	1	1
	Chocs	Nombre de chocs par minute	10 - 50	10 - 50
		Maximum d'accélération, m/s ²	100	150
		Durée des impulsions, ms	6 - 12,5	6 - 12,5
		Nombre total des chocs	2 000	2 000
Conditions limites pour le transport	Chocs	Maximum d'accélération, m/s ²	30	30
		Nombre de chocs par minute	80 - 120	80 - 120
		Durée de l'action, h	2	2

4.10.3 Sécurité opérationnelle lors de chocs et de vibrations

Les appareils prévus pour être utilisés dans des conditions d'actions mécaniques doivent être résistants aux chocs et aux vibrations; quand ils sont utilisés dans des conditions de chocs et de vibrations, ils doivent tenir leurs performances dans les limites indiquées pour les conditions opérationnelles, figurant dans le tableau 1.

4.10.4 Sécurité lors du transport

L'emballage des instruments pour le transport doit supporter tout type de transport normal.

NOTES

1 En cas de transport par air, il y a lieu que les instruments soient disposés dans un compartiment pressurisé.

2 Lors de la manipulation des instruments, il convient de ne pas avoir de traces de ciment, charbon, produits chimiques, etc., dans les wagons, containers, bennes de camions, caisses prévus pour le transport.

Les instruments emballés doivent résister sans dommage aux actions mécaniques correspondant à toutes les conditions de transport spécifiées dans le tableau 1.

4.10.2 Vibration and shock survival capability

The instruments shall be resistant to vibration and to shock, i.e. in the operating state they shall withstand, without damage, vibration and shocks according to table 1 and, when switched-off, they shall maintain their performance within the limits specified by the certificate.

Table 1 - Performance for operating conditions

Test conditions	Influence quantity		Values of influence quantities for the instruments of categories	
			I	II
Operating conditions	Vibration	Frequency, Hz	10 - 70	10 - 70
		Maximum acceleration, m/s ²	40	40
		Test duration, h	1	1
	Shocks	Number of shocks per minute	10 - 50	10 - 50
		Maximum acceleration, m/s ²	100	150
		Pulse duration, ms	6 - 12,5	6 - 12,5
		Total number of shocks	2 000	2 000
Limiting conditions of transportation	Shocks	Maximum acceleration, m/s ²	30	30
		Number of shocks per minute	80 - 120	80 - 120
		Duration of action, h	2	2

4.10.3 Operational shock and vibration security

The instruments intended for use under mechanical actions shall be resistant to vibration and shock, i.e. when used under vibration and shock conditions they shall maintain their performance within the limits given in table 1 for operating conditions.

4.10.4 Transportation security

The instruments shall be packed for transportation in such a way that they withstand shipping under normal conditions.

NOTES

- 1 In the case of shipment by air, the instruments should be placed in a pressurized compartment.
- 2 When instruments are transported in railway wagons, in trucks or in containers, these should not contain any traces of cement, coal, chemicals, etc.

The packed instruments shall withstand, without damage, mechanical actions corresponding to all transportation conditions as specified in table 1.

4.11 Méthodes pour les essais mécaniques

La totalité de la liste des essais mécaniques précisés par la présente norme est donnée dans le tableau 2.

Tableau 2 - Essais mécaniques

Caractéristiques des essais	Référence (paragraphe)	
	Prescriptions	Méthodes d'essais
1 Capacité de survie aux vibrations	4.10.2	4.11.4
2 Chocs	4.10.2	4.11.6
3 Résistance aux vibrations	4.10.3	4.11.5
4 Résistance aux chocs	4.10.3	4.11.7
5 Résistance aux efforts mécaniques pendant le transport	4.10.4	4.11.8

4.11.1 Les essais mentionnés aux points 2, 3 et 5 du tableau 2 sont obligatoires. La nécessité d'effectuer les essais mentionnés aux points 1 et 4 du tableau 2 est indiquée dans le cahier des charges pour un composant particulier.

4.11.2 La durée des essais dans le présent mode commence dès que les conditions d'essais auront été établies.

4.11.3 Si la masse, les dimensions hors tout et la réalisation des appareils ne permettent pas de mener les essais de l'ensemble complet comme un tout, au moyen des équipements d'essais existants, chaque unité peut être essayée séparément en conformité avec la présente norme, suivie par l'essai complet dans les conditions opérationnelles.

La procédure d'essais doit être mentionnée dans le cahier des charges.

4.11.4 Les essais pour l'évaluation de la capacité de résistance aux vibrations des appareils sont menés comme suit.

- Un examen externe (inspection visuelle) est effectué et les caractéristiques mentionnées dans le cahier des charges pour un essai donné sont mesurées.
- Les appareils sont fixés à la table de la machine d'essais (dans le cas où des absorbeurs de chocs sont disponibles, ils sont attachés aux instruments).
- Les vibrations sont effectuées selon trois axes perpendiculaires, s'il n'y a pas d'autres spécifications dans le cahier des charges.
- Les conditions d'essais sont en conformité avec le tableau 1.
- La fréquence des vibrations étant modifiée pour une direction, quand on change les fréquences spécifiées pour la gamme totale on admettra une pause d'au moins 2 min.
- Les fréquences indiquées, les accélérations des vibrations ou l'amplitude du mouvement, suivant la catégorie des appareils, sont réglées en accord avec le tableau 3.
- Il y a lieu que les fréquences de résonance apparaissant pour un ensemble ou un élément soient maintenues pendant au moins 2 min.

4.11 Mechanical test methods

The full list of mechanical tests specified in this standard is given in table 2.

Table 2 - Mechanical tests

Characteristic under test	Reference (subclause)	
	Requirements	Test methods
1 Vibration survival capability	4.10.2	4.11.4
2 Shocks	4.10.2	4.11.6
3 Vibration resistance	4.10.3	4.11.5
4 Shock resistance	4.10.3	4.11.7
5 Mechanical resistance during transportation	4.10.4	4.11.8

4.11.1 The tests given in points 2, 3 and 5 of table 2 are compulsory. The need for the tests given in points 1 and 4 of table 2 is specified in the certificate for a particular device.

4.11.2 In the present mode, the test begins when the test conditions are established.

4.11.3 If the mass, overall dimensions and construction of the instruments do not allow the tests of the complete set to be carried out as a whole using the existing test equipment, each unit may then be tested separately, followed by a complete check under operating conditions which conform with this standard.

The procedure of the tests shall be specified in the certificate.

4.11.4 Tests for vibration survival capability of the instruments are carried out as follows.

- The external examination (visual inspection) is carried out and the characteristics, specified in the certificate for a given test type, are measured.
- The instruments are fixed to the table of the vibration testing machine (in case shock-absorbers are available, the instruments are attached to them).
- The vibration is performed in three normal directions, unless otherwise specified in the certificate.
- The test conditions conform to those in table 1.
- The vibration frequency is changed in one direction; when changing the specified frequencies of the total range, there shall be a pause of not less than 2 min.
- Fixed frequencies and vibration accelerations or an amplitude of the movement, according to the category of the instruments, are set in accordance with table 3.
- Frequencies at which resonance of some assemblies or elements appears should be maintained for not less than 2 min.

- Il convient que la durée totale des conditions de vibration soit de 60 min. L'amplitude du mouvement en fonction de l'accélération et de la fréquence de la vibration est donnée par la formule:

$$S = \frac{1\,000\,a}{4\pi^2 f^2} = 25 \frac{a}{f^2}$$

où

S est l'amplitude du mouvement (moitié de l'oscillation) de la table vibrante, mm

a est l'accélération de la vibration (amplitude), m/s²

f est la fréquence de vibrations, Hz

En réglant ou en modifiant les paramètres de la table de vibrations, les erreurs admissibles ne doivent pas dépasser:

- en amplitude: $\pm (15 \% S \pm 0,05 \text{ mm})$;
- en accélération: $\pm 20 \%$;
- en fréquence: $\pm (10 \% f + 2 \text{ Hz})$.

Après les essais, les appareils sont enlevés de la table de vibrations et contrôlés en ce qui concerne les dommages mécaniques et/ou le relâchement des fixations.

Après mise en conditions normales pendant le temps indiqué dans le cahier des charges, il convient de mettre les appareils sous tension et de contrôler les caractéristiques techniques comme spécifié pour ce type d'essai.

Tableau 3 - Essai des appareillages pour la capacité de survie aux vibrations à différentes fréquences fixées

Fréquence fixe Hz	Conditions d'essais pour les catégories d'appareils			
	I		II	
	$a, \text{ m/s}^2$	$S, \text{ mm}$	$a, \text{ m/s}^2$	$S, \text{ mm}$
18	--	0,5 0,7	--	0,5 0,7
24	--	0,5 0,7	--	0,5 0,7
36	--	0,3 0,5	--	0,3 0,5
48	--	0,3 0,5	--	0,3 0,5
70	40	--	40	--

- The total duration of vibration conditions should be 60 min. The amplitude of movement at the set vibration acceleration is calculated by the formula:

$$S = \frac{1\,000\,a}{4\pi^2 f^2} = 25 \frac{a}{f^2}$$

where

S is the amplitude of movement (half a swing) of the vibration machine table, mm

a is the vibration acceleration (amplitude), m/s^2

f is the vibration frequency, Hz

In setting or changing the conditions of the variation table, the errors shall not be more than:

$\pm (15\% S \pm 0,05 \text{ mm})$ of amplitude;

$\pm 20\%$ of acceleration;

$\pm (10\% f + 2 \text{ Hz})$ of frequency.

After the tests, the instruments are removed from the vibration machine and checked for mechanical damage and slackened fixations.

After being maintained under normal operating conditions during the time specified in the certificate, the instruments should be switched on and the technical characteristics should be checked as specified for this test type.

Table 3 - Tests for vibration survival capability of instruments at various fixed frequencies

Test conditions for the instruments of categories				
Fixed frequency	I		II	
	Hz	$a, \text{m/s}^2$	$a, \text{m/s}^2$	S, mm
18		--	--	0,5
				0,7
24		--	--	0,5
				0,7
36		--	--	0,3
				0,5
48		--	--	0,3
				0,5
70		40	40	--

4.11.5 Les essais pour la résistance aux vibrations sont effectués comme suit.

- Effectuer l'examen extérieur (inspection visuelle) et tester les caractéristiques spécifiées dans le cahier des charges pour un type d'essai donné.
- Couper les appareils, les fixer solidement à la table vibrante dans une position convenable pour l'utilisation, mettre ensuite les appareils en service.
- Les essais sont effectués avec le changement lent de la fréquence pour les sous-gammes indiquées dans le tableau 4. Il y a lieu que le temps de positionnement dans les sous-gammes soit suffisant pour que l'essai et l'enregistrement des caractéristiques attendues selon le cahier des charges soient exécutés, mais pas inférieur à 3 min. L'amplitude du mouvement de la table de vibrations est calculée par la formule donnée en 4.11.4.
- A la détection des fréquences pour lesquelles il y a, au cours de l'essai, une instabilité et une détérioration des caractéristiques spécifiées, chacune de ces fréquences sera maintenue pendant un temps supérieur au cahier des charges mais pas inférieure à 5 min. La durée totale des conditions de vibration ne doit pas être inférieure à 60 min.
- Après les essais, les appareils sont coupés, enlevés de la table vibrante et examinés pour les dommages mécaniques éventuels et/ou des défauts de fixations.
- Après remise en état de l'ambiance normale pendant le temps indiqué dans le cahier des charges, il convient de mettre les appareils sous tension et de tester les spécifications techniques comme indiqué pour ce type d'essai.

4.11.6 Les essais aux chocs sont effectués comme suit.

- Après les mesures des caractéristiques techniques dans les conditions normales d'opération, les appareils sont coupés et fixés sur la machine à chocs dans une position convenable pour l'utilisation.
- La machine à chocs est mise en service.
- L'accélération pendant l'essai aux chocs, la durée d'impulsion du choc et un nombre de chocs sont appliqués conformément aux indications du tableau 1. La condition d'essais est déterminée selon le tableau s'appliquant à la machine à chocs ou à partir de systèmes avec une erreur admissible n'excédant pas 10 %.
- Après les essais, un examen externe (inspection visuelle) est effectué, les caractéristiques spécifiées dans le cahier des charges pour un essai type donné sont mesurées.
- Les appareils sont considérés comme ayant supporté les essais si, après les essais, il n'y a pas de dommages mécaniques et si les caractéristiques sont en conformité avec celles indiquées dans le cahier des charges pour un essai type donné.

4.11.5 Tests for resistance to vibration are carried out as follows.

- Carry out the external examination (visual inspection) and check the characteristics as specified in the certificate for a given test type.
- Switch off the instruments, fix them rigidly to the vibration machine table in a position suitable for use, then switch on the instruments.
- The tests are carried out by smooth changing of the frequency in the subranges according to table 4. The time of covering the subranges should be sufficient for the checking and the recording of the characteristics as specified in the certificate, but not less than 3 min. The amplitude of the vibration table movement is calculated by the formula given in 4.11.4.
- Upon detection of those frequencies at which there is an instability and a deterioration of the characteristics under test, each of these frequencies shall be maintained additionally for the time specified in the certificate, but not less than 5 min. The total duration of vibration conditions shall not be less than 60 min.
- After the tests, the instruments are switched off, removed from the vibration machine table and checked for mechanical damage and/or slackened fixations.
- After being maintained under normal operating conditions during the time specified in the certificate, the instruments should be switched on and the technical characteristics should be checked in accordance with this test type.

4.11.6 Tests for shocks are carried out as follows.

- After measurement of the technical characteristics under normal operating conditions, the instruments are switched off and fixed to the shock machine in a position suitable for use.
- The shock machine is then switched on.
- The acceleration during the test for shocks, the shock pulse duration and the number of shocks are set according to table 1. The test condition is determined according to the table applying the shock machine or by means of devices, with a permissible error of the measurement not exceeding 10 %.
- After the tests, an external examination (visual inspection) is carried out and the characteristics specified in the certificate for a given test type are measured.
- The instruments are considered to withstand the tests if, after the tests, there is no mechanical damage and their characteristics correspond to the requirements specified in the certificate for a given test type.

Tableau 4 - Essais pour les évaluations de la résistance aux vibrations à fréquences lentement variables

Fréquence Sous-gammes Hz	Conditions d'essais pour les catégories d'appareils I et II	
	a, m/s ²	S, mm
10 - 20	--	0,7
20 - 30	--	0,5
30 - 40	--	0,5
40 - 50	--	0,3
50 - 60	--	0,3
60 - 70	40	--

4.11.7 Les essais pour l'évaluation de la résistance aux chocs sont conduits comme suit.

- Après les mesures des caractéristiques techniques dans les conditions normales d'opération, les appareils sont coupés et fixés rigidement à la machine à chocs dans une position convenable pour l'utilisation.
- Les appareils sont mis en service et après avoir fixé le mode opératoire, la machine à chocs est mise en service.
- La condition d'essais est celle indiquée dans le tableau 1. Le temps d'essai doit être suffisant pour mesurer les caractéristiques spécifiées dans le cahier des charges pour un essai type donné.
- Les appareils sont considérés comme ayant supporté les essais si, pendant les conditions du choc, ils conservent les performances du cahier des charges pour un essai type donné et qu'après l'essai, il n'y a pas de dommages mécaniques apparents ni de relâchement des fixations.

4.11.8 Les essais pour la tenue mécanique pendant les transports sont effectués comme suit.

- Un examen externe (inspection visuelle) est réalisé et les caractéristiques indiquées dans le cahier des charges pour un essai type donné sont mesurées dans des conditions opérationnelles normales.
- Les appareils sont emballés en accord avec la documentation de la conception.
- Les appareils sont fixés à la machine d'essai dans une position de transport indiquée par un signe sur l'emballage.
- La condition d'essais est fixée selon le tableau 1 pour toutes les conditions de transport.
- Après les essais, un examen externe (inspection visuelle) est effectué afin de s'assurer qu'il n'y a pas de dommages mécaniques apparents et/ou de relâchement des attaches.
- Les appareils sont considérés comme ayant supporté les essais de tenue mécanique pendant le transport, si, après les essais, aucun dommage mécanique n'a été trouvé et que les caractéristiques mesurées correspondent au cahier des charges pour un essai type défini.

Table 4 - Tests for resistance to vibration
at smoothly changing frequencies

Frequency Subranges Hz	Test conditions for the instruments of categories I and II	
	a , m/s ²	S , mm
10 - 20	--	0,7
20 - 30	--	0,5
30 - 40	--	0,5
40 - 50	--	0,3
50 - 60	--	0,3
60 - 70	40	--

4.11.7 Tests for resistance to shock are carried out as follows.

- After measurement of the technical characteristics under normal operating conditions, the instruments are switched off and fixed rigidly to the shock machine in a position suitable for use.
- The instruments are switched on and after setting the operating mode the shock machine is switched on.
- The test condition is set according to table 1. The time of the test shall be sufficient for the measurement of the characteristics specified in the certificate for a given test type.
- The instruments are considered to withstand the tests if, during the shock condition, they meet the requirements of the certificate for a given test type and if after the test there is no mechanical damage and/or slackened fixations.

4.11.8 Tests for mechanical resistance during transportation are carried out as follows.

- An external examination (visual inspection) is carried out and the characteristics specified in the certificate for a given test type are measured under normal operating conditions.
- The instruments are packed in accordance with the design documentation.
- The instruments are fixed on the testing machine in the position indicated for transportation according to the sign on the box.
- The test condition is set according to table 1 for all conditions of transportation.
- After the tests, an external examination (visual inspection) is carried out to ensure that there is no mechanical damage and/or slackened fastenings.
- The instruments are considered to withstand the tests for strength during transportation if, after the tests, no mechanical damage has been found and the measurement characteristics correspond to the requirements of the certificate for a given test type.

5 Etalonnage

5.1 Modèles d'étalonnage

L'étalonnage des équipements aéroportés de mesures des rayonnements gamma* a lieu d'être effectué en utilisant au moins quatre différents modèles d'étalonnage de plus de 8 m de diamètre et 0,4 m d'épaisseur:

- un modèle bruit de fond avec faible concentration connue de tous les radio-éléments;
- un modèle uranium avec haute concentration en uranium (entre 40 et 80 ppm U) et basse concentration en thorium et potassium (<4 ppm en Th et <0,5 % en K);
- un modèle thorium haute concentration en thorium (50 à 120 ppm Th) et basse concentration en uranium (<4 ppm U) et potassium (<0,5 % en K);
- un modèle potassium haute concentration en potassium (5 - 8 % K) et basse concentration en uranium et thorium.

5.2 Mesures d'étalonnage

Les mesures sont effectuées en disposant le détecteur dans l'avion ou l'hélicoptère au centre de chaque modèle d'étalonnage pour établir les facteurs de conversion des comptages mesurés dans les fenêtres d'énergie correspondant aux activités K, U et Th, exprimés en valeurs absolues (voir 4.7.5) et calculer les facteurs de soustraction α , β , γ et b (voir 4.7.4). Il convient de tenir compte de la dépendance de ces facteurs avec l'altitude du vol. Les temps de comptage doivent être suffisamment longs pour réduire les erreurs relatives dues au comptage statistique, par un facteur d'au moins cinq au-dessous des erreurs relatives des concentrations du modèle.

Par un contrôle supplémentaire de l'étalonnage, on peut utiliser un terrain d'essai radio-métrique d'au moins 10 km de long et 2 km de large présentant des concentrations en uranium, thorium et potassium bien connues.

5.3 Calculs des facteurs d'étalonnage

On obtient les quatre ensembles de trois équations suivants (un pour chaque modèle):

$$\text{K-fenêtre: } N_K^i = a_{KK} C_K^i + a_{UK} C_U^i + a_{TK} C_T^i + b_K$$

$$\text{U-fenêtre: } N_U^i = a_{KU} C_K^i + a_{UU} C_U^i + a_{TU} C_T^i + b_U$$

$$\text{Th-fenêtre: } N_T^i = a_{KT} C_K^i + a_{UT} C_U^i + a_{TT} C_T^i + b_T$$

où les neuf coefficients a_{xy} représentent la fraction de la radiation de l'élément x dans la fenêtre d'énergie y ; b_y ($y = K, U, T$) est le bruit de fond dans la fenêtre d'énergie correspondante; N_y^i est le taux de comptage obtenu sur l'échantillon i ($i = 0, 1, 2, 3$) dans la fenêtre d'énergie y et C_y^i est la concentration de l'élément y dans l'échantillon i .

* Voir également les Rapports techniques AIEA 174 et 186.