

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Lightning density based on lightning location systems (LLS) – General principles

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 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
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 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.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 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.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Lightning density based on lightning location systems (LLS) – 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 978-2-8322-2820-3

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 and abbreviations	6
3.1 Terms and definitions	6
3.2 Abbreviations	7
4 General requirements	8
4.1 General	8
4.2 Stroke-to-flash grouping	9
4.3 Minimum observation periods	9
4.4 Observation area	9
4.5 Grid cell size	9
4.6 Edge effect correction	10
5 Validation of lightning location system performance characteristics	10
Bibliography	12

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIGHTNING DENSITY BASED ON LIGHTNING LOCATION SYSTEMS (LLS) –
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.

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

FDIS	Report on voting
81/470/FDIS	81/494/RVD

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

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

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

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

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 lightning flashes to ground per square kilometer per year is the primary input parameter to perform such an evaluation.

In many areas of the world N_G is derived from data provided by lightning location systems (LLS), 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 (LLS) – GENERAL PRINCIPLES

1 Scope

This International Standard introduces and discusses all necessary measures to make reliable and homogeneous the values of N_G obtained from LLS in various countries. Only parameters that are relevant to risk assessment are considered.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. 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 and abbreviations

3.1 Terms and definitions

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

3.1.1

cloud-to-ground lightning

CG

discharge that is comprised of one or more cloud-to-ground lightning strokes that propagate from cloud to ground or vice versa and lead to a net transfer of charge between cloud and ground

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

3.1.2

cloud lightning

IC

discharge occurring within or among thunderclouds (intracloud), or between thunderclouds (intercloud), or between cloud and air, without a ground termination

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

3.1.3

first return stroke

first stroke to ground of a cloud-to-ground lightning discharge

Note 1 to entry: The stepped leader and attachment process precede the first return stroke.

3.1.4

subsequent stroke

subsequent stroke to ground that follows a previous (return) stroke in the same flash

Note 1 to entry: A subsequent stroke is preceded by a dart leader and may or may not have the same ground strike-point as any previous (return) stroke in the same flash.

3.1.5

multiplicity

number of first and subsequent strokes in a cloud-to-ground lightning flash

3.1.6

ground flash density

N_G

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

3.1.7

ground strike-point density

N_{SG}

mean number of strike-points to ground or to ground based objects per unit area per unit time (strike-points $\times$ km⁻² $\times$ year⁻¹)

3.1.8

lightning sensor

device that measures electromagnetic signals produced by lightning discharges

3.1.9

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.

3.1.10

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.

3.1.11

uptime

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

3.1.12

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

3.1.13

median location accuracy

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

3.2 Abbreviations

CG cloud-to-ground lightning

DE flash detection efficiency

IC	cloud lightning
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) [3, 15]¹ determine the quality of the lightning data available for calculating N_G . A value of N_G with an error of ± 20 % or less is deemed to be acceptable 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.

- **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 all regions 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 that meets the criteria set for N_G calculation, if too many CG strokes are misclassified as cloud pulses, or vice versa, this may lead to erroneously low or high values of N_G . This is especially true for single-stroke CG flashes. A classification accuracy (CG flashes not misclassified as IC) of at least 85 % is required.

It is not recommended to use N_G values having more than 2 decimals.

These performance characteristics of 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.

The flash DE, LA, and classification accuracy of 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 or 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.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography

- **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. 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.

Multiple ground strike-points shall be included in the same flash using the above criteria.

Currently a multiplication factor of 2, relating N_G to N_{SG} shall be used [2].

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 global meteorology.

Lightning data for at least ten years is required, with the newest data used not being older than five years.

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 [11].

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.

The grid size shall 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 [8].

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

where

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

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 both the requirements of 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 be such that it contains 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 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 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} determination of CG flash 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 (e.g. [11]) 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 [4] and [7]. 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 for LLS performance evaluation include [6], [8], and [12], [13]. While these methods provide the best ground-truth data for performance characteristics validation for CG lightning (and are the only ways to directly validate peak current estimation accuracy of an LLS), they may be very expensive, may not be practical for all regions (as there are only a few triggered lightning facilities and instrumented towers across the world), and are a valid indicator of LLS performance only for the region where the rocket-triggered lightning facility or tall object is located (especially in cases where the performance of the LLS is expected to vary significantly from region to region). 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 camera for LLS performance evaluation include [1] and [14]. 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 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 efficiency can be made. Examples of such studies include [10]. One limitation of this technique is that the test and reference networks have to overlap substantially. 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.

Bibliography

- [1] BIAGI, C.J., CUMMINS, K.L., KEHOE, K.E. and KRIDER, E.P. (2007), *National Lightning Detection Network (NLDN) Performance in Southern Arizona, Texas, and Oklahoma in 2003–2004*, J. Geophys. Res., 112, D05208, doi:10.1029/2006JD007341.
- [2] BOUQUEGNEAU, C., KERN, A. and ROUSSEAU, A. (2012), *Flash Density applied to Lightning Protection Standards*, Ground'2012 & 5th LPE, Bonito, Brazil, 26-30 November.
- [3] CIGRE Report 376, April 2009, Working Group C4.404: *Cloud-to-ground Lightning Parameters derived from Lightning Location Systems – The Effects of System Performance*
- [4] CUMMINS, K.L., MURPHY, M.J., CRAMER, J.A., SCHEFTIC, W., DEMETRIADES, N. and NAG, A. (2010), *Location accuracy improvements using propagation corrections: a case study of the U.S. National Lightning Detection Network*, 21st Intl. Lightning Detection Conf., Orlando, FL, U.S., 19-20 April.
- [5] DIENDORFER, G. (2008): *Some Comments on the Achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values*, International Conference on Lightning Protection (ICLP).
- [6] JERAULD, J., RAKOV, V.A., UMAN, M.A., RAMBO, K.J., JORDAN, D.M., CUMMINS, K.L. and CRAMER, J.A. (2005), *An Evaluation of the Performance Characteristics of the U.S. National Lightning Detection Network in Florida using Rocket-triggered lightning*, J. Geophys. Res., 110, D19106, doi:10.1029/2005JD005924.
- [7] NACCARATO, K.P., PINTO Jr., O. and MURPHY, M.J. (2008), *Performance Analysis of the BrasilDAT network*, 2008 Intl. Conf. on Grounding and Earthing / 3rd Intl. Conf. on Lightning Physics and Effects, Florianopolis, Brazil, 16-20 November, pp. 329-338.
- [8] NAG, A., MALLICK, S., RAKOV, V.A., HOWARD, J.S., BIAGI, C.J., HILL, J.D., UMAN, M.A., JORDAN, D.M., RAMBO, K.J., JERAULD, J.E., DeCARLO, B.A., CUMMINS, K.L. and CRAMER, J.A. (2011): *Evaluation of U.S. National Lightning Detection Network Performance Characteristics using Rocket-triggered Lightning Data acquired in 2004-2009*, J. Geophys. Res., vol. 116, D02123, doi:10.1029/2010JD014929.
- [9] NAG, A., RAKOV, V.A., SCHULZ, W., SABA, M.M.F., THOTTAPPILLIL, R., BIAGI, C.J., OLIVEIRA FILHO, A., KAFRI, A., THEETHAYI, N. and GOTSCHL, T. (2008), *First versus Subsequent Return-stroke Current and Field Peaks in Negative Cloud-to-ground Lightning Discharges*, J. Geophys. Res., 113, D19112, doi:10.1029/2007JD009729.
- [10] POELMAN, D.R., SCHULZ, W. and VERGEINER, C. (2013): *Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks covering Belgium*, J. Atmos. Ocean. Tech., vol. 30, pp. 942-951.
- [11] SCHULZ, W. (1997), *Performance Evaluation of Lightning Location Systems*. Ph.D. Thesis, Technical University of Vienna.
- [12] SCHULZ, W., VERGEINER, C., PICHLER, H., DIENDORFER, G., PACKET, S. et al. (2012), *Validation of the Austrian Lightning Location System ALDIS for Negative Flashes*. CIGRE Symposium.
- [13] SCHULZ, W., PICHLER, H., DIENDORFER, G., VERGEINER, C., PACK, S. (2013): *Validation of Detection of Positive Flashes by the Austrian Lightning Location System*

(ALDIS), 12th Intl. Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA), Belo Horizonte, Brazil, 7-11 October, paper 2.2.

- [14] SCHULZ, W., PEDEBOY, S., VERGEINER, C., DEFER, E. and RISON, W. (2014): *Validation of the EUCLID LLS during HyMeX SOP1*, International Lightning Detection Conference, Tucson.
 - [15] SCHULZ, W., PEDEBOY, S., SCHULZ, W. (2014): *Validation of the ground strike-point identification algorithm based on ground truth data*, International Lightning Detection Conference, Tucson.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION.....	17
1 Domaine d'application	18
2 Références normatives	18
3 Termes, définitions et abréviations	18
3.1 Termes et définitions	18
3.2 Abréviations.....	20
4 Exigences générales	20
4.1 Généralités	20
4.2 Regroupement de décharges en éclairs	21
4.3 Périodes d'observation minimales	21
4.4 Zone d'observation	22
4.5 Taille de cellule de grille	22
4.6 Correction de l'effet de bord	22
5 Validation des caractéristiques de performance d'un système de localisation de la foudre.....	22
Bibliographie.....	25

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DENSITÉ DE FOUDROIEMENT BASÉE SUR DES SYSTÈMES
DE LOCALISATION DE LA FOUDRE (LLS) –
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.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
81/470/FDIS	81/494/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

INTRODUCTION

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

La densité de foudroiement N_G , définie comme le nombre moyen de coups de foudre au sol par kilomètre carré et par an, est le paramètre d'entrée principal pour effectuer de telles évaluations.

Dans de nombreuses régions du monde, N_G est dérivée de données fournies par des systèmes de localisation de la foudre (LLS), mais il n'existe aucune règle commune définissant les exigences en termes de performances ou d'élaboration de données de mesure.

DENSITÉ DE FOUDROIEMENT BASÉE SUR DES SYSTÈMES DE LOCALISATION DE LA FOUDRE (LLS) – PRINCIPES GÉNÉRAUX

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale présente et évoque toutes les mesures nécessaires qui visent à rendre fiables et homogènes les valeurs de N_G obtenues par les LLS dans différents pays. Seuls les paramètres essentiels à l'analyse du risque sont pris en compte.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 et abréviations

3.1 Termes et définitions

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

3.1.1

éclair nuage-sol

CG

décharge constituée d'un ou de plusieurs coups de foudre nuage-sol qui se propagent du nuage vers le sol ou inversement et qui entraînent un transfert de charge entre le nuage et le sol

Note 1 à l'article: L'abréviation "CG" est dérivée du terme anglais "cloud-to-ground lightning".

3.1.2

éclair nuage-nuage

IC

décharge à l'intérieur d'un nuage d'orage (intranuage), entre plusieurs nuages d'orage (internuages) ou entre un nuage et l'air, qui ne touche pas le sol

Note 1 à l'article: L'abréviation "IC" est dérivée du terme anglais "intracloud – cloud lightning".

3.1.3

première décharge en retour

première décharge au sol d'une décharge orageuse nuage-sol

Note 1 à l'article: Le traceur par bonds et le processus de jointure précèdent la première décharge en retour.

3.1.4**décharge consécutive**

décharge au sol consécutive qui suit une précédente décharge (en retour) au cours d'un même éclair

Note 1 à l'article: Une décharge consécutive est précédée par un traceur en dard et peut avoir ou peut ne pas avoir le même point d'impact au sol que toute décharge (en retour) précédente au cours d'un même éclair.

3.1.5**multiplicité**

nombre de premières décharges et de décharges consécutives dans un coup de foudre nuage-sol

3.1.6**densité de foudroiement** N_G

moyenne du nombre d'éclairs nuage-sol par unité de surface et par unité de temps (éclairs $\times$ km⁻² $\times$ année⁻¹)

3.1.7**densité des points d'impact de foudre au sol** N_{SG}

moyenne du nombre de points d'impact de foudre au sol ou sur des objets situés au sol par unité de surface et par unité de temps (points d'impact $\times$ km⁻² $\times$ année⁻¹)

3.1.8**capteur de foudre**

dispositif qui mesure les signaux électromagnétiques produits par les décharges orageuses

3.1.9**système de localisation de la foudre****LLS**

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

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

3.1.10**ellipse de confiance**

ellipse centrée sur le point d'impact estimé au sol; décrit le degré de fiabilité des estimations de localisation (p. ex.: 50 %, 90 %, 99 %) à partir des erreurs de mesure du capteur

Note 1 à l'article: L'ellipse de confiance est décrite à partir des longueurs de demi-grand axe et de demi-petit axe, ainsi que de l'orientation du demi-grand axe.

3.1.11**durée de fonctionnement**

durée d'exploitation entièrement fonctionnelle d'un capteur intégré à un système de localisation de la foudre, exprimée en pourcentage du temps d'observation total

3.1.12**capacité de détection des décharges****capacité de détection des éclairs**

pourcentage des décharges ou des éclairs détectés sur le nombre total de décharges ou d'éclairs qui se produisent réellement

3.1.13**précision de localisation médiane**

valeur médiane des distances entre les localisations réelles et les localisations indiquées des décharges par le système de localisation de la foudre

3.2 Abréviations

CG	éclair nuage-sol (cloud-to-ground lightning)
DE	capacité de détection des éclairs (flash detection efficiency)
IC	éclair nuage-nuage (intracloud – cloud lightning)
LA	précision de localisation (location accuracy)
LLS	système de localisation de la foudre (lightning location system)
N_G	densité de foudroiement (ground flash density)
N_{SG}	densité des points d'impact de foudre au sol (ground strike-point density)

4 Exigences générales

4.1 Généralités

Les caractéristiques de performance d'un système de localisation de la foudre (LLS) [3, 15]¹ déterminent la qualité des données relatives à la foudre qui sont mises à disposition pour le calcul de N_G . Une valeur de N_G avec une tolérance d'erreur maximale de $\pm 20\%$ est jugée acceptable pour une analyse du risque de foudre. Les données de tout LLS qui peut détecter les éclairs nuage-sol (CG) et déterminer avec précision le point d'impact des décharges nuage-sol peuvent être utilisées pour calculer la valeur de N_G . Les caractéristiques de performance du LLS ci-après sont exigées pour un calcul de N_G suffisamment précis.

- **Capacité de détection des éclairs (DE):** la valeur moyenne annuelle de la capacité de détection des éclairs nuage-sol (CG) d'un LLS doit être d'au moins 80 % dans la zone géographique pour laquelle N_G doit être calculée. Cette capacité de détection (DE) est généralement obtenue à l'intérieur du réseau, qui est défini comme la zone géographique située dans les limites établies par les capteurs adjacents les plus éloignés du réseau.
- **Précision de localisation (LA):** la précision de localisation médiane d'un LLS de décharges nuage-sol (CG) doit être supérieure à 500 m dans toute la zone pour laquelle N_G doit être calculée. Cette LA est généralement obtenue à l'intérieur du réseau.
- **Précision de classification:** dans un réseau avec une capacité de détection des éclairs qui satisfait aux critères définis pour le calcul de N_G , un trop grand nombre de décharges nuage-sol (CG) identifiées par erreur comme des impulsions nuage-nuage ou inversement peut conduire à des valeurs erronées (trop faibles ou trop élevées) de N_G , en particulier les éclairs nuage-sol (CG) à décharge unique. Une précision de classification (absence d'erreur d'identification d'éclairs nuage-sol et nuage-nuage) de 85 % au moins est exigée.

Il est recommandé de ne pas utiliser des valeurs de N_G à plus de 2 décimales.

Ces caractéristiques de performance d'un LLS peuvent être déterminées via différentes méthodes, dont l'autoréférence du réseau (qui utilise l'analyse statistique de paramètres tels que l'écart type des erreurs temporelles du capteur, la longueur de demi-grand axe de l'ellipse de confiance de 50 % et le nombre de capteurs de rapport, qui peuvent être obtenus auprès du fabricant du LLS ou des données du LLS) et la comparaison avec des données de terrain relatives à la foudre obtenues avec différentes techniques. Ces méthodes sont examinées à l'Article 5.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

La capacité de détection des éclairs (DE), la précision de localisation (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 à la foudre est suffisante pour le calcul de N_G .

- **Distance de base entre les capteurs:** la distance entre deux capteurs adjacents dans un LLS ou la distance de base entre les capteurs dépend de la zone de couverture souhaitée et de la sensibilité de chaque capteur. La distance de base entre les capteurs est l'un des facteurs qui déterminent la capacité de détection (DE) et la précision de localisation (LA) d'un LLS. La distance maximale de base entre les capteurs d'un LLS doit être telle que la capacité de détection (DE) et la précision de localisation (LA) du réseau satisfassent aux critères de calcul de N_G décrits ci-dessus.
- **Sensibilité des capteurs:** la sensibilité des capteurs d'un LLS est le principal critère permettant de déterminer la capacité du réseau à détecter les phénomènes de foudre ayant des courants de crête différents. La sensibilité des capteurs d'un LLS doit être telle que les phénomènes de foudre ayant des courants de crête situés dans la plage de 5 kA à 300 kA sont détectés et rapportés par le LLS. La sensibilité des capteurs est déterminée par plusieurs facteurs tels que le seuil de déclenchement, le gain électronique, la largeur de bande du capteur et le bruit de fond électromagnétique.
- **Durée de fonctionnement d'un capteur:** la durée de fonctionnement des différents capteurs d'un réseau détermine la capacité de détection (DE) et la précision de localisation (LA) du réseau. Les variations spatio-temporelles de la capacité de détection (DE) et de la précision de localisation (LA) sont déterminées par la localisation des capteurs actifs qui participent au fonctionnement du réseau. Il est donc important de garantir que les capteurs du LLS sont actifs et fonctionnent sans interruption.

4.2 Regroupement de décharges en éclairs

Les décharges en retour détectées par les systèmes de localisation de la foudre doivent être regroupées sous forme d'éclairs pour le calcul de N_G . Ce regroupement est réalisé sur la base d'une fenêtre spatio-temporelle.

Une décharge consécutive est regroupée avec la première décharge en retour pour former un éclair si les critères suivants sont satisfaits:

- a) la décharge se produit 1 s ou moins après la première décharge en retour;
- b) la décharge se trouve à 10 km ou moins de la première décharge en retour;
- c) l'intervalle de temps entre les décharges successives est inférieur ou égal à 500 ms.

L'emplacement de l'éclair est considéré comme la localisation de la première décharge.

Plusieurs points d'impact au sol doivent être inclus pour un éclair avec les critères ci-dessus.

Un facteur de multiplication de 2 qui met en rapport N_G et N_{SG} doit actuellement être utilisé [2].

4.3 Périodes d'observation minimales

Une période d'échantillonnage suffisamment longue est exigée pour garantir que les variations à petite échelle des paramètres de foudre dues à différentes oscillations météorologiques sont prises en compte. De plus, les variations climatiques à grande échelle constituent une limite pour la validité des données historiques. Certains réseaux de détection de la foudre enregistrent des données relatives à la foudre depuis plusieurs décennies; dans cette période, la météorologie dans son ensemble a connu des modifications mesurables.

Des données relatives à la foudre sur au moins dix ans sont exigées, et les données utilisées les plus récentes ne doivent pas dater de plus de cinq ans.

4.4 Zone d'observation

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

Des réseaux et des technologies de capteurs différents auront des degrés de sensibilité différents pour la détection de la foudre. La couverture réseau s'étend au-delà des limites d'un réseau. En général, il convient que les données relatives à la foudre dans un périmètre équivalant à la moitié de la distance moyenne de base entre les capteurs (distance entre des capteurs adjacents du réseau) à partir des limites du réseau soient d'une qualité suffisante pour calculer N_G [11].

4.5 Taille de cellule de grille

Les valeurs de densité de foudroiement (N_G) varient en fonction de l'année et de la zone géographique. Les données relatives à la foudre 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 (pavage de la zone géographique) et la fonction de calcul de N_G est appliquée à tous les éclairs qui se produisent au sein de cette grille. La valeur qui en résulte est alors considérée comme la valeur significative 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 de moins de 20 % à un niveau de confiance de 90 % [8].

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

où

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

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 de 4.2 et 4.3. La dimension minimale admissible de la cellule, quelles que soient la densité de foudroiement 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 qui peut être considérée soit telle qu'elle contienne au moins 80 éclairs. Afin d'éviter les effets de bord dans cette cellule, la valeur de N_G doit être obtenue par intégration d'une sous-grille plus fine d'une résolution de $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$.

5 Validation des caractéristiques de performance d'un système de localisation de la foudre

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

- la capacité de détection des éclairs nuage-nuage (IC) et nuage-sol (CG) et des décharges nuage-sol;
- la précision de localisation;
- la précision de l'estimation du courant de crête; et

- la précision de classification de la foudre.

Comme indiqué à l'Article 4, la détermination de la capacité de détection (DE) des éclairs nuage-sol (CG), de la précision de localisation (LA) et de la précision de classification de la foudre est d'une importance capitale pour N_G et N_{SG} . Ces caractéristiques de performance peuvent être évaluées à l'aide de différentes techniques résumées ci-dessous.

- a) **Autoréférence du réseau:** dans cette technique, l'analyse statistique de paramètres (p. ex.: [11]) tels que l'écart type des erreurs temporelles du capteur, la longueur de demi-grand axe de l'ellipse de confiance de 50 % et le nombre de capteurs de rapport est utilisée pour déduire la précision de localisation (LA) et la capacité de détection (DE) d'un LLS. Des exemples de telles études peuvent être trouvés en [4] et en [7]. Cette méthode exige des données collectées par le réseau 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 les objets hauts:** cette méthode utilise des données issues d'expériences de foudre déclenchée par une fusée ou de coups de foudre ayant frappé des objets hauts (p. ex.: tours instrumentées) comme données de terrain pour évaluer les caractéristiques de performance d'un LLS dans la zone de couverture duquel l'équipement de déclenchement de foudre ou l'objet haut sont situés. La précision de localisation (LA), la capacité de détection (DE), la précision de l'estimation du courant de crête et la précision de classification de la foudre d'un LLS peuvent être mesurées grâce à cette méthode. Les exemples d'études d'évaluation des performances d'un LLS réalisées à partir de la foudre déclenchée par une fusée comptent les références [6], [8], [12] et [13]. Bien que ces méthodes fournissent les meilleures données de terrain pour la validation des caractéristiques de performance pour les éclairs nuage-sol (et soient le seul moyen de valider directement la précision de l'estimation du courant de crête pour un LLS), elles peuvent être très coûteuses, peuvent ne pas être pratiques d'utilisation dans toutes les zones géographiques (car il existe peu d'équipements de déclenchement de foudre et de tours instrumentées dans le monde) et sont un indicateur valide des performances d'un LLS uniquement pour la zone géographique dans laquelle l'équipement de déclenchement de foudre par une fusée ou l'objet haut sont situés (particulièrement dans les cas où les performances du LLS sont censées varier considérablement d'une zone géographique à l'autre). De plus, la foudre déclenchée par une fusée fournit des données relatives aux décharges en retour similaires aux seules décharges consécutives dans des conditions de foudre naturelles. Aucune donnée relative aux premières décharges dans des conditions de foudre naturelles ne peut être obtenue avec cette technique. C'est également souvent le cas pour les coups de foudre frappant des objets hauts, en fonction de la hauteur de l'objet, du terrain, du type d'orage et d'autres facteurs. Dans la mesure où, dans des conditions de foudre naturelles, les premières décharges sont censées présenter, en moyenne, des valeurs de crête de champs et de courants correspondant au double des mêmes valeurs pour les décharges consécutives (cf. [9]), la capacité de détection (DE) estimée des éclairs nuage-sol (CG) et des décharges pour un LLS utilisant ces méthodes peut être quelque peu sous-estimée.
- c) **Etudes par caméra vidéo:** les données relatives à la foudre obtenues au moyen de caméras vidéo peuvent être utilisées comme données de terrain pour évaluer les caractéristiques de performance d'un LLS dans la zone de couverture duquel les décharges orageuses se produisent. La précision de localisation (LA), la capacité de détection (DE) et la précision de classification de la foudre d'un LLS peuvent généralement être estimées grâce à cette méthode. Les exemples d'études d'évaluation des performances d'un LLS au moyen de caméras vidéo comptent les références [1] et [14]. Dans cette méthode, la collecte des données peut être difficile et prendre beaucoup de temps, car les localisations exactes des décharges orageuses à filmer ne peuvent pas être anticipées. Cette technique exige souvent des instruments supplémentaires, par exemple des antennes, pour mesurer le champ électrique des décharges orageuses.
- d) **Comparaison entre réseaux:** les performances d'un LLS à l'essai peuvent être comparées à celles d'un autre LLS qui peut être utilisé comme référence, dans la mesure où le LLS de référence est extrêmement bien étalonné et où ses performances ont été déterminées de manière indépendante. Cette méthode permet de déduire la capacité de détection et la précision de localisation du LLS à l'essai à partir de celles du LLS de

référence. Si le réseau de référence fournit un mapping de la foudre en très hautes fréquences (VHF), la capacité de détection des éclairs nuage-nuage (IC) du réseau à l'essai peut être déduite. Les exemples de telles études comptent la référence [10]. L'une des limites de cette technique réside dans le fait que le réseau à l'essai et le réseau de référence doivent se chevaucher considérablement. De plus, si les performances du réseau de référence sont inconnues ou s'il n'est pas bien étalonné, toute déduction concernant les performances du réseau à l'essai est invalide.

Bien que les techniques ci-dessus puissent être utilisées, individuellement ou combinées, 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 desdites caractéristiques de performance d'un LLS.

Bibliographie

- [1] BIAGI, C. J., CUMMINS, K. L., KEHOE, K. E. et KRIDER, E. P. (2007), *National Lightning Detection Network (NLDN) Performance in Southern Arizona, Texas, and Oklahoma in 2003-2004*, J. Geophys. Res., 112, D05208, doi:10.1029/2006JD007341 (disponible en anglais seulement)
- [2] BOUQUEGNEAU, C., KERN, A. et ROUSSEAU, A. (2012), *Flash Density applied to Lightning Protection Standards*, Ground'2012 & 5th LPE, Bonito, Brésil, 26-30 novembre (disponible en anglais seulement)
- [3] Rapport CIGRE 376, avril 2009, groupe de travail C4.404: *Cloud-to-ground Lightning Parameters derived from Lightning Location Systems – The Effects of System Performance* (disponible en anglais seulement)
- [4] CUMMINS, K. L., MURPHY, M. J., CRAMER, J. A., SCHEFTIC, W., DEMETRIADES, N. and NAG, A. (2010), *Location accuracy improvements using propagation corrections: a case study of the U.S. National Lightning Detection Network*, 21st Intl. Lightning Detection Conf., Orlando, FL, U.S., 19-20 avril (disponible en anglais seulement)
- [5] DIENDORFER, G. (2008): *Some Comments on the Achievable Accuracy of Local Ground Flash Density Values*, International Conference on Lightning Protection (ICLP) (disponible en anglais seulement)
- [6] JERAULD, J., RAKOV, V. A., UMAN, M. A., RAMBO, K. J., JORDAN, D. M., CUMMINS, K. L. et CRAMER, J. A. (2005), *An Evaluation of the Performance Characteristics of the U.S. National Lightning Detection Network in Florida using Rocket-triggered lightning*, J. Geophys. Res., 110, D19106, doi:10.1029/2005JD005924 (disponible en anglais seulement)
- [7] NACCARATO, K. P., PINTO Jr., O. et MURPHY, M. J. (2008), *Performance Analysis of the BrasilDAT network*, 2008 Intl. Conf. on Grounding and Earthing / 3rd Intl. Conf. on Lightning Physics and Effects, Florianopolis, Brésil, 16-20 novembre, pp. 329-338 (disponible en anglais seulement)
- [8] NAG, A., MALLICK, S., RAKOV, V. A., HOWARD, J. S., BIAGI, C. J., HILL, J. D., UMAN, M. A., JORDAN, D. M., RAMBO, K. J., JERAULD, J. E., DeCARLO, B. A., CUMMINS, K. L. et CRAMER, J. A. (2011): *Evaluation of U.S. National Lightning Detection Network Performance Characteristics using Rocket-triggered Lightning Data acquired in 2004-2009*, J. Geophys. Res., vol. 116, D02123, doi:10.1029/2010JD014929 (disponible en anglais seulement)
- [9] NAG, A., RAKOV, V. A., SCHULZ, W., SABA, M. M. F., THOTTAPPILLIL, R., BIAGI, C. J., OLIVEIRA FILHO, A., KAFRI, A., THEETHAYI, N. et GOTSCHL, T. (2008), *First versus Subsequent Return-stroke Current and Field Peaks in Negative Cloud-to-ground Lightning Discharges*, J. Geophys. Res., 113, D19112, doi:10.1029/2007JD009729 (disponible en anglais seulement)
- [10] POELMAN, D. R., SCHULZ, W. and VERGEINER, C. (2013): *Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks covering Belgium*, J. Atmos. Ocean. Tech., vol. 30, pp. 942-951 (disponible en anglais seulement)
- [11] SCHULZ, W. (1997), *Performance Evaluation of Lightning Location Systems*. Ph. D. Thesis, Technical University of Vienna (disponible en anglais seulement)

- [12] SCHULZ, W., VERGEINER, C., PICHLER, H., DIENDORFER, G., PACKET, S. et al. (2012), *Validation of the Austrian Lightning Location System ALDIS for Negative Flashes*. CIGRE Symposium (disponible en anglais seulement)
 - [13] SCHULZ, W., PICHLER, H., DIENDORFER, G., VERGEINER, C., PACK, S. (2013): *Validation of Detection of Positive Flashes by the Austrian Lightning Location System (ALDIS)*, 12th Intl. Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA), Belo Horizonte, Brésil, 7-11 octobre, paper 2.2 (disponible en anglais seulement)
 - [14] SCHULZ, W., PEDEBOY, S., VERGEINER, C., DEFER, E. et RISON, W. (2014): *Validation of the EUCLID LLS during HyMeX SOP1*, International Lightning Detection Conference, Tucson (disponible en anglais seulement)
 - [15] SCHULZ, W., PEDEBOY, S., SCHULZ, W. (2014): *Validation of the ground strike-point identification algorithm based on ground truth data*, International Lightning Detection Conference, Tucson (disponible en anglais seulement)
-

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