

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Lightning density based on lightning location systems – General principles

**Densité de foudroiement basée sur des systèmes de localisation
de la foudre (LLS) – Principes généraux**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC - webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Lightning density based on lightning location systems – General principles

**Densité de foudroiement basée sur des systèmes de localisation
de la foudre (LLS) – Principes généraux**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.020; 91.120.40

ISBN 978-2-8322-7457-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD	3
INTRODUCTION	5
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols	6
3.1 Terms and definitions	6
3.2 Abbreviated terms and symbols	7
4 General requirements	7
4.1 General	7
4.2 Stroke-to-flash grouping	8
4.3 Minimum observation periods	9
4.4 Observation area	9
4.5 Grid cell size	9
4.6 Edge effect correction	9
5 Validation of lightning location system performance characteristics	10
Annex A (informative) Determination of lightning density for risk calculation	12
Annex B (informative) Ground strike points (GSPs) explanations and calculation methods	13
Bibliography	14
Figure A.1 – High resolution full climatology (HRFC) N_t data	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIGHTNING DENSITY BASED ON LIGHTNING LOCATION SYSTEMS –
GENERAL PRINCIPLES**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62858 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2015. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

Two informative annexes are introduced dealing with the determination of lightning density for risk calculation (Annex A) and ground strike point calculation methods (Annex B).

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
81/627A/FDIS	81/634/RVD

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

International standards for lightning protection (e.g. IEC 62305-2) provide methods for the evaluation of the lightning risk on buildings and structures.

The lightning ground flash density N_G , defined as the mean number of flashes per square kilometre per year, and the ground strike point density N_{SG} , defined as the mean number of ground strike points per square kilometre per year are the primary input parameters to perform such an evaluation (see Annex A).

In many areas of the world data for risk evaluation are provided by lightning location systems (LLSs), but no common rule exists defining requirements either for their performance or for the elaboration of the measured data.

LIGHTNING DENSITY BASED ON LIGHTNING LOCATION SYSTEMS – GENERAL PRINCIPLES

1 Scope

This document introduces and discusses all necessary measures to make reliable and homogeneous the values of ground flash density, N_G and ground strike point density, N_{SG} , obtained from lightning location systems (LLSs) in various countries. Only parameters that are relevant to risk assessment are considered.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

3 Terms, definitions, abbreviated terms and symbols

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62305-1 and IEC 62305-2 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

ground flash density

N_G

mean number of cloud-to-ground flashes per unit area per unit time (flashes x km⁻² x year⁻¹)

3.1.2

ground strike-point density

N_{SG}

mean of the number of strike-points to ground per unit area per unit time (strike-points x km⁻² x year⁻¹)

3.1.3

lightning sensor

device that measures electromagnetic signals produced by lightning discharges

3.1.4 lightning location system

LLS

network of lightning sensors that work together to detect and geolocate lightning events within the area of the system's coverage

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.1.5 confidence ellipse

ellipse centred on the estimated ground strike-point, describing the degree of confidence of the location estimation (e.g. 50 %, 90 %, 99 %) based on sensor measurement errors

Note 1 to entry: The confidence ellipse is described in terms of the lengths of the semi-major and semi-minor axes as well as the bearing of the semi-major axis.

3.1.6 uptime

duration of fully functional operation of a lightning location system sensor, expressed as a percentage of the total observation time

3.1.7 stroke detection efficiency flash detection efficiency

percentage of strokes or flashes detected as a percentage of the total number of strokes or flashes occurring in reality

3.1.8 median location accuracy

value of the distances between real stroke locations and the stroke locations given by the lightning location system

3.2 Abbreviated terms and symbols

CG	cloud-to-ground
DE	detection efficiency
GSP	ground strike point
IC	intra-cloud and inter-cloud
LA	location accuracy
LLS	lightning location system
N_G	ground flash density
N_{SG}	ground strike-point density

4 General requirements

4.1 General

The performance characteristics of a lightning location system (LLS) determine the quality of the lightning data available for calculating N_G [1]¹. A value of N_G with an error of $\pm 20\%$ or less is deemed to be adequate for lightning risk assessment. Data from any LLS that is able to detect CG lightning and accurately determine the point of strike of CG strokes can be used for the purpose of N_G computation. The following LLS performance characteristics are required for computation of N_G with adequate accuracy.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

- Flash detection efficiency (DE): The value of the annual average flash detection efficiency of an LLS for CG lightning shall be at least 80 % in the region over which N_G has to be computed. This DE is usually obtained within the interior of the network. The interior of the network is defined as the region within the boundary defined by the outermost adjacent sensors of the network.
- Location accuracy (LA): The value of the median location accuracy of an LLS for CG strokes shall be better than 500 m in the region over which N_G has to be computed. This LA is usually obtained within the interior of the network.
- Classification accuracy: In a network with a flash DE meeting the criteria set for N_G calculation, erroneously low or high values of N_G will be identified when too many CG strokes are misclassified as cloud pulses (or vice versa). This is especially true for single-stroke CG flashes. A classification accuracy (CG flashes not misclassified as IC) of at least 85% is required.

These performance characteristics of an LLS can be determined using a variety of methods including network self-referencing (using statistical analysis of parameters such as standard deviation of sensor timing error, semi-major axis length of the 50 % confidence ellipse, and the number of reporting sensors, which may be known from the LLS manufacturer or available from the LLS data) and comparison against ground-truth lightning data obtained using various techniques. These methods are discussed in Clause 5. A performance evaluation based on the methods described in Clause 5 and all the relevant basics of the network have to be provided on request.

The flash DE, LA, and classification accuracy of an LLS depend on a few fundamental characteristics of the network. LLS owners, operators, and data-providers should consider the following factors while designing and maintaining their networks to ensure that the lightning data are of adequate quality for N_G computation.

- Sensor baseline distance: The distance between adjacent sensors in an LLS so called sensor baseline distance is influenced by the area of desired coverage and the sensitivity of individual sensors. Sensor baseline distance is one of the factors that determine the DE and LA of an LLS. The maximum sensor baseline distance of an LLS shall be such that the DE and LA of the network meet the criteria for N_G calculation described above.
- Sensor sensitivity: The sensitivity of sensors in an LLS primarily determines the ability of the network to detect lightning events of different peak currents. The sensitivity of sensors in an LLS shall be such that lightning events with peak currents in the range of 5 kA to 300 kA are detected and reported by the LLS. Sensor sensitivity is determined by various factors such as trigger threshold, electronic gain, sensor bandwidth, and background electromagnetic noise.
- Sensor uptime: The uptime of different sensors in a network determines the DE and LA of the network. The spatial and temporal variations of DE and LA are determined by the location of sensors that are up and contributing to the network. Hence it is important to guarantee that LLS sensors are up and running with no interruption.

4.2 Stroke-to-flash grouping

Return strokes detected by lightning location systems shall be grouped into flashes for N_G calculation. Multiple ground strike-points are included in the same flash. This grouping is done based on a spatio-temporal window.

A subsequent stroke is grouped with the first return stroke to form a flash if the following criteria are met:

- a) the stroke occurs less than or equal to 1 s after the first return stroke;
- b) the location of the stroke is less than or equal to 10 km from the first return stroke;
- c) the time interval for successive strokes is less than or equal to 500 ms.

The flash position is assumed to be the location of the first stroke.

Strokes can also be grouped into ground strike points to obtain N_{SG} based on different algorithms described in Annex B.

4.3 Minimum observation periods

A sufficiently long sampling period is required to ensure that short time scale variations in lightning parameters due to a variety of meteorological oscillations are accounted for. Additionally large scale climatological variations limit the validity of historic data. Some lightning detection networks have been recording lightning data for several decades and during this time there have been measurable changes to the climate.

A set of lightning data for at least 10 full calendar years is required, with the newest data used not being older than five years. The data should be as continuous as possible, unless the data does not fulfil the performance requirements in some particular years which have then to be removed.

4.4 Observation area

The observation area is an area over which lightning data of quality as described above are available.

Different networks and sensor technologies will have different sensitivities with which they detect lightning. Network coverage falls off outside the boundaries of a network. In general, lightning data within half the average sensor baseline distance (distance between adjacent sensors in the network) from the boundary of the network should be of sufficient quality for N_G calculation.

4.5 Grid cell size

Ground flash density (N_G) values vary annually and regionally. Lightning data have to be evaluated as a raster map, i.e. a gridded array of cells constrained by a geographic boundary: the area of interest is divided into a regular grid (tessellation of the geographic area) and the N_G calculation function is applied to all the flashes occurring within the grid. The resulting value is then assumed to be the meaningful value within that area.

Grid size has to be chosen in such a way that the dimensions of each cell and the number of years considered both comply with the minimum requirements obtained from Formula (1), following Poisson distribution and the law of rare events, thus obtaining an uncertainty of less than 20 % at 90 % confidence level [2].

$$N_G \times T_{\text{obs}} \times A_{\text{cell}} \geq 80 \quad (1)$$

where:

N_G is the ground flash density, in $\text{km}^{-2} \text{ year}^{-1}$;

T_{obs} is the observation period, in years;

A_{cell} is the area of each single cell, in km^2 .

The data used in this analysis shall conform to the requirements of both 4.2 and 4.3. The minimum permissible cell dimension, irrespective of ground flash density and observation period, shall not be less than double the median location accuracy.

4.6 Edge effect correction

As defined in 4.5 the size of the smallest cell that can be considered should contain at least 80 flashes. In order to avoid edge effects for this cell the N_G value shall be obtained by integrating over a finer sub-grid of 1 km x 1 km resolution.

5 Validation of lightning location system performance characteristics

The performance characteristics of an LLS determine the quality of the lightning data available. These performance characteristics include:

- detection efficiency for IC and CG flashes and CG strokes;
- location accuracy;
- peak current estimation accuracy; and
- lightning classification accuracy.

As stated in Clause 4, for N_G and N_{SG} , the determination of DE, LA, and lightning classification accuracy is of primary importance. These performance characteristics can be evaluated using a variety of techniques which are summarized below.

- a) Network self-reference: In this technique, statistical analysis of parameters such as standard deviation of sensor timing error, semi-major axis length of the 50 % confidence ellipse, and the number of reporting sensors, is used to infer the LA and DE of an LLS. Examples of such studies are found in [3], [4] and [5]. This method requires data collected by the network after it has been properly calibrated. It can provide a good estimate of the network's performance in a cost-effective, practical manner.
- b) Rocket-triggered lightning and tall object studies: This method uses data from rocket-triggered lightning experiments or lightning strikes to tall objects (e.g. instrumented towers) as ground-truth to evaluate the performance characteristics of an LLS within whose coverage area the triggered lightning facility or the tall object is located. The LA, DE, peak current estimation accuracy, and lightning classification accuracy of an LLS can be measured using this method. Examples of studies using rocket-triggered lightning or lightning to tall structures for LLS performance evaluation include [6], [7], and [8]. These methods provide the best ground-truth data for performance characteristics validation for CG lightning. In addition, these methods are the only ways to directly validate peak current estimation accuracy of an LLS. However, they may be very expensive and may not be practical for all regions. There are only a few triggered lightning facilities and instrumented towers across the world. The results obtained from these methods are valid indicators of LLS performance only for the region where the rocket-triggered lightning facility or instrumented tower is located. Additionally, rocket-triggered lightning provides data for return strokes similar to only subsequent strokes in natural lightning. No data for first strokes in natural lightning can be obtained using this technique. This is also often the case for lightning strikes to tall objects depending upon the height of the object, local terrain, storm type, and other factors. Since first strokes in natural lightning are expected to have, on average, peak fields and currents that are a factor of two larger than those for subsequent strokes (e.g. [9]), CG flash and stroke DE estimated for an LLS using these methods may be somewhat of an underestimate.
- c) Video camera studies: Lightning data obtained using video cameras can be used as ground-truth to evaluate the performance characteristics of an LLS within whose coverage area the lightning discharges occur. The LA, DE, and lightning classification accuracy of an LLS can generally be estimated using this method. Examples of studies using video cameras for LLS performance evaluation include [8] and [9]. In this method, data collection can be time consuming and challenging because the exact locations of lightning discharges to be captured on video cannot be predicted. Additional instrumentation such as antennas measuring the electric field from lightning discharges is often required for this technique.

- d) Inter-comparison among networks: The performance of one LLS that is being tested can be compared against another LLS that may be used as reference, as long as the reference LLS is extremely well calibrated and its performance has been characterized independently. This method allows inferences to be made about the detection efficiency and location accuracy of the test LLS relative to the reference LLS. If the reference network provides VHF lightning mapping, inference about the test network's IC detection capability can be made, for example on plausibility of IC pulses or IC-CG discrimination. Examples of such studies include [10]. One limitation of this technique is that the test and reference networks have to overlap substantially and the results are only valid for the overlapping region. Further, if the performance of the reference network is unknown or if the reference network is not well calibrated, any inferences about the test network's performance are invalid.

While one or a combination of the above techniques can be used to evaluate the performance characteristics of an LLS, it is important to understand the strengths and weaknesses of the methods used, in order to obtain reliable estimates of LLS performance characteristics.

Annex A (informative)

Determination of lightning density for risk calculation

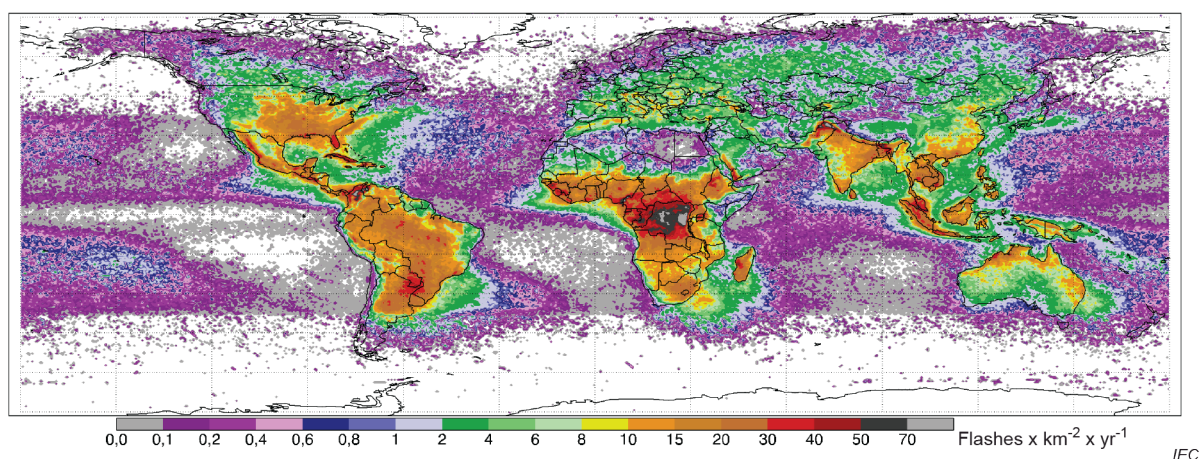
The lightning ground flash density N_G is the number of lightning flashes per square kilometre per year. In many areas of the world this value can be derived from data provided by local lightning location systems (LLSs) according to this document.

Historically N_G was determined from thunderstorm days or with the data of lightning flash counters. Because nowadays more accurate methods to determine N_G exist, the usage of thunderstorm days or data from lightning flash counters is no longer recommended.

In areas without ground-based lightning location systems, the recommended estimate of ground flash density [11] is:

$$N_G = 0,25 \times N_t \quad (\text{A.1})$$

N_t being the total (CG + IC) density of optical recorded flashes per km² per year, obtained through the NASA website (https://lightning.nsstc.nasa.gov/data/data_lis-otd-climatology.html). Figure A.1 gives an overview of total densities N_t all over the world.



SOURCE: https://ghrc.nsstc.nasa.gov/pub/lis/climatology/LIS-OTD/HRFC/browse/HRFC_COM_FR_V2.3.2015.png reproduced with the permission from the authors.

Figure A.1 – High resolution full climatology (HRFC) N_t data

NOTE In most areas of the world, an indication of lightning activity can be obtained from observations of lightning optical transients. Satellite-based sensors respond to all types of lightning with relatively uniform coverage. With sufficient averaging, optical transient density data provide better estimates of ground flash density than thunder observations, which have a wide range of relations between ground flash density and thunderstorm hours or thunderstorm days. There are also regional variations in the ratio of ground flashes (CG) to total flashes (CG + IC).

Often flashes exhibit multiple ground strike-points. Modern LLSs may provide N_{SG} directly according to one of the methods described in Annex B. In case of availability of N_{SG} from LLSs, using this data is recommended if the overall N_{SG} results were independently validated.

Annex B (informative)

Ground strike points (GSPs) explanations and calculation methods

About half of negative cloud-to-ground lightning flashes exhibit several ground strike points. This happens when a given dart leader partly follows the preceding return stroke channel, ending by creating its own path to the ground. Every ground strike point represents a threat and should be accounted for in the lightning risk calculation.

Based on high resolution lightning location data it becomes possible to identify almost all the different attachment points in a cloud-to-ground lightning flash.

There are different algorithms available to determine ground strike points for LLS data with advantages and disadvantages:

- Cummins [12] employed discriminant analysis to create a “vote count” based on several parameters, including location difference and other parameters that can help identify new ground strike points, for example rise time. This method has the potential to identify new ground strike points when the location uncertainty is larger than the separation distance. The “vote” approach weakens the location difference analysis when the locations are well-known. This method is highly dependent on the quality of the rise-time parameter but some LLS technologies may not provide the rise time and peak-to-zero time information at all.
- Pédeboy [13], [14], [15] implemented a reliable clustering algorithm based on the k-means method. This algorithm does not employ a complete statistical treatment of the error geometry embodied in the error ellipses (it is just scaled by the size of the confidence ellipse) and has no mechanism to distinguish between individual ground strike points when the location uncertainty is larger than the separation distance of the ground strike points.
- Campos [16], [17] does a rigorous statistical job of evaluating the location uncertainty by using the geometry of the error ellipse in the full latitude/longitude space, while embracing the strengths of the k-means approach developed by Pédeboy. This method has the same potential weakness as the approach from Pédeboy, in that it has no mechanism to “refine” the classification when the location uncertainty is larger than the separation distance.

After applying one of these algorithms to LLS data, the ground strike point density can be determined spatially according to the same rules as the ground flash density.

Bibliography

- [1] CIGRE Report 376, “*Cloud-to-Ground Lightning Parameters Derived from Lightning Location Systems – The Effects of System Performance*,” CIGRE Report 376, 2009
- [2] G. Diendorfer, “*Some Comments on the Achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values*,” in 29th International Conference on Lightning Protection (ICLP), 2008, no. June, p. 1–6
- [3] W. Schulz, “*Performance Evaluation of Lightning Location Systems*,” PhD Thesis, Technical University of Vienna, 1997
- [4] K. L. Cummins, M. J. Murphy, J. A. Cramer, W. D. Scheftic, N. W. S. Demetriades, and A. Nag, “*Location accuracy improvements using propagation corrections: a case study of the U.S. National Lightning Detection Network*,” in 21st International Lightning Detection Conference and 3rd International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2010
- [5] K. P. Naccarato, O. J. Pinto, and M. J. Murphy, “*Performance Analysis of the BrasilDAT network*,” in International Conference on Grounding and Earthing and 3rd International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND/LPE), 2008
- [6] J. E. Jerauld et al., “*An evaluation of the performance characteristics of the U.S. National Lightning Detection Network in Florida using rocket-triggered lightning*,” J. Geophys. Res. Atmos., vol. 110, no. D19, p. D19106, 2005
- [7] A. Nag et al., “*Evaluation of U.S. National Lightning Detection Network performance characteristics using rocket-triggered lightning data acquired in 2004–2009*,” J. Geophys. Res. Atmos., vol. 116, no. D2, p. D02123, 2011
- [8] W. Schulz, G. Diendorfer, S. Pédeboy, and D. R. Poelman, “*The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation*,” Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 16, no. 2, p. 595–605, 2016
- [9] W. Schulz, S. Pédeboy, C. Vergeiner, E. Defer, and W. Rison, “*Validation of the EUCLID LLS during HyMeX SOP1*,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2014
- [10] D. R. Poelman, W. Schulz, and C. Vergeiner, “*Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium*,” J. Atmos. Ocean. Technol., vol. 30, no. 5, p. 942–951, 2013
- [11] W. A. Chisholm, “*Estimates of Lightning Ground Flash Density using Optical Transient Density*,” in IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No.03CH37495), 2003, vol. 3, p. 1068–1071
- [12] K. L. Cummins, “*Analysis of Multiple Ground Contacts in Cloud-to-ground Flashes Using LLS Data: The Impact of Complex Terrain*,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2012
- [13] S. Pédeboy, “*Identification of the multiple ground contacts flashes with lightning location systems*,” in 22nd International Lightning Detection Conference and 4th International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2012
- [14] S. Pédeboy and W. Schulz, “*Validation of a ground strike point identification algorithm based on ground truth data*,” in International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC), 2014

- [15] W. Schulz, S. Pedeboy, and M. M. F. Saba, “*LLS Detection Efficiency of Ground Strike Points*,” in *Lightning Protection (ICLP)*, 2014 International Conference on, 2014, no. 2, p. 381–384
 - [16] L. Z. S. Campos, K. L. Cummins, and O. J. Pinto, “*An algorithm for identifying ground strike points from return stroke data provided by Lightning Location Systems*,” in *Asia-Pacific Conference on Lightning (APL)*, 2015, p. 475–478
 - [17] L. Z. S. Campos, “*On the mechanisms that lead to multiple ground contacts in lightning*,” PhD Thesis, INPE, Brazil, 2016
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	6
3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles	6
3.1 Termes et définitions	6
3.2 Termes abrégés et symboles	7
4 Exigences générales	8
4.1 Généralités	8
4.2 Regroupement des arcs-en-retour en flashes CG.....	9
4.3 Périodes d'observation minimales	9
4.4 Zone d'observation	9
4.5 Dimensions des cellules de la grille	10
4.6 Correction de l'effet de bord.....	10
5 Validation des caractéristiques de performance d'un système de localisation des éclairs (LLS).....	10
Annexe A (informative) Détermination de la densité de foudroiement pour le calcul du risque	13
Annexe B (informative) Explications et méthodes de calcul concernant les points d'impact au sol (GSP).....	14
Bibliographie.....	15
Figure A.1 – Données N_t climatologiques haute résolution (HRFC)	13

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DENSITÉ DE FOUROIEMENT BASÉE SUR DES SYSTÈMES DE LOCALISATION DES ECLAIRS – PRINCIPES GÉNÉRAUX

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés « Publication(s) de l'IEC »). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62858 a été établie par le comité d'études 81 de l'IEC: Protection contre la foudre.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2015. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

Introduction de deux annexes informatives, traitant de la détermination de la densité de foudroiement pour le calcul du risque (Annexe A) et des méthodes de calcul concernant les points de contact au sol (Annexe B).

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/XX/FDIS	81/XX/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Les Normes internationales pour la protection contre la foudre (par exemple l'IEC 62305-2) fournissent des méthodes pour l'évaluation des risques de foudre sur les immeubles et autres structures.

La densité de flashes N_G , définie comme le nombre moyen de flashes Nuage-Sol par kilomètre carré et par an et la densité de points de contact NSG, définie comme le nombre moyen de points de contact au sol par kilomètre carré et par an, sont les paramètres d'entrée principaux pour effectuer de telles évaluations (voir l'Annexe A).

Dans de nombreuses régions du monde, les données d'évaluation des risques sont fournies par des systèmes de localisation des éclairs (LLS), mais il n'existe aucune règle commune définissant les exigences de performances des LLS ou d'élaboration du N_G .

DENSITÉ DE FOUDROIEMENT BASÉE SUR DES SYSTÈMES DE LOCALISATION DES ÉCLAIRS – PRINCIPES GÉNÉRAUX

1 Domaine d'application

Le présent document décrit et étudie l'ensemble des mesures nécessaires pour produire des valeurs fiables et homogènes de N_G à partir des différents LLS nationaux. Seuls les paramètres essentiels à l'évaluation du risque sont pris en compte.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 62305-1, *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

IEC 62305-2, *Protection contre la foudre – Partie 2: Evaluation des risques*

3 Termes, définitions, termes abrégés et symboles

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'IEC 62305-1 et l'IEC 62305-2 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

densité de flashes au sol

N_G

moyenne du nombre de flashes Nuage-Sol par unité de surface et par unité de temps (flashes x km^{-2} x an^{-1})

3.1.2

densité des points de contact au sol

N_{SG}

moyenne du nombre de points de contacts au sol par unité de surface et par unité de temps (points de contacts x km^{-2} x an^{-1})

3.1.3

capteur de décharges atmosphériques

dispositif qui mesure les signaux électromagnétiques produits par les décharges atmosphériques dans les éclairs

3.1.4**système de localisation des éclairs**

LLS

réseau de capteurs de décharges atmosphériques fonctionnant ensemble pour détecter et géolocaliser les décharges atmosphériques dans la zone couverte par le système

Note 1 à l'article: L'abréviation "LLS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "lightning locating system".

3.1.5**ellipse de confiance**

ellipse centrée sur la position de la décharge atmosphérique calculée par le LLS; décrivant le degré de confiance de l'estimation de localisation (50 %, 90 %, 99 %, par exemple) en se fondant sur les erreurs de mesure des capteurs

Note 1 à l'article: L'ellipse de confiance est définie par les rapports aux longueurs du demi-grand axe et du demi-petit axe, ainsi qu'à l'orientation du demi-grand axe.

3.1.6**taux de disponibilité**

durée pendant laquelle un capteur intégré à un LLS est opérationnel

3.1.7**efficacité de détection des arcs-en-retour****efficacité de détection des flashes**

pourcentage d'arc-en-retour ou de flashes détectés par rapport au pourcentage du nombre total d'arc-en-retour ou de flash qui se produisent réellement

3.1.8**précision de localisation médiane**

valeur des distances entre les localisations des décharges réelles et les localisations des décharges calculées par le LLS

3.2 Termes abrégés et symboles

CG (cloud-to-ground)	éclair nuage-sol
DE (detection efficiency)	efficacité de détection
GSP (ground strike point)	point de contact au sol
IC (intra-cloud/inter-cloud)	éclair intra-nuage
LA (location accuracy)	précision de localisation
LLS (lightning location system)	système de localisation des éclairs
N_G (ground flash density)	densité de foudroiement basée sur les flashes
N_{SG} (ground strike-point density)	densité de foudroiement basée sur les points de contact

4 Exigences générales

4.1 Généralités

Les caractéristiques de performance d'un LLS déterminent le niveau de qualité des données qui sont disponibles pour le calcul de N_G [1]¹. Une valeur de N_G avec une marge d'erreur de ± 20 % ou moins est jugée adéquate pour une évaluation du risque foudre. Les données de tout LLS capable de détecter les éclairs nuage-sol (CG) et de déterminer avec précision la localisation des arcs-en-retour peuvent être utilisées pour calculer la valeur de N_G . Les caractéristiques de performance suivantes du LLS sont exigées pour un calcul de N_G avec une précision adéquate.

- Efficacité de détection des flashes (DE): la valeur moyenne annuelle de DE pour les flashes CG doit être d'au moins 80 % dans la région pour laquelle N_G doit être calculée. Cette DE est généralement obtenue à l'intérieur du réseau. L'intérieur du réseau est défini comme la zone située dans les limites établies par les capteurs périphériques du réseau.
- Précision de localisation (LA): la précision de localisation médiane d'un LLS pour les arcs-en-retour doit être inférieure à 500 m dans la région pour laquelle N_G doit être calculée. Cette LA est généralement obtenue à l'intérieur du réseau.
- Précision de classification : dans un LLS avec une DE de flashes CG qui respecte les critères pour le calcul du N_G , les erreurs de classification des arcs-en-retour CG en décharges intra-nuage (IC) et vice-versa peuvent entraîner des valeurs erronées du N_G (trop élevé ou trop faible). Ceci est particulièrement vrai pour les éclairs avec un seul arc-en-retour. Une précision de classification (absence d'erreurs de classification d'éclairs nuage-sol en éclairs nuage-nuage) d'au moins 85 % est exigée.

Ces caractéristiques de performance d'un LLS peuvent être déterminées par différentes méthodes, notamment l'autoréférence du réseau (qui utilise l'analyse statistique de paramètres tels que l'écart-type des erreurs temporelles des capteurs, la longueur du demi-grand axe de l'ellipse de confiance de 50 % et le nombre de capteurs qui détectent, qui peuvent être obtenus auprès du fabricant ou de l'opérateur du LLS) et la comparaison avec les données de terrain relatives aux éclairs obtenues par différentes techniques. Ces méthodes sont examinées à l'Article 5. Une évaluation des performances fondée sur les méthodes décrites à l'Article 5 et toutes les caractéristiques du LLS doivent être fournies sur demande.

Le DE des éclairs, la LA et la précision de classification d'un LLS dépendent de quelques caractéristiques fondamentales du réseau. Il convient que les propriétaires, les opérateurs et les fournisseurs de données du LLS tiennent compte des facteurs suivants lors de la conception et de la maintenance des réseaux, afin de garantir que la qualité des données relatives aux décharges atmosphériques est suffisante pour le calcul de N_G .

- Distance de base entre capteurs: la distance entre deux capteurs périphériques dans un LLS, appelée ligne de base entre capteurs, dépend de la zone de couverture souhaitée et de la sensibilité de chaque capteur. La distance entre capteurs est l'un des facteurs qui déterminent le DE et la LA d'un LLS. La distance maximale entre les capteurs d'un LLS doit être telle que le DE et la LA du réseau satisfassent aux critères de calcul de N_G décrits ci-dessus.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

- Sensibilité des capteurs: la sensibilité des capteurs d'un LLS est le principal critère permettant de déterminer la capacité du réseau à détecter les décharges atmosphériques ayant des courants de crête différents. La sensibilité des capteurs d'un LLS doit être telle que les décharges atmosphériques ayant des courants crête situés dans la plage de 5 kA à 300 kA sont détectés et localisés par le LLS. La sensibilité d'un capteur est déterminée par plusieurs facteurs tels que le seuil de détection, le gain électronique, la largeur de bande de fréquence du capteur et le bruit de fond électromagnétique.
- Taux de disponibilité des capteurs: le temps de disponibilité des différents capteurs d'un réseau détermine le DE et la LA du réseau. Les variations spatiotemporelles du DE et de la LA sont déterminées par la localisation des capteurs, qui sont opérationnels et qui participent au fonctionnement du réseau. Il est donc important de garantir que les capteurs du LLS sont opérationnels et qu'ils fonctionnent sans interruption.

4.2 Regroupement des arcs-en-retour en flashes CG

Les arcs-en-retour détectés par les LLS doivent être regroupés sous forme flash pour le calcul de N_G . On notera que dans ce regroupement les différents points de contact au sol ne sont pas identifiés. Ce regroupement est réalisé sur la base de critères spatiotemporels.

Un arc-en-retour subséquent est regroupé avec l'arc précédent pour former un flash si les critères suivants sont respectés:

- a) l'arc-en-retour se produit dans un délai inférieur ou égal à 1 s après le premier arc-en-retour;
- b) l'arc-en-retour se trouve dans un rayon inférieur ou égal à 10 km du premier arc-en-retour;
- c) l'intervalle de temps entre les arcs-en-retour successifs est inférieur ou égal à 500 ms.

Par convention, la localisation du flash est la localisation du premier arc-en-retour.

Les arcs-en-retour peuvent également être regroupées sous forme de points de contact au sol pour obtenir N_{SG} à partir des différents algorithmes décrits en Annexe B.

4.3 Périodes d'observation minimales

Une période d'observation suffisamment longue est exigée afin de prendre en compte les variations annuelles du foudroiement qui sont dues à différents facteurs météorologiques. De plus, les variations climatiques à grande échelle limitent la validité des données historiques. Certains LLS enregistrent des données depuis plusieurs décennies; or, au cours de cette période, le climat a connu des variations mesurables.

Un ensemble de données relatives aux décharges atmosphériques couvrant au moins 10 années calendaires complètes est exigé, les données les plus récentes utilisées ne datant pas de plus de cinq ans. Il convient que les données soient les plus continues possible, à moins que les données ne respectent pas les exigences de performance au cours de certaines années particulières, qui doivent dans ce cas être supprimées.

4.4 Zone d'observation

La zone d'observation est une zone dans laquelle sont disponibles des données relatives au foudroiement d'une qualité telle que décrite ci-dessus.

D'un LLS et d'une technologie de capteur à l'autre, les niveaux de sensibilité ne sont pas les mêmes pour la détection des éclairs. Les performances du LLS se dégradent très rapidement à l'extérieur de la couverture. En général, il convient que les données localisées à l'extérieur des limites d'un LLS jusqu'à une distance maximale égale à la moitié de la moyenne des lignes de bases entre capteurs soient d'une qualité suffisante pour calculer N_G .

4.5 Dimensions des cellules de la grille

Les valeurs du N_G varient en fonction de l'année et de la zone géographique. Les données relatives au foudroiement doivent être évaluées sous forme de carte matricielle, c'est-à-dire d'un ensemble de cellules organisées sous forme de grille à l'intérieur d'une limite géographique: la zone d'intérêt est divisée au moyen d'une grille régulière (carroyage de la zone géographique) et la fonction de calcul de N_G est appliquée à tous les éclairs CG qui se produisent au sein de cette grille. La valeur qui en résulte est alors retenue comme valeur pertinente pour cette zone.

La taille de la grille doit être choisie de sorte que les dimensions de chaque cellule et le nombre d'années pris en compte soient conformes aux exigences minimales obtenues à partir de la Formule (1), suivant la loi de Poisson et la loi des événements rares, ce qui donne une incertitude inférieure à 20 % avec un niveau de confiance de 90 % [2].

$$N_G \times T_{\text{obs}} \times A_{\text{cell}} \geq 80 \quad (1)$$

où:

N_G est la densité de foudroiement en $\text{km}^{-2} \text{an}^{-1}$;

T_{obs} est la période d'observation en années;

A_{cell} est la zone de chaque cellule en km^2 .

Les données utilisées dans cette analyse doivent être conformes aux exigences du 4.2 et du 4.3. La dimension minimale admissible de la cellule, quelles que soient la densité de foudroiement au sol et la période d'observation, ne doit pas être inférieure au double de la précision de localisation médiane.

4.6 Correction de l'effet de bord

Comme défini en 4.5, il convient que la taille de la plus petite cellule pouvant être prise en compte contienne au moins 80 éclairs. Afin d'éviter les effets de bord pour cette cellule, la valeur de N_G doit être obtenue par intégration d'une sous-grille plus fine d'une résolution de 1 km x 1 km.

5 Validation des caractéristiques de performance d'un système de localisation des éclairs (LLS)

Les caractéristiques de performance d'un LLS déterminent la qualité des données relatives au foudroiement qui sont disponibles. Ces caractéristiques de performance incluent:

- la DE IC, les flashes CG et des arcs en retour;
- la précision de localisation;
- la précision de l'estimation des courants crête; et
- la précision de classification des décharges atmosphériques.

Comme indiqué à l'Article 4, la détermination du DE, de la LA et de la précision de classification des décharges atmosphériques est d'une importance capitale pour N_G et N_{SG} . Ces caractéristiques de performance peuvent être évaluées à l'aide de différentes techniques énumérées ci-dessous.

- a) Autoréférence du réseau: dans cette technique, l'analyse statistique de paramètres tels que l'écart-type des erreurs temporelles du capteur, la longueur du demi-grand axe de l'ellipse de confiance de 50 % et le nombre de capteurs de rapport est utilisée pour déduire la LA et le DE d'un LLS. Des exemples de telles études sont donnés en [3], en [4] et en [5]. Cette méthode exige des données collectées par le LLS après qu'il a été correctement étalonné. Elle peut fournir une bonne estimation des performances du réseau, de façon pratique et peu coûteuse.
- b) Etudes portant sur la foudre déclenchée par une fusée et sur la foudre ayant frappé des objets hauts: cette méthode utilise des données issues d'expériences de foudre déclenchée par une fusée ou des arcs-en-retour ayant frappé des objets hauts (tours instrumentées, par exemple) comme données de terrain afin d'évaluer les caractéristiques de performance d'un LLS dans la zone de couverture, où se situe l'équipement de déclenchement de foudre ou l'objet haut. La LA, la DE, la précision de l'estimation des courants crête et la précision de classification des décharges d'un LLS peuvent être mesurés en utilisant cette méthode. Les références [6], [7] et [8] sont des exemples d'études d'évaluation des performances d'un LLS réalisées à partir des arcs-en-retour déclenchée par une fusée ou à partir des arcs-en-retour ayant frappé des structures hautes. Ces méthodes fournissent les meilleures données de terrain pour la validation des caractéristiques de performance pour les éclairs CG. De plus, ces méthodes constituent le seul moyen de valider directement la précision de l'estimation des courants crête d'un LLS. Toutefois, elles peuvent être très coûteuses et peuvent ne pas être mises en œuvre dans toutes les zones géographiques. Il n'existe que peu d'équipements de déclenchement de foudre et de tours instrumentées dans le monde. Les résultats obtenus à partir de ces méthodes sont de bons indicateurs des performances d'un LLS uniquement pour la zone géographique où se situe l'équipement de déclenchement de foudre par fusée ou la tour instrumentée. En outre, la foudre déclenchée par une fusée fournit des données relatives aux seuls arcs-en-retour subséquents dans des conditions de foudre naturelles. Aucune donnée relative aux premiers arcs-en-retour dans des conditions de foudre naturelles ne peut être obtenue avec cette technique. C'est également souvent le cas pour les arcs-en-retour frappant des objets hauts (selon la hauteur de l'objet, le terrain, le type d'orage et d'autres facteurs). Dans la mesure où, dans des conditions de foudre naturelle, les premiers arcs-en-retour présentent, en moyenne, des valeurs crête de champs et de courants correspondant au double des mêmes valeurs pour les décharges consécutives (cf. [9]), la DE estimée pour les flashes CG et les arcs-en-retour pour un LLS utilisant ces méthodes peut être quelque peu sous-estimé.
- c) Etudes réalisées par caméra vidéo: Les données relatives aux éclairs obtenues par caméras vidéo peuvent être utilisées comme données de terrain pour évaluer les caractéristiques de performance d'un LLS dans la zone de couverture, où se produisent les arcs-en-retour. La LA, la DE et la précision de classification de la foudre d'un LLS peuvent généralement être estimés en utilisant cette méthode. Les références [8] et [9] sont des exemples d'études d'évaluation des performances d'un LLS réalisées par caméra vidéo. Dans cette méthode, la collecte des données peut être difficile et prendre beaucoup de temps, car les localisations exactes des éclairs CG à filmer ne peuvent pas être anticipées. Cette technique exige souvent l'emploi d'instruments supplémentaires (antennes de champ électrique, par exemple) pour mesurer le champ électrique des arcs-en-retour.

- d) Comparaison entre réseaux: les performances d'un LLS à évaluer peuvent être comparées à celles d'un autre LLS qui peut être utilisé comme référence, dans la mesure où le LLS de référence est parfaitement étalonné et où ses performances ont été déterminées de manière indépendante. Cette méthode permet de faire des comparaisons concernant la DE et la LA du LLS à qualifier. Si le réseau de référence fournit un mapping de la foudre en très hautes fréquences (VHF), des inférences peuvent être faites en ce qui concerne la capacité de détection des éclairs IC du réseau à évaluer, par exemple en matière de plausibilité de décharges IC ou de classification des éclairs IC et CG. Les exemples de ces études incluent la référence [10]. L'une des limites de cette technique est que les couvertures des LLS à qualifier et de référence doivent se chevaucher quasi totalement, les résultats n'étant valides que pour la zone de chevauchement. De plus, si les performances du réseau de référence sont inconnues ou que le réseau de référence n'est pas bien étalonné, toute inférence concernant les performances du réseau à évaluer est incorrecte.

Bien que les techniques ci-dessus puissent être utilisées individuellement ou conjointement pour évaluer les caractéristiques de performance d'un LLS, il est important de comprendre les points forts et les points faibles des méthodes utilisées afin d'obtenir des estimations fiables des caractéristiques de performance d'un LLS.

Annexe A (informative)

Détermination de la densité de foudroiement pour le calcul du risque

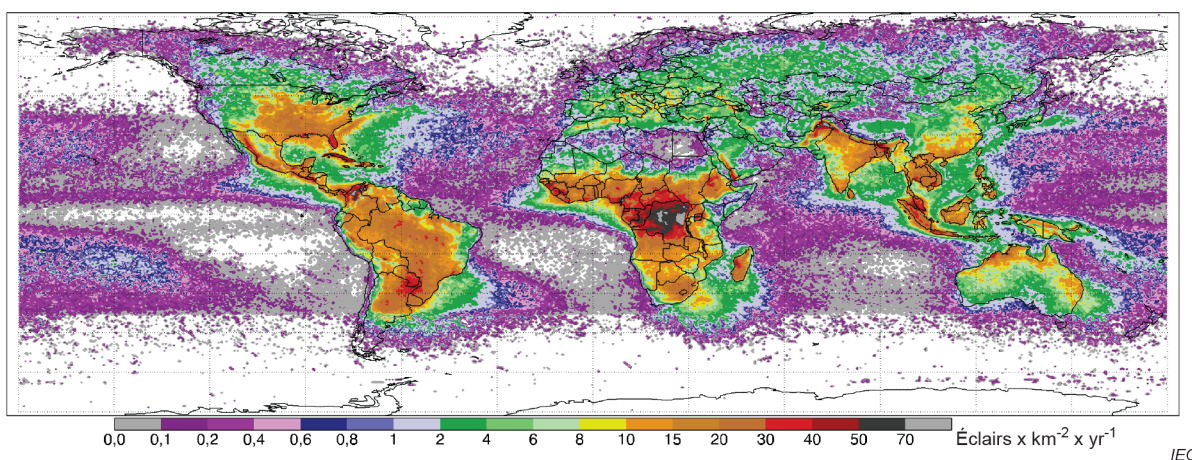
La densité de foudroiement au sol N_G est le nombre de flashes CG par kilomètre carré et par an. Dans de nombreuses régions du monde, cette valeur peut provenir de données fournies par des systèmes de localisation des éclairs (LLS) locaux, conformes au présent document.

Par le passé, N_G était déterminée à partir de jours d'orage ou à l'aide des données fournies par les compteurs de décharges de foudre. Dans la mesure où il existe désormais des systèmes plus précis pour déterminer N_G , l'emploi des jours d'orage ou des données des compteurs d'impacts de foudre n'est plus recommandé.

Dans les régions ne comportant pas de systèmes de localisation des éclairs (LLS), l'estimation recommandée pour la densité de foudroiement au sol [11] est:

$$N_G = 0,25 \times N_t \quad (\text{A.1})$$

N_t étant la densité totale (CG + IC) flashes optiques enregistrés par km^2 et par an, obtenue d'après le site web de la NASA (https://lightning.nsstc.nasa.gov/data/data_lis-otd-climatology.html). La Figure A.1 représente les densités totales N_t dans le monde.



SOURCE: https://ghrc.nsstc.nasa.gov/pub/lis/climatology/LIS-OTD/HRFC/browse/HRFC_COM_FR_V2.3.2015.png reproduit avec l'autorisation des auteurs.

Figure A.1 – Données N_t climatologiques haute résolution (HRFC)

NOTE Dans la plupart des régions du monde, une indication de l'activité de foudre peut être obtenue à partir d'observations des transitoires optiques des éclairs. Les détecteurs sur satellite observent tous les types d'éclairs avec une couverture relativement uniforme. Moyennant un lissage suffisant, les données de densité de transitoires optiques donnent de meilleures estimations de la densité de foudroiement au sol que les données des jours d'orage, qui présentent un large éventail de relations entre la densité de foudroiement au sol et les heures ou jours d'orage. Il existe aussi des variations régionales dans le rapport du nombre décharges au sol (CG) sur le nombre total de décharges (CG + IC).

Souvent, les éclairs présentent plusieurs points de contact au sol. Les LLS modernes peuvent fournir N_{SG} directement selon l'une des méthodes décrites à l'Annexe B. En cas de disponibilité de N_{SG} par les LLS, il est recommandé d'utiliser ces données si l'ensemble des résultats N_{SG} ont été validés de manière indépendante.

Annexe B (informative)

Explications et méthodes de calcul concernant les points d'impact au sol (GSP)

Près de la moitié des éclairs nuage-sol négatifs présentent plusieurs points de contact au sol. Cela se produit lorsqu'un traceur droit (dart leader) donné suit partiellement la fin du canal de l'arc-en-retour précédent en créant son propre chemin vers le sol. Chaque point de contact au sol constitue une menace et il convient de le comptabiliser dans le calcul du risque de foudre.

En se basant sur les données de localisation des éclairs haute résolution, il est alors possible d'identifier presque tous les différents points de contact dans un impact éclair nuage-sol.

Différents algorithmes sont actuellement disponibles pour déterminer les points de contact au sol à partir des données des LLS, chaque algorithme comportant des avantages et des inconvénients:

- Cummins [12] s'est appuyé sur une analyse discriminante afin de déterminer une "probabilité" fondée sur plusieurs paramètres, notamment la distance de séparation entre arc-en-retour, ainsi que d'autres paramètres pouvant aider à identifier de nouveaux points de contact au sol (temps de montée, par exemple). Cette méthode permet d'identifier de nouveaux points de contact au sol lorsque la précision de localisation est supérieure à la distance de séparation. En revanche, l'approche "probabiliste" altère l'analyse des différences de localisation lorsque les emplacements sont bien connus. Cette méthode dépend largement de la qualité du paramètre de temps de montée, mais certaines technologies de LLS peuvent ne pas fournir les informations de temps de montée et de descente ;
- Pédeboy [13], [14], [15] a mis au point un algorithme de partitionnement fiable, fondé sur la méthode des « k-means ». Cet algorithme n'utilise pas le contour des ellipses de confiance à 50% (il utilise la valeur du ½ grand axe seulement) et ne comporte pas de mécanisme permettant de distinguer les points de contact au sol lorsque la précision de localisation est supérieure à la distance de séparation des points de contact au sol;
- Campos [16], [17] effectue un travail statistique rigoureux pour évaluer la précision de localisation en utilisant la géométrie de l'ellipse d'erreur dans l'espace latitude/longitude complet tout en offrant les avantages de l'approche des k-moyennes mise au point par Pédeboy. Cette méthode présente les mêmes inconvénients que l'approche de Pédeboy, dans le sens où elle ne dispose pas de mécanisme permettant d'"affiner" la discrimination lorsque la précision de localisation est supérieure à la distance de séparation.

Après avoir appliqué l'un de ces algorithmes pour les données des LLS, la densité des points de contact au sol peut être déterminée de manière spatiale selon les mêmes règles que pour la densité de foudroiement au sol.

Bibliographie

- [1] CIGRE Rapport 376, "*Cloud-to-Ground Lightning Parameters Derived from Lightning Location Systems – The Effects of System Performance*," CIGRE Rapport 376, 2009
- [2] G. Diendorfer, "*Some Comments on the Achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values*," in *Lightning Protection (ICLP)*, 2008 International Conference on, 2008, n° juin, pp. 1–6
- [3] W. Schulz, "*Performance Evaluation of Lightning Location Systems*," PhD Thesis, Technical University of Vienna, 1997
- [4] K. L. Cummins, M. J. Murphy, J. A. Cramer, W. D. Scheftic, N. W. S. Demetriades, et A. Nag, "*Location accuracy improvements using propagation corrections: a case study of the U.S. National Lightning Detection Network*," in *Lightning Protection (ICLP)*, 2010 International Conference on, 2010
- [5] K. P. Naccarato, O. J. Pinto, et M. J. Murphy, "Performance Analysis of the BrasilDAT network," in *International Conference on Grounding and Earthing and 3rd International Conference on Lightning Physics and Effects (GROUND/LPE)*, 2008
- [6] J. E. Jerauld et al., "An evaluation of the performance characteristics of the U.S. National Lightning Detection Network in Florida using rocket-triggered lightning," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 110, n° D19, p. D19106, 2005
- [7] A. Nag et al., "Evaluation of U.S. National Lightning Detection Network performance characteristics using rocket-triggered lightning data acquired in 2004–2009," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 116, n° D2, p. D02123, 2011
- [8] W. Schulz, G. Diendorfer, S. Pédeboy, et D. R. Poelman, "*The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation*," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 16, n° 2, pp. 595–605, 2016
- [9] W. Schulz, S. Pédeboy, C. Vergeiner, E. Defer, et W. Rison, "*Validation of the EUCLID LLS during HyMeX SOP1*," in *International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)*, 2014
- [10] D. R. Poelman, W. Schulz, et C. Vergeiner, "*Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium*," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 30, n° 5, pp. 942–951, 2013
- [11] W. A. Chisholm, "*Estimates of Lightning Ground Flash Density using Optical Transient Density*," in *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (IEEE Cat. No.03CH37495)*, 2003, vol. 3, pp. 1068–1071
- [12] K. L. Cummins, "Analysis of Multiple Ground Contacts in Cloud-to-ground Flashes Using LLS Data: The Impact of Complex Terrain," in *International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)*, 2012
- [13] S. Pédeboy, "Identification of the multiple ground contacts flashes with lightning location systems," in *22nd International Lightning Detection Conference and 4th International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)*, 2012
- [14] S. Pédeboy et W. Schulz, "Validation of a ground strike point identification algorithm based on ground truth data," in *International Lightning Detection Conference and International Lightning Meteorology Conference (ILDC/ILMC)*, 2014

- [15] W. Schulz, S. Pedeboy, et M. M. F. Saba, "LLS Detection Efficiency of Ground Strike Points," in *Lightning Protection (ICLP)*, 2014 International Conference on, 2014, n° 2, pp. 381–384
 - [16] L. Z. S. Campos, K. L. Cummins, et O. J. Pinto, "*An algorithm for identifying ground strike points from return stroke data provided by Lightning Location Systems*," in *Asia-Pacific Conference on Lightning (APL)*, 2015, pp. 475–478
 - [17] L. Z. S. Campos, "*On the mechanisms that lead to multiple ground contacts in lightning*," PhD Thesis, INPE, Brésil, 2016
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch