

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC REPORT

Publication 826-2

Première édition — First edition

1985

Charges appliquées aux supports de lignes aériennes

Deuxième partie: Charges dues au vent et à la température

Overhead line support loadings

Part 2: Wind and temperature loadings



© CEI 1985

Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 617 de la CEI: Symboles graphiques pour schémas.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 617 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

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

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 617: Graphical symbols for diagrams.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
RAPPORT DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC REPORT

Publication 826-2
Première édition — First edition
1985

Charges appliquées aux supports de lignes aériennes
Deuxième partie: Charges dues au vent et à la température

Overhead line support loadings
Part 2: Wind and temperature loadings



© CEI 1985

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
3, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Définitions	6
4. Hypothèses de charges	8
5. Action unitaire du vent sur un élément quelconque de la ligne	10
6. Charges appliquées aux supports	12
7. Chargements d'essais	16
FIGURES	18
ANNEXE A — Détermination de la vitesse de référence météorologique du vent	26
ANNEXE B — Vitesses de vent de gradient	30
ANNEXE C — Mesure des températures et leur interprétation	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Definitions	7
4. Loading assumptions	9
5. Unit-action of the wind on any element of the line	11
6. Loads on supports	13
7. Test loadings	17
FIGURES	18
APPENDIX A — Determination of the meteorological reference wind velocity	27
APPENDIX B — Gradient wind speeds	31
APPENDIX C — Temperature measurements and their interpretation	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CHARGES APPLIQUÉES AUX SUPPORTS DE LIGNES AÉRIENNES

Deuxième partie: Charges dues au vent et à la température

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

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 11 de la CEI: Recommandations pour les lignes aériennes.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote	Procédure des Deux Mois	Rapport de vote
11(BC)10 et 10A	11(BC)13	11(BC)16	11(BC)20

Pour de plus amples renseignements, consulter les rapports de vote correspondants, mentionnés dans le tableau ci-dessus.

Le présent rapport constitue la deuxième partie de la Publication 826 de la CEI: Charges appliquées aux supports de lignes aériennes, qui comprendra:

- Première partie: Généralités (Publication 826-1).
- Deuxième partie: Charges dues au vent et à la température (Publication 826-2).
- Troisième partie: Charges spéciales (Publication 826-3).
- Quatrième partie: Charges dues au givre (Publication 826-4).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OVERHEAD LINE SUPPORT LOADINGS**Part 2: Wind and temperature loadings**

FOREWORD

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

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 11: Recommendations for Overhead Lines.

This text of this report is based upon the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting	Two Months' Procedure	Report on Voting
11(CO)10 and 10A	11(CO)13	11(CO)16	11(CO)20

Further information can be found in the relevant Reports on Voting indicated in the table above.

This report forms Part 2 of IEC Publication 826: Overhead Line Support Loadings, which will include in its final form:

- Part 1: General (Publication 826-1).
- Part 2: Wind and Temperature Loadings (Publication 826-2).
- Part 3: Special Loadings (Publication 826-3).
- Part 4: Ice Loadings (Publication 826-4).

CHARGES APPLIQUÉES AUX SUPPORTS DE LIGNES AÉRIENNES

Deuxième partie: Charges dues au vent et à la température

1. Domaine d'application

Le présent rapport est applicable aux supports de lignes aériennes de tension nominale supérieure à 45 kV.

Bien qu'il soit, dans son principe, applicable à toute ligne aérienne, il est toutefois apparu préférable de limiter son application aux domaines suivants:

- Longueur des portées comprise entre 200 m et 800 m, le calcul des divers coefficients (de rafale en particulier) n'ayant pas été vérifié pour des longueurs de portées hors de cette fourchette. On pourra, toutefois, pour des portées supérieures à 800 m, prendre les coefficients de rafale correspondant à une longueur de portée de 800 m, ce qui va dans le sens de la sécurité.
- Hauteur des supports inférieure à 60 m. Des supports plus hauts pourraient être calculés selon les mêmes principes mais les valeurs des efforts dus au vent ainsi déterminées demanderaient à être vérifiées.
- Altitude des régions traversées ne dépassant pas 1 300 m au-dessus du niveau moyen de l'environnement topographique, ce qui veut dire qu'une adaptation de ces règles doit être faite pour les lignes en régions montagneuses.

Note. — La question la plus importante est vraisemblablement le choix de la rugosité du terrain (voir paragraphe 3.1) dans des reliefs tourmentés, la rugosité pouvant différer suivant la végétation (grands arbres) ou les pentes neigeuses.

2. Objet

Ce rapport définit des procédures qui peuvent être appliquées pour obtenir et interpréter les données météorologiques nécessaires au calcul des supports d'une ligne aérienne. Elles contiennent également une méthode qui peut être utilisée pour évaluer la réponse des éléments de la ligne (conducteurs, isolateurs, supports) aux effets du vent et de la température.

3. Définitions

3.1 Rugosité du terrain

L'action du vent dépend de la rugosité du terrain. Plus cette rugosité est forte, plus le vent est freiné et turbulent. La rugosité du sol intervient dans la détermination, d'une part, de la vitesse du vent pour le calcul et, d'autre part, du coefficient de rafale.

Quatre types de terrain, à rugosité croissante, sont considérés:

Rugosité	Caractéristiques du terrain traversé par la ligne
A	Grande étendue d'eau dans la direction d'où vient le vent, régions côtières plates, déserts plats
B	Terrains dégagés avec très peu d'obstacles, par exemple landes ou terres cultivées avec peu d'arbres ou de bâtiments
C	Terrains comportant de nombreux petits obstacles de faible hauteur (haies, arbres et bâtiments)
D	Régions suburbaines ou terrains avec de nombreux grands arbres

Notes 1. — Par souci de normalisation, les lignes installées en zones très urbanisées seront considérées en zone de rugosité D. La notion quantitative de la rugosité y est, en effet, très difficile d'approche.

2. — Pour une ligne qui suit la crête d'une colline, on prendra une rugosité de terrain inférieure d'une catégorie à celle choisie pour la région. Pour une ligne qui suit une vallée, la rugosité C sera choisie, quelles que soient les caractéristiques du terrain.

OVERHEAD LINE SUPPORT LOADINGS

Part 2: Wind and temperature loadings

1. Scope

This report applies to supports of overhead lines of nominal voltages above 45 kV.

Although it applies in principle, to any overhead line, it seemed better to limit its application to the following fields:

- Span lengths between 200 m and 800 m, as calculations of the various coefficients (in particular for gusty winds) have not been checked for span lengths beyond this range. However, for span lengths greater than 800 m, a gust coefficient corresponding to 800 m span could be chosen with safety.
- Height of supports less than 60 m. Higher supports could be designed following the same principles, but the calculated wind actions would need to be checked.
- Altitude of crossed areas not exceeding 1 300 m above the average level of the topographic environment; an adjustment should be made for lines in mountain areas.

Note. — Probably the most important question is the choice of the roughness of the ground (see Sub-clause 3.1) in mountains, as the roughness can vary according to the vegetation (big trees) or snow-covered slopes.

2. Object

This report defines the procedures which can be applied for obtaining and interpreting meteorological data required for the design of an overhead line support. They also contain a method which can be used to evaluate the response of the line components (conductors, insulators, supports) to the effects of wind and temperature.

3. Definitions

3.1 Ground roughness

Wind action depends on the ground roughness. The higher this roughness, the more turbulent and slower is the wind. The ground roughness has an influence both on the determination of the wind velocity for the design and on the determination of the gust factor.

Four categories of ground, of increasing roughness, are considered:

Roughness	Characteristics of the ground crossed by the line
A	Large stretch of water upwind, flat coastal areas, flat deserts
B	Open country with very few obstacles, for example, moorlands or cultivated fields with few trees or buildings
C	Terrains with numerous small obstacles of low height (hedges, trees and buildings)
D	Suburban areas or terrain with many tall trees

Notes 1. — Lines crossing highly urbanized areas, should be considered (for the sake of standardization) in a D ground roughness. The value of the roughness coefficient is very difficult to assess for these areas.

2. — For a line which follows the ridge of a hill, we shall take a ground roughness which is one category below the one chosen for the area. For a line running along a valley, the C roughness category will be chosen for all cases, whatever the ground characteristics may be.

3.2 Vitesse météorologique du vent V

On appelle vitesse météorologique du vent V , la vitesse mesurée conventionnellement de la façon suivante: moyenne de la vitesse du vent pendant une période de 10 min à un niveau de 10 m au-dessus du sol, en terrain relativement dégagé (rugosité B).

Une procédure est décrite dans l'annexe A pour calculer V lorsque la vitesse météorologique n'est pas mesurée dans les conditions ci-dessus.

3.3 Vitesse maximale du vent sur une année V_m

Cette vitesse V_m est le maximum de V sur une année.

4. Hypothèses de charges

Les hypothèses de charges comprennent essentiellement:

- l'hypothèse de grand vent,
- l'hypothèse de basse température.

L'hypothèse de basse température n'est jamais critique pour les supports d'alignement, mais demande à être contrôlée pour les supports d'angle ou d'arrêt, en particulier lorsque les portées sont courtes.

4.1 Hypothèse de grand vent

4.1.1 Détermination de la vitesse de grand vent V_M

Le choix de la vitesse de grand vent V_M dépend de la classe de sécurité que l'on adoptera pour les supports de la ligne projetée (voir première partie, article 7).

La vitesse de grand vent V_M est déterminée à partir de la vitesse moyenne $\bar{V}_m$ des vitesses maximales annuelles V_m et de l'écart type de la distribution de ces vitesses maximales annuelles σ_{V_m} conformément au tableau:

Classe de sécurité	$V_M / \bar{V}_m$		
	$\sigma_{V_m} = 0,12 \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m} = 0,16 \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m} = 0,20 \bar{V}_m$
1	1,30	1,41	1,52
2	1,41	1,55	1,70
3	1,51	1,69	1,87

Notes 1. — La valeur de $\sigma_{V_m} = 0,12 \bar{V}_m$ a été trouvée par plusieurs pays en Europe. Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus ont été déterminées pour un coefficient de variation de résistance des pylônes égal à 7,5%. D'autres valeurs (pouvant aller de 5% à 10%) ont été trouvées lors de quelques essais. Mais cette variation a une très faible influence sur la détermination de la vitesse de grand vent V_M .

2. — En général, les vitesses de vent doivent être relevées dans des stations situées à proximité du tracé de la ligne. Quand les stations météorologiques sont éloignées des sites envisagés pour la construction de la ligne, la vitesse de gradient peut être utilisée (voir annexe B).

3. — Dans le cas de zones soumises à des vents très violents mais peu fréquents (typhons par exemple), une étude spéciale est nécessaire pour déterminer la loi de distribution des valeurs maximales, qui ne peuvent se déduire des seules valeurs maximales annuelles des vitesses.

4.1.2 Vitesse de référence du vent pour le calcul V_R

La vitesse de référence du vent V_R pour le calcul est la vitesse du vent à l'emplacement de la ligne. V_R se déduit de la vitesse de grand vent V_M par la relation:

$$V_R = K_R V_M$$

3.2 Meteorological wind velocity V

V is the meteorological wind velocity, measured conventionally as follows: average velocity of the wind during a 10 min period at a level of 10 m above the ground, in relatively open country (roughness B).

A procedure is described in Appendix A to compute V whenever the meteorological velocity is not measured in the above-mentioned conditions.

3.3 Maximum yearly wind velocity V_m

This velocity V_m is the maximum of V measured over a year.

4. Loading assumptions

Loading assumptions mainly include:

- high wind assumption,
- low temperature assumption.

The low temperature assumption is never crucial for tangent supports, but must be checked for angle or dead-end supports, particularly for short spans.

4.1 High wind assumption

4.1.1 Determination of the high wind velocity V_M

The choice of the high wind velocity V_M depends upon the security class which will be adopted for the supports of the designed line (see Part 1, Clause 7).

The high wind velocity V_M is determined from the average $\bar{V}_m$ of the maximum yearly velocities V_m and the standard deviation σ_{V_m} of the statistical distribution of the velocities, according to table:

Security class	$V_M/\bar{V}_m$		
	$\sigma_{V_m} = 0.12 \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m} = 0.16 \bar{V}_m$	$\sigma_{V_m} = 0.20 \bar{V}_m$
1	1.30	1.41	1.52
2	1.41	1.55	1.70
3	1.51	1.69	1.87

Notes 1. — In Europe, a value of $\sigma_{V_m} = 0.12 \bar{V}_m$ was found for several countries. The values indicated in this table have been calculated for a coefficient of variation of 7.5% of the strength of supports. Other values (from 5% to 10%) were found during some tests. But this variation has a very low influence on high wind velocity V_m .

2. — Generally, wind velocities must be measured in meteorological stations located not far from the route of the line. When meteorological stations are far from the expected locations for the erection of the line, the gradient wind speed can be used (see Appendix B).
3. — For areas subject to very high velocity but in frequent winds (such as typhoons), a special study is required for the determination of the distribution law of maximum values, which cannot be deduced only from the yearly maximum velocities.

4.1.2 Reference wind velocity for the design V_R

The reference wind velocity V_R for the design is the wind velocity on the site of the line. V_R is obtained from the high wind velocity V_M by the relationship:

$$V_R = K_R V_M$$

4.1.3 Coefficient de rugosité du terrain K_R

K_R est un coefficient qui tient compte de la rugosité du terrain à l'emplacement de la ligne et dans ses environs. K_R peut être choisi conformément à la valeur donnée ci-après, en fonction de la rugosité du terrain traversé par la ligne.

Pour des sites de rugosité intermédiaire, la valeur de K_R peut être interpolée. En évaluant la valeur de la rugosité du sol, il faut tenir compte de changements prévisibles dans les environs du tracé de la ligne:

Rugosité	A	B	C	D
K_R	1,08	1	0,85	0,67

Note. — Les valeurs de K_R correspondent à une vitesse de vent V (voir paragraphe 3.2) calculée sur 10 min.

4.1.4 Température coïncidente

Les vitesses de vent définies ci-dessus pour le calcul se produisent à une température de l'air égale à la moyenne des températures quotidiennes minimales, propres au site. La moyenne de la température minimale quotidienne sera obtenue par analyse des enregistrements pendant un certain nombre d'années dans une station météorologique la plus proche possible de l'emplacement de la ligne. Comme alternative, on pourra prendre pour température coïncidente de l'air la température minimale définie ci-après (voir paragraphe 4.2.1) majorée de 15 °C.

4.2 Hypothèse de basse température

4.2.1 Température minimale

La température minimale sera prise égale à la température minimale annuelle de l'air, ayant une probabilité d'apparition de 2% ou une période de retour de 50 ans.

Une méthode pour la détermination de cette valeur est donnée dans l'annexe C. Quand la ligne se trouve à un emplacement où la température minimale de l'air peut être influencée par la topographie locale, on devra en tenir compte.

4.2.2 Vitesse de vent coïncidente

On choisira une vitesse de vent coïncidente, égale à la vitesse V_R de l'hypothèse de grand vent (voir paragraphe 4.1.2) multipliée par un coefficient tenant compte des conditions météorologiques locales.

En l'absence d'une bonne connaissance des conditions locales, la valeur de 0,6 pour ce coefficient peut être choisie.

5. Action unitaire du vent sur un élément quelconque de la ligne

La valeur caractéristique a de l'action unitaire due à un vent soufflant horizontalement, perpendiculairement à un élément quelconque de la ligne (conducteurs, isolateurs, tout ou partie du support) est donnée par l'expression:

$$a = q_0 \cdot C_x \cdot G$$

où:

q_0 = pression dynamique de référence.

La pression dynamique de référence q_0 est donnée en fonction de la vitesse de référence du vent V_R à l'emplacement de la ligne (voir paragraphe 4.1.2):

$$q_0 = \frac{1}{2} \rho V_R^2$$

4.1.3 Ground roughness coefficient K_R

K_R is a coefficient which takes into account the roughness of the ground at the location of the line and in the surrounding area. K_R can be chosen in accordance with the value given below, according to the roughness of the ground crossed by the line.

For sites of intermediate roughness, K_R can be interpolated. In estimating the value of the ground roughness, it is necessary to consider the foreseeable changes in the surroundings of the route of the line:

Ground roughness	A	B	C	D
K_R	1.08	1	0.85	0.67

Note. — The values of K_R correspond to an average 10 min wind velocity V (see Sub-clause 3.2).

4.1.4 Coincident temperature

The wind velocities defined above for computation shall be considered as occurring at an air temperature equal to the average of the minimum daily temperatures, peculiar to this site. The average minimum daily temperature will be obtained by means of analysis of the recordings over a certain number of years in a meteorological station as close as possible to the location of the line. As an alternative, it would be possible to take as a coincident air temperature the minimum temperature defined hereinafter (see Sub-clause 4.2.1) increased by 15 °C.

4.2 Low temperature assumption

4.2.1 Minimum temperature

The minimum temperature will be considered as being equal to the minimum yearly value, having a probability of occurrence of 2% or a return period of 50 years.

A method for the determination of this value is given in Appendix C. When the line is located in an area where the minimum air temperature can be influenced by the local topography, it is necessary to take this influence into account.

4.2.2 Coincident wind velocity

The coincident wind velocity will be equal to the wind velocity V_R chosen for the high wind assumption (see Sub-clause 4.1.2) multiplied by a coefficient chosen according to local meteorological conditions.

Where there is no good knowledge of local conditions, a value of 0.6 for this coefficient can be chosen.

5. Unit-action of the wind on any element of the line

The characteristic value a of the unit-action, due to the wind blowing horizontally, perpendicularly to any element of the line (conductors, insulators, all or part of the support) is given by the following expression:

$$a = q_0 \cdot C_x \cdot G$$

where:

q_0 = dynamic reference pressure.

The dynamic reference pressure q_0 is given in terms of the reference wind velocity V_R at the location of the line (see Sub-clause 4.1.2):

$$q_0 = \frac{1}{2} \rho V_R^2$$

où:

ρ = masse volumique de l'air (égale à 1,225 kg/m³ à la température de 15 °C et sous la pression atmosphérique normale de 1 013 mbar)

C_x = coefficient de traînée (ou de pression) dépendant de la forme de l'élément considéré

G = facteur de rafale tenant compte de la turbulence du vent. Il est fonction de la réponse dynamique de l'élément considéré. Il dépend de la hauteur de cet élément au-dessus du sol et, dans le cas des conducteurs, de la longueur de la portée

q_0 est exprimé en newtons par mètre carré et V_R en mètres par seconde

6. Charges appliquées aux supports

6.1 Par le vent sur les conducteurs

L'effort A_c , dû à l'effet du vent sur un conducteur d'une portée de longueur L , appliqué au point d'accrochage sur chaque support encadrant la portée et normalement à celle-ci, est donné par

$$A_c = q_0 \cdot C_{xc} \cdot G_c \cdot d \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin^2 \psi$$

où:

q_0 = pression dynamique de référence (voir article 5)

C_{xc} = coefficient de traînée du conducteur pris égal à 1,00 pour les conducteurs câblés et les vitesses de vent généralement considérées.

Note. — Les essais en soufflerie sont généralement réalisés en écoulement laminaire. La valeur de C_{xc} indiquée correspond à un tel écoulement. Or, par définition, le vent doit être considéré comme un écoulement turbulent. Les valeurs des coefficients de traînée obtenues en soufflerie à débit turbulent simulé seraient utiles.

G_c = facteur de rafale qui tient compte de la turbulence du vent et de la réponse dynamique du conducteur. Ce facteur (figures 1a à 1d, pages 18 et 19) est fonction de:

- la demi-somme des longueurs L_M des deux portées adjacentes au support considéré, projetées selon la direction du vent (figure 2, page 20)
- la rugosité du terrain
- la hauteur moyenne Z_c du conducteur au-dessus du sol

d = diamètre du conducteur

L = longueur de la portée considérée

ψ = angle que fait la direction du vent avec la direction de la ligne

L'effort total du vent sur les conducteurs en faisceaux sera pris égal à la somme des efforts sur les sous-conducteurs sans tenir compte de l'effet de masque possible d'un des sous-conducteurs sur un autre.

6.2 Par le vent sur les isolateurs

L'effort du vent sur les isolateurs A_i , appliqué au point d'accrochage des isolateurs sur le support, dans la direction du vent, est donné par:

$$A_i = q_0 \cdot C_{xi} \cdot G_i \cdot S_i$$

où:

q_0 = pression dynamique de référence (voir article 5)

C_{xi} = coefficient de traînée des isolateurs, pris égal à 1,2

G_i = facteur de rafale propre à la rugosité du terrain, fonction de la hauteur Z_i , au-dessus du sol environnant, du centre de gravité de la chaîne d'isolateurs (figure 3, page 21)

S_i = aire de la chaîne d'isolateurs projetée horizontalement sur un plan vertical parallèle à l'axe de la chaîne

6.3 Par le vent sur les supports eux-mêmes

La méthode de calcul des efforts dus au vent sur les supports eux-mêmes n'est donnée que pour les types de supports les plus répandus, c'est-à-dire les supports en treillis ou comportant des éléments cylindriques, mais cette méthode peut s'appliquer à tout autre type de support.

where:

ρ = volumic air mass (equal to 1.225 kg/m³ at a temperature of 15 °C and under a normal atmospheric pressure of 1 013 mbar)

C_x = drag (or pressure) coefficient depending on the shape of the considered element

G = gust response factor, taking into account the turbulence of the wind. It varies in terms of the dynamic response of the considered element. It depends on the height of this element above the ground and for conductors on the length of the span

q_0 is expressed in newtons per square metre and V_R in metres per second

6. Loads on supports

6.1 Due to wind on conductors

The load (A_c) due to the effect of the wind upon a conductor, with a span length L , applied at the suspension point on each support of this span and perpendicularly to the span, is given by the following expression:

$$A_c = q_0 \cdot C_{xc} \cdot G_c \cdot d \cdot \frac{L}{2} \cdot \sin^2 \psi$$

where:

q_0 = dynamic reference pressure (see Clause 5)

C_{xc} = drag coefficient of the conductor taken equal to 1.00 for the generally considered stranded conductors and wind velocities.

Note. — Wind-tunnel tests are usually carried out by means of laminar flow. The indicated value of C_{xc} corresponds to such a flow. However, by definition, the wind must be considered as a turbulent flow. Values of drag coefficients recorded in a wind-tunnel having a simulated turbulent flow would be useful.

G_c = gust response factor which takes into account the turbulence of the wind and the dynamic response of the conductor. This factor (Figures 1a to 1d, pages 18 and 19) is a function of:

- half the sum of the lengths L_M of the two adjacent spans on the considered support, projected according to the direction of wind (Figure 2, page 20)
- the roughness of the ground
- the average height Z_c of the conductor above the ground

d = diameter of the conductor

L = length of the considered span

ψ = angle of incidence of the direction of the wind in terms of the direction of the line

The total effect of the wind upon bundle conductors will be taken as equal to the sum of the actions on the sub-conductors without accounting for a possible masking effect of one of the sub-conductors on another.

6.2 Due to wind on insulators

Wind loading upon insulators A_i , applied at the point of attachment of the insulators to the support, in the direction of the wind, is given by the following expression:

$$A_i = q_0 \cdot C_{xi} \cdot G_i \cdot S_i$$

where:

q_0 = dynamic reference pressure (see Clause 5)

C_{xi} = drag coefficient of the insulators, taken as 1.2

G_i = gust response factor, peculiar to the roughness of the ground, a dependent variable of the height Z_i , above the surrounding land, of the centre of gravity of the insulator string (Figure 3, page 21)

S_i = area of the insulator string projected horizontally on a vertical plan parallel to the axis of the string

6.3 Due to wind on support itself

The method of determination of wind loadings on the support itself, is only given for the most common types of supports, i.e. lattice towers and towers with cylindrical elements, but this method can be applied to any type of support.

6.3.1 Pylônes à section rectangulaire réalisés en treillis

Pour déterminer l'effort du vent sur le pylône lui-même, ce dernier est décomposé en différents tronçons de hauteur h .

Cette hauteur de tronçon h devra normalement être prise entre les intersections des membrures et des diagonales.

Pour un pylône à section rectangulaire, réalisé en treillis, l'effort du vent A_T , dans la direction de celui-ci, sur un tronçon de hauteur h , appliqué au centre de gravité de ce tronçon, constitué de différentes barres, est égal à :

$$A_T = q_0 (1 + 0,2 \sin^2 2 \theta) (S_{T1} \cdot C_{xT1} \cos^2 \theta + S_{T2} C_{xT2} \sin^2 \theta) \cdot G_T$$

où :

q_0 = pression dynamique de référence (voir article 5)

θ = angle d'incidence du vent dans le plan horizontal par rapport à la face 1 du tronçon de pylône (figure 4, page 22)

S_{T1} = surface totale projetée normalement à la face 1 des barres de la face 1 du tronçon de hauteur h (figure 4)

Les projections des éléments de renforcement des faces adjacentes et des barres de contreventement peuvent être négligées pour la détermination de la surface projetée d'une face.

S_{T2} = surface totale projetée normalement à la face 2 des barres de la face 2 du même tronçon

C_{xT1} , C_{xT2} = coefficients de traînée propres aux faces 1 et 2 pour un vent perpendiculaire à chaque face. C_{xT1} , C_{xT2} sont donnés sur la figure 5, page 23, pour des tronçons de pylône où tout ou partie des barres présentent des surfaces planes, et sur la figure 6, page 23, quand toutes les barres sont de section circulaire.

Le rapport de compacité χ d'une face est le rapport entre la surface totale des barres (S_{T1} ou S_{T2}), définie ci-dessus, et la figure circonscrite de la face du tronçon considéré (figure 4)

G_T = facteur de rafale (figure 3, page 21), fonction de la hauteur Z du centre de gravité du tronçon au-dessus du sol

6.3.2 Pylônes constitués de tronçons comportant des éléments cylindriques de grand diamètre ($d > 20$ cm)

Pour les pylônes constitués principalement d'éléments cylindriques de grand diamètre ($d > 20$ cm), l'effort dû au vent dans la direction de celui-ci, sur chaque élément de longueur l , appliqué au centre de gravité de l'élément, est égal à :

$$A_{TC} = q_0 C_{xTc} \cdot G_T d \cdot l \cdot \sin^3 \phi$$

où :

q_0 = pression dynamique de référence (voir article 5)

ϕ = angle que fait la direction du vent avec l'axe du cylindre

d = diamètre du cylindre

l = longueur de l'élément

G_T = facteur de rafale (figure 3), fonction de la hauteur Z du centre de gravité de l'élément au-dessus du sol

C_{xTc} = coefficient de traînée, pour un vent perpendiculaire à l'axe du cylindre. La valeur de C_{xTc} dépend du nombre de Reynolds R_e , de la turbulence du vent et de la rugosité du cylindre. Pour simplifier, on considérera uniquement le cas le plus défavorable d'un cylindre rugueux. La valeur de C_{xTc} est donnée sur la figure 7, page 24, en fonction de R_e qui est égal à :

$$R_e = \frac{d \sqrt{2 \cdot q_0 \cdot G_T}}{\rho \cdot \nu}$$

où :

ρ = masse volumique de l'air

ν = viscosité cinématique de l'air ($\nu = 1,45 \cdot 10^{-5}$ m²/s à 15 °C)

6.3.1 Lattice towers of rectangular cross-section

In order to determine the effect of the wind on the tower itself, the latter is divided into different panels, each having a height h .

This panel height h should normally be taken between the intersections of the legs and bracings.

For a lattice tower of rectangular cross-section, the wind loading A_T , in the direction of the latter, on a panel height h , applied at the centre of gravity of this panel, made up of various bars, is equal to:

$$A_T = q_0 (1 + 0.2 \sin^2 2\theta) (S_{T1} \cdot C_{xT1} \cos^2 \theta + S_{T2} C_{xT2} \sin^2 \theta) \cdot G_T$$

where:

q_0 = dynamic reference pressure (see Clause 5)

θ = angle of incidence of the wind with face 1 of the tower panel in a horizontal plane (Figure 4, page 22)

S_{T1} = total surface area projected normally on face 1 of the bars of face 1 of the panel of height h (Figure 4)

The projections of the bracing elements of the adjacent faces and of the plan-and-hip bracing bars can be neglected when determining the projected surface area of a face.

S_{T2} = total surface area projected normally on face 2 of the bars of face 2 of the same panel

C_{xT1} , C_{xT2} = drag coefficients peculiar to faces 1 and 2 for a wind perpendicular to each face. C_{xT1} , C_{xT2} are given in Figure 5, page 23, for panels of the tower where all or part of the bars offer plane surfaces, and in Figure 6, page 23, where all bars have a circular section.

The solidity ratio χ of one face is the ratio between the total surface of the bars (S_{T1} or S_{T2}), defined just above, and the circumscribed figure of the face of the considered panel (Figure 4)

G_T = gust response factor (Figure 3, page 21), a function of the height Z of the centre of gravity of the section above the ground

6.3.2 Towers made of sections containing cylindrical elements having a large diameter ($d > 20$ cm)

For towers mainly made of cylindrical elements having a large diameter ($d > 20$ cm) the effect of the wind in the direction of the latter, on each element l long, applied at the centre of gravity of the element, is equal to:

$$A_{TC} = q_0 C_{xTc} \cdot G_T d \cdot l \cdot \sin^3 \phi$$

where:

q_0 = dynamic reference pressure (see Clause 5)

ϕ = angle formed by the direction of the wind and the cylinder axis

d = diameter of the cylinder

l = length of the element

G_T = gust response factor (Figure 3), a function of the height Z of the centre of gravity of the element above the ground

C_{xTc} = drag coefficient for a wind perpendicular to the axis of the cylinder. The value of C_{xTc} depends on the Reynolds' number R_e , the turbulence of the wind and the roughness of the cylinder. In order to simplify, we shall merely consider the most unfavourable case of a rough cylinder. The value of C_{xTc} is given in Figure 7, page 24, in terms of R_e , which is equal to:

$$R_e = \frac{d \sqrt{2 \cdot q_0 \cdot G_T}}{\bar{\rho} \cdot \nu}$$

where:

$\bar{\rho}$ = volumic air mass

ν = kinematic air viscosity ($\nu = 1.45 \cdot 10^{-5}$ m²/s at 15 °C)

7. Chargements d'essais

Les chargements d'essais que le support aura à tenir (résistance statistique garantie) seront déterminés dans le cas de l'hypothèse de grand vent (voir paragraphe 4.1) et dans celui de l'hypothèse de basse température (voir paragraphe 4.2).

Le vent sera considéré comme soufflant dans la direction qui crée les charges les plus défavorables.

Note. — Du fait que la résistance des supports aux charges longitudinales est vérifiée par des «charges spéciales» (voir troisième partie), dans la plupart des cas, les charges horizontales longitudinales peuvent être négligées et les charges dues au vent seront calculées pour des vents soufflant perpendiculairement à la direction de la ligne ou à la bissectrice de l'angle formé par la ligne.

Toutefois, dans certains cas et principalement pour les supports d'ancrage, les charges horizontales longitudinales les plus importantes se produisent pour d'autres directions de vent.

Les charges d'essais que le support aura à tenir, suivant les hypothèses de charges sont calculées à partir:

- a) des efforts sur les différents composants de la ligne, créés par un vent de vitesse V_R à la température coïncidente dans le cas de l'hypothèse de grand vent (voir paragraphe 4.1), ou par un vent de vitesse coïncidente à la température minimale dans le cas de l'hypothèse de basse température (voir paragraphe 4.2);
- b) de la tension mécanique des conducteurs à la température coïncidente et à la vitesse du vent V_R dans le cas de l'hypothèse de grand vent (voir paragraphe 4.1) ou à la température minimale et à la vitesse de vent coïncidente dans le cas de l'hypothèse de basse température (voir paragraphe 4.2);

Notes 1. — La composante transversale horizontale due à l'angle de la ligne sera calculée pour une tension mécanique correspondant à celle d'une portée de longueur égale à celle de la portée moyenne géométrique du canton, sur laquelle souffle un vent d'effort unitaire égal à 60% de la valeur de l'effort unitaire défini à l'article 5 dans le cas de l'hypothèse de grand vent et égal à la valeur définie à l'article 5 multipliée par le carré du coefficient défini au paragraphe 4.2.2 dans le cas de l'hypothèse de basse température.

La réduction de l'effort du vent dans le cas de l'hypothèse de grand vent tient compte du fait que la longueur du canton comprend en général plusieurs portées adjacentes au support considéré. Cette réduction pourra ne pas être prise en compte si le canton de ligne ne comporte qu'un petit nombre de portées.

2. — Les charges longitudinales qui peuvent être créées par des portées adjacentes de longueurs différentes peuvent être négligées dans la plupart des cas, la tenue des supports aux efforts longitudinaux étant vérifiée par des charges spéciales (voir troisième partie).

- c) du poids des conducteurs, des isolateurs et des accessoires.

Les charges d'essais à appliquer à un support sont la somme:

- des charges permanentes à la température la plus fréquente (poids des conducteurs, des isolateurs et des accessoires), et éventuellement des charges créées par la tension mécanique des conducteurs sans vent multipliées par un facteur γ_c dépendant de la classe de sécurité (voir première partie, paragraphe 7.2);
- et de la différence entre les charges produites dans les différentes hypothèses des paragraphes 4.1 ou 4.2 dépendant de la classe de sécurité et les charges permanentes à la température la plus fréquente, multipliée par un coefficient γ (pris égal à 1).

7. Test loadings

Test loadings to be withstood by the support (Guaranteed Statistical Strength) will be determined both in the case of the high wind assumption (see Sub-clause 4.1) and the low temperature assumption (see Sub-clause 4.2).

The wind will be considered as blowing in the direction that results in the worst case of loading.

Note. — As the strength of the supports to longitudinal loads is checked by “special loadings” (see Part 3), in most of the cases the horizontal and longitudinal loads can be neglected and the wind loads can be computed only for winds blowing perpendicularly to the direction of the line or to the bisector of the line angle.

However, in certain cases and mainly for dead-end supports, the maximum horizontal and longitudinal loadings occur for other wind directions.

Test loadings to be withstood by the support according to the loading assumptions are computed from:

- a) the loads on the different components of the line created by a wind of velocity V_p with the corresponding coincident temperature for the high wind assumption (see Sub-clause 4.1), or by a wind of coincident velocity at the minimum temperature for the low temperature assumption (see Sub-clause 4.2);
- b) the mechanical tension of the conductors at the corresponding coincident temperature with a wind of velocity V_R for the high wind assumption (see Sub-clause 4.1) or at the minimum temperature with a wind of coincident velocity for the low temperature assumption (see Sub-clause 4.2);

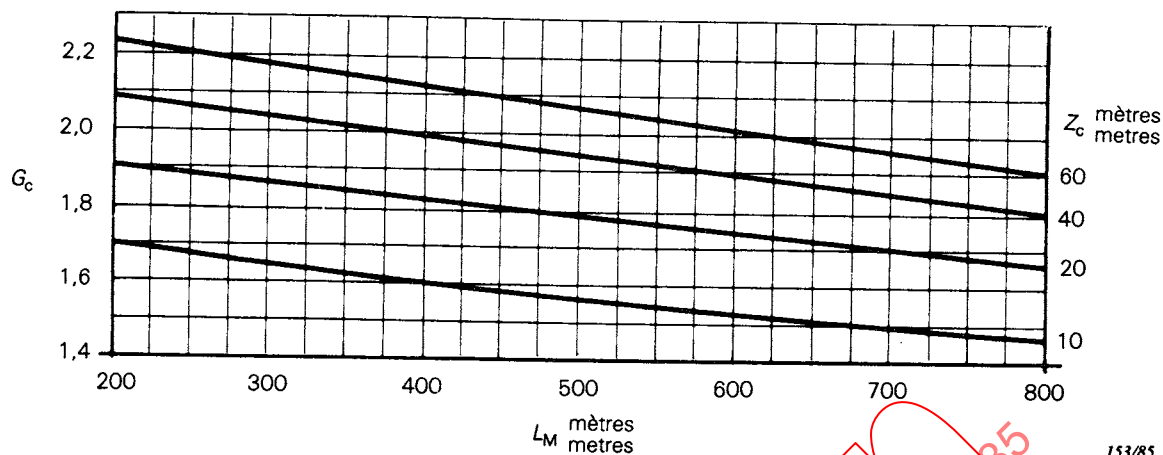
Notes 1. — The horizontal and transverse component due to the angle of the line will be computed for a mechanical tension corresponding to the tension of a span length equal to the mean geometric span length of the section, on which blows a wind having a unit-action on the conductors equal to 60% of the unit-action given in Clause 5 for the high wind assumption, and equal to the value given in Clause 5 multiplied by the square of the coefficient defined in Sub-clause 4.2.2 for the low temperature assumption.
The reduction of the wind action for the high wind assumption takes into account the fact that the length of the section of the line generally includes several spans adjacent to the considered towers. This reduction could not be taken into account if the section of the line consists of a small number of spans.

2. — Longitudinal loads which might be caused by adjacent spans of unequal lengths can be neglected in most cases, as the strength of the supports to longitudinal loads is checked by special loadings (see Part 3).

- c) the weight of conductors, insulators and fittings.

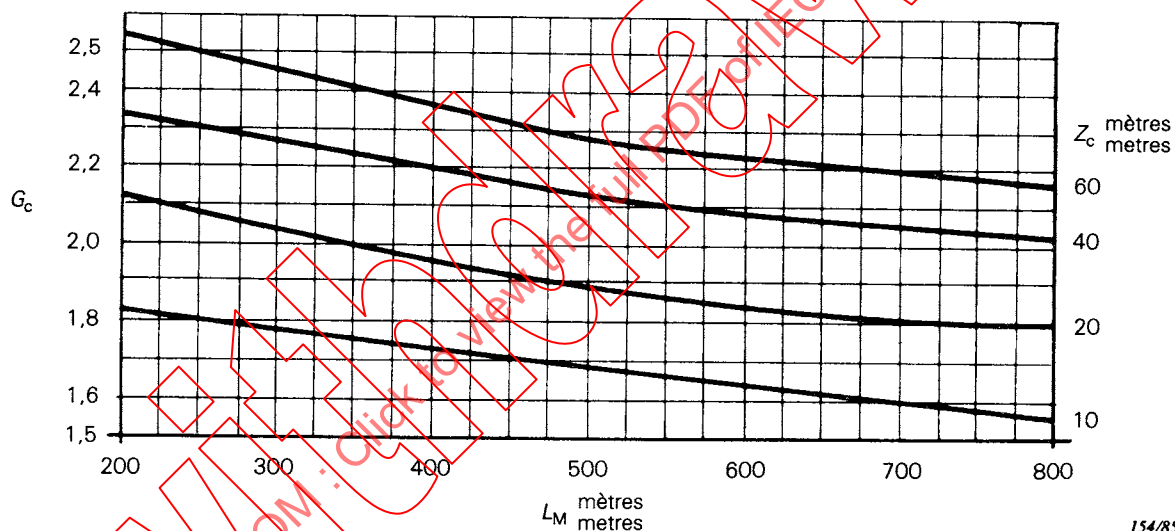
Test loads applied to a support are the sum of:

- permanent loads at the everyday temperature (weight of conductors, insulators and fittings) and possibly loads created by the mechanical tension of conductors without wind multiplied by a factor γ_c depending upon the security class (see Part 1, Sub-clause 7.2);
- and difference between loads occurring under the different loading assumptions given in Sub-clauses 4.1 and 4.2 depending upon the security class and permanent loads at the everyday temperature, multiplied by a factor γ (taken equal to 1).



153/85

FIG. 1a. — Rugosité du terrain A.
Ground roughness A.

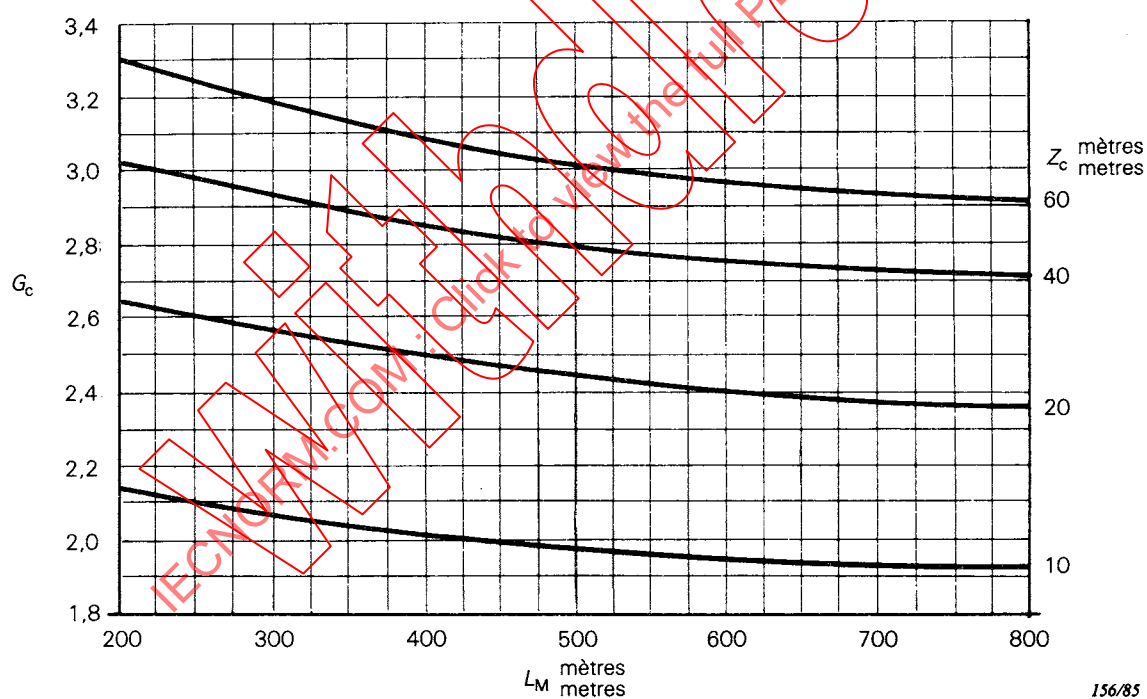
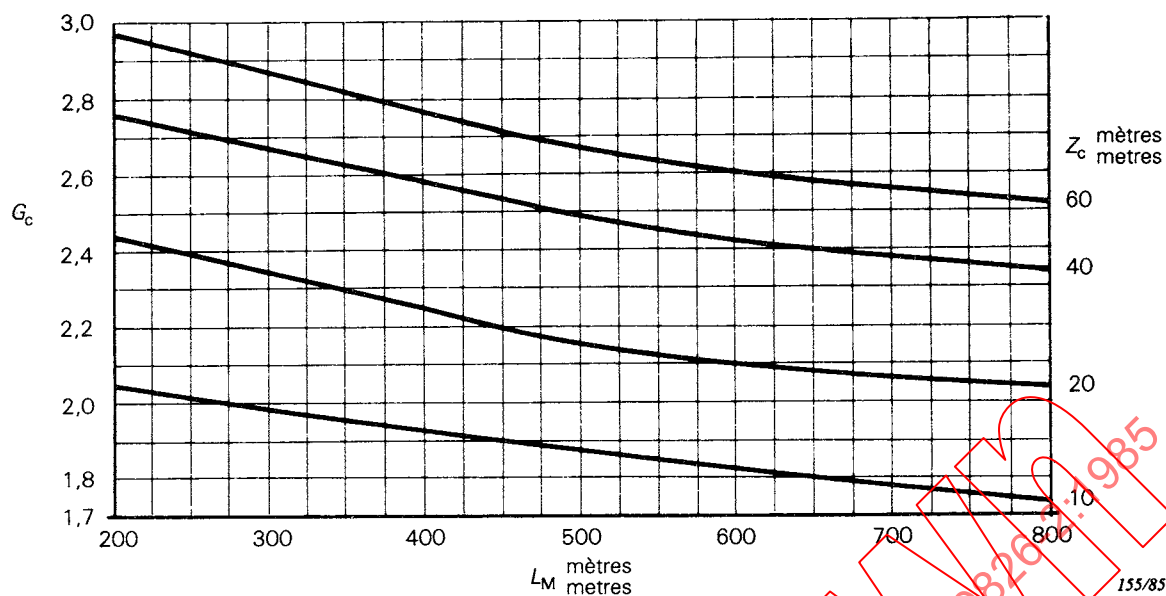


154/85

FIG. 1b. — Rugosité du terrain B.
Ground roughness B.

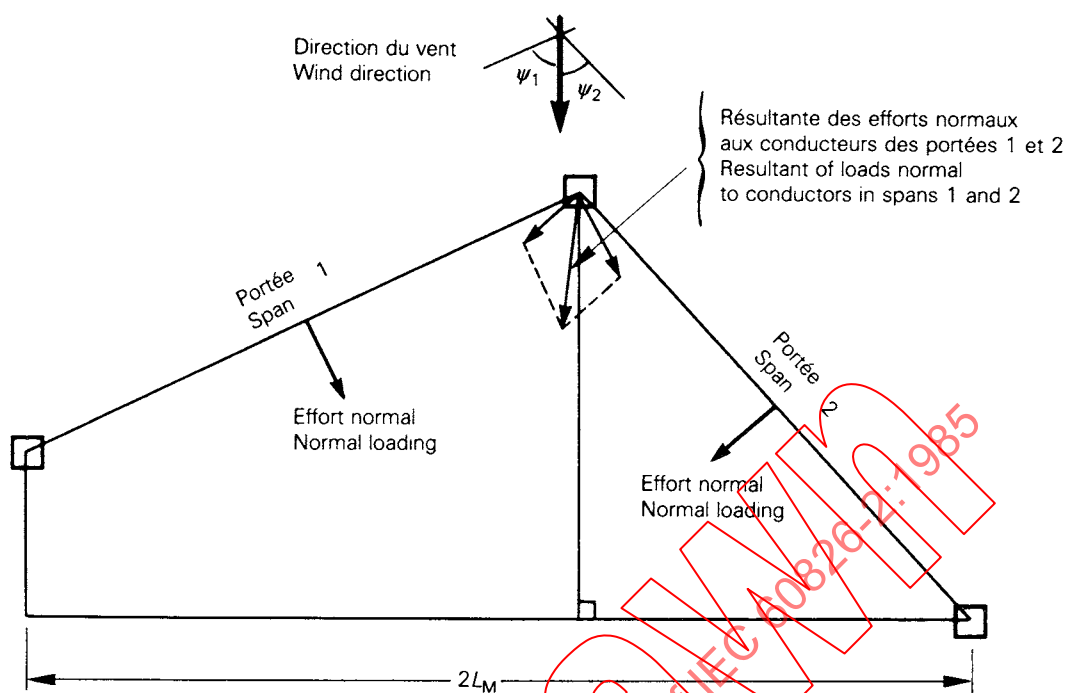
Facteur de rafale du conducteur G_c en fonction de la hauteur moyenne du conducteur (Z_c) et de la portée moyenne (L_M)

Conductor gust response factors G_c related to average height of conductor (Z_c) and mean span (L_M)



Facteur de rafale du conducteur G_c en fonction de la hauteur moyenne du conducteur (Z_c) et de la portée moyenne (L_M)

Conductor gust response factors G_c related to average height of conductor (Z_c) and mean span (L_M)



157/85

FIG. 2. — Choix de la longueur apparente $2L_M$ des deux portées adjacentes au support considéré.
Determination of the apparent length $2L_M$ of the two adjacent spans on the considered support.

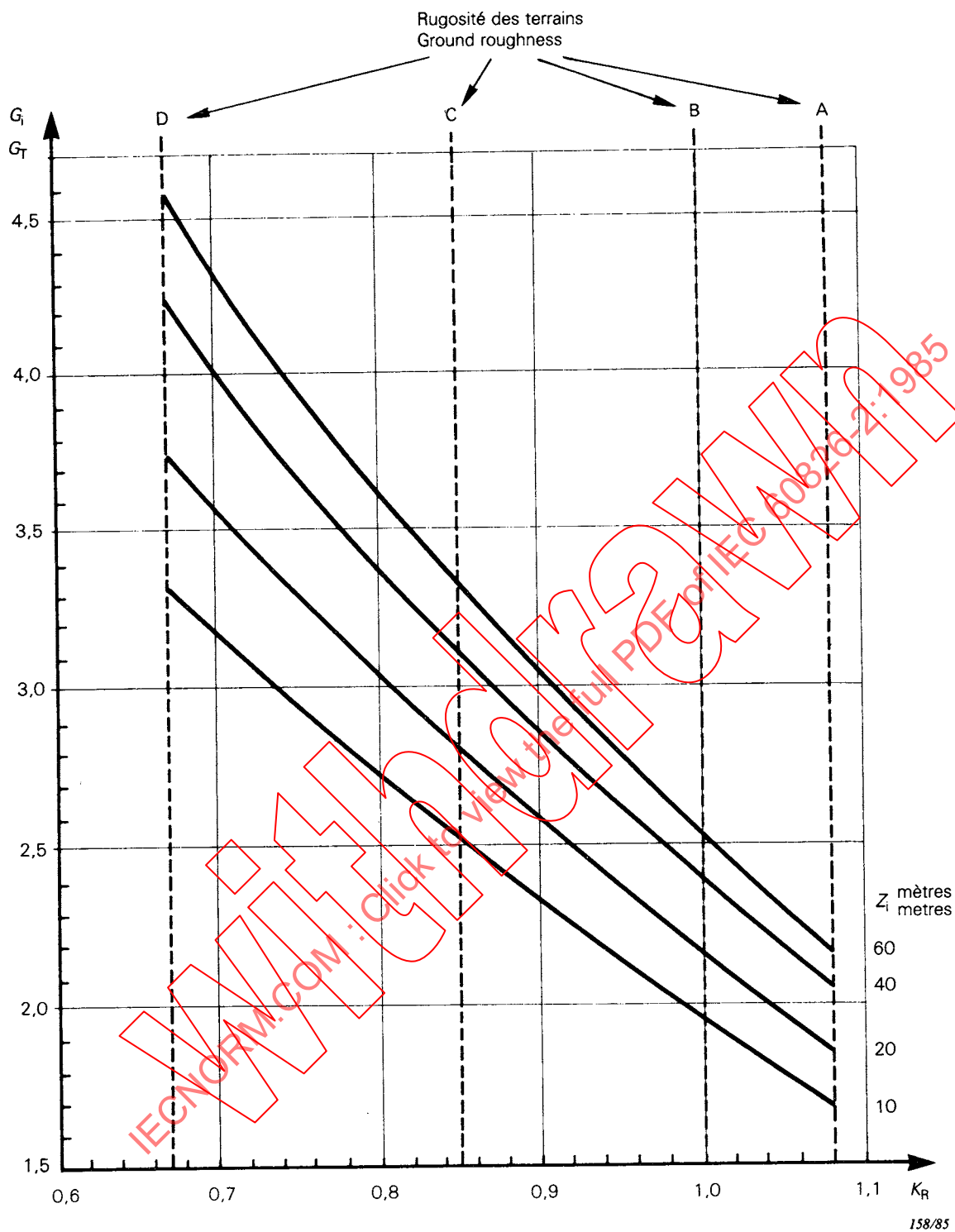
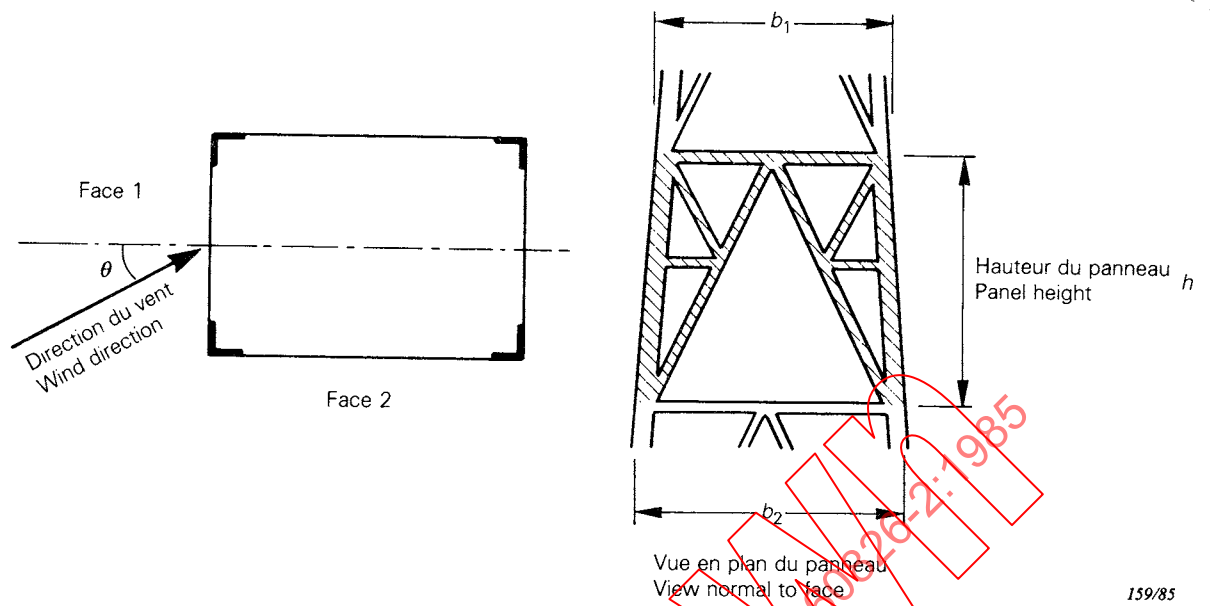


FIG. 3. — Facteur de rafale des isolateurs et des pylônes: G_i , G_T
 Gust factor of insulators and towers: G_i , G_T



159/85

S_T = aire totale des barres d'un panneau projetée dans son plan
total area of structural components of a panel, projected normal to face

χ = coefficient de compacité
solidity ratio

$$\chi = S_T \times \frac{2}{h (b_1 + b_2)}$$

FIG. 4. — Définition du rapport de compacité.
Definition of the solidity ratio.

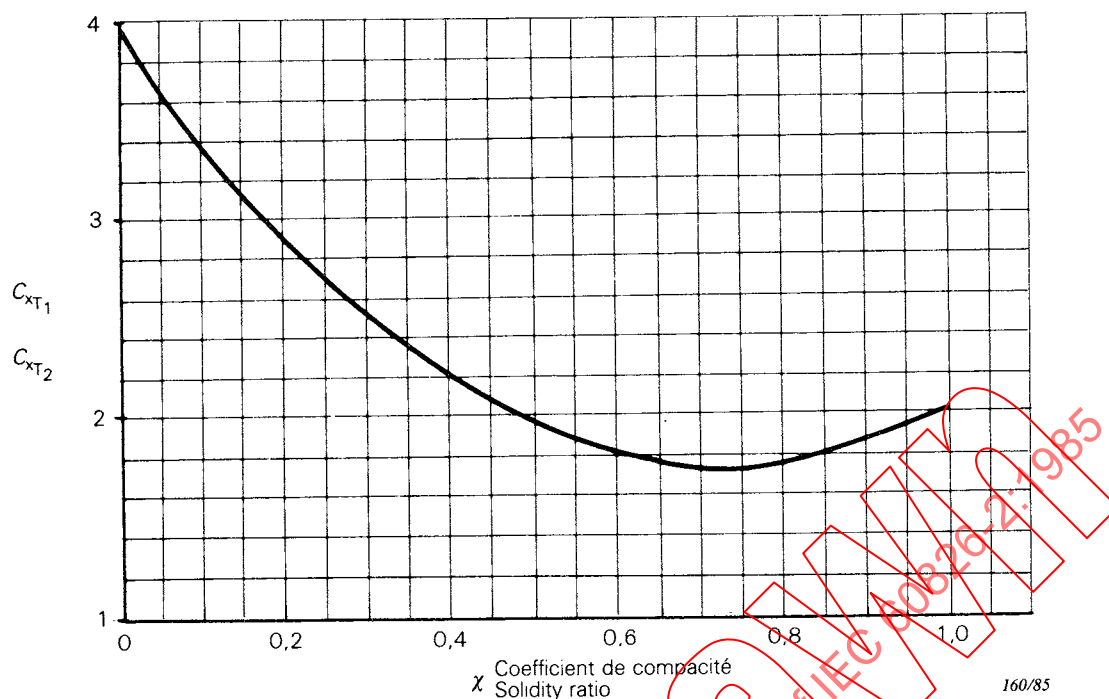


FIG. 5. — Coefficients de traînée normale pour les pylônes à section rectangulaire composés de membrures à faces planes C_{xT} .
Overall normal drag coefficients for rectangular towers composed of flat sided members C_{xT} .

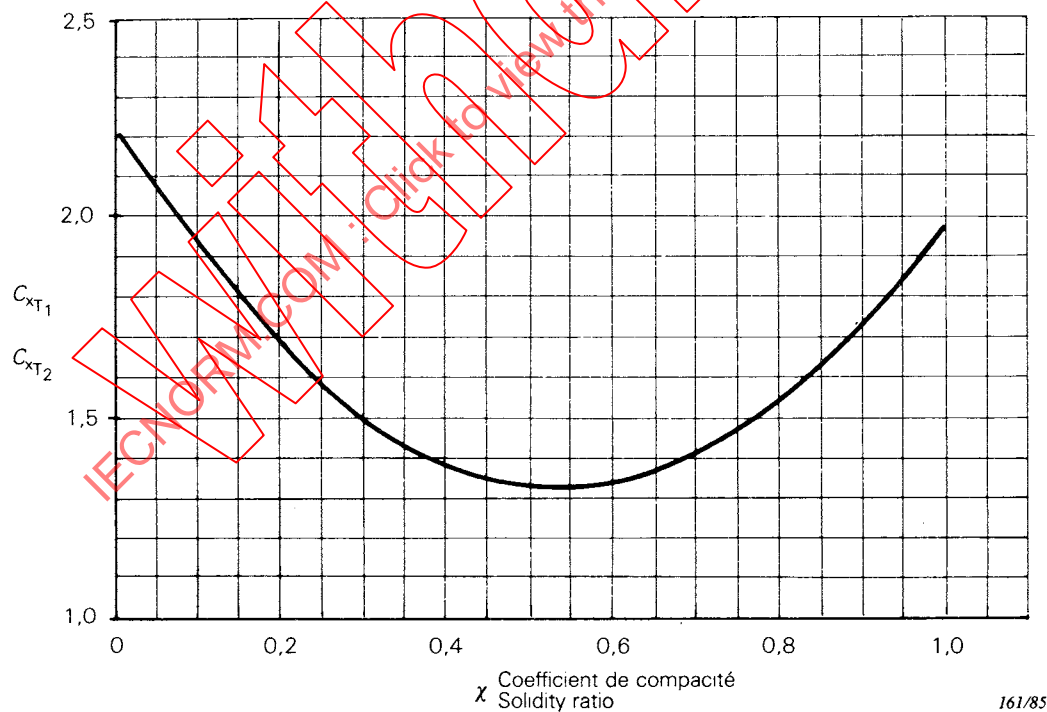


FIG. 6. — Coefficients de traînée normale pour les pylônes à section rectangulaire composés de membrures à section circulaire C_{xT} .
Overall normal drag coefficients for rectangular towers composed of circular section members C_{xT} .

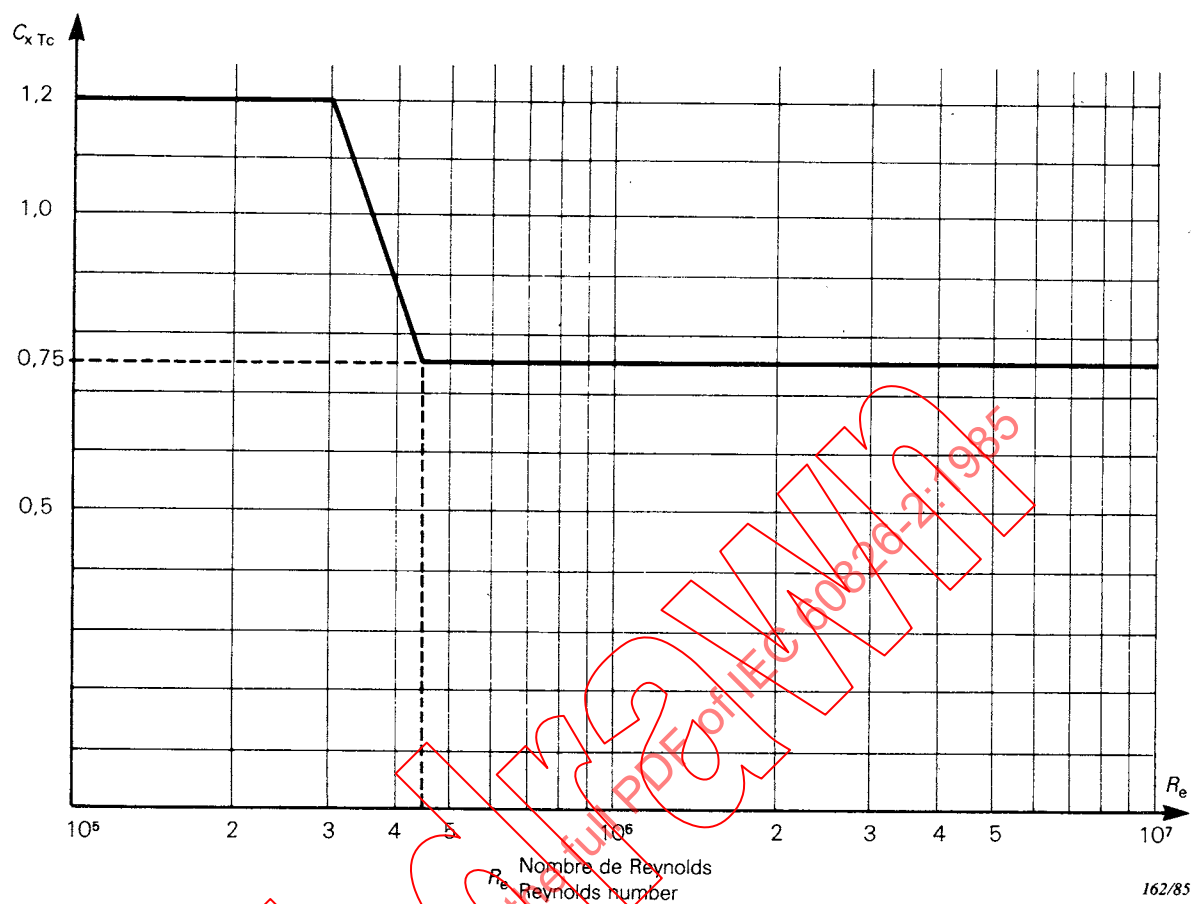


FIG. 7. — Valeur de C_{xTc} , coefficient de traînée des éléments cylindriques de grand diamètre, en fonction du nombre de Reynold R_e
 Value of C_{xTc} , drag coefficient of cylindrical elements having a large diameter, as a function of Reynolds number R_e .

— Page blanche —
— Blank page —

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60826-2:1985

Withd2Wm

ANNEXE A

DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE MÉTÉOROLOGIQUE DU VENT

En général, les stations météorologiques (à l'exception des stations situées en bord de mer) sont dans des sites de rugosité B.

Supposons, toutefois, que la vitesse météorologique du vent soit enregistrée à 10 m de hauteur dans un site de catégorie x , et soit une valeur moyenne sur un temps de t secondes. Soit $V_{x,t}$ cette vitesse.

Les courbes de la figure A1, page 28, permettent de déterminer le rapport $V_{x,t}/V_{x,10 \text{ min}}$ pour chaque catégorie de rugosité déterminée à l'emplacement du site météorologique.

Connaissant $V_{x,10 \text{ min}}$, on trouve V par la relation:

$$V = V_{x,10 \text{ min}} \cdot K_J$$

K_J étant donné par le tableau suivant:

Rugosité du site météorologique	A	B	C	D
K_J	0,92	1,00	1,17	1,49

Note. — Il n'a pas été tenu compte de la variation de V avec la hauteur, les anémomètres étant la plupart du temps placés à une hauteur voisine de 10 m au-dessus du sol environnant. Si cette hauteur était très différente de 10 m, il faudrait alors tenir compte d'un facteur de variation de la vitesse du vent avec la hauteur pour calculer V .

APPENDIX A

DETERMINATION OF THE METEOROLOGICAL REFERENCE WIND VELOCITY

Usually, meteorological stations (except those along the coast) are placed in areas of B roughness category.

Nevertheless, let us assume that the meteorological wind velocity is recorded at 10 m above the ground in a category x site, and is a mean value over a period of time of t seconds. Let $V_{x,t}$ be this velocity.

The curves of Figure A1, page 28, make it possible to determine the ratio $V_{x,t}/V_{x,10 \text{ min}}$ for each category of roughness at the location of the meteorological site.

As we know $V_{x,10 \text{ min}}$, we can find V by means of the following relation:

$$V = V_{x,10 \text{ min}} \cdot K_J$$

K_J given by the following table:

Roughness of the meteorological site	A	B	C	D
K_J	0.92	1.00	1.17	1.49

Note. — The variation of V in terms of the height was not taken into account, as anemometers are, most of the time, placed at a height of about 10 m above surrounding ground. If this height greatly differed from 10 m, it would then be necessary to account for the variation factor of the wind velocity in terms of the height in order to compute V .

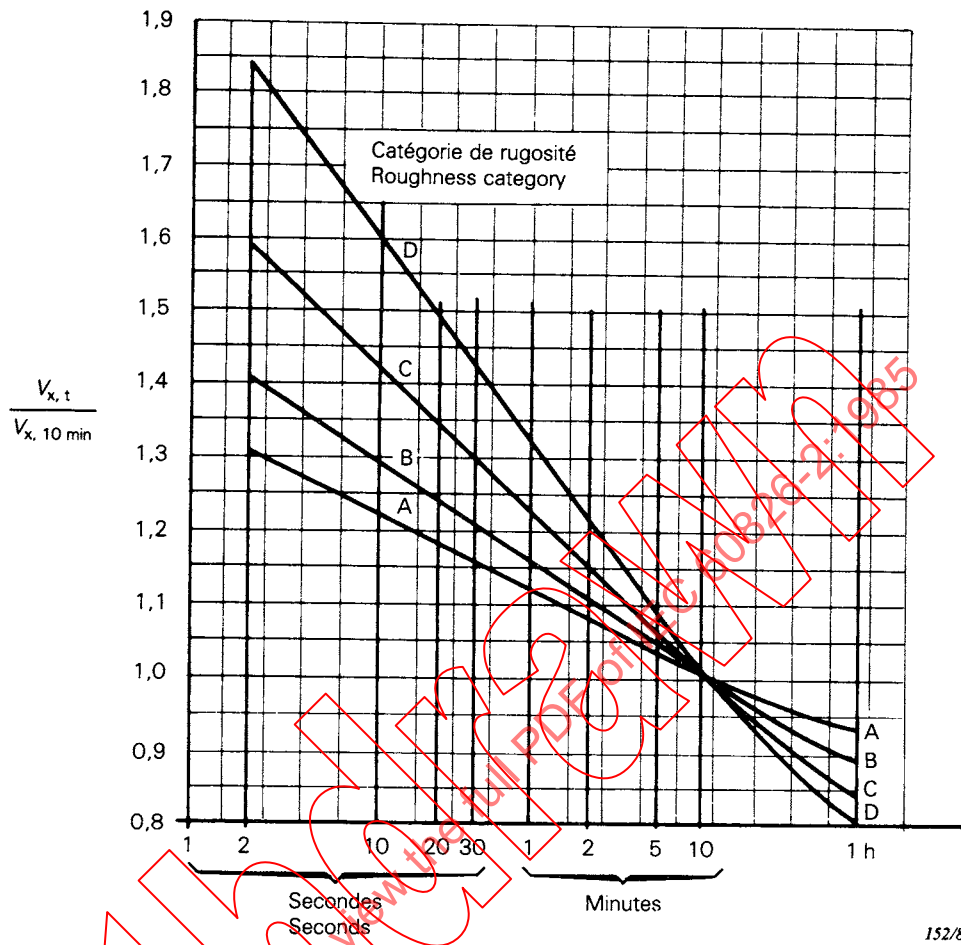


FIG. A1. — Relations entre les vitesses météorologiques du vent à 10 m de hauteur.
Relationship between meteorological wind velocities at a height of 10 m.