

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 2 AMENDEMENT 2

**Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems –
Part 1: General requirements**

**Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) –
Partie 1: Exigences générales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-1:2014/AMD2:2022



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 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 Secretariat
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 2 AMENDEMENT 2

**Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems –
Part 1: General requirements**

**Pertes de puissance dans les valves à convertisseur de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT) –
Partie 1: Exigences générales**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200; 29.240.99

ISBN 978-2-8322-1087-6

**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.**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**POWER LOSSES IN VOLTAGE SOURCED CONVERTER (VSC) VALVES
FOR HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) SYSTEMS –****Part 1: General requirements****AMENDMENT 2****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 document may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

Amendment 2 to IEC 62751-1:2014 has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

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

Draft	Report on voting
22F/648/CDV	22F/679/RVC

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

The language used for the development of this Amendment is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications/.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under 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.

1 Scope

Add, to the last sentence of the first existing paragraph, the words "or unified power flow controller (UPFC)".

3.4.2 IGBT turn-on energy

Replace, in the existing definition, the words "turn-on of" with "turn-on process for".

3.4.3 IGBT turn-off energy

Replace, in the existing definition, the words "turn-off procedure of" with "turn-off process for".

3.4.5 diode reverse recovery energy

Replace, in the existing definition, the word "procedure" with "process".

4.1 General

Replace the existing last paragraph with the following new paragraph:

This standard standardizes a method of calculating the HVDC converter station losses by summing the losses calculated for each item of equipment. The standardized calculation method will help the purchaser to meaningfully compare the competing bids. It will also allow an easy generation of performance curves for the wide range of operating conditions in which the performance has to be known. In the absence of an inexpensive and accurate experimental method which could be employed for an objective verification of losses during type tests, the calculation method is the next best alternative as it uses, wherever possible, experimental data obtained from measurements on individual equipment and components under conditions equivalent to those encountered in real operation.

4.4.1 General

Replace the existing paragraph with the following new paragraphs:

When power losses are being calculated for the purposes of determining the worst-case ratings of individual components or equipment (for example, the cooling plant), the worst possible

combination of a.c. network conditions, ambient conditions and real/reactive power (including overload) shall be considered.

When power losses are being calculated for the purpose of contractual loss guarantees, it is important that a standard set of assumptions with regard to a.c. network conditions, ambient conditions and real/reactive power are made so that bids from different manufacturers can be compared on an equal basis. Purchasers of HVDC systems may specify their own standard reference conditions for atmospheric pressure, ambient temperature, humidity, coolant temperature, power transmission level, etc., at which the power losses are to be determined. Where the purchaser does not specify such reference conditions, losses shall be determined under the following default conditions.

4.4.5 Treatment of redundancy

Add, in the existing note, the word "generally" before "occur".

4.5.3.2 Characterisation testing of other components

Add, to the existing first bulleted list item, the words "on DC capacitor"

Add, after the existing last bulleted list item, the following new item:

- power consumption of valve electronics.

8.2 IGBT switching losses

Delete, in the paragraph preceding immediately Formula (11), the words "which is recommended to be one second".

Add, at the end of 8.2, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the following new text:

The sampling period t_s should be chosen to represent a period of time in which the converter is operating in normal, steady-state conditions with no transient phenomena such as power order changes, network faults, etc.

A typical value of sampling period is one second; however, the choice of sampling period shall take into account the specific type of modulation strategy employed and how predictable the resulting switching pattern is. For example, if a pulse width modulation (PWM) control strategy is used, the switching pattern may be relatively predictable, and a sampling time shorter than 1 s may be acceptable, but certain control strategies may require a sampling period longer than 1 s.

Table 1 – Matrix indicating the relationship of data needed for calculation of losses and the type of valve losses

Add, in the "Characterisation testing" column, the crosses corresponding to "Snubber turn-on energy E_{sn_on} " and "Snubber turn-off energy E_{sn_off} ".

Delete, in the "Specified by VSC manufacturer" column, the crosses corresponding to "Snubber turn-on energy E_{sn_on} " and "Snubber turn-off energy E_{sn_off} ".

A.1 General

Add, at the beginning of the existing first paragraph, the following new text:

CIGRE WG B4-75 has published Technical Brochure 844 which discusses several possible experimental methods for determining valve losses. In some special circumstances, it may be

possible, for example, to arrange a temporary test connection in which two converters are operated from the same a.c. source and also connected together via their d.c. terminals. In this connection, the power drawn from the a.c. source equals the losses in the circuit. However, this method requires additional instrument transformers and switchgear and is only possible where there are two identical converters connected to the same AC system at the same site. Once again, there are practical measurement difficulties. It is also possible to arrange for a direct thermal measurement of the valve losses on site by measuring the temperature rise of the valve coolant fluid; however, this method does not capture all sources of power loss in the valve and the achievable accuracy, with the flow and temperature sensors typically installed on site, is relatively poor. Another alternative is to perform a thermal or electrical measurement of the losses in the valve during type testing, but this method is also challenging to perform with sufficient accuracy because the voltage and current waveforms experienced by the test object are not identical to those experienced during real service conditions.

A.2.3 Line side harmonic filter

Replace, in the first sentence of the existing paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.4 Line side high frequency filter

Replace, in the existing paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.5 Interface transformer

Replace, in the existing second paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999, IEC 61803:1999/AMD1:2010 and IEC 61803:1999/AMD2:2016" with "IEC 61803:2020".

A.2.8 Phase reactor

Replace, in the existing first paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999, IEC 61803:1999/AMD1:2010 and IEC 61803:1999/AMD2:2016" with "IEC 61803:2020".

Replace, in the existing second paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.9 VSC unit

Replace, in the existing paragraph, the reference "IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.10 VSC d.c. capacitor

Replace, in the existing paragraph, the reference "IEC 61803:1999" with "IEC 61803:2020".

A.2.11 D.C. harmonic filter

Replace, in the existing paragraph, the reference "IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.13 Neutral point grounding branch

Replace, in the existing paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.14 D.C. reactor

Replace, in the existing first paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

A.2.16 D.C. side high frequency filter

Replace, in the existing paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999, IEC 61803:1999/AMD1:2010 and IEC 61803:1999/AMD2:2016" with "IEC 61803:2020".

A.3 Auxiliaries and station service losses

Replace, in the existing paragraph, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, the reference "IEC 61803:1999 and IEC 61803:1999/AMD1:2010" with "IEC 61803:2020".

Bibliography

Replace the existing reference to IEC 61803, modified by IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, with the following new reference:

IEC 61803:2020, *Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations with line-commutated converters*

Add the following new reference:

CIGRE Technical Brochure 844, Feasibility Study for assessment of lab losses measurement of VSC valves, 2021

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-1:2014/AMD2:2022

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62751-1:2014/AMD2:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PERTES DE PUISSANCE DANS LES VALVES À CONVERTISSEUR DE SOURCE DE TENSION (VSC) DES SYSTÈMES EN COURANT CONTINU À HAUTE TENSION (CCHT) –

Partie 1: Exigences générales

AMENDEMENT 2

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 du présent document 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.

L'Amendement 2 de l'IEC 62751-1:2014 a été établi par le sous-comité 22F: Électronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Le texte de cet Amendement est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22F/648/CDV	22F/679/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cet Amendement est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications/.

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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

1 Domaine d'application

Ajouter, à la dernière phrase du premier alinéa existant, le texte suivant "ou d'un contrôleur de flux de puissance unifié (UPFC)".

3.4.2 énergie d'activation IGBT

Remplacer, dans la définition existante, "lors de l'activation d'une" par "lors du processus d'activation pour une".

3.4.3 énergie de désactivation IGBT

Remplacer, dans la définition existante, "lors de la procédure de désactivation d'une" par "lors du processus de désactivation pour une".

3.4.5 énergie de rétablissement inverse de la diode

Remplacer, dans la définition existante, "lors de la procédure de" par "lors du processus de".

4.1 Généralités

Remplacer le dernier alinéa existant par le nouvel alinéa suivant:

La présente norme fournit une méthode normalisée de calcul des pertes du poste de conversion CCHT qui consiste à faire la somme des pertes calculées pour chaque élément de l'équipement. La méthode de calcul normalisée permet au client de comparer valablement les offres

concurrentes. Elle permet également de générer aisément les courbes de performances pour une large plage de conditions de fonctionnement dont il est nécessaire de connaître les performances. En l'absence de méthode expérimentale bon marché et précise pouvant être utilisée dans le cadre d'une vérification objective des pertes pendant les essais de type, cette méthode de calcul est la meilleure alternative puisqu'elle utilise, chaque fois que cela est possible, les données expérimentales obtenues à la suite de mesures réalisées sur un équipement individuel et des composants dans des conditions équivalentes à celles rencontrées en fonctionnement réel.

4.4.1 Généralités

Remplacer l'alinéa existant par les nouveaux alinéas suivants:

Lorsque des pertes de puissance sont calculées en vue de déterminer les caractéristiques assignées les moins favorables des composants individuels ou de l'équipement (l'installation de refroidissement, par exemple), la combinaison la plus défavorable de conditions du réseau c.a., de conditions ambiantes et de puissance réelle/réactive (y compris les surcharges) doit être prise en considération.

Lorsque les pertes de puissance sont calculées pour les besoins des garanties de pertes contractuelles, il est important de formuler un ensemble normalisé d'hypothèses concernant les conditions de réseau c.a., les conditions ambiantes et la puissance réelle/réactive, de manière à pouvoir comparer équitablement les offres de différents fabricants. Les clients des systèmes CCHT peuvent spécifier leurs propres conditions de référence normalisées en matière de pression atmosphérique, de température ambiante, d'humidité, de température de l'agent de refroidissement, de niveau de transmission de la puissance, etc., pour lesquelles les pertes de puissance doivent être déterminées. Si le client ne précise pas ces conditions de référence, les pertes doivent être déterminées dans les conditions par défaut ci-dessous.

4.4.5 Traitement des redondances

Ajouter, dans la note existante, l'expression "en général" avant "le cas".

4.5.3.2 Essais de caractérisation d'autres composants

Ajouter, à la première puce existante, les mots "sur le condensateur c.c."

Ajouter, après la dernière puce existante, le nouvel élément suivant:

- consommation de puissance de l'électronique de valve.

8.2 Pertes de commutation de l'IGBT

Supprimer, dans l'alinéa qui précède la Formule (11), les mots "dont la valeur recommandée est d'une seconde".

Ajouter, à la fin de 8.2, tel que modifié par l'IEC 62751-1:2014/AMD1:2018, le nouveau texte suivant:

Il convient de choisir la période d'échantillonnage t_s de manière à représenter un laps temps pendant lequel le convertisseur fonctionne normalement en régime permanent sans phénomènes transitoires, variations de puissance, pannes de réseau, etc.

Une période d'échantillonnage dure en général une seconde. Toutefois, le choix de la période d'échantillonnage doit tenir compte du type spécifique de stratégie de modulation utilisée et de la mesure dans laquelle le modèle de commutation est prévisible. Par exemple, si une stratégie de contrôle par modulation de largeur d'impulsion (MLI) est utilisée, le modèle de commutation peut être relativement prévisible, et une période d'échantillonnage inférieure à 1 s peut s'avérer