

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Industrial communication networks – High availability automation networks –  
Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless  
Redundancy (HSR)**

**Réseaux de communication industriels – Réseaux d'automatisme à haute  
disponibilité –  
Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et redondance transparente  
de haute disponibilité (HSR)**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 25.040, 35.040

ISBN 978-2-8322-3150-0

**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.....	8
INTRODUCTION.....	10
0.1    General.....	10
0.2    Changes with respect to the previous edition .....	10
0.3    Patent declaration .....	10
1    Scope.....	12
2    Normative references.....	12
3    Terms, definitions, abbreviations, acronyms, and conventions .....	13
3.1    Terms and definitions .....	13
3.2    Abbreviations and acronyms.....	13
3.3    Conventions.....	14
4    Parallel Redundancy Protocol (PRP).....	15
4.1    PRP principle of operation.....	15
4.1.1    PRP network topology.....	15
4.1.2    PRP LANs with linear or bus topology.....	15
4.1.3    PRP LANs with ring topology.....	16
4.1.4    DANP node structure .....	16
4.1.5    PRP attachment of singly attached nodes .....	17
4.1.6    Compatibility between singly and doubly attached nodes .....	18
4.1.7    Network management .....	18
4.1.8    Implication on application .....	18
4.1.9    Transition to non-redundant networks.....	18
4.1.10    Duplicate handling .....	19
4.1.11    Network supervision.....	24
4.1.12    Redundancy management interface .....	24
4.2    PRP protocol specifications .....	24
4.2.1    Installation, configuration and repair guidelines .....	24
4.2.2    Unicast MAC addresses .....	25
4.2.3    Multicast MAC addresses .....	25
4.2.4    IP addresses.....	25
4.2.5    Nodes.....	25
4.2.6    Duplicate Accept mode (testing only).....	26
4.2.7    Duplicate Discard mode .....	26
4.3    PRP_Supervision frame .....	30
4.3.1    PRP_Supervision frame format.....	30
4.3.2    PRP_Supervision frame contents .....	31
4.3.3    PRP_Supervision frame for RedBox .....	32
4.3.4    Reception of a PRP_Supervision frame and NodesTable .....	32
4.4    Bridging node.....	33
4.5    Constants .....	33
4.6    PRP service specification .....	33
5    High-availability Seamless Redundancy (HSR).....	33
5.1    HSR objectives .....	33
5.2    HSR principle of operation.....	34
5.2.1    Basic operation with a ring topology .....	34
5.2.2    DANH node structure .....	35

5.2.3	Topology.....	36
5.2.4	RedBox structure .....	44
5.3	HSR node specifications .....	46
5.3.1	HSR operation .....	46
5.3.2	DANH receiving from its link layer interface .....	46
5.3.3	DANH receiving from an HSR port .....	47
5.3.4	DANH forwarding rules.....	48
5.3.5	CoS .....	49
5.3.6	Clock synchronization .....	50
5.3.7	Deterministic medium access .....	50
5.4	HSR RedBox specifications .....	50
5.4.1	RedBox properties .....	50
5.4.2	RedBox receiving from interlink .....	50
5.4.3	RedBox forwarding on the ring .....	52
5.4.4	RedBox receiving from an HSR port .....	52
5.4.5	RedBox receiving from its link layer interface.....	54
5.4.6	Redbox ProxyNodeTable handling.....	54
5.4.7	RedBox CoS .....	54
5.4.8	RedBox clock synchronization .....	55
5.4.9	RedBox medium access .....	55
5.5	QuadBox specification.....	55
5.6	Duplicate Discard method.....	55
5.7	Frame format for HSR .....	55
5.7.1	Frame format for all frames .....	55
5.7.2	HSR_Supervision frame .....	56
5.8	Constants .....	59
5.9	HSR service specification.....	60
6	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) .....	61
7	PRP/HSR Management Information Base (MIB).....	62
Annex A (normative) Clocks synchronization over redundant paths in IEC 62439-3 .....		79
A.1	Overview.....	79
A.2	Attachment to redundant LANs by a boundary clock.....	79
A.3	Attachment to redundant LANs by doubly attached ordinary clocks.....	80
A.4	PRP mapping to PTP .....	82
A.4.1	Scenarios and device roles .....	82
A.4.2	Operation in PRP .....	84
A.4.3	Configuration specification .....	85
A.4.4	Specifications of DANP as DAC.....	86
A.4.5	Clock model of a RedBox for PTP.....	86
A.5	HSR Mapping to PTP .....	103
A.5.1	PTP traffic in HSR.....	103
A.5.2	HSR nodes specifications.....	106
A.5.3	Redundant clocks in HSR.....	107
A.5.4	Attachment of an MC to an external LAN .....	107
A.6	PRP to HSR Mapping .....	108
A.6.1	Connection methods .....	108
A.6.2	PRP-HSR connection by BC.....	108
A.6.3	PRP-HSR connection by TCs .....	109

A.7	Doubly attached clock model .....	110
A.7.1	State machine .....	110
A.7.2	Supervision of the port .....	113
A.7.3	BMCA for paired ports .....	114
A.7.4	Selection of the port state .....	115
A.8	PTP datasets for high availability .....	115
A.8.1	General .....	115
A.8.2	Data types .....	115
A.8.3	Datasets for ordinary or boundary clocks .....	116
A.8.4	Object for transparent clocks .....	120
Annex B (normative) PTP profile for Power Utility Automation – Redundant clock attachment .....		123
B.1	Application domain .....	123
B.2	PTP profile specification .....	123
B.3	Redundant clock attachment .....	123
Annex C (normative) PTP profiles for high-availability automation networks .....		124
C.1	Application domain .....	124
C.2	PTP profile specification .....	124
C.3	Clock types .....	124
C.4	Protocol specification common .....	125
C.5	Protocol specification for L3E2E automation profile .....	125
C.6	Protocol specification for L2P2P automation profile .....	125
C.7	Timing requirements .....	126
C.7.1	Measurement conditions .....	126
C.7.2	Network time inaccuracy .....	126
C.7.3	Network elements .....	126
C.7.4	Requirements for grandmasters .....	126
C.7.5	Requirements for TCs .....	127
C.7.6	Requirements for BCs .....	127
C.7.7	Requirements for media converters .....	127
C.7.8	Requirements for links .....	127
C.8	Network engineering .....	128
C.9	Default settings .....	128
C.10	Redundant clock handling .....	129
C.11	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) .....	130
C.11.1	Conventions .....	130
C.11.2	PICS .....	130
Annex D (informative) Precision Time Protocol tutorial for IEC 62439-3 .....		132
D.1	Objective .....	132
D.2	Precision and accuracy .....	132
D.3	PTP clock types .....	133
D.4	PTP main options .....	134
D.5	Layer 2 and layer 3 communication .....	135
D.6	1-step and 2-step correction .....	135
D.6.1	Time correction in TCs .....	135
D.6.2	2-step to 1-step translation .....	136
D.7	End-To-End link delay measurement .....	138
D.7.1	General method .....	138
D.7.2	End-to-End link delay measurement with 1-step clock correction .....	138

D.7.3	End-to-End link delay measurement with 2-step clock correction .....	139
D.7.4	End-to-End link delay calculation by Delay_Req/Delay_Resp .....	140
D.8	Peer-to-Peer link delay calculation .....	140
D.8.1	Peer-to-Peer link delay calculation with 1-step correction .....	140
D.8.2	Peer-to-Peer link delay calculation with 2-step correction .....	141
Annex E (normative)	Management Information base for singly and doubly attached clocks .....	143
Bibliography	.....	168
Figure 1	– PRP example of general redundant network .....	15
Figure 2	– PRP example of redundant network as two LANs (bus topology) .....	16
Figure 3	– PRP example of redundant ring with SANs and DANPs .....	16
Figure 4	– PRP with two DANPs communicating .....	17
Figure 5	– PRP RedBox, transition from single to double LAN .....	19
Figure 6	– PRP frame extended by an RCT .....	20
Figure 7	– PRP VLAN-tagged frame extended by an RCT .....	21
Figure 8	– PRP padded frame closed by an RCT .....	21
Figure 9	– Duplicate Discard algorithm boundaries .....	22
Figure 10	– HSR example of ring configuration for multicast traffic .....	34
Figure 11	– HSR example of ring configuration for unicast traffic .....	35
Figure 12	– HSR structure of a DANH .....	36
Figure 13	– HSR example of topology using two independent networks .....	37
Figure 14	– HSR example of peer coupling of two rings .....	38
Figure 15	– HSR example of connected rings .....	39
Figure 16	– HSR example of coupling two redundant PRP LANs to a ring .....	40
Figure 17	– HSR example of coupling from a ring node to redundant PRP LANs .....	41
Figure 18	– HSR example of coupling from a ring to two PRP LANs .....	42
Figure 19	– HSR example of coupling three rings to one PRP LAN .....	43
Figure 20	– HSR example of meshed topology .....	44
Figure 21	– HSR structure of a RedBox .....	45
Figure 22	– HSR frame without a VLAN tag .....	55
Figure 23	– HSR frame with VLAN tag .....	56
Figure 24	– HSR node with management counters .....	60
Figure 25	– HSR RedBox with management counters .....	61
Figure A.1	– Doubly Attached Clock as BC (MCA is best master) .....	79
Figure A.2	– Doubly Attached Clock when MCA is best master .....	81
Figure A.3	– Doubly attached clocks when OC1 is best master .....	82
Figure A.4	– Elements of PRP networks .....	84
Figure A.5	– Connection of a master clock to an ordinary clock over PRP .....	85
Figure A.6	– PRP RedBox as BCs (OC3 and BC7 are best masters) .....	87
Figure A.7	– RedBox DABC clock model .....	88
Figure A.8	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – BC7 is master .....	89
Figure A.9	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – timing .....	90

Figure A.10 – PRP RedBoxes as DABC with P2P – OC5 is best master .....	91
Figure A.11 – PRP RedBoxes as DABC with P2P – timing .....	92
Figure A.12 – PRP RedBox as DATC with E2E –signal flow .....	93
Figure A.13 – PRP RedBox as DATC with E2E – timing .....	95
Figure A.14 – PRP RedBox as DATC with P2P .....	96
Figure A.15 – PRP RedBox as DATC with P2P – timing .....	97
Figure A.16 – PRP RedBox as SLTC with E2E .....	100
Figure A.17 – PRP RedBox as SLTC with E2E – timing .....	101
Figure A.18 – PRP RedBox as SLTC with P2P .....	102
Figure A.19 – HSR with one GMC .....	104
Figure A.20 – PTP messages sent and received by an HSR node (1-step) .....	105
Figure A.21 – PTP messages sent and received by an HSR node (2-step) .....	106
Figure A.22 – Attachment of a GMC to an HSR ring through a RedBox as TC .....	108
Figure A.23 – PRP to HSR coupling by BCs .....	109
Figure A.24 – PRP to HSR coupling by TCs.....	110
Figure A.25 – Port states including transitions for redundant operation .....	111
Figure A.26 – BMCA for redundant masters.....	114
Figure D.1 –Precision and accuracy example .....	132
Figure D.2 – Precision Time Protocol principle .....	133
Figure D.3 – Precision Time Protocol elements.....	134
Figure D.4 – Delays and time-stamping logic in TCs .....	135
Figure D.5 – Correction of the Sync message by 1-step and 2-step (peer-to-peer).....	136
Figure D.6 – Translation from 2-step to 1-step in TCs .....	137
Figure D.7 – Translation from 2-step to 1-step – message view.....	138
Figure D.8 – End-to-end link delay measurement with 1-step clock correction .....	139
Figure D.9 – End-to-end delay measurement with 2-step clock correction .....	140
Figure D.10 – Peer-to-peer link delay measurement with 1-step clock correction .....	141
Figure D.11 – Peer-to-peer link delay measurement with 2-step clock correction .....	142
Table 1 – Duplicate discard cases .....	23
Table 2 – Monitoring data set.....	26
Table 3 – NodesTable attributes.....	27
Table 4 – PRP_Supervision frame with no VLAN tag .....	30
Table 5 – PRP_Supervision frame with (optional) VLAN tag .....	31
Table 6 – PRP_Supervision frame contents .....	32
Table 7 – PRP_Supervision TLV for Redbox.....	32
Table 8 – PRP constants.....	33
Table 9 – HSR_Supervision frame with no VLAN tag .....	57
Table 10 – HSR_Supervision frame with optional VLAN tag .....	58
Table 11 – HSR Constants .....	60
Table A.1 – States .....	112
Table A.2 – Transitions .....	113
Table A.3 – Variables.....	113

Table C.1 – PTP attributes for the Industrial Automation profile ..... 129  
Table C.2 – PICS for clocks ..... 131

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS –  
HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –****Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and  
High-availability Seamless Redundancy (HSR)**

## 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.

International Standard IEC 62439-3 has been prepared by subcommittee 65C: Industrial networks, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2012. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) technical corrections and extension of specifications;
- b) consideration of IEC 61588 clock synchronization with end-to-end delay measurement alongside the existing peer-to-peer delay measurement in PRP.



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

FDIS	Report on voting
65C/834/FDIS	65C/841/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.

This International Standard is to be read in conjunction with IEC 62439-1.

A list of all parts in the IEC 62439 series, published under the general title *Industrial communication networks – High availability automation networks*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site 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.

**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 publication using a colour printer.**

## INTRODUCTION

### 0.1 General

IEC 62439-3 belongs to the IEC 62439 series “*Industrial communication networks – High availability automation networks*”. It specifies the PRP and HSR seamless redundancy protocols. It was adopted by IEC TC57 WG10 as the redundancy method for demanding substation automation networks operating on layer 2 networks, according to IEC 61850-8-1 and IEC 61850-9-2.

The seamless redundancy principle has been extended to clocks operating according to the Precision Time Protocol (IEC 61588) and attached to redundant networks. Two variants are specified: L3E2E for clocks which operate on layer 3 networks with end-to-end link delay measurement (E2E) and L2P2P for clocks that operate on layer 2 with peer-to-peer link delay measurement (P2P).

### 0.2 Changes with respect to the previous edition

The major changes with respect to IEC 62439-3:2012 are:

- Subclause 4.1.10.3 has been rewritten to explain the calculation of the duplicate rejection for different speeds.
- Annex A has been redrafted as a general concept for doubly attached clocks applicable to end-to-end (E2E) and to peer-to-peer (P2P) link delay measurement; the principle of paired port operation has now been specified in terms of a state machine based on IEC 61588:2009.
- Annex B of IEC 62439-3:2012 has been deleted; its properties are mentioned in 5.3.7.
- Annex B (new) makes the support of redundancy mandatory for IEC/IEEE 61850-9-3 that specifies doubly attached clocks on layer 2, with peer-to-peer delay measurement.
- Annex C specifies two profiles of a precision clock for industrial automation: L3E2E for layer 3, end-to-end delay measurement and L2P2P for layer 2, peer-to-peer delay measurement.
- Annex D contains the tutorial information on IEC 61588:2009 for understanding the above annexes. It was contained in IEC 62439-3:2012 Annex A.
- Annex E (MIB) contains the SNMP Management Information Base to be used for singly and doubly attached clocks in all profiles.

### 0.3 Patent declaration

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of a patent concerning filtering of redundant frames in a network node (Siemens Aktiengesellschaft – EP 2127329, US 8184650, CN 101611615B) given in 5.2.3.3.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of this patent right is registered with IEC. Information may be obtained from:

Siemens Aktiengesellschaft  
Oto-Hahn-Ring 6  
81379 Munich, Germany

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this document may involve the use of patents concerning

Reception of redundant and non-redundant frames (ABB Research Ltd – EP 1825657, US 8582426, CN 101057483, IN 254425) given in 4.2.7, concerning Identifying improper cabling of devices (ABB Technology AG – EP 2163024, US 8344736, CN 101689985) given in 4.3, concerning Critical device with increased availability (ABB Research Ltd – EP 2090950) given in 4.4, concerning Ring coupling nodes for high availability networks (ABB Research Ltd – US 8582424, EP 2327185, CN 102106121) given in 5.2.3.

IEC takes no position concerning the evidence, validity and scope of these patent rights.

The holder of these patent rights has assured the IEC that he/she is willing to negotiate licences under reasonable and non-discriminatory terms and conditions with applicants throughout the world. In this respect, the statement of the holder of these patent rights is registered with IEC. Information may be obtained from:

ABB Schweiz AG  
Intellectual Property CH-IP (CH-150016-L)  
Brown Boveri Strasse 6  
CH-5400 Baden, Switzerland  
ch-ip.patent@abb.com

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights other than those identified above. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO ([www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)) and IEC (<http://patents.iec.ch>) maintain on-line data bases of patents relevant to their standards. Users are encouraged to consult the data bases for the most up to date information concerning patents.

# INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS – HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –

## Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)

### 1 Scope

The IEC 62439 series is applicable to high-availability automation networks based on the Ethernet technology.

This part of IEC 62439 specifies two redundancy protocols designed to provide seamless recovery in case of single failure of an inter-bridge link or bridge in the network, which are based on the same scheme: parallel transmission of duplicated information.

### 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 60050-191, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 191: Dependability and quality of service*

IEC 61588:2009, *Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems*

IEC TR 61850-90-4:2013, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines*

IEC 62439-1, *Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 1: General concepts and calculation methods*

IEC/IEEE 61850-9-3:—, *Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation (proposed IEC 61850-9-3)*<sup>1</sup>

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2014, *Standard for Ethernet*

IEEE 802.1D:2004, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Media Access Control (MAC) Bridges*

IEEE 802.1Q:2014, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridge Local Area Network*

IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIPv2)*

---

<sup>1</sup> To be published.

IETF RFC 3418, *Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	176
INTRODUCTION.....	178
0.1 Généralités .....	178
0.2 Modifications par rapport à l'édition précédente .....	178
0.3 Déclaration de brevet .....	178
1 Domaine d'application.....	180
2 Références normatives .....	180
3 Termes, définitions, abréviations, acronymes et conventions .....	181
3.1 Termes et définitions .....	181
3.2 Abréviations et acronymes .....	182
3.3 Conventions.....	183
4 Protocole de redondance en parallèle (PRP) .....	183
4.1 Principe de fonctionnement du protocole PRP.....	183
4.1.1 Topologie du réseau PRP.....	183
4.1.2 LAN PRP avec topologie linéaire ou en bus .....	184
4.1.3 LAN PRP avec topologie en anneau .....	184
4.1.4 Structure des nœuds DANP .....	185
4.1.5 Association PRP de nœuds à une seule association .....	187
4.1.6 Compatibilité entre les nœuds à une seule association et à double association .....	187
4.1.7 Gestion du réseau.....	187
4.1.8 Implication sur l'application .....	187
4.1.9 Transition vers des réseaux non redondants .....	188
4.1.10 Gestion des doublons.....	188
4.1.11 Supervision du réseau.....	194
4.1.12 Interface de gestion de la redondance .....	194
4.2 Spécifications du protocole PRP .....	194
4.2.1 Lignes directrices d'installation, de configuration et de réparation .....	194
4.2.2 Adresses MAC monodiffusion.....	195
4.2.3 Adresses MAC multidiffusion .....	195
4.2.4 Adresses IP .....	195
4.2.5 Nœuds.....	195
4.2.6 Mode d'acceptation des doublons (essai seulement).....	196
4.2.7 Mode de rejet des doublons .....	196
4.3 Trame PRP_Supervision .....	200
4.3.1 Format de la trame PRP_Supervision .....	200
4.3.2 Contenu de la trame PRP_Supervision .....	203
4.3.3 Trame PRP_Supervision pour RedBox.....	203
4.3.4 Réception d'une trame PRP_Supervision et NodesTable.....	204
4.4 Nœud de pontage .....	204
4.5 Constantes .....	204
4.6 Spécification de service PRP.....	204
5 Redondance transparente haute disponibilité (HSR).....	205
5.1 Objectifs du protocole HSR .....	205
5.2 Principe de fonctionnement du protocole HSR .....	205
5.2.1 Fonctionnement de base avec une topologie en anneau .....	205

5.2.2	Structure des nœuds DANH .....	208
5.2.3	Topologie.....	209
5.2.4	Structure d'une RedBox .....	219
5.3	Spécifications du nœud HSR .....	220
5.3.1	Fonctionnement HSR .....	220
5.3.2	Réception de données par le DANH depuis son interface de couche de liaison.....	221
5.3.3	Réception de données par le DANH depuis un port HSR.....	221
5.3.4	Règles de transfert du DANH .....	222
5.3.5	CoS .....	224
5.3.6	Synchronisation de l'horloge.....	224
5.3.7	Accès déterministe au support.....	224
5.4	Spécifications de la RedBox HSR .....	224
5.4.1	Propriétés de la RedBox.....	224
5.4.2	Réception RedBox via l'interconnexion .....	225
5.4.3	Transfert RedBox sur l'anneau .....	226
5.4.4	Réception RedBox via un port HSR .....	226
5.4.5	Réception RedBox via son interface de couche de liaison .....	228
5.4.6	Gestion de ProxyNodeTable de la RedBox .....	228
5.4.7	CoS RedBox .....	228
5.4.8	Synchronisation de l'horloge RedBox.....	228
5.4.9	Accès au support RedBox .....	228
5.5	Spécification de la QuadBox.....	229
5.6	Méthode de rejet des doublons.....	229
5.7	Format de trame pour HSR.....	229
5.7.1	Format de trame pour toutes les trames .....	229
5.7.2	Trame HSR_Supervision .....	231
5.8	Constantes .....	233
5.9	Spécification de service HSR.....	234
6	Enoncé de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS).....	236
7	Base d'informations de gestion (MIB) PRP/HSR .....	237
Annexe A (normative) Synchronisation d'horloges sur des chemins redondants dans l'IEC 62439-3.....		254
A.1	Vue d'ensemble .....	254
A.2	Association à des LAN redondants par une horloge frontière.....	254
A.3	Association à des LAN redondants par des horloges ordinaires à double association.....	255
A.4	Mapping PRP vers PTP .....	258
A.4.1	Scénarios et rôles d'appareils.....	258
A.4.2	Fonctionnement dans PRP .....	259
A.4.3	Spécification de la configuration .....	261
A.4.4	Spécifications d'un DANP en tant que DAC.....	262
A.4.5	Modèle d'horloge d'une RedBox pour PTP .....	262
A.5	Mapping HSR vers PTP.....	282
A.5.1	Trafic PTP dans HSR .....	282
A.5.2	Spécifications des nœuds HSR .....	285
A.5.3	Horloges redondantes dans HSR.....	286
A.5.4	Association d'une MC à un LAN externe .....	286
A.6	Mapping PRP vers HSR .....	287

A.6.1	Méthodes de connexion .....	287
A.6.2	Connexion PRP-HSR par une BC .....	287
A.6.3	Connexion PRP-HSR par des TC .....	288
A.7	Modèle d'horloge à double association .....	289
A.7.1	Diagramme d'états .....	289
A.7.2	Supervision du port .....	292
A.7.3	BMCA pour les ports couplés .....	293
A.7.4	Sélection de l'état des ports .....	295
A.8	Ensembles de données PTP pour la haute disponibilité .....	295
A.8.1	Généralités .....	295
A.8.2	Types de données .....	295
A.8.3	Ensembles de données pour les horloges ordinaires ou frontières .....	296
A.8.4	Objet pour les horloges transparentes .....	300
Annexe B (normative) Profil PTP pour l'automatisation des systèmes électriques – Association d'une horloge redondante .....		303
B.1	Domaine d'application .....	303
B.2	Spécification du profil PTP .....	303
B.3	Association d'une horloge redondante .....	303
Annexe C (normative) Profils PTP pour les réseaux d'automatisme à haute disponibilité .....		304
C.1	Domaine d'application .....	304
C.2	Spécification du profil PTP .....	304
C.3	Types d'horloges .....	304
C.4	Informations communes sur la spécification du protocole .....	305
C.5	Spécification du protocole pour le profil d'automatisation L3E2E .....	305
C.6	Spécification du protocole pour le profil d'automatisation L2P2P .....	305
C.7	Exigences de temporisation .....	306
C.7.1	Conditions de mesure .....	306
C.7.2	Imprécision temporelle du réseau .....	306
C.7.3	Éléments du réseau .....	306
C.7.4	Exigences pour les horloges grands maîtres .....	306
C.7.5	Exigences pour les TC .....	307
C.7.6	Exigences pour les BC .....	307
C.7.7	Exigences pour les convertisseurs de support .....	307
C.7.8	Exigences pour les liaisons .....	308
C.8	Ingénierie de réseau .....	308
C.9	Réglages par défaut .....	309
C.10	Traitement des horloges redondantes .....	310
C.11	Énoncé de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS) .....	310
C.11.1	Conventions .....	310
C.11.2	PICS .....	310
Annexe D (informative) Tutoriel relatif au protocole PTP pour l'IEC 62439-3 .....		312
D.1	Objectif .....	312
D.2	Exactitude et précision .....	312
D.3	Types d'horloges PTP .....	313
D.4	Options PTP principales .....	316
D.5	Communication de couches 2 et 3 .....	316
D.6	Correction en 1 étape/en 2 étapes .....	316
D.6.1	Correction du temps dans les TC .....	316



D.6.2	Conversion 2 étapes/1 étape .....	318
D.7	Mesure du retard de ligne entre extrémités .....	321
D.7.1	Méthode générale .....	321
D.7.2	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape .....	321
D.7.3	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes .....	323
D.7.4	Calcul de retard de ligne entre extrémités à partir des messages Delay_Req/Delay_Resp .....	324
D.8	Calcul de retard de ligne entre homologues .....	325
D.8.1	Calcul de retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape .....	325
D.8.2	Calcul de retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes.....	327
Annexe E (normative) Base d'informations de gestion pour les horloges à une seule association et les horloges à double association.....		329
Bibliographie .....		354
Figure 1	– Exemple PRP de réseau redondant général .....	183
Figure 2	– Exemple PRP de réseau redondant constitué de deux LAN (topologie en bus) 184	
Figure 3	– Exemple PRP d'anneau redondant avec des SAN et des DANP.....	185
Figure 4	– PRP avec deux DANP qui communiquent.....	186
Figure 5	– RedBox PRP, transition d'un LAN simple vers un LAN double .....	188
Figure 6	– Trame PRP étendue par une RCT.....	189
Figure 7	– Trame PRP à étiquette VLAN étendue par une RCT .....	190
Figure 8	– Trame remplie PRP fermée par une RCT .....	191
Figure 9	– Limites de l'algorithme de rejet de doublons.....	192
Figure 10	– Exemple HSR d'une configuration en anneau pour le trafic multidiffusion.....	206
Figure 11	– Exemple HSR d'une configuration en anneau pour le trafic monodiffusion.....	207
Figure 12	– Structure HSR d'un DANH .....	209
Figure 13	– Exemple HSR de topologie qui utilise deux réseaux indépendants .....	210
Figure 14	– Exemple HSR du couplage par homologues de deux anneaux .....	211
Figure 15	– Exemple HSR d'anneaux connectés.....	212
Figure 16	– Exemple HSR du couplage de deux réseaux locaux PRP redondants à un anneau .....	213
Figure 17	– Exemple HSR de couplage du nœud d'un anneau à des LAN PRP redondants .....	215
Figure 18	– Exemple HSR de couplage d'un anneau à deux LAN PRP .....	216
Figure 19	– Exemple HSR de couplage de trois anneaux à un LAN PRP .....	217
Figure 20	– Exemple HSR de topologie en maille .....	218
Figure 21	– Structure HSR d'une RedBox.....	219
Figure 22	– Trame HSR sans balise VLAN .....	229
Figure 23	– Trame HSR avec balise VLAN .....	230
Figure 24	– Nœud HSR avec compteurs de gestion .....	235
Figure 25	– RedBox HSR avec compteurs de gestion .....	236

Figure A.1 – Horloge à double association comme BC (MCA est la meilleure horloge maître) .....	254
Figure A.2 – Horloge à double association quand MCA est la meilleure horloge maître.....	256
Figure A.3 – Horloges à double association quand OC1 est la meilleure horloge maître .....	257
Figure A.4 – Eléments des réseaux PRP .....	259
Figure A.5 – Connexion d'une horloge maître à une horloge ordinaire via PRP.....	261
Figure A.6 – RedBox PRP en tant que BC (OC3 et BC7 sont les meilleurs maîtres).....	263
Figure A.7 – Modèle d'horloge DABC RedBox .....	264
Figure A.8 – RedBox PRP en tant que DABC avec E2E – BC7 est l'horloge maître .....	266
Figure A.9 – RedBox PRP en tant que DABC avec E2E – temporisation.....	267
Figure A.10 – RedBox PRP en tant que DABC avec P2P – OC5 est la meilleure horloge maître .....	268
Figure A.11 – RedBox PRP en tant que DABC avec P2P – temporisation.....	269
Figure A.12 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – flux de signaux.....	271
Figure A.13 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – temporisation .....	273
Figure A.14 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P .....	275
Figure A.15 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P – temporisation .....	276
Figure A.16 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E.....	279
Figure A.17 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E – temporisation .....	280
Figure A.18 – RedBox PRP en tant que SLTC avec P2P.....	281
Figure A.19 – HSR avec une GMC .....	283
Figure A.20 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (1 étape).....	284
Figure A.21 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (2 étapes) .....	285
Figure A.22 – Association d'une GMC à un anneau HSR par l'intermédiaire d'une RedBox en tant que TC.....	287
Figure A.23 – Couplage PRP à HSR par des BC.....	288
Figure A.24 – Couplage PRP à HSR par des TC.....	289
Figure A.25 – Etats des ports avec les transitions pour le fonctionnement redondant.....	290
Figure A.26 – BMCA pour les maîtres redondants.....	294
Figure D.1 – Exemple de précision et d'exactitude.....	312
Figure D.2 – Principe du protocole PTP.....	313
Figure D.3 – Eléments du protocole PTP .....	316
Figure D.4 – Retards et logique d'horodatage dans les TC.....	317
Figure D.5 – Correction du message Sync en 1 étape/2 étapes (entre homologues) .....	318
Figure D.6 – Conversion 2 étapes/1 étape dans les TC.....	320
Figure D.7 – Conversion 2 étapes/1 étape – Vue des messages .....	321
Figure D.8 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape.....	322
Figure D.9 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes .....	324
Figure D.10 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape .....	326
Figure D.11 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes .....	328

Tableau 1 – Cas de rejet des doublons.....	193
Tableau 2 – Ensemble de données de surveillance.....	196
Tableau 3 – Attributs de NodesTable.....	197
Tableau 4 – Trame PRP_Supervision sans balise VLAN.....	201
Tableau 5 – Trame PRP_Supervision avec balise VLAN (facultative).....	202
Tableau 6 – Contenu de la trame PRP_Supervision.....	203
Tableau 7 – TLV PRP_Supervision pour RedBox.....	203
Tableau 8 – Constantes PRP.....	204
Tableau 9 – Trame HSR_Supervision sans balise VLAN.....	231
Tableau 10 – Trame HSR_Supervision avec balise VLAN facultative.....	232
Tableau 11 – Constantes HSR.....	234
Tableau A.1 – Etats.....	291
Tableau A.2 – Transitions.....	292
Tableau A.3 – Variables.....	292
Tableau C.1 – Attributs PTP pour le profil d'automatisation industrielle.....	309
Tableau C.2 – PICS pour les horloges.....	311

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS –  
RÉSEAUX D'AUTOMATISME A HAUTE DISPONIBILITE –****Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP)  
et redondance transparente de haute disponibilité (HSR)**

## 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.

La Norme internationale IEC 62439-3 a été établie par le sous-comité 65C: Réseaux industriels, du comité d'études 65 de l'IEC: Mesure, commande et automation dans les processus industriels.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2012. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) corrections techniques et extension des spécifications;
- b) prise en compte de la synchronisation des horloges selon l'IEC 61588 lors de la mesure du délai entre extrémités et la mesure existante du délai entre homologues dans le protocole PRP.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65C/834/FDIS	65C/841/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.

Cette Norme internationale doit être lue conjointement avec l'IEC 62439-1.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62439, publiées sous le titre général *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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.

**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

### 0.1 Généralités

L'IEC 62439-3 fait partie de la série IEC 62439 *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité*. Elle spécifie les protocoles de redondance transparente PRP et HSR. Elle a été adoptée par l'IEC TC57 WG10 pour servir de méthode de redondance pour les réseaux d'automatisme de la sous-station demandeuse qui fonctionne sur des réseaux de couche 2, conformément à l'IEC 61850-8-1 et à l'IEC 61850-9-2.

Le principe de redondance transparente a été étendu aux horloges qui fonctionnent conformément au protocole PTP (Precision Time Protocol), comme défini dans l'IEC 61588 et associé aux réseaux redondants. Deux variantes sont spécifiées: L3E2E pour les horloges qui fonctionnent sur des réseaux de couche 3 avec une mesure du retard de ligne entre extrémités (E2E) et L2P2P pour les horloges qui fonctionnent sur des réseaux de couche 2 avec une mesure du retard de ligne entre homologues (P2P).

### 0.2 Modifications par rapport à l'édition précédente

Les principales modifications par rapport à l'IEC 62439-3:2012 sont:

- Le paragraphe 4.1.10.3 a été réécrit pour expliquer la façon de calculer le rejet des doublons pour différentes vitesses.
- L'Annexe A a été revue pour servir de conception générale pour des horloges à double association utilisables pour une mesure du retard de ligne entre extrémités (E2E) et entre homologues (P2P); le principe du fonctionnement de ports couplés a été désormais spécifié en termes de diagramme d'états basés sur l'IEC 61588:2009.
- L'Annexe B de l'IEC 62439-3:2012 a été supprimée; ses propriétés sont mentionnées en 5.3.7.
- La nouvelle Annexe B rend obligatoire la prise en charge de la redondance pour l'IEC/IEEE 61850-9-3 qui spécifie les horloges à double association sur la couche 2 avec une mesure du retard de ligne entre homologues.
- L'Annexe C spécifie deux profils d'une horloge de précision pour l'automatisation industrielle:  
L3E2E pour la couche 3, mesure du retard entre extrémités et  
L2P2P pour la couche 2, mesure du retard entre homologues.
- L'Annexe D contient les informations de tutoriel relatives à l'IEC 61588:2009 qui sont nécessaires pour comprendre les annexes ci-dessus. Ces informations se trouvaient à l'Annexe A de l'IEC 62439-3:2012.
- L'Annexe E (MIB) comprend la base d'informations de gestion SNMP à utiliser pour des horloges à une seule association et à double association, quel que soit le profil.

### 0.3 Déclaration de brevet

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation d'un brevet intéressant le filtrage de trames redondantes dans le nœud d'un réseau (Siemens Aktiengesellschaft – EP 2127329, US 8184650, CN 101611615B) traité en 5.2.3.3.

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. A ce propos, l'énoncé du détenteur des droits de propriété est enregistré à l'IEC. Des informations peuvent être demandées à:

Siemens Aktiengesellschaft  
Oto-Hahn-Ring 6  
81379 Munich, Allemagne

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions du présent document peut impliquer l'utilisation de brevets sur la réception de trames redondantes et non redondantes (ABB Research Ltd – EP 1825657, US 8582426, CN 101057483, IN 254425) traitée en 4.2.7, sur l'identification d'un mauvais câblage des appareils (ABB Technology AG – EP 2163024, US 8344736, CN 101689985) traitée en 4.3, sur l'appareil critique avec disponibilité accrue (ABB Research Ltd – EP 2090950) traité en 4.4 et sur les nœuds de couplage d'un anneau pour les réseaux à haute disponibilité (ABB Research Ltd – US 8582424, EP 2327185, CN 102106121) traités en 5.2.3.

L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété.

Le détenteur de ces droits de propriété a donné l'assurance à l'IEC qu'il consent à négocier des licences avec des demandeurs du monde entier, à des termes et conditions raisonnables et non discriminatoires. A ce propos, l'énoncé du détenteur des droits de propriété est enregistré à l'IEC. Des informations peuvent être demandées à:

ABB Schweiz AG  
Intellectual Property CH-IP (CH-150016-L)  
Brown Boveri Strasse 6  
CH-5400 Baden, Suisse  
ch-ip.patent@abb.com

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été mentionnés ci-dessus. 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.

L'ISO ([www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)) et l'IEC (<http://patents.iec.ch>) maintiennent à disposition des bases de données en ligne des brevets relatifs à leurs normes. Les utilisateurs sont encouragés à consulter ces bases de données pour obtenir l'information la plus récente sur les droits de propriété.

# RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX D'AUTOMATISME A HAUTE DISPONIBILITE –

## Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et Redondance transparente haute disponibilité (HSR)

### 1 Domaine d'application

La série IEC 62439 s'applique aux réseaux d'automatisme à haute disponibilité basés sur la technologie Ethernet.

Cette partie de l'IEC 62439 spécifie deux protocoles de redondance conçus pour assurer une reprise transparente en cas de défaillance unique de liaison interpont ou de pont au sein du réseau, basés sur le schéma: transmission en parallèle d'informations dupliquées.

### 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 60050-191, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service*

IEC 61588:2009, *Precision clock synchronization protocol for networked measurement and control systems* (disponible en anglais seulement)

IEC TR 61850-90-4, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines* (disponible en anglais seulement)

IEC 62439-1, *Réseaux industriels de communication – Réseaux d'automatisme à haute disponibilité – Partie 1: Concepts généraux et méthodes de calcul*

IEC/IEEE 61850-9-3:—, *Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation (proposed IEC 61850-9-3)*, (disponible en anglais seulement)<sup>1</sup>

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2014, *Standard for Ethernet* (disponible en anglais seulement)

IEEE 802.1D:2004, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Media Access Control (MAC) Bridges* (disponible en anglais seulement)

IEEE 802.1Q:2014, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Media Access Control (MAC) Bridges and Virtual Bridge Local Area Network* (disponible en anglais seulement)

---

<sup>1</sup> A paraître.



IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* (disponible en anglais seulement)

IETF RFC 3418, *Management Information Base (MIB) for the Simple Network Management Protocol (SNMP)* (disponible en anglais seulement)