

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 68-2-27A

Première édition — First edition

1968

Premier complément à la Publication 68-2-27 (1967)

**Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique applicables aux matériels électroniques
et à leurs composants**

Deuxième partie Essais — Essai Ea Chocs

First supplement to Publication 68-2-27 (1967)

Basic environmental testing procedures for electronic components and electronic equipment

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 60068-2-27A:1968

Withdrawn

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 68-2-27A

Première édition — First edition

1968

Premier complément à la Publication 68-2-27 (1967)

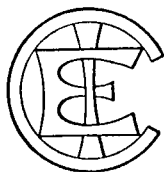
**Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique applicables aux matériels électroniques
et à leurs composants**

Deuxième partie Essais — Essai Ea Chocs

First supplement to Publication 68-2-27 (1967)

Basic environmental testing procedures for electronic components and electronic equipment

Part 2 Tests — Test Ea. Shock



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PREMIER COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 68-2-27 (1967)

**ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE
APPLICABLES AUX MATÉRIELS ÉLECTRONIQUES ET A LEURS COMPOSANTS**

Deuxième partie: Essais - Essai Ea: Chocs

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but

PRÉFACE

Cette publication a été établie par le Sous-Comité 50A, Chocs et vibrations, du Comité d'Etudes N° 50 de la C E I 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 de ce complément

Afrique du Sud
Allemagne
Australie
Autriche
Belgique
Danemark
Etats-Unis d'Amérique
France
Hongrie

Israël
Japon
Norvège
Pologne
Royaume-Uni
Suède
Suisse
Turquie
Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 68-2-27 (1967)

**BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES FOR ELECTRONIC COMPONENTS
AND ELECTRONIC EQUIPMENT**

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 this international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the IEC recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

This Publication has been 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 this 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

PREMIER COMPLÉMENT A LA PUBLICATION 68-2-27 (1967)

ESSAIS FONDAMENTAUX CLIMATIQUES ET DE ROBUSTESSE MÉCANIQUE APPLICABLES AUX MATÉRIELS ÉLECTRONIQUES ET A LEURS COMPOSANTS

Deuxième partie: Essais - Essai Ea: Chocs

ANNEXE B

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 Publication 68-2-27 de la CEI, 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 CEI requiert que l'une des trois formes d'impulsion de chocs données, avec un degré de sévérité fixé, soit appliquée 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 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.

1 Le concept du spectre de choc

Lors de la préparation des méthodes d'essai de choc, les spectres de choc des diverses formes d'impulsion 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.

FIRST SUPPLEMENT TO PUBLICATION 68-2-27 (1967)

BASIC ENVIRONMENTAL TESTING PROCEDURES FOR ELECTRONIC COMPONENTS AND ELECTRONIC EQUIPMENT

Part 2: Tests - Test Ea: Shock

APPENDIX B

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 the IEC Publication 68-2-27, 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

1 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

Soit le bâti de la figure 1, page 14, 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 2a, page 15. Elle donne des réponses en accélération $d^2x_1/dt^2 = a_1(t)$, etc., comme indiqué sur la figure 2b, page 15.

Les spectres de choc (figure 2c, page 15) résultent de la considération d'un nombre infini de fréquences et sont tracés à partir des différentes accélérations extrêmes des réponses de la figure 2b, 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 2c, 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 2b.

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 2c, 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 la réponse maximax ou le spectre de choc total. Toutefois, pour apporter de la clarté dans les enseignements requis dans cette annexe, 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 nommés 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 choc sont applicables à tous les chocs ayant la même forme, par exemple une demi-sinusoïde de 490 m/s^2 (50 g) et 11 ms ou une demi-sinusoïde de $14\,700 \text{ m/s}^2$ (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.

Let the framework in Figure 1, page 14, 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 2a, page 15, giving response accelerations $d^2x_1/dt^2 = a_1(t)$, etc., as shown in Figure 2b, page 15

The shock spectra (Figure 2c, page 15) result from an infinite number of frequencies and are plots of the different extreme acceleration responses $a_{\max}$ in Figure 2b, as functions of resonance frequency of the undamped linear mass-spring system

The positive initial shock spectrum, +I, in Figure 2c, 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 2b

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 2c 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 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 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 over-all 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/s² (50 g) and 11 ms as well as 14 700 m/s² (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

2 Utilisation des spectres de choc 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 3, page 16. 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 choc d'ordre supérieur, applicables à une combinaison donnée de fréquences de résonance de sous-systèmes à ressort.

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 deviendra clair, 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 choc 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 est clair que les spectres de choc, 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.

3 Spectres de choc des impulsions nominales

Dans cet article, quelques caractéristiques des spectres de choc 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 obtenir la prescription importante de 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 choc, l'essai précis de choc requiert un jugement sur l'importance des réponses oscillatoires prolongées représentées par les spectres résiduels vis-à-vis des réponses de courte durée représentées par le spectre initial. Ce jugement devrait être basé sur les mécanismes de défauts possibles.

Les spectres de choc des formes d'impulsion recommandées ont été tracés à partir de formules analytiques et sont indiqués sur les figures 4, 5 et 6, pages 17, 18 et 19. Les courbes ont été vérifiées à l'aide d'un calculateur analogique.

2 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 3, page 16. 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.

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 become 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 is clear 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.

3 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 4, 5 and 6, pages 17, 18 and 19. The curves have been checked against corresponding shock spectra obtained by analogue computer.

En raison de l'utilisation d'échelles sans dimensions, la forme des spectres de choc 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 de la Publication 68-2-27). L'impulsion trapézoïdale a la plus grande variation de vitesse correspondant à une valeur de crête de l'accélération et à une durée données.

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. Cela est illustré par le fait qu'une masse de ressort très rigide suit de près les variations d'accélération de l'impulsion incidente. Cette constatation est valable pour toutes les formes de choc qui ont des temps de montée et de descente finis.

4 Effet des ondulations

Les ondulations qui se trouvent sur l'impulsion incidente sont la déformation majeure 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 choc d'une demi-sinusoïde sont indiqués sur la figure 7, page 20. 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 décroissement $Q = 5$ 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 devraient donc être évitées le plus possible de façon à conserver la reproductibilité de l'essai.

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 of Publication 68-2-27). The trapezoidal pulse shape has the highest velocity change for a given peak acceleration and duration.

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 sawtooth 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 sawtooth 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.

4 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 7, page 20. 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.

Les ondulations de basses fréquences dans la gamme $fD < 0,2$ 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.

Lorsqu'il existe des ondulations excessives, les résultats de l'essai de choc peuvent être notablement différents de ceux obtenus dans 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.

5 Reproduction des effets de choc divers avec une impulsion

Les formes d'impulsions de choc 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 défauts. Il est donc nécessaire, pour des essais de chocs précis, de considérer les spectres de choc appropriés aux environnements réels. Ces renseignements ne sont cependant pas disponibles et se limitent souvent à une distribution statistique des accélérations de crête ou pour un projet à une 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 impulsion pour reproduire les effets de nombreux chocs de niveau donné et de durée variable.

Le diagramme de la figure 8, page 21, 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.

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 sawtooth 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.

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.

5 Reproducing the effects of various shock pulses with one 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 one pulse to reproduce the effects of a number of shocks of given peak value and varying duration.

The graph of Figure 8, page 21, provides a comparison of the spectra of a series of half-sine pulses, with the spectra of a single sawtooth waveform. It will be seen that there is a considerable degree of overlap of a series of half-sine pulses by a final-peak sawtooth pulse of a higher peak value, accepting some overtesting regarding initial spectrum.

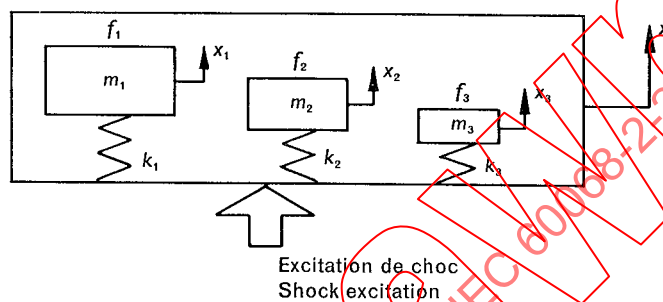


FIG 1 — Bâti ou boîte contenant des systèmes oscillatoires de fréquences de résonances f_1 , f_2 et f_3 , par exemple

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

m = masse
mass

k = constante du ressort
spring constant

x = le déplacement relatif par rapport à un système de coordonnées fixes
displacement relative to a fixed co ordinate system

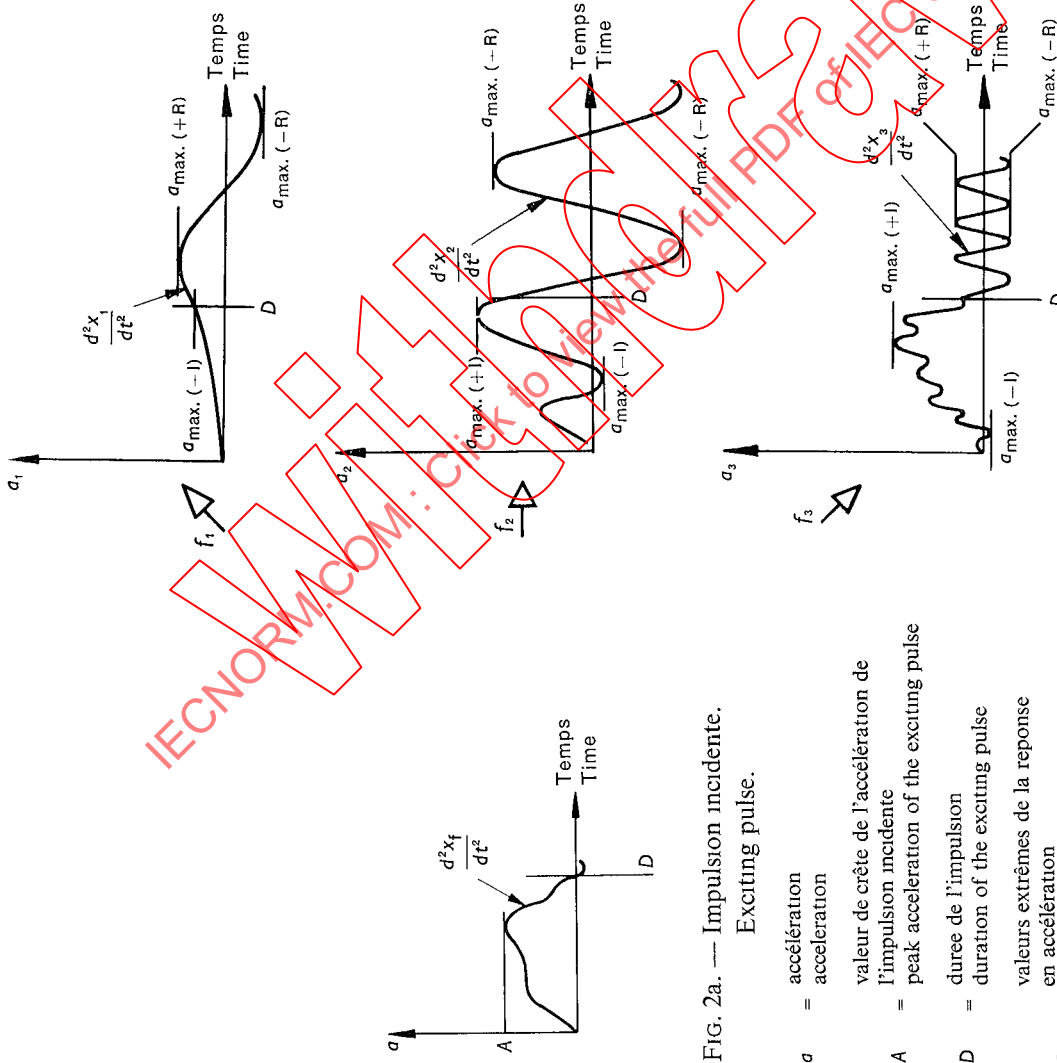


FIG. 2a. — Impulsion incidente.
Exciting pulse.

- 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
duration of the exciting pulse
- valeurs extrêmes de la réponse en accélération
extreme values of response acceleration
- $-l$ = positif initial $-l$ = négatif initial
positive initial negative initial
- $-R$ = positif résiduel $-R$ = négatif résiduel
positive residual negative residual

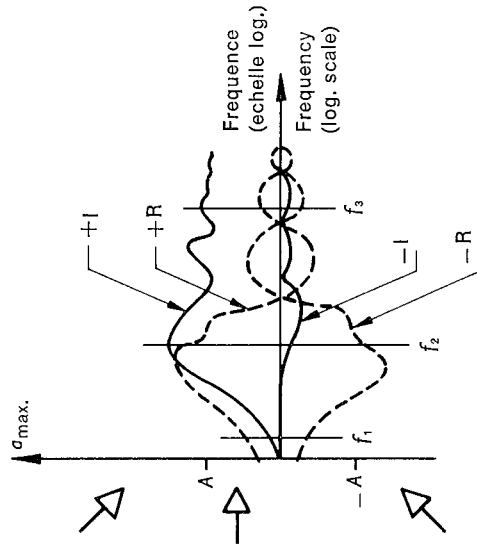


FIG. 2c. — Spectres traces pour un nombre infini de fréquences, f_1 , f_2 et f_3 étant des points fins de la courbe continue.

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. 2b. — Responses pour les fréquences de résonances f_1 , f_2 et f_3 .

Responses for f_1 , f_2 and f_3 .

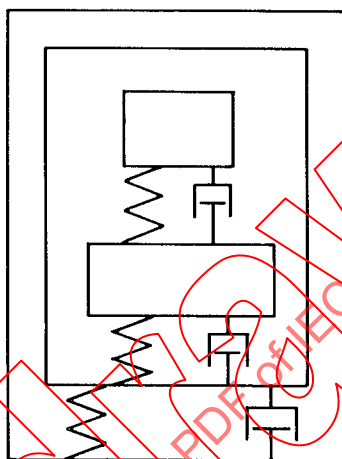


FIG 3 — Bâti contenant un système amorti à plusieurs degrés de liberté
Framework containing damped multi-degree-of-freedom system

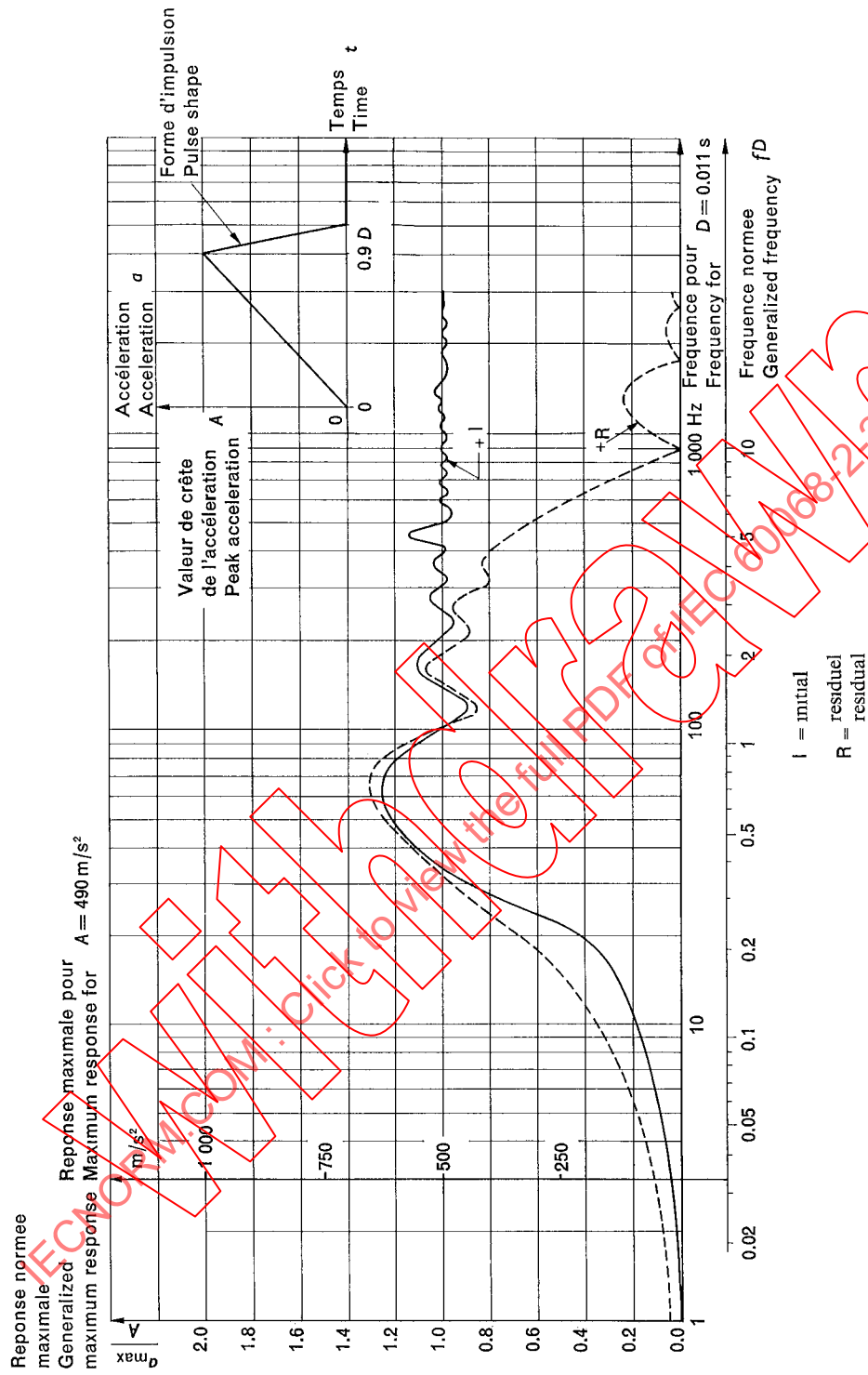


FIG. 4. — Spectre de choc d'une impulsion en dent de scie à crête finale.
Shock spectrum of a final-peak sawtooth pulse.

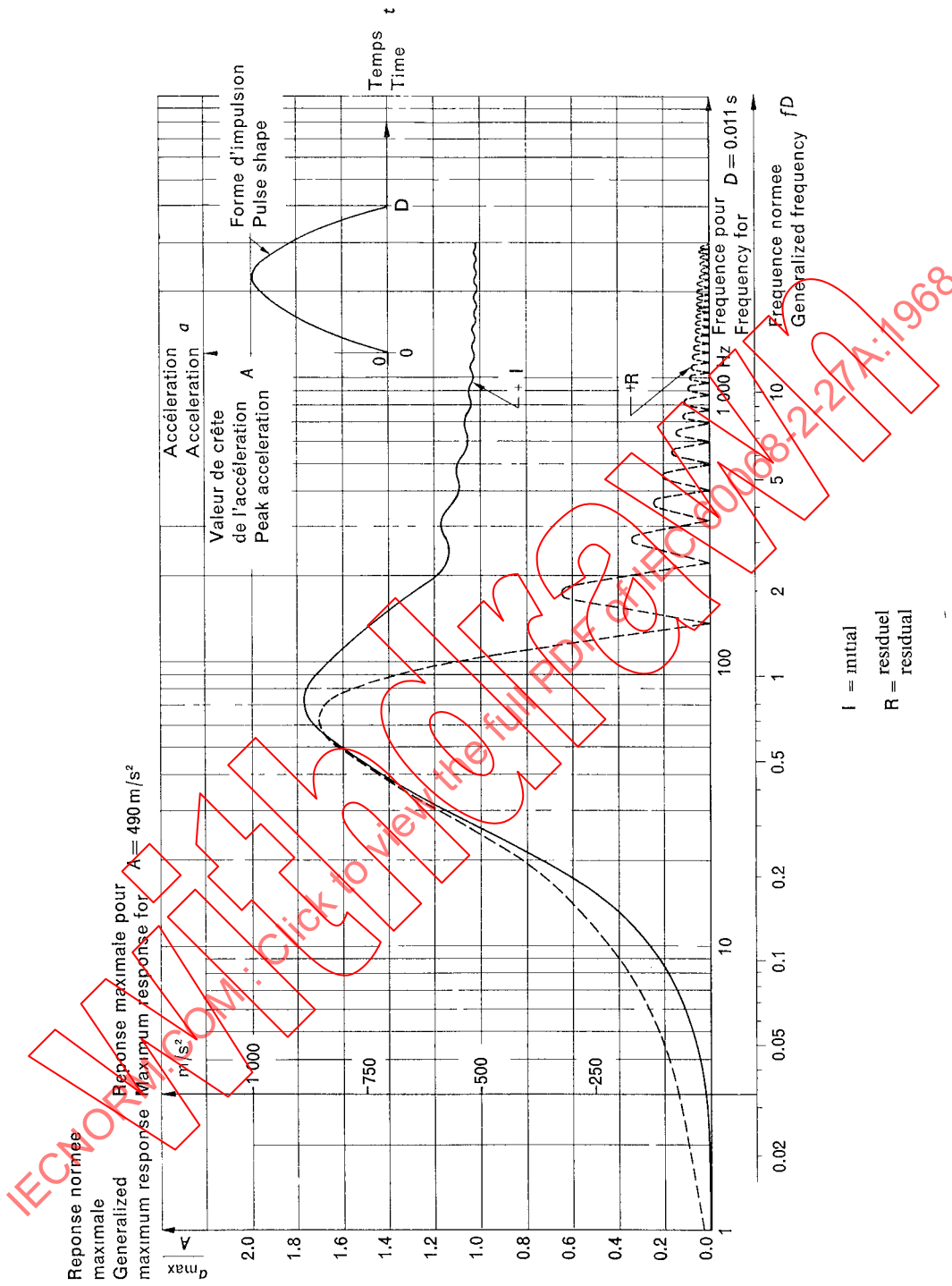


FIG. 5. — Spectre de choc d'une impulsion de forme demi-sinusoidale symétrique.
Shock spectrum of a symmetrical half-sine pulse.