

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 68-2-27

Deuxième édition — Second edition

1972

Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique

Deuxième partie Essais — Essai Ea Chocs

Basic environmental testing procedures

Part 2 Tests — Test Ea Shock



Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60068-2-27:1972

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1 Objet	6
2 Généralités	6
3 Conditions d'essai	8
3 1 Caractéristiques requises pour la machine à chocs	8
3 2 Chaîne de mesure	8
3 3 Montage	10
4 Sévérités	12
4 1 Accélération et durée de l'impulsion	12
5 Exécution de l'essai	12
5 1 Mesures initiales	12
5 2 Epreuve	14
5 3 Mesures finales	14
6 Informations à donner dans la spécification particulière	14
ANNEXE A : Spectres de chocs et autres caractéristiques des formes de chocs	16
FIGURES	26

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
 Clause	
1 Object	7
2 General	7
3 Conditions for testing	9
3 1 Characteristics of the shock machine	9
3 2 Measuring system	9
3 3 Mounting	11
4 Severities	13
4 1 Acceleration and duration of the pulse	13
5 Testing procedure	13
5 1 Initial measurements	13
5 2 Conditioning	15
5 3 Final measurements	15
6 Information to be given in the relevant specification	15
 APPENDIX A Shock spectra and other characteristics of pulse shapes	17
FIGURES	26

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES
ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE**

Deuxième partie: Essais — Essai Ea: Chocs

PRÉAMBULE

- 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

PRÉFACE

Cette deuxième édition de la Publication 68-2-27 comprend la première édition (1967) et le premier complément, Publication 68-2-27A (1968)

La première édition de la présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 50A: Essais de chocs et de vibrations, du Comité d'Etudes N° 50 de la CEI: Essais climatiques et mécaniques

Un premier projet a été discuté lors de la réunion tenue à Nice en 1962. Un projet entièrement nouveau a été discuté lors de la réunion tenue à Tokyo en 1965 à la suite de laquelle un projet définitif fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1966

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de la première édition:

Afrique du Sud	Israël
Allemagne	Italie
Australie	Japon
Autriche	Norvège
Belgique	Pologne
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Le Comité national suédois a exprimé un vote négatif en raison de l'absence d'une impulsion en dent de scie à pointe initiale. Pour le reste, le Comité national suédois est en faveur de la recommandation

Le premier complément a été établi par le Sous-Comité 50A: Essais de chocs et de vibrations, du Comité d'Etudes N° 50 de la CEI: Essais climatiques et mécaniques

Un premier projet a été discuté lors de la réunion tenue à Tokyo en 1965. Un deuxième projet a été discuté lors de la réunion tenue à Londres en 1966. A la suite de cette dernière réunion, un nouveau projet a été soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en avril 1967

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication du complément:

Afrique du Sud	Israël
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Turquie
Hongrie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES

Part 2: Tests — Test Ea: Shock

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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter

PREFACE

This second edition of Publication 68-2-27 combines the first edition (1967) and the first supplement, Publication 68-2-27A (1968)

The first edition of this recommendation was prepared by Sub-Committee 50A, Shock and Vibration Tests of IEC Technical Committee No 50, Environmental Testing

A first draft was discussed at the meeting held in Nice in 1962. A complete new draft was discussed at the meeting held in Tokyo in 1965 as a result of which a definitive draft was submitted to National Committees for approval under the Six Month's Rule in March 1966

The following countries voted explicitly in favour of publication of the first edition:

Australia	Italy
Austria	Japan
Belgium	Norway
Czechoslovakia	Poland
Denmark	South Africa
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Hungary	United Kingdom
Israel	United States of America

The Swedish National Committee cast a negative vote due to the absence of an initial peak saw-tooth pulse. In all other respects, the Swedish National Committee is in favour of the recommendation

The first supplement was prepared by Sub-Committee 50A, Shock and Vibration Tests, of IEC Technical Committee No 50, Environmental Testing

A first draft was discussed at the meeting held in Tokyo in 1965. A second draft was discussed at the meeting held in London in 1966. As a result of this latter meeting, a new draft was submitted to National Committees for approval under the Six Months' Rule in April 1967

The following countries voted explicitly in favour of publication of the supplement:

Australia	Norway
Austria	Poland
Belgium	South Africa
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Japan	United States of America

ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE

Deuxième partie: Essais — Essai Ea: Chocs

1 Objet

Cet essai a pour but de déterminer l'aptitude des composants et des matériels à être utilisés lorsqu'ils sont soumis à des chocs mécaniques non répétitifs et/ou de s'assurer de leur robustesse de structure

2 Généralités

Le but de cet essai de chocs est de simuler les effets de chocs non répétitifs et relativement peu fréquents auxquels les matériels et les composants sont susceptibles d'être soumis en service ou pendant leur transport. La simulation des chocs et des cahots continuellement répétés fait l'objet d'autres essais. De plus, l'essai de chocs peut être utilisé pour prouver la bonne conception du spécimen en ce qui concerne sa robustesse de structure.

La spécification particulière du composant ou du matériel considéré, ci-après dénommé spécimen, devra clairement indiquer si le spécimen doit fonctionner pendant les chocs ou s'il suffit qu'il soit encore en état de marche après l'essai de chocs. Dans les deux cas, la spécification particulière devra toujours prescrire les tolérances des caractéristiques de fonctionnement qui permettront de considérer le spécimen comme satisfaisant ou non.

Cet essai est en premier lieu destiné aux spécimens non emballés et aux objets placés dans leur coffret de transport quand ce dernier peut être considéré comme faisant partie du spécimen lui-même.

Pour cet essai, le spécimen est toujours fixé à la machine à chocs pendant l'épreuve.

Gardant présentes à l'esprit les techniques actuelles d'essais de chocs, cette spécification a été rédigée en prescrivant des formes d'impulsions assorties de tolérances. Comme on peut entrevoir qu'à une certaine époque, dans le futur, les spectres de chocs pourront être utilisés pour spécifier les exigences de l'essai, les spectres de chocs des formes d'impulsions incluses dans cette recommandation ont été donnés pour information dans l'annexe A.

L'impulsion semi-sinusoïdale, la dent de scie à pointe finale et l'impulsion trapézoïdale sont largement utilisées dans les essais mécaniques et toutes trois sont relativement faciles à produire. Le choix de la forme d'impulsion dépend de plusieurs facteurs et les difficultés inhérentes à un tel choix empêchent de donner un ordre de préférence dans cette recommandation.

Les caractéristiques des différentes formes d'impulsion sont exposées dans l'annexe A.

Lorsque la réponse en basse fréquence est seule intéressante, c'est-à-dire si le produit de la durée de l'impulsion par la plus haute fréquence considérée est inférieur à 0,2, n'importe quelle forme d'impulsion provoquant la même variation de vitesse peut être utilisée puisque les spectres de chocs ne diffèrent pas de façon significative dans cette gamme de fréquences.

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES

Part 2: Tests — Test Ea: Shock

1 Object

To determine the suitability of components and equipments for applications where they are subjected to non-repetitive mechanical shocks and/or to assess their structural integrity

2 General

The purpose of this shock test is to simulate the effects of relatively infrequent non-repetitive shocks likely to be encountered by equipments and components in service or during transportation. The simulation of continually repeated shocks and jolts is covered by other tests. In addition, the shock test may be used as a means of establishing the satisfactory design of the specimen so far as its structural integrity is concerned.

Whether an equipment or component, hereinafter referred to as a specimen, has to function during shock or merely to survive conditions of shock, should be clearly stated in the relevant specification. In either case, the relevant specification should always prescribe the acceptable tolerance on performance which allows the specimen to be considered satisfactory, or otherwise.

This test is primarily intended for unpackaged specimens and for items in their transport case when the latter may be considered as part of the specimen itself.

For the purpose of this test, the specimen is always fastened to the shock machine during conditioning.

Bearing in mind present-day techniques in shock testing, this specification has been written in terms of prescribed pulse shapes with tolerances. Since it is anticipated that at some time in the future shock spectra may be used to specify the requirements of the test, the spectra of the pulse shapes included in this recommendation have been given in Appendix A for information purposes.

The half-sine pulse, the final-peak saw-tooth and the trapezoidal pulse are widely used in environmental testing and all are relatively easy to generate. The choice of pulse shape depends on many factors, and the difficulties inherent in making such a choice preclude giving a preferred order in this recommendation.

The characteristics of the different pulse shapes are discussed in Appendix A.

Where low frequency response only is of interest, i.e. if the product of the pulse duration and the highest frequency concerned is smaller than 0.2, any pulse shape with equal velocity change may be used since the shock spectra do not significantly differ in this range.

3 Conditions d'essai

3 1 Caractéristiques requises pour la machine à chocs

Lorsque le spécimen est fixé sur la machine à chocs et que toutes les autres charges nécessaires sont placées en vue de l'exécution de l'épreuve, les chocs appliqués doivent avoir, au point de contrôle, les caractéristiques spécifiées ci-dessous

Dans certains cas, par exemple pour les charges fortement réactives, la spécification particulière peut admettre des tolérances moins sévères que celles que prescrit la présente recommandation

3 1 1 Formes fondamentales d'impulsions

La machine à chocs doit pouvoir produire une impulsion s'approchant de l'une des courbes nominales de l'accélération en fonction du temps tracées en traits interrompus sur les figures 2, 3 et 4, pages 27, 28, et 29

L'ordre dans lequel les formes d'impulsions sont données n'indique aucune préférence

Les points correspondants aux valeurs vraies de la courbe réelle doivent se trouver à l'intérieur des limites de tolérance fixées par les traits pleins de la figure correspondante

a) Dent de scie à pointe finale

Triangle asymétrique avec temps de descente court, conforme à la figure 2

b) Demi-sinusoïde

Demi-période sinusoïdale, conforme à la figure 3

c) Trapèze

Impulsion trapézoïdale avec temps de montée et de descente courts, conforme à la figure 4

3 1 2 Tolérance sur la variation de vitesse

Quelle que soit la forme de l'impulsion, la valeur réelle de la variation de vitesse doit être à $\pm 10\%$ près égale à celle qui correspond à l'impulsion nominale

Pour déterminer la variation de vitesse, l'impulsion réelle devrait être intégrée depuis le temps $0,4 D$ avant le début de l'impulsion, jusqu'au temps $0,1 D$ après la fin de l'impulsion, D étant la largeur de l'impulsion nominale (voir figures 2 à 4)

3 1 3 Mouvement transversal

Toute valeur d'accélération positive ou négative relevée au point de contrôle dans toute direction perpendiculaire à la direction du choc désiré ne doit pas excéder 30% de la valeur de l'accélération de crête de l'impulsion nominale dans la direction désirée, les relevés étant faits avec une chaîne de mesure conforme aux exigences du paragraphe 3 2

3 2 Chaîne de mesure

3 2 1 Contrôle du choc

L'impulsion du choc doit être mesurée avec un accéléromètre placé au point de contrôle. Ce point est le point de fixation du spécimen le plus proche du centre de la surface du plateau de la machine, à moins qu'il n'existe un autre point de fixation du spécimen plus rigidement lié à la table. Dans ce cas, c'est ce point qui doit être choisi.

3 Conditions for testing

3.1 Characteristics of the shock machine

When the shock machine and fixtures are loaded with the specimen and any other necessary load for the conditioning process, the applied shocks shall, at the monitoring point, have the characteristics specified below

In certain cases, for instance for highly reactive loads, the relevant specification may allow tolerances less severe than those specified in this recommendation

3.1.1 Basic pulse shapes

The shock machine shall be capable of generating a pulse approximating to one of the nominal acceleration versus time curves given by the dotted lines in Figures 2, 3 and 4, pages 27, 28 and 29

The order in which the pulse shapes are listed does not indicate any preference

The true value of the actual pulse shall be within the limit of tolerance as shown by the solid lines in the relevant figure

a) Final-peak saw-tooth

Asymmetrical triangle with short fall time, as shown in Figure 2

b) Half-sine

One-half cycle of a sine wave, as shown in Figure 3

c) Trapezoidal

With short rise and fall times, as shown in Figure 4

3.1.2 Velocity change tolerance

For all pulse shapes, the actual velocity change should be within $\pm 10\%$ of the value corresponding to the nominal pulse

To determine the velocity change, the actual pulse should be integrated from $0.4 D$ before the pulse to $0.1 D$ beyond the pulse, where D is the length of the nominal pulse (see Figures 2 to 4)

3.1.3 Transverse motion

The positive or negative peak acceleration at the monitoring point, perpendicular to the intended shock direction, shall not exceed at any time 30% of the value of the peak acceleration of the nominal pulse in the intended direction, when determined with a measuring system in accordance with Sub-clause 3.2

3.2 Measuring system

3.2.1 Monitoring

The shock pulse shall be measured by an accelerometer placed at the monitoring point. This point shall be the specimen fixing point nearest to the centre of the table surface, unless there is a specimen fixing point having a more rigid connection to the table, in which case this point shall be chosen

3 2 2 *Précision*

La précision de la chaîne de mesure doit être telle qu'on ait l'assurance que la valeur vraie de l'accélération est dans les tolérances données

3 2 3 *Caractéristiques en fonction de la fréquence*

La courbe de réponse en fréquence de l'ensemble de la chaîne de mesure, y compris l'accéléromètre, doit être dans les limites indiquées sur la figure 1, page 26

Note — S'il apparaît nécessaire d'utiliser des filtres pour réduire les effets de toute résonance à haute fréquence inhérente à l'accéléromètre, on pourra être amené, pour éviter la distorsion de l'onde reproduite, à examiner les caractéristiques d'amplitude et de phase de la chaîne de mesure

3 3 *Montage*

Le spécimen doit être fixé à la machine à chocs soit directement, soit au moyen d'un support comme spécifié plus loin

Les supports de montage doivent être tels que l'on puisse appliquer les chocs selon les différents axes spécifiés pour l'épreuve (paragraphe 5 2)

Les connexions extérieures destinées à l'exécution de mesures et à l'alimentation du spécimen ne devraient ajouter qu'un minimum de contrainte et de masse

3 3 1 *Montage des composants*

Si le composant est pourvu de dispositifs de fixation spécifiques, ces derniers doivent être utilisés comme prescrit dans la spécification particulière et tout dispositif de bridage supplémentaire créant des contraintes doit être évité

Si le composant n'est pas pourvu de dispositifs de fixation spécifiques, il sera monté de telle sorte que les contraintes dynamiques de l'épreuve s'appliquent au corps du composant et/ou à ses sorties. Les méthodes suivantes peuvent être utilisées comme prescrit par la spécification particulière:

- a) fixer à la fois le corps et les sorties,
- b) fixer les sorties seulement

Sauf spécification contraire, les sorties des composants destinés à être connectés par leurs sorties doivent être fixées à 6 ± 1 mm du corps du composant

3 3 2 *Montage des matériels*

- a) Le matériel doit être assujéti à la machine à chocs par ses dispositifs normaux de fixation, ou comme prescrit par la spécification particulière. Tout support ou système de bridage supplémentaire est à éviter. Si des câbles, des tuyaux, etc., doivent être raccordés au matériel pendant l'essai, comme requis par la spécification particulière, ceux-ci devraient être disposés de façon à ajouter des contraintes et des masses similaires à celles d'une installation normale
- b) Un matériel prévu pour être utilisé avec des amortisseurs devrait normalement être essayé avec ceux-ci. Dans des cas exceptionnels, s'il n'est pas possible de faire l'essai de chocs avec les amortisseurs appropriés, par exemple si le matériel est monté avec d'autres dans un dispositif commun de montage, la spécification particulière peut alors permettre qu'un essai de choc de la sévérité donnée soit appliqué au spécimen isolé en utilisant des amortisseurs spécifiés à cet effet

3 2 2 Accuracy

The accuracy of the measuring system shall be such that it can be determined that the true value is within the given tolerances

3 2 3 Frequency characteristics

The frequency response of the overall measuring system, including the accelerometer, shall be within the limits shown in Figure 1, page 26

Note — When it is necessary to employ filters to reduce the effect of any high frequency resonances inherent in the accelerometer, it may be necessary, to avoid distortion of the reproduced waveform, to examine the amplitude and phase characteristics of the measuring system

3 3 Mounting

The specimen shall be mechanically connected to the shock machine, either directly or by means of a fixture as specified below

Mounting fixtures shall be such as to enable the specimen to be submitted to shocks along the various axes as specified for conditioning (Sub-clause 5 2)

External connections necessary for measuring purposes should add the minimum restraint and mass

3 3 1 Mounting of components

If the component is provided with specific means of mounting, these shall be used as prescribed by the relevant specification and any additional restraining straps should be avoided

The mounting of components not provided with specific means of mounting shall be such that the conditioning dynamically loads the body and/or its terminations. The following methods may be used as prescribed by the relevant specification

- a) clamping both the body and the leads,
- b) clamping the leads only

Unless otherwise specified, components intended for mounting by their leads shall have their leads clamped at 6 ± 1 mm from the body

3 3 2 Mounting of equipments

- a) The equipment shall be fastened to the shock machine by its normal means of attachment, or as prescribed in the relevant specification. Any additional stays or straps should be avoided. If cables, pipes, etc., are required to be connected to the equipment during the test, as prescribed by the relevant specification, these should be arranged so as to add similar restraint and mass as in the normal installation
- b) Equipment intended for use with isolators should normally be tested with its isolators. In exceptional cases, if it is impossible to carry out the shock test using the correct isolators, e.g. if the equipment is mounted with other equipments in a common mounting system, then the relevant specification may permit a shock test of the stated severity on the single specimen using isolators specified for this case

3 3 3 Effet de la pesanteur

La spécification particulière doit indiquer si l'effet de la pesanteur est important. Dans ce cas, le spécimen doit être monté de telle façon que la pesanteur agisse dans le même sens qu'en utilisation normale. Quand l'effet de la pesanteur est sans importance, le spécimen peut être monté dans n'importe quelle attitude.

4 Sévérités

Sauf prescription contraire de la spécification particulière, l'une des formes de choc données au paragraphe 3 1 1 et l'une des sévérités données au paragraphe 4 1 doivent être choisies.

Pour la forme de choc choisie, la sévérité est donnée par une combinaison de l'accélération de crête et de la durée de l'impulsion nominale.

4 1 Accélération et durée de l'impulsion

On peut spécifier l'une des combinaisons d'accélération et de durée du tableau 1. Les combinaisons préférentielles sont indiquées en caractères gras.

TABLEAU 1

Accélération de crête (A)	Durée correspondante de l'impulsion (D)	Variation de vitesse correspondante		
		Dent de scie à pointe finale	Demi-sinusoïde	Traپèze
m/s ² (Valeur équivalente en g)	ms	m/s (ft/s)	m/s (ft/s)	m/s (ft/s)
147 (15)	11	0,81 (2,65)	1,03 (3,38)	1,46 (4,78)
294 (30)	11	2,65 (8,68)	3,37 (11,1)	4,77 (15,7)
294 (30)	11	1,62 (5,30)	2,06 (6,76)	2,91 (9,56)
294 (30)	6	0,88 (2,89)	1,12 (3,69)	1,59 (5,22)
490 (50)	11	2,69 (8,84)	3,43 (11,3)	4,86 (15,9)
490 (50)	3	0,74 (2,41)	0,93 (3,07)	1,32 (4,35)
981 (100)	11	5,39 (17,7)	6,86 (22,5)	9,71 (31,9)
981 (100)	6	2,94 (9,65)	3,74 (12,3)	5,30 (17,4)
1 960 (200)	6	5,88 (19,3)	7,49 (24,6)	10,60 (34,8)
1 960 (200)	3	2,94 (9,65)	3,74 (12,3)	5,30 (17,4)
4 900 (500)	1	2,45 (8,04)	3,12 (10,2)	4,42 (14,5)
9 810 (1 000)	1	4,90 (16,1)	6,24 (20,5)	8,83 (29,0)
14 700 (1 500)	0,5	3,68 (12,1)	4,68 (15,4)	6,62 (21,7)
29 400 (3 000)	0,2	2,94 (9,65)	3,74 (12,3)	5,30 (17,4)

5 Exécution de l'essai

5 1 Mesures initiales

Le spécimen doit être examiné visuellement et soumis aux vérifications électriques et mécaniques prescrites par la spécification particulière.

3 3 3 Gravitational effect

The relevant specification shall state whether the effect of gravitational force is important. In this case, the specimen shall be so mounted that the gravitational force acts in the same direction as it would in use. Where the effect of gravitational force is not important, the specimen may be mounted in any attitude.

4 Severities

Unless otherwise prescribed in the relevant specification, one of the pulse shapes given in Sub-clause 3 1 1 and one of the severities given in Sub-clause 4 1 shall be chosen.

For the selected pulse shape, the shock severity is given by a combination of the peak acceleration and the duration of the nominal pulse.

4 1 Acceleration and duration of the pulse

One of the combinations from Table I may be specified. The preferred combinations are in heavy type.

TABLE I

Peak acceleration (A)	Corresponding duration of the pulse (D)	Corresponding velocity change		
		Final-peak saw-tooth	Half-sine	Trapezoidal
m/s ² (Equivalent g)	ms	m/s (ft/s)	m/s (ft/s)	m/s (ft/s)
147 (15)	11	0 81 (2 65)	1 03 (3 38)	1 46 (4 78)
294 (30)	18	2 65 (8 68)	3 37 (11 1)	4 77 (15 7)
294 (30)	11	1 62 (5 30)	2 06 (6 76)	2 91 (9 56)
294 (30)	6	0 88 (2 89)	1 12 (3 69)	1 59 (5 22)
490 (50)	11	2 69 (8 84)	3 43 (11 3)	4 86 (15 9)
490 (50)	3	0 74 (2 41)	0 93 (3 07)	1 32 (4 35)
981 (100)	11	5 39 (17 7)	6 86 (22 5)	9 71 (31 9)
981 (100)	6	2 94 (9 65)	3 74 (12 3)	5 30 (17 4)
1 960 (200)	6	5 88 (19 3)	7 49 (24 6)	10 60 (34 8)
1 960 (200)	3	2 94 (9 65)	3 74 (12 3)	5 30 (17 4)
4 900 (500)	1	2 45 (8 04)	3 12 (10 2)	4 42 (14 5)
9 810 (1 000)	1	4 90 (16 1)	6 24 (20 5)	8 83 (29 0)
14 700 (1 500)	0 5	3 68 (12 1)	4 68 (15 4)	6 62 (21 7)
29 400 (3 000)	0 2	2 94 (9 65)	3 74 (12 3)	5 30 (17 4)

5 Testing procedure

5 1 Initial measurements

The specimen shall be visually inspected and electrically and mechanically checked as required by the relevant specification.

5.2 *Epreuve*

Sauf prescription contraire de la spécification particulière, trois chocs successifs doivent être appliqués au spécimen dans chacun des sens de trois axes trirectangulaires et choisis de telle sorte que les imperfections aient toutes chances d'être mises en évidence, soit 18 chocs au total

La spécification particulière devrait indiquer si le spécimen doit être mis en fonctionnement et si des vérifications fonctionnelles sont requises à un stade quelconque de l'essai

Note — En général, il n'est pas nécessaire de faire des vérifications fonctionnelles entre les chocs

5.3 *Mesures finales*

Le spécimen doit être examiné visuellement et soumis aux vérifications électriques et mécaniques prescrites par la spécification particulière

6 **Informations à donner dans la spécification particulière**

Lorsque cet essai est inclus dans une spécification particulière, les détails suivants doivent être donnés pour autant qu'ils sont applicables

	Paragraphes
<i>a) à d)</i> Méthodes de montage du spécimen (composants; matériels, y compris les cas exceptionnels, effet de la pesanteur; etc.)	3.3.1 3.3.2a) 3.3.2b) 3.3.3
<i>e)</i> Cas des charges fortement réactives; tolérances	3.1
<i>f)</i> Forme d'impulsion	3.1.1
<i>g)</i> Sévérité accélération et durée	4.1
<i>h)</i> Mesures initiales	5.1
<i>j)</i> Direction et nombre de chocs dans les cas spéciaux seulement	5.2
<i>k)</i> Fonctionnement et vérifications fonctionnelles	5.2
<i>l)</i> Mesures finales	5.3

5.2 Conditioning

Unless otherwise prescribed in the relevant specification, three successive shocks shall be applied in each direction of three mutually perpendicular axes so chosen that faults are most likely to be revealed (i.e. a total of 18 shocks)

The relevant specification should state whether the specimen shall be operating and if functional checks are required at any stage

Note — Generally, no functional checks need to be carried out between shocks

5.3 Final measurements

The specimen shall be visually inspected and electrically and mechanically checked as required by the relevant specification

6 Information to be given in the relevant specification

When this test is included in a relevant specification, the following details should be given as far as they are applicable:

	Sub-clause
a) to d) Methods of mounting the specimen (components, equipment, including exceptional cases; gravitational effect; etc.)	3.3.1 3.3.2a) 3.3.2b) 3.3.3
e) Case of highly reactive loads: tolerances	3.1
f) Pulse shape	3.1.1
g) Severity, acceleration and duration	4.1
h) Initial measurements	5.1
j) Direction and number of shocks in special cases only	5.2
k) Functioning and functional checks	5.2
l) Final measurements	5.3

ANNEXE A

SPECTRES DE CHOCS ET AUTRES CARACTÉRISTIQUES DES FORMES DE CHOCS

Cette annexe renferme quelques renseignements destinés à l'auteur des spécifications particulières et à l'ingénieur chargé des essais, pour leur permettre d'utiliser la présente recommandation, en particulier en ce qui concerne le choix des formes d'impulsion de choc, de la valeur de crête de l'accélération et de la durée de l'impulsion

Pour tenir compte des techniques avancées des méthodes d'essai de choc et pour permettre un développement ultérieur des machines à chocs, cet essai de la Publication 68 de la C.E.I. requiert que l'une des trois formes d'impulsion de chocs données, avec un degré de sévérité fixé, soit appliquées aux points de fixation du spécimen et ne restreigne pas l'essai à l'utilisation de machines spécifiques. Le choix de la forme de l'impulsion et du degré de sévérité devrait être effectué en tenant compte des considérations techniques propres au projet ou au type de spécimen considéré

Les méthodes d'essai de choc sont actuellement basées sur divers principes techniques, et divers degrés de précision sont requis, ce qui conduit à spécifier plusieurs formes de chocs et plusieurs sévérités. Toutes les méthodes ne peuvent pas être considérées comme acceptables du point de vue de la reproductibilité des conditions d'essai ou de la simulation des effets des chocs réels. Cependant, pour obtenir des essais à la fois reproductibles et pouvant être liés aux applications pratiques, certains concepts de base ont été pris en considération lors de l'établissement de la procédure de cet essai de choc. Ces concepts sont donnés ci-après

A1 Le concept du spectre de choc

Lors de la préparation des méthodes d'essais de chocs, les spectres de chocs des diverses formes ont été pris en considération parce qu'ils donnent une représentation utile du potentiel destructif des chocs dans de nombreux cas pratiques importants. Il faut toutefois reconnaître qu'ils ont, à certains points de vue, une application limitée.

Ce spectre de choc peut être considéré comme la représentation de la valeur maximale de la réponse en accélération de systèmes non amortis, à masse et ressort, sous l'action d'une excitation de choc donnée, en fonction de la fréquence de résonance du système. L'accélération maximale, obtenue pour toutes les parties d'un matériel ou d'un composant formant des systèmes oscillatoires, détermine, dans la plupart des cas, la contrainte mécanique maximale appliquée à leurs points d'attache et le déplacement relatif maximal de leurs parties élastiques; elle est donc directement liée à de nombreuses causes importantes des détériorations et des défauts provoqués par les chocs.

Soit le bâti de la figure 5, page 30, soumis à une excitation de choc ayant une forme donnée, c'est-à-dire une valeur de l'accélération en fonction du temps $d^2x_1/dt^2 = a(t)$ donnée. Les réponses des systèmes seront des oscillations dont l'amplitude de l'accélération des masses m variera différemment en fonction du temps suivant leurs fréquences de résonance.

Un exemple de forme d'impulsion ayant une valeur de crête A et une durée D est indiqué sur la figure 6a, page 31. Elle donne des réponses en accélération $d^2x_1/dt^2 = a_1(t)$, etc., comme indiqué sur la figure 6b, page 31.

APPENDIX A

SHOCK SPECTRA AND OTHER CHARACTERISTICS OF PULSE SHAPES

This Appendix gives some information intended to guide the writer of the relevant specification and the test engineer in using this recommendation, especially in making the choice of pulse shapes, peak acceleration and duration

In order to utilize improved techniques in shock testing and to allow for further development of shock machines, this test of IEC Publication 68 requires one of three pulse shapes, with a stated degree of severity, to be applied to the specimen fixing points and does not restrict the testing to specific machines. The choice of pulse shape and degree of severity should be made in accordance with technical considerations appropriate to the project or type of specimen

Methods of shock testing at the present time are based on various technical considerations and varying degrees of accuracy are required, leading to a number of different pulse shapes and severities being specified. Not all methods can be regarded as acceptable from the standpoint of reproducibility of the specified test condition or for simulating the effects of actual shock environments. However, in order to obtain tests which are both reproducible and which can be related to practical application, certain basic concepts have been taken into consideration in producing the test procedure for this shock test. The concepts involved are given below

A1 The shock spectrum concept

The acceleration shock spectra of various pulse shapes have been considered when preparing the shock test procedures, because they give a useful measure of the damage potential of the shocks in many important practical cases. It must be recognized, however, that from certain points of view, they have limited applicability

This acceleration shock spectrum can be regarded as the maximum acceleration responses to a given shock excitation of undamped mass-spring systems as a function of the frequencies of the systems. The maximum acceleration of all parts forming oscillatory systems of an equipment or component determines, in most cases, the maximum mechanical stress of their attachments and the maximum relative displacement of their elastic members, it is therefore directly related to several important causes of damage and failure due to the shock environment

Let the framework in Figure 5, page 30, be subjected to a shock excitation with a given pulse shape, i.e. time history of the acceleration $d^2x_1/dt^2 = a(t)$. The response of the systems will be oscillations with different acceleration time histories for the masses m depending on the resonance frequency

An example of pulse shape with peak value A and duration D is shown in Figure 6a, page 31, giving response accelerations $d^2x_1/dt^2 = a_1(t)$, etc., as shown in Figure 6b, page 31

Les spectres de chocs (figure 6c, page 31) résultent de la considération d'un nombre infini de fréquences et sont tracés à partir des différentes accélérations extrêmes des réponses $a_{\max}$, de la figure 6b, page 31, obtenues pour des fréquences de résonance de systèmes linéaires à ressorts non amortis, et en fonction de ces fréquences

Le spectre initial positif, $+I$, à la figure 6c, est le tracé de la valeur maximale de l'accélération se produisant pendant la durée de l'impulsion et dans le même sens que cette impulsion: $a_{\max (+I)}$ de la figure 6b

Le spectre résiduel positif, $+R$, est le tracé de la valeur maximale de l'accélération se produisant après la fin de l'impulsion et dans le même sens que cette impulsion $a_{\max (+R)}$

Le spectre initial négatif, $-I$, est le tracé de la valeur maximale de l'accélération se produisant pendant la durée de l'impulsion en sens opposé à cette impulsion: $a_{\max (-I)}$

Le spectre résiduel négatif, $-R$, est le tracé de la valeur maximale de l'accélération se produisant après la fin de l'impulsion en sens opposé à cette impulsion: $a_{\max (-R)}$

Les quatre spectres sont tracés, figure 6c, avec l'indication des fréquences de résonances du bâti donnée à titre d'exemple

Comme l'amortissement est supposé nul, la réponse devient après la fin de l'impulsion une oscillation sinusoïdale permanente de valeur moyenne nulle. De la sorte, les accélérations maximales résiduelles positives et négatives ont une même valeur absolue et seule la résiduelle positive est indiquée dans la présentation des spectres

Le spectre initial négatif a, pour les formes d'impulsion considérées ici, une amplitude qui est, à une fréquence donnée, inférieure à celle du spectre initial positif. C'est pourquoi les méthodes d'essai de choc prescrivent un essai dans les deux sens de chacun des axes. L'accélération maximale de toutes les parties du spécimen sera ainsi déterminée par le spectre initial positif. Il ne sera plus question dans ce qui suit du spectre initial négatif

L'enveloppe des spectres initial et résiduel positifs donne l'accélération maximale des réponses des masses quel que soit l'instant où elle se produit. Elle est appelée réponse « maximax » ou spectre de choc total. Toutefois, pour donner clairement dans cette annexe les renseignements requis, les spectres initiaux et résiduels ont été tracés séparément. En pratique, il est souvent difficile de trouver la durée exacte de l'impulsion et, dans ces cas, il est impossible de déterminer ces spectres séparément

Les spectres de tous les chocs ayant même forme peuvent être normés par rapport à leur valeur de crête et à leur durée. Si, au lieu de f et de $a_{\max}$, les échelles des coordonnées sont fD et $a_{\max}/A$, les spectres de chocs sont applicables à tous les chocs ayant la même forme, par exemple une demi-sinusoïde de 490 m/s² (50 g) et 11 ms ou une demi-sinusoïde de 14 700 m/s² (1 500 g) et de 0,5 ms. Les spectres donnés dans cette annexe ont toutefois deux échelles de coordonnées: $a_{\max}/A$ en fonction de fD et $a_{\max}$ en fonction de f pour un cas particulier de durée et d'amplitude

A2 Utilisation des spectres de chocs du premier ordre dans des cas pratiques

Dans les composants et les matériels, les parties internes forment généralement des systèmes plus compliqués que les systèmes non amortis, par exemple des systèmes à plusieurs degrés de liberté amortis connectés en série comme indiqué à la figure 7, page 32. Dans ce cas, les oscillations excitées par choc produites sur l'ensemble extérieur peuvent causer des dommages dans les systèmes intérieurs par suite des effets des résonances de couplage. Ces effets peuvent être décrits par une série de spectres de chocs d'ordre supérieur, applicables à une combinaison donnée de fréquences de résonance de sous-systèmes à masse et ressort

The shock spectra (Figure 6c, page 31) result from an infinite number of frequencies and are plots of the different extreme acceleration responses $a_{\max}$ in Figure 6b, page 31, as functions of resonance frequency of the undamped linear mass-spring system

The positive initial shock spectrum, $+I$, in Figure 6c, is the plot of the maximum response occurring during the pulse duration in the same direction as the exciting pulse: the $a_{\max (+I)}$ in Figure 6b

The positive residual shock spectrum, $+R$, is the plot of the same maximum response occurring after the pulse duration: the $a_{\max (+R)}$

The negative initial shock spectrum, $-I$, is the plot of the maximum response during the pulse in the opposite direction to the exciting pulse: the $a_{\max (-I)}$

The negative residual shock spectrum, $-R$, is the plot of the same maximum response after the pulse: the $a_{\max (-R)}$

All four spectra are shown in Figure 6c with the examples of resonance frequencies of the framework also noted

As the damping is assumed zero, the response after the pulse duration is a steady sinusoidal oscillation around zero acceleration. Thus, the positive residual and negative residual are images in the frequency axis of each other. Usually, only the positive residual is shown in presenting spectra.

The negative initial spectrum is everywhere less in magnitude than the positive initial spectrum for the pulse shapes of concern here. The shock testing procedure therefore requires testing in both directions along each axis. The maximum acceleration for the parts will then be determined by the positive initial spectrum in both directions. The negative initial spectrum is therefore omitted in the following.

The envelope of the positive initial and residual spectra shows the maximum response acceleration of the masses whenever it occurs. It is called the “maximax” response or overall shock spectrum. However, in order to convey the requisite information clearly in this Appendix, the initial and residual spectra are plotted separately. In practice, it is often difficult to find the precise duration, and in such cases, it is impracticable to determine these spectra individually.

The spectra can easily be generalized with respect to the peak value and duration for all shocks with the same arbitrary pulse shape. If, instead of f and $a_{\max}$, the co-ordinate scales fD and $a_{\max}/A$ are chosen, the shock spectra will be valid for any shocks of the same pulse shape, e.g. half-sine 490 m/s^2 (50 g) and 11 ms as well as half-sine $14,700 \text{ m/s}^2$ (1,500 g) and 0.5 ms. The spectra given in this Appendix have therefore two co-ordinate scales: the fD versus $a_{\max}/A$ and f versus $a_{\max}$ for a particular example of duration and peak acceleration.

A2 The use of first order shock spectra in practical cases

In components and equipment, the internal parts generally form more complicated systems than undamped systems, for instance series-connected multi-degree-of-freedom systems with damping, as shown in Figure 7, page 32. In this case, shock excited oscillations in one outer system may cause damage to an inner system by coupled resonance effects. These effects can be described by sets of higher order shock spectra, valid for given combinations of resonance frequencies of the mass-spring sub-systems.

Si les fréquences de résonance des systèmes connectés en série sont suffisamment bien séparées, ce qui est vrai dans beaucoup d'exemples pratiques, le spectre de choc du premier ordre donne une mesure suffisante de comparaison des potentiels destructifs des chocs de formes différentes

Un effet important à noter est que la plus grande valeur de l'accélération des masses internes est atteinte lorsque les résonances sont excitées pendant la durée de l'impulsion. Dans ce cas, l'accélération oscillante sera superposée à celle du choc lui-même. Ainsi, il sera évident, d'après l'article 3 de cette annexe, que la plus grande chance de détérioration sera, à cet égard, obtenue en utilisant des impulsions à temps de montée faible.

En général, l'amortissement aura pour effet de diminuer les réponses aux fréquences intermédiaires en cours d'impulsion et à des fréquences intermédiaires et supérieures après l'impulsion. L'amortissement diminuera à la fois l'amplitude et le temps pendant lequel une oscillation se maintient et atténuera donc considérablement la réponse de tout système interne. Le potentiel destructif d'un choc est donc en général plus faible pour les systèmes amortis que pour ceux non amortis, en particulier pour les systèmes à plusieurs degrés de liberté. Les spectres de chocs représentent le pire des cas possibles en pratique parce qu'ils sont basés sur des réponses théoriques de systèmes non amortis.

Des observations ci-dessus, il découle que les spectres de chocs, présentés sous la forme des spectres positifs, initiaux et résiduels d'une impulsion de choc donnée, ne décrivent pas complètement le potentiel destructif des chocs. Néanmoins, cette présentation simplifiée est suffisante pour permettre le choix d'une forme de choc appropriée aux configurations réelles rencontrées en pratique.

A3 Spectres de chocs des impulsions nominales

Dans cet article, quelques caractéristiques des spectres de chocs des formes d'impulsions nominales recommandées sont indiquées de façon à montrer les avantages et les désavantages de ces formes lorsqu'elles sont utilisées pour faire des essais précis. La précision est nécessaire pour satisfaire à l'importante exigence générale qu'est la reproductibilité des essais effectués dans différents laboratoires et aussi lorsque la simulation d'un choc réel donné est requise.

Avant de comparer les spectres de chocs, il faut, pour faire un essai de choc correct, estimer l'importance des réponses oscillatoires prolongées représentées par les spectres résiduels vis-à-vis des réponses de courte durée représentées par le spectre initial. Cette estimation devrait être basée sur les mécanismes de défaillances possibles.

Les spectres de chocs des formes d'impulsion recommandées ont été tracés à partir de formules analytiques et sont indiqués sur les figures 8, 9 et 10, pages 33, 34 et 35. Les courbes ont été vérifiées par comparaison avec les spectres de chocs donnés par un calculateur analogique.

En raison de l'utilisation d'échelles sans dimensions, la forme des spectres de chocs est la même pour une même forme d'impulsion. L'échelle des fréquences normées fD permet la détermination des échelles de fréquence pour toute durée D donnée. L'échelle des réponses normées, $a_{\max}/A$, permet la détermination des échelles d'accélération pour toute valeur de crête A .

Aux basses fréquences et jusqu'à $fD = 0,2$, les spectres initiaux sont sensiblement les mêmes alors que les spectres résiduels sont sensiblement proportionnels à la variation de vitesse (aire) de l'impulsion. C'est la raison de la prescription supplémentaire sur la tolérance de la variation de vitesse (voir paragraphe 3.1.2). L'impulsion trapézoïdale a la plus grande variation de vitesse correspondant à une valeur de crête de l'accélération et à une durée données.

If the resonance frequencies of the series-connected system are separated to any significant extent, which is true in many practical examples, the simple first order shock spectrum gives a reasonable measure for comparing the damage potential of shocks of different pulse shapes

One important effect to be noted is that the highest acceleration of the internal masses will be reached when resonances are excited during the period of the pulse. In this case, the oscillation acceleration will be superimposed upon that of the pulse itself. Hence, it will be evident from Clause 3 of this Appendix that the greatest liability to damage in this respect will be when using short rise time pulses

In general, damping will have the effect of lowering the responses at intermediate frequencies during the pulse and at intermediate and higher frequencies after the pulse. The damping will decrease both the amplitude and the time during which any oscillatory content persists, thereby appreciably attenuating the response of any inner system. The damage potential of a shock is therefore in general lower for damped systems than for undamped, particularly for multi-degree-of-freedom systems. The shock spectra represent the worst of possible practical cases, as they are based on theoretically undamped responses

From the observations given above, it follows that the acceleration shock spectra presented as the positive initial and positive residual spectra of an acceleration shock pulse do not describe completely the damage potential of the shock. Nevertheless, this simplified presentation is sufficient to allow an appropriate pulse shape to be chosen for actual configurations in practice

A3 The shock spectra of the nominal pulse shapes

In this clause, some characteristics of the shock spectra of the recommended nominal pulse shapes are given in order to show advantages and disadvantages of these shapes when used for accurate shock testing. Accuracy is needed to cover the important general requirement of reproducibility of the tests among different testing laboratories and also in cases when simulation of a given shock environment is required

Before comparing shock spectra, accurate shock testing requires a judgement of the importance of prolonged response oscillations represented by the residual spectra, compared with the short responses represented by the initial spectra. The judgement should be based on possible failure modes

The acceleration shock spectra of the recommended nominal pulse shapes have been plotted from the analytical formulae and are shown in Figures 8, 9 and 10, pages 33, 34 and 35. The curves have been checked against corresponding shock spectra given by analogue computer

The form of the spectra for the same pulse shape is the same irrespective of pulse duration due to the use of non-dimensional scales. The generalized frequency scale fD allows frequency scales for any duration D to be determined. The generalized response scale, $a_{\max}/A$, allows the determination of scales for any pulse peak value A

At low frequencies and up to $fD = 0.2$, the initial spectra are nearly the same, while the residual spectra are nearly proportional to the velocity change (area) of the pulse. This is the reason for the additional tolerance requirement on velocity change (see Sub-clause 3.1.2). The trapezoidal pulse shape has the highest velocity change for a given peak acceleration and duration

Dans la gamme intermédiaire $0,2 < fD < 10$, les spectres initiaux présentent des différences en niveau dépendant du temps de montée de l'impulsion. La dent de scie à pointe finale qui a le plus grand temps de montée a la réponse la plus faible pour une valeur de crête de l'impulsion donnée. L'impulsion trapézoïdale a la réponse la plus élevée pour une valeur de crête de l'impulsion donnée, en raison de la petitesse de son temps de montée et du palier de crête qui permet même aux oscillations de basse fréquence d'atteindre cette valeur avant que la valeur instantanée de l'impulsion qui les crée ne décroisse.

Dans cette gamme de fréquences ($0,2 < fD < 10$), le spectre résiduel de la dent de scie présente une zone relativement élevée et plate jusqu'au premier zéro qui se produit aux environs de $fD = 10$. La fréquence de ce zéro dépend du rapport entre les temps de montée et de descente, la fréquence croissant pour des chutes plus raides de la pointe finale. Les spectres résiduels de la demi-sinusoïde et de l'impulsion trapézoïdale ont des zéros répétés commençant à des fréquences relativement basses, $fD = 1$ environ. Cela est dû à la symétrie de ces impulsions et c'est un grand désavantage du point de vue de la reproductibilité des essais. Des variations légères de durée ou de symétrie peuvent provoquer des modifications considérables des réponses résiduelles et donner des résultats d'essai différents.

Aux fréquences élevées, le spectre initial est voisin de $a_{\max}/A = 1$ et le spectre résiduel est nul. En effet, par exemple une masse sur un ressort très rigide suit de près les variations d'accélération de l'impulsion incidente. Cette constatation est valable pour toutes les formes de chocs qui ont des temps de montée et de descente finis.

A4 Effet des ondulations

Les ondulations qui se trouvent sur l'impulsion incidente constituent la plus importante déformation de l'impulsion idéale et méritent donc une attention particulière.

Les systèmes oscillatoires à amortissement faible ou nul sont très sensibles aux ondulations se trouvant sur l'impulsion. À titre d'exemple, les effets produits sur le spectre de chocs d'une demi-sinusoïde sont indiqués sur la figure 11, page 36. Un signal de 460 Hz et d'amplitude 49 m/s^2 (5 g) est superposé à l'impulsion nominale de 490 m/s^2 (50 g) et 11 ms (ondulation de 10%) pendant la durée de l'impulsion et un signal sinusoïdal amorti d'amplitude 49 m/s^2 (5 g) et de décrément $Q = 5$ reste appliqué après l'impulsion nominale. On obtient un choc théoriquement comparable à celui qui peut être obtenu par des machines à chocs. Comme on peut le voir, l'effet est considérable, principalement sur le spectre résiduel. Une augmentation de l'impulsion jusqu'à 20% ferait croître la valeur de crête jusqu'à environ $a_{\max}/A = 4$. En général, les ondulations devaient donc être évitées le plus possible de façon à conserver la reproductibilité de l'essai.

Les ondulations dans la gamme des basses fréquences $fD < 0,2$ ont un effet négligeable. Les ondulations aux fréquences intermédiaires ou élevées $fD > 0,2$ donnent des pointes à la fréquence de l'ondulation, la réponse croissant avec la fréquence pour une même amplitude de l'ondulation. Le spectre résiduel est toujours plus affecté que le spectre initial. Le spectre initial d'une impulsion ayant un temps de montée court, l'impulsion trapézoïdale, par exemple, n'est sensible qu'aux ondulations de hautes fréquences. Le spectre initial de la dent de scie à pointe finale est très sensible aux ondulations dans toute la gamme des fréquences intermédiaires ou élevées.

Les ondulations qui sont faiblement amorties et qui s'étendent donc pendant un temps appréciable après la fin de l'impulsion nominale peuvent affecter considérablement le spectre résiduel.

In the intermediate frequency range $0.2 < fD < 10$, the initial spectra show differences in level mainly depending on the rise time of the pulse. The final-peak saw-tooth pulse has longest rise time and shows the lowest response for a given peak value. The trapezoidal pulse shows the highest response for a given peak value due to the short rise time and the flat peak, allowing even the low-frequency oscillations to reach their peak before the instantaneous value of the originating pulse falls.

Also in this frequency range ($0.2 < fD < 10$), the residual spectrum of the saw-tooth pulse shows a relatively high and smooth course up to the first zero at approximately $fD = 10$. The frequency of this zero depends on the ratio of the rise and fall times, the frequency increasing for steeper fall of the final peak. The residual spectra of the half-sine and trapezoidal pulses have repeated zeros beginning at relatively low frequencies, approximately $fD = 1$. This is due to the symmetry of these pulses and is a great disadvantage from the point of view of reproducibility of the tests. Slight changes in pulse duration or symmetry may cause considerable changes in residual response and give different test results.

At higher frequencies, the initial spectra approach $a_{\max}/A = 1$ and the residual spectra zero. This is illustrated by the fact that a mass on a very stiff spring follows closely the acceleration-time history of the exciting pulse. The statement is valid for all pulse shapes having finite rise and fall times.

A4 The effect of ripple

Ripple on the originating pulse is the most important kind of deformation from the nominal pulse shape and therefore merits special consideration.

Oscillatory systems with low or no damping are very sensitive to ripple on the pulse. As an example, the effect on the shock spectrum of a half-sine pulse is shown in Figure 11, page 36. Superimposed on the nominal 490 m/s^2 (50 g) and 11 ms half-sine pulse is a 460 Hz signal of 49 m/s^2 (5 g) amplitude (10% ripple) during the nominal pulse and 49 m/s^2 (5 g) initial amplitude damped with $Q = 5$ after the nominal pulse. This produces a theoretical pulse comparable with the pulses which may be obtained by shock machines. The effect as can be seen is considerable, especially on the residual spectrum. An increase of the ripple to 20% would increase the peak values to around $a_{\max}/A = 4$. In general, ripple should therefore be avoided as far as possible in order to preserve reproducibility of the test.

Ripple frequencies in the low-frequency range $fD < 0.2$ have a negligible effect. Frequencies in the intermediate and high range $fD > 0.2$ give peaks at the ripple frequency, the response increasing with higher frequencies for a constant ripple amplitude. The residual spectrum is always relatively more affected than the initial. The initial spectrum of the pulse shape with short rise time, the trapezoidal, is sensitive only to high-frequency ripple. The initial spectrum of the final-peak saw-tooth is very sensitive to ripple in the whole intermediate and high-frequency range.

Ripple which is only slightly damped and therefore extends for an appreciable time after the end of the intended nominal pulse can affect the residual spectrum considerably.

Lorsqu'il existe des ondulations excessives, les résultats de l'essai de choc peuvent être notablement différents de ceux que donne un essai où les ondulations sont dans les limites spécifiées dans cette recommandation, bien que les effets d'une ondulation soient concentrés autour de la seule fréquence de l'ondulation. Les gammes de tolérance sur la forme de l'impulsion nominale ont pour but de tenir compte aussi bien des distorsions de forme que des ondulations permises.

A5 Reproduction des effets de chocs divers par une seule impulsion

Les formes d'impulsions de chocs recommandées ne sont pas destinées à simuler les chocs rencontrés en pratique, mais à reproduire les effets des environnements réels en révélant autant que possible les mêmes détériorations et les mêmes défaillances. Il est donc nécessaire, pour des essais de chocs corrects, de considérer les spectres de chocs appropriés aux environnements réels. Ces renseignements ne sont généralement pas disponibles et se limitent souvent à une distribution statistique des accélérations de crête ou à un projet d'estimation de niveau.

Ayant présente à l'esprit la gamme étendue des types de chocs rencontrés en pratique, il vaut la peine de considérer la possibilité d'utiliser une seule impulsion pour reproduire les effets de nombreux chocs de niveau donné et de durée variable.

Le diagramme de la figure 12, page 37, donne une comparaison des spectres d'une série d'impulsions demi-sinusoïdales avec ceux d'une seule dent de scie. Il apparaît qu'il y a un recouvrement relativement grand entre la série d'impulsions demi-sinusoïdales et la dent de scie à pointe finale d'un niveau plus élevé, malgré une certaine surcharge concernant le spectre initial.

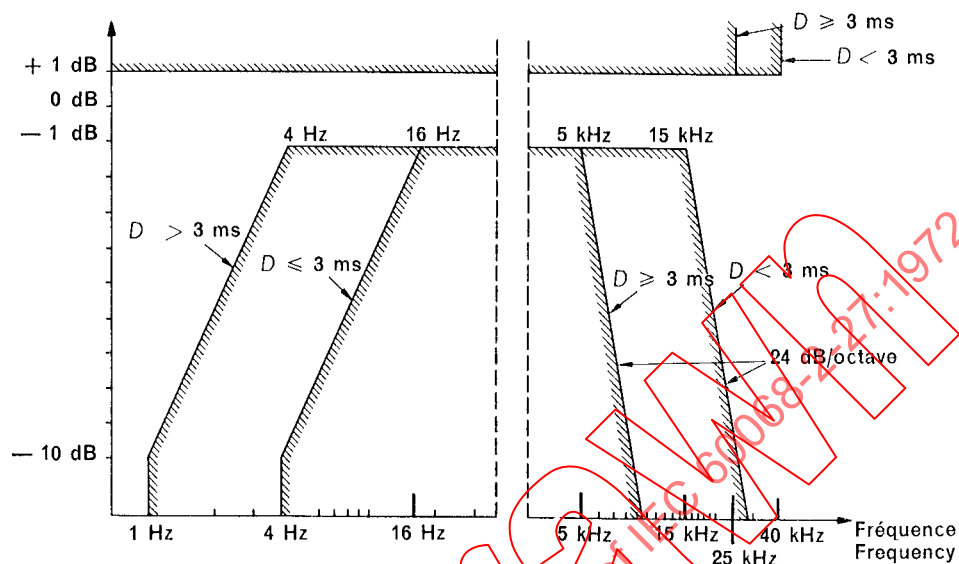
When excessive ripple is present, the results of a shock test could be significantly different from those obtained in a test where the ripple is within the tolerance bands specified in this recommendation, in spite of the ripple effect being concentrated around the ripple frequency only. The tolerance bands around the nominal pulse shapes are intended to take care of permitted ripple as well as other shape distortions.

A5 Reproducing the effects of various shock pulses by a single pulse

The recommended shock pulses are not intended to simulate the shocks encountered in practice, but to reproduce the effects of the real environment by revealing the same damage and failures as far as possible. For accurate shock testing, therefore, appropriate consideration of the shock spectra of the real environment is necessary. However, this information is generally not available and is often limited to a statistical distribution of peak acceleration or to an estimation of design level.

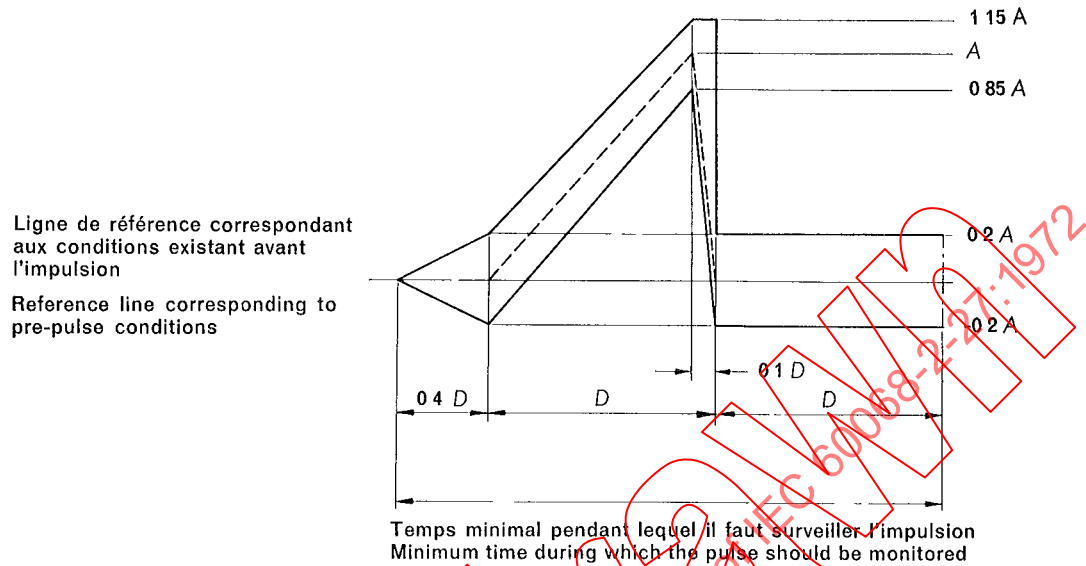
Bearing in mind the wide range of types of shocks encountered in practice, it is worthwhile considering the possibility of using a single pulse to reproduce the effects of a number of shocks of given peak value and varying duration.

The graph of Figure 12, page 37, provides a comparison of the spectra of a series of half-sine pulses, with the spectra of a single saw-tooth waveform. It will be seen that there is a considerable degree of overlap of a series of half-sine pulses by a final-peak saw-tooth pulse of a higher peak value, accepting some overtesting regarding initial spectrum.



Durée de l'impulsion Duration of pulse (ms)	Coupure en basses fréquences Low-frequency cut off (Hz)		Coupure en hautes fréquences High-frequency cut-off (kHz)	Fréquence au-delà de laquelle la réponse peut dépasser le niveau de ± 1 dB (kHz) Frequency beyond which the response may rise above ± 1 dB (kHz)
	-1 dB	-10 dB	-1 dB	
< 3	16	4	15	40
3	16	4	5	25
$3 < D \leq 18$	4	1	5	25

FIG 1 — Caractéristiques de fréquence du système de mesure
Frequency characteristics of the measuring system

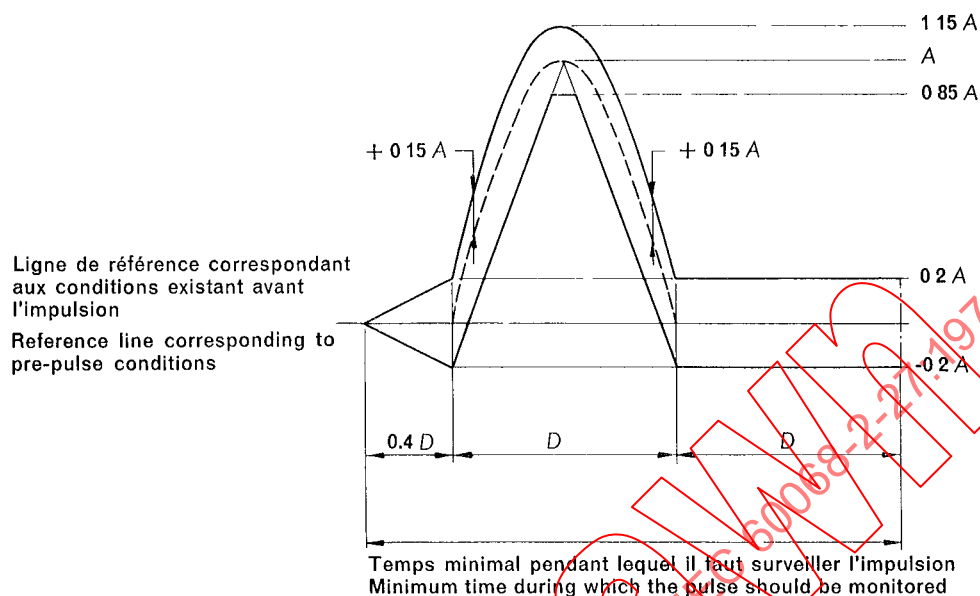


- - - - - impulsion nominale
 nominal pulse
 ——— limites des tolérances
 tolerance boundaries
 D = durée de l'impulsion nominale
 duration of nominal pulse
 A = accélération de la crête de l'impulsion nominale
 peak acceleration of nominal pulse

La différence entre la ligne de référence et l'accélération nulle ne doit pas dépasser la plus grande des deux valeurs, $\pm 0,05A$ ou $\pm 9,8 \text{ m/s}^2$ ($\pm 1 \text{ g}$)

The reference line shall not differ more than $\pm 0.05A$ or $\pm 9.8 \text{ m/s}^2$ ($\pm 1 \text{ g}$), whichever is the greater, from zero acceleration

FIG 2 — Impulsion en dent de scie à pointe finale
Final-peak saw-tooth pulse

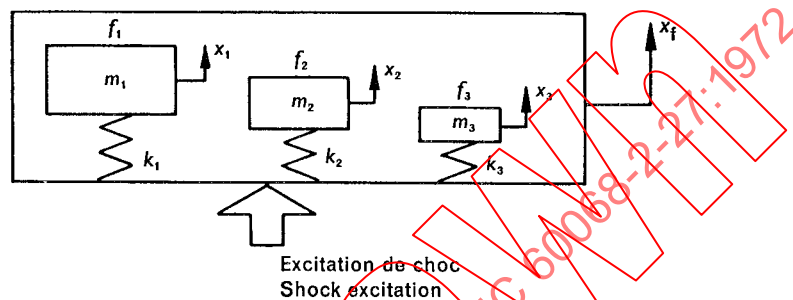


- impulsion nominale
nominal pulse
- limites des tolérances
tolerance boundaries
- D = durée de l'impulsion nominale
duration of nominal pulse
- A = accélération de la crête de l'impulsion nominale
peak acceleration of nominal pulse

La différence entre la ligne de référence et l'accélération nulle ne doit pas dépasser la plus grande des deux valeurs, $\pm 0,05A$ ou $\pm 9,8 \text{ m/s}^2$ ($\pm 1 \text{ g}$)

The reference line shall not differ more than $\pm 0.05A$ or $\pm 9.8 \text{ m/s}^2$ ($\pm 1 \text{ g}$), whichever is the greater, from zero acceleration

FIG 3 — Impulsion demi-sinusoïdale
Half-sine pulse



m = masse
 mass
 k = constante du ressort
 spring constant
 x = déplacement relatif par rapport à un système de coordonnées fixes
 displacement relative to a fixed co-ordinate system

FIG 5 — Bâti ou boîte contenant des systèmes oscillatoires de fréquences de résonances f_1 , f_2 et f_3 , par exemple

Framework or box containing oscillatory systems of which f_1 , f_2 and f_3 are examples of resonance frequencies

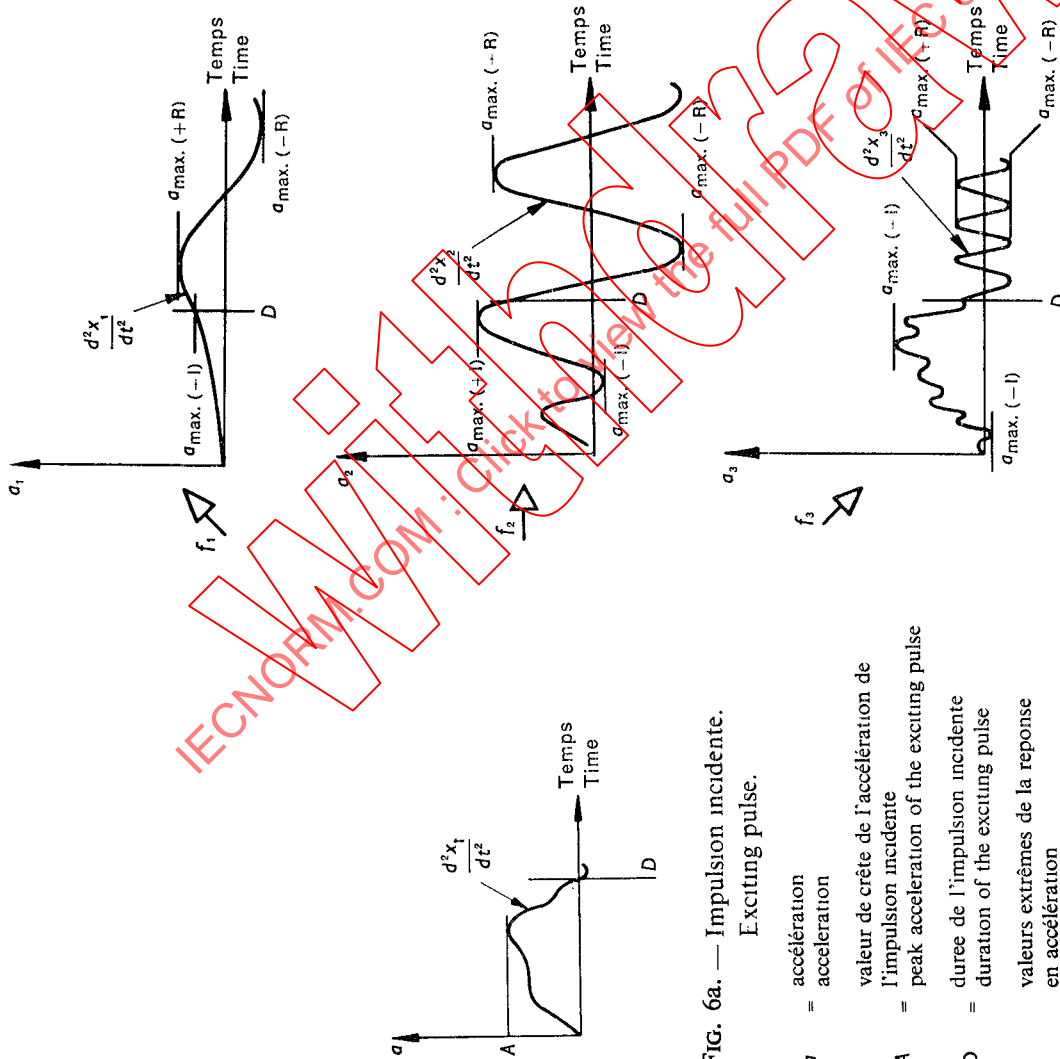


FIG. 6a. — Impulsion incidente.
Exciting pulse.

- a = accélération
acceleration
- A = valeur de crête de l'accélération de l'impulsion incidente
peak acceleration of the exciting pulse
- D = durée de l'impulsion incidente
duration of the exciting pulse
- valeurs extrêmes de la réponse en accélération
extreme values of response acceleration
- $+l$ = positif initial
positive initial
- $+R$ = positif résiduel
positive residual
- $-l$ = négatif initial
negative initial
- $-R$ = négatif résiduel
negative residual

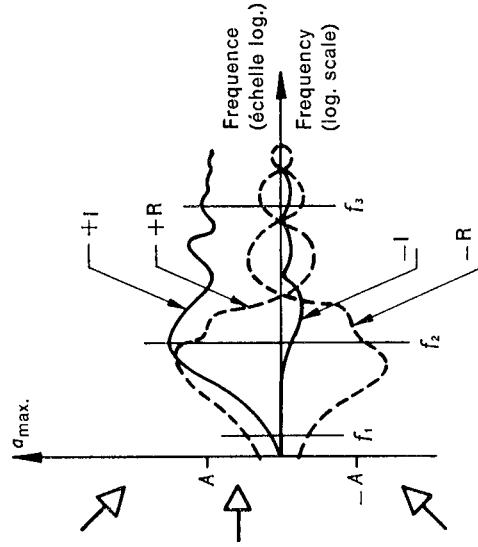


FIG. 6c. — Spectres traces pour un nombre infini de fréquences, f_1, f_2 et f_3 étant des points fins de la courbe continue.

Spectra which result from an infinite number of frequencies, with f_1, f_2 and f_3 shown as finite points on the continuous curves.

FIG. 6b. — Réponses pour les fréquences de résonances f_1, f_2 et f_3 .

Responses for f_1, f_2 and f_3 .