

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 de haute disponibilité pour
l'automatisation –
Partie 3: Protocole de redondance en parallèle (PRP) et redondance
transparente de haute disponibilité (HSR)**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.040.40; 35.100.05

ISBN 978-2-8322-1059-5

**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.....	10
INTRODUCTION.....	13
0.1 General.....	13
0.2 Patent declaration.....	13
INTRODUCTION to Corrigendum 1	14
1 Scope.....	15
1.1 General.....	15
1.2 Code component distribution.....	15
2 Normative references	16
3 Terms, definitions, abbreviated terms, and conventions.....	17
3.1 Terms and definitions.....	17
3.2 Abbreviated terms.....	19
3.3 Conventions.....	20
4 Parallel Redundancy Protocol (PRP)	20
4.1 PRP principle of operation	20
4.1.1 PRP network topology	20
4.1.2 PRP LANs with linear or bus topology.....	22
4.1.3 PRP LANs with ring topology	22
4.1.4 DANP node structure	23
4.1.5 PRP attachment of singly attached nodes.....	24
4.1.6 Compatibility between singly and doubly attached nodes.....	25
4.1.7 Network management.....	25
4.1.8 Implication on application	25
4.1.9 Transition to a single-thread network	25
4.1.10 Duplicate handling	26
4.1.11 Network supervision	31
4.1.12 Redundancy management interface.....	31
4.2 PRP protocol specifications	32
4.2.1 Installation, configuration and repair guidelines	32
4.2.2 Unicast MAC addresses.....	32
4.2.3 Multicast MAC addresses	32
4.2.4 IP addresses	33
4.2.5 Node specifications	33
4.2.6 Duplicate Accept mode (testing only).....	33
4.2.7 Duplicate Discard mode.....	34
4.3 PRP_Supervision frame	38
4.3.1 PRP_Supervision frame format.....	38
4.3.2 PRP_Supervision frame contents.....	40
4.3.3 PRP_Supervision frame for RedBox	41
4.3.4 Bridging node (deprecated)	41
4.4 Constants	42
4.5 PRP layer management entity (LME)	42
5 High-availability Seamless Redundancy (HSR).....	42
5.1 HSR objectives	42
5.2 HSR principle of operation	43
5.2.1 Basic operation with a ring topology	43

5.2.2	HSR connection to other networks	45
5.2.3	DANH node structure	60
5.2.4	RedBox structure	61
5.3	HSR protocol specifications	62
5.3.1	HSR layout	62
5.3.2	HSR operation	62
5.3.3	DANH sending from its link layer interface	64
5.3.4	DANH receiving from an HSR port	65
5.3.5	DANH forwarding rules	65
5.3.6	HSR Class of Service	67
5.3.7	HSR clock synchronization	67
5.3.8	Deterministic transmission delay and jitter	67
5.4	HSR RedBox specifications	67
5.4.1	RedBox properties	67
5.4.2	RedBox receiving from port C (interlink)	68
5.4.3	RedBox receiving from port A or port B (HSR ring)	69
5.4.4	RedBox receiving from its link layer interface (local)	71
5.4.5	Redbox ProxyNodeTable handling	71
5.4.6	RedBox CoS	72
5.4.7	RedBox clock synchronization	72
5.4.8	RedBox medium access	72
5.5	QuadBox specification	72
5.6	Duplicate Discard method	72
5.7	Frame format for HSR	72
5.7.1	Frame format for all frames	72
5.7.2	HSR_Supervision frame	74
5.8	HSR constants	76
5.9	HSR layer management entity (LME)	77
6	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS)	79
7	PRP/HSR Management Information Base (MIB)	81
Annex A (normative)	Synchronization of clocks over redundant paths	98
A.1	Overview	98
A.2	PRP mapping to PTP	98
A.2.1	Particular operation of PRP for PTP messages	98
A.2.2	Scenarios and device roles	100
A.2.3	Attachment to redundant LANs by a BC	102
A.2.4	Attachment to redundant LANs by doubly attached clocks	102
A.2.5	Specifications of DANP as DAC	106
A.2.6	PRP-SAN RedBoxes for PTP	107
A.3	HSR Mapping to PTP	127
A.3.1	HSR messages and other messages	127
A.3.2	HSR operation with PTP messages	127
A.3.3	HSR with redundant master clocks	129
A.3.4	HSR timing diagram for PTP messages	130
A.3.5	HSR nodes specifications	131
A.4	HSR RedBoxes for PTP	133
A.4.1	HSR-SAN RedBox	133
A.4.2	HSR-PRP RedBox connection by BC	134
A.4.3	HSR-PRP RedBox connection by TC	136

A.4.4	HSR to HSR connection by QuadBoxes	138
A.5	Doubly attached clock specification.....	139
A.5.1	State machine	139
A.5.2	Supervision of the port.....	142
A.5.3	BMCA for paired ports	143
A.5.4	Selection of the port state.....	144
A.6	PTP datasets for high availability	144
A.6.1	General	144
A.6.2	Data types	144
A.6.3	Datasets for OC or BC	145
A.6.4	Datasets for TCs.....	153
Annex B (normative)	PTP profile for Power Utility Automation (PUP) – Redundant clock attachment.....	154
B.1	Application domain.....	154
B.2	PTP profile specification	154
B.3	Specifications	154
B.4	Redundant clock attachment.....	154
Annex C (normative)	PTP industry profiles for high-availability automation networks	155
C.1	Application domain.....	155
C.2	PTP profile specification	155
C.3	Clock types	156
C.4	Protocol specification common.....	156
C.4.1	Base protocol	156
C.4.2	Version control	156
C.4.3	Time scale.....	157
C.4.4	BMCA.....	157
C.4.5	Time correction mechanism	157
C.4.6	Management.....	157
C.4.7	1 PPS support	157
C.4.8	Leap second transition.....	157
C.4.9	Use of port number	157
C.4.10	Time distribution security	158
C.5	Protocol specification for L3E2E industry profile	158
C.5.1	Base protocol	158
C.5.2	Multicast address.....	158
C.5.3	Delay calculation mechanism.....	158
C.5.4	Sync message padding.....	158
C.6	Protocol specification for L2P2P industry profile	159
C.6.1	Base protocol	159
C.6.2	Delay measurement mechanism	159
C.6.3	Consideration of media converters.....	159
C.7	Common timing requirements for L2P2P and L3E2E	159
C.7.1	Measurement conditions	159
C.7.2	Network time inaccuracy.....	159
C.7.3	Response to time step changes	160
C.7.4	Requirements for GCs	160
C.7.5	Requirements for TCs.....	162
C.7.6	Requirements for BCs.....	162
C.8	Requirements for media converters.....	165

C.9	Requirements for links	165
C.10	Network engineering	165
C.11	Default settings	166
C.12	Handling of doubly attached clocks	167
C.13	Protocol Implementation Conformance Statement (PICS) for PTP	168
C.13.1	PICS conventions	168
C.13.2	PICS for PTP	168
C.14	Recommendations for time representation	170
C.14.1	Usage of flags in TimePropertyDS	170
C.14.2	UTC leap second transition	171
C.14.3	ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR_TLV	172
Annex D (informative)	Precision Time Protocol tutorial for the PTP Industrial profile	176
D.1	Objective	176
D.2	Precision and accuracy	176
D.3	PTP clock types	177
D.4	PTP main options	179
D.5	Layer 2 and layer 3 communication	180
D.6	1-step and 2-step correction	180
D.6.1	Time correction in TCs	180
D.6.2	2-step to 1-step translation	181
D.7	End-to-End link delay measurement	183
D.7.1	General method	183
D.7.2	End-to-end link delay measurement with 1-step clock correction	183
D.7.3	End-to-end link delay measurement with 2-step clock correction	184
D.7.4	End-to-end link delay calculation by Delay_Req – Delay_Resp	185
D.7.5	Consideration of media converters in end-to-end delay calculation	185
D.8	Peer-to-peer link delay calculation	186
D.8.1	Peer-to-peer link delay calculation with 1-step correction	186
D.8.2	Peer-to-peer link delay calculation with 2-step correction	187
D.8.3	Consideration of media converters in peer delay calculation	188
Annex E (normative)	Management Information base for singly and doubly attached clocks	190
Annex F (normative)	Conformance testing for PRP and HSR and handling of redundancy in PIP and PUP	219
F.1	General	219
F.2	PRP conformance test	219
F.2.1	PRP test set-up	219
F.2.2	PRP test components	220
F.2.3	Test for documentation and labelling	220
F.2.4	Test for (unicast) IP addresses	221
F.2.5	Test for configuration	221
F.2.6	Test of DANP	222
F.2.7	Test of PRP Redboxes	226
F.2.8	Test for Management	228
F.2.9	Test of DANP or RedBox for processing of PTP frames	230
F.3	HSR conformance test	235
F.3.1	HSR test set-up	235
F.3.2	HSR test components	236
F.3.3	Test for HSR documentation and labelling	236

F.3.4	Test of DANH or RedBox for IP addresses.....	237
F.3.5	Test of DANH for configuration	237
F.3.6	Test of DANH	238
F.3.7	Test of HSR RedBoxes	242
F.3.8	Test of DANH or RedBox for receive/transmit counters.....	244
F.3.9	Test of DANH or RedBox for processing of PTP frames in L2P2P	245
	Bibliography.....	249
Figure 1	– PRP example of general duplicated network	21
Figure 2	– PRP example of duplicated network in bus topology.....	22
Figure 3	– PRP example of redundant ring with SANs and DANPs	23
Figure 4	– PRP with two DANPs communicating	24
Figure 5	– PRP RedBox, transition from single to double LAN.....	26
Figure 6	– PRP frame closed by an RCT	27
Figure 7	– PRP VLAN-tagged frame closed by an RCT	28
Figure 8	– PRP padded frame closed by an RCT	28
Figure 9	– Duplicate Discard algorithm boundaries	30
Figure 10	– HSR example of ring traffic for multicast frames	43
Figure 11	– HSR example of ring traffic for unicast frames.....	44
Figure 12	– HSR example of coupling two redundant PRP LANs to a ring (unicast).....	47
Figure 13	– HSR example of coupling from a ring node to PRP LANs (multicast)	49
Figure 14	– HSR example of coupling from a ring to two PRP LANs (multicast)	53
Figure 15	– HSR example of coupling three rings to one PRP LAN	54
Figure 16	– HSR example of peer coupling of two rings	55
Figure 17	– HSR example of connected rings	56
Figure 18	– HSR example of meshed topology.....	57
Figure 19	– HSR example of topology using two independent networks	58
Figure 20	– HSR example of coupling an RSTP LAN to HSR by two bridges	59
Figure 21	– HSR structure of a DANH	60
Figure 22	– HSR structure of a RedBox	61
Figure 23	– HSR frame without a VLAN tag	73
Figure 24	– HSR frame with VLAN tag	73
Figure 25	– HSR node with management counters.....	78
Figure 26	– HSR RedBox with management counters	79
Figure A.1	– Connection of a DAC master to a DAC slave over PRP.....	99
Figure A.2	– Elements of PRP time distribution networks	101
Figure A.3	– Doubly Attached Clock as BC (OC3A is best master).....	102
Figure A.4	– Doubly Attached Clocks OC1 and OC2	104
Figure A.5	– Doubly attached clocks when OC1 has the same identity on both LANs	106
Figure A.6	– PRP RedBox as TWBCs	108
Figure A.7	– RedBox DABC clock model.....	109
Figure A.8	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – message flow	111
Figure A.9	– PRP RedBoxes as DABC with E2E – timing	112
Figure A.10	– PRP RedBoxes as DABC with P2P on PRP – message flow	113

Figure A.11 – PRP RedBoxes as DABC with P2P on PRP – timing	114
Figure A.12 – PRP-SAN RedBox as SLTC with E2E – message flow	116
Figure A.13 – PRP RedBox as SLTC with E2E – timing	118
Figure A.14 – PRP RedBox as SLTC with P2P – message flow.....	119
Figure A.15 – PRP RedBox as SLTC with P2P – timing diagram.....	120
Figure A.16 – PRP RedBox as DATC with E2E – message flow	123
Figure A.17 – PRP RedBox as DATC with E2E – timing.....	124
Figure A.18 – PRP RedBox as DATC with P2P – message flow	125
Figure A.19 – PRP RedBox as DATC with P2P – timing.....	126
Figure A.20 – HSR with two GCs (GC1 is grandmaster, GC2 is back-up).....	129
Figure A.21 – PTP messages sent and received by an HSR node (1-step).....	130
Figure A.22 – PTP messages sent and received by an HSR node (2-step).....	131
Figure A.23 – Attachment of a GC to an HSR ring through a RedBox as TC and BC.....	133
Figure A.24 – PRP to HSR coupling by BCs.....	135
Figure A.25 – PRP to HSR coupling by DATC and SLTC	137
Figure A.26 – HSR coupling to two PRP and one HSR network.....	138
Figure A.27 – Port states including transitions for redundant operation	140
Figure A.28 – BMCA for redundant masters	143
Figure C.1 – Response to a time step	160
Figure C.2 – States of a BC	163
Figure D.1 – Time error as a probability distribution function.....	176
Figure D.2 – PTP principle with GC, TC and OC	178
Figure D.3 – PTP elements.....	179
Figure D.4 – Delays and time-stamping logic in TCs	180
Figure D.5 – 1-step and 2-step correction of a Sync message (peer-to-peer).....	181
Figure D.6 – Translation from 2-step to 1-step correction in TCs.....	182
Figure D.7 – Translation from 2-step to 1-step correction – message view	183
Figure D.8 – End-to-end link delay measurement with 1-step correction	184
Figure D.9 – End-to-end delay measurement with 2-step correction.....	185
Figure D.10 – Peer-to-peer link delay measurement with 1-step correction	186
Figure D.11 – Peer-to-peer link delay measurement with 2-step correction	187
Figure D.12 – Peer delay measurement and Sync message delay with media converter	189
Figure F.1 – Test set-up for PRP	220
Figure F.2 – Test set-up for PRP and PTP with L2P2P	230
Figure F.3 – Test set-up for HSR (without PTP).....	236
Figure F.4 – Test set-up for HSR with L2P2P.....	245
Table 1 – Duplicate discard cases	30
Table 2 – Monitoring data set.....	34
Table 3 – NodesTable attributes	35
Table 4 – PRP_Supervision frame with no VLAN tag.....	39
Table 5 – PRP_Supervision frame with (optional) VLAN tag.....	40
Table 6 – PRP_Supervision frame contents	41

Table 7 – PRP_Supervision TLV for Redbox	41
Table 8 – PRP constants	42
Table 9 – HSR_Supervision frame with no VLAN tag	74
Table 10 – HSR_Supervision frame with optional VLAN tag	75
Table 11 – HSR Constants.....	77
Table 12 – PICS	80
Table A.1 – States	141
Table A.2 – Transitions.....	142
Table A.3 – Variables	142
Table C.1 – ClockClass.....	161
Table C.2 – PTP attributes.....	167
Table C.3 – PICS for clocks.....	168
Table C.4 – Transitions with an inserted leap second (UTC binary and C37.118).....	172
Table C.5 – Transitions with a removed leap second (UTC binary and C37.118).....	172
Table C.6 – ATOI transition to Pacific Summer Time (spring).....	174
Table C.7 – ATOI transitions to Pacific Standard Time (autumn).....	174
Table C.8 – Transitions with an inserted leap second in Pacific Standard Time.....	175
Table C.9 – Transitions with a removed leap second in Pacific Standard Time.....	175
Table F.1 – Test for PRP documentation and labelling	221
Table F.2 – Test for (unicast) IP addresses.....	221
Table F.3 – Test for PRP configuration (Table 8)	222
Table F.4 – Test for PRP supervision frames (Table 4 and Table 5).....	222
Table F.5 – Test for PRP tagging (4.1.10.2, 4.2.7.3).....	224
Table F.6 – Test of a DANP without a NodesTable.....	225
Table F.7 – Test of a DANP with a NodesTable	225
Table F.8 – Test for discard over different ports.....	226
Table F.9 – Test for PRP supervision frames (Table 4 and Table 5).....	227
Table F.10 – Test of RedBox for ProxyNodeTable.....	227
Table F.11 – Test of RedBox for forwarding.....	228
Table F.12 – Test for DANP receive/transmit counters	229
Table F.13 – Test procedure for processing of PTP frames.....	232
Table F.14 – Test for processing of PTP frames	233
Table F.15 – Test for processing of PTP frames	234
Table F.16 – Test procedure for processing of PTP frames.....	235
Table F.17 – Test for HSR documentation.....	237
Table F.18 – Test for IP addresses	237
Table F.19 – Test procedure for HSR configuration (Table 11).....	238
Table F.20 – Test for HSR supervision frames (Table 9 and Table 10).....	239
Table F.21 – Test for HSR tagging.....	240
Table F.22 – Test of DANH for HSR Mode H multicast.....	241
Table F.23 – Test of DANH for HSR Mode H unicast.....	241
Table F.24 – Test of DANH for other modes than Mode H.....	242
Table F.25 – Test of RedBox for HSR supervision frames (Table 9 and Table 10).....	242

Table F.26 – Test of RedBox for ProxyNodeTable..... 243

Table F.27 – Test of RedBox for Mode H Unicast..... 243

Table F.28 – Test of DANH or RedBox for receive/transmit counters 244

Table F.29 – Test for processing of PTP frames (slave)..... 246

Table F.30 – Test for processing of PTP frames (master) 247

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.
- 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.

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

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2016. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) References to Precision Time Protocol (PTP) IEC 61588:2021 replace references to IEC 61588:2009, unless the previous version is explicitly referenced (Clause 2);
- b) References to IEC 61850-90-4:2020 replace references to IEC 61850-90-4:2013 with corresponding changes in the Logical Nodes (Clause 2);

- c) Terms and abbreviations are aligned with the next edition of IEC/IEEE 61850-9-3 (currently under preparation) (Clause 3);
- d) RSTP support in HSR is specified (5.2.2.10);
- e) RedBoxes and QuadBoxes specifications are extended to TCs (5.5);
- f) Network management (MIB) for PRP and HSR is available as a "Code Component", machine-readable separate document (Clause 7);
- g) PTP over PRP specifies a unified operation of DATC and SLTC RedBoxes (A.2.6.4);
- h) PTP over HSR specifies the operation of RedBoxes for TCs (A.4.3);
- i) PTP datasets are aligned with IEC 61588:2021 (Clause A.6);
- j) PTP industry profile is extended:
 - Sync messages padding to support media converters (C.5.4);
 - ClockClass definition aligned with IEC 61588:2021 option a) (C.7.4.3);
 - TC operation over different domains (C.7.5.3);
 - BCs behaviour in holdover and recovery (C.7.6.2);
 - PICS entries renamed and extended (C.13.2);
 - Flags semantics in TimePropertyDS actualized (C.14.1);
 - UTC events handling during a leap second specified (C.14.2);
 - UTC leap second time representation aligned with IEEE C37.118.2 (C.14.2.2);
 - Daylight saving time and leap second events recommended in the ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR TLV (C.14.3.2);
- k) Tutorial extended to explain the media converter issue (D.8.3);
- l) PTP network management MIB (Annex E) is available as a "Code Component", machine-readable separate document and considers IEC 61588:2021 objects;
- m) Conformance testing for PRP, HSR and the doubly attached PTP clocks (Annex F) has been added.
- n) Interoperability issues with previous editions of this International Standard are mentioned in a note at the end of the corresponding clause.

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

FDIS	Report on voting
65C/1120/FDIS	65C/1139/RVD

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 International Standard 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.

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.

This IEC standard includes Code Components, i.e., components that are intended to be directly processed by a computer. Such content is any text found between the markers <CODE BEGINS> and <CODE ENDS>, or otherwise is clearly labeled in this standard as a Code Component.

The purchase of this IEC standard carries a copyright license for the purchaser to sell software containing Code Components from this standard directly to end users and to end users via distributors, subject to IEC software licensing conditions, which can be found at: <http://www.iec.ch/CCv1>.

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.

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.

The contents of the corrigendum 1 (2023-04) have been included in this copy.

INTRODUCTION

0.1 General

This document belongs to the IEC 62439 series “*Industrial communication networks – High availability automation networks*”. It was developed jointly with IEC TC57 WG10 as the redundancy method for demanding substation automation networks operating on layer 2 networks, in accordance with IEC 61850-8-1 and IEC 61850-9-2, and extended to encompass the needs of CPF 2 of IEC 61784-1 and IEC 61784-2 for layer 3 networks.

This document specifies two related redundancy protocols that, in the event of failure of any network element, provide seamless switchover with zero recovery time:

- PRP (Parallel Redundancy Protocol), which allows attaching nodes to two separate networks while allowing attachment of nodes to one network only; and
- HSR (High-availability Seamless Redundancy), which allows threading two-port nodes in a ring or multi-port nodes in a meshed network.

This document applies the seamless redundancy principle to clocks compliant with the Precision Time Protocol (PTP).

This document specifies a PTP Industry profile (PIP) that offers the performance needed to achieve sub-microsecond time accuracy. This profile can be applied to any industrial communication network based on Ethernet. Two variants of PIP are specified:

- L3E2E (Layer 3, end-to-end) for clocks operating on layer 3 networks with end-to-end path delay measurement such as CP 2/2 of IEC 61784-1 and IEC 61784-2; and
- L2P2P (Layer 2, peer-to-peer) for clocks operating on layer 2 with peer-to-peer link delay measurement (P2P).

Based on L2P2P, IEC TC57 WG10 and the IEEE PSRC jointly specified the Power Utility Profile (PUP) and copied it to IEC/IEEE 61850-9-3. IEC and IEEE agreed to keep the contents of this document and IEC/IEEE 61850-9-3 aligned, under the umbrella of the Dual Logo Maintenance Team (DLMT) hosted by IEEE PSCC P20.

The specifications of PRP and HSR present no backward compatibility issues as the changes are compatible extensions of the protocol. The minor version of these protocols is kept at value “1”.

The specifications of the clock profile PIP are based on IEC 61588:2021, which presents some differences compared with IEC 61588:2009. The minorVersionPTP has been increased to 1.

This document includes guidelines for conformance testing, applicable to PRP, HSR and to the PIP and PUP clock synchronization profiles.

0.2 Patent declaration

The International Electrotechnical Commission (IEC) draws attention to the fact that it is claimed that compliance with this standard may involve the use of a patent. IEC takes no position concerning the evidence, validity, and scope of this patent right.

The holder of this patent right has assured IEC that s/he 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 the patent database available at <http://patents.iec.ch>.

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

INTRODUCTION to Corrigendum 1

This Corrigendum 1 corrects errors and possible misinterpretations in IEC 62439-3:2021, which were discovered during the first field implementations based on this International Standard. All corrections are only intended to improve the consistency of implementations of the specifications and do not introduce new features to the technology.

NOTE This Corrigendum 1 includes corrections for the MIBs in Clause 7 and Annex E. These MIBs are provided as code components in companion documents, see <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>. The corrections for Clause 7 and Annex E are provided for convenience, while the versions in the companion documents IEC_62439-3_2021B1.mib and IEC_62439-100_2021B1.mib contain the corrected code and prevail in case of discrepancies.

INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS – HIGH AVAILABILITY AUTOMATION NETWORKS –

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

1 Scope

1.1 General

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

This document:

- specifies PRP and HSR as two related 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;
- specifies the operation of the precision time protocol (PTP) in networks that implement the two redundancy protocols (Annex A);
- specifies PTP profiles with performance suitable for power utility automation (Annex B) and industrial automation (Annex C);
- includes for better understanding a tutorial (Annex D) on the PTP features effectively used in high-availability automation networks;
- includes a management information base for PTP (Annex E);
- defines a conformance test suite for the above protocols (Annex F).

1.2 Code component distribution

This document is associated with Code components. Each Code Component is a ZIP package containing at least the electronic representation of the Code Component itself and a file describing the content of the package (IECManifest.xml).

The IECManifest contains different sections giving information on:

- the copyright notice;
- the identification of the code component;
- the publication related to the code component;
- the list of the electronic files which compose the code component;
- an optional list of history files to track changes during the evolution process of the code component.

The Code Components associated with this IEC standard are a set of SNMP MIBs. The Code Component IEC-62439-3-MIB.mib is a file containing the MIBs for PRP/HSR and PTP_SNMP. It is available in a full version, which contains the MIBs defined in this document with the documentation associated and access is restricted to purchaser of this document.

The Code Components are freely accessible on the IEC website for download at: https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments/IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip but the usage remains under the licensing conditions.

The life cycle of a code component is not restricted to the life cycle of the related publication. The publication life cycle goes through two stages, "Version" (corresponding to an edition) and "Revision" (corresponding to an amendment). Consequently, new release(s) of the Code Component(s) may be released, which supersede(s) the previous release, and will be distributed through the IEC web site at: <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>.

The latest version/release of the document will be found by selecting the file IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip for the code component with the highest value for VersionStateInfo.

In case of any differences between the downloadable code and the IEC pdf published content, the downloadable code(s) is(are) the valid one; it may be subject to updates. See history files.

2 Normative references

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

IEC 60050-192, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 192: Dependability*

IEC 61588:2021, *Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*

IEC TR 61850-90-4:2020, *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 method*

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2021, *Standard for Ethernet*

IEC/IEEE 61850-9-3:2016, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation*

IEEE 802.1Q-2018, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Network*

NOTE IETF references are dated with the original Request for Comment (RFC). Subsequent versions receive a new RFC number. Since IETF amends or extends documents and publishes errata on-line, the valid version can be found on the internet at <https://tools.ietf.org/>.

IETF RFC 768, *User Datagram Protocol (UDP)* [online]. August 1980 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

IETF RFC 791, *Internet Protocol (IP)* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc791>

IETF RFC 792, *Internet Control Message Protocol* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc792>

IETF RFC 793, *Transmission Control Protocol* [online]. September 1981 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc793>

IETF RFC 826, *Ethernet Address Resolution Protocol* [online]. November 1982 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc826>

IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* [online]. April 1999 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc2578>

IETF RFC 3418, *Structure of Management Information Version 2 (SMIv2)* [online]. December 2002 [viewed 2020-05-07]. Available at <https://tools.ietf.org/html/rfc3418>

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	260
INTRODUCTION.....	263
0.1 Généralités	263
0.2 Déclaration de brevet.....	263
INTRODUCTION au Corrigendum 1	264
1 Domaine d'application	265
1.1 Généralités	265
1.2 Répartition des composants de code	265
2 Références normatives	266
3 Termes, définitions, termes abrégés et conventions	267
3.1 Termes et définitions	267
3.2 Termes abrégés.....	269
3.3 Conventions.....	271
4 Protocole de redondance en parallèle (PRP)	271
4.1 Principe de fonctionnement du protocole PRP.....	271
4.1.1 Topologie du réseau PRP	271
4.1.2 LAN PRP avec topologie linéaire ou en bus	273
4.1.3 LAN PRP avec topologie en anneau	273
4.1.4 Structure des nœuds DANP	274
4.1.5 Association PRP de nœuds à une seule association	274
4.1.6 Compatibilité entre les nœuds à une seule association et à double association	275
4.1.7 Gestion de réseau	275
4.1.8 Incidence sur l'application.....	275
4.1.9 Transition vers un réseau à liaison simple	276
4.1.10 Gestion des doublons	276
4.1.11 Supervision du réseau	281
4.1.12 Interface de gestion de la redondance	282
4.2 Spécifications du protocole PRP	282
4.2.1 Lignes directrices d'installation, de configuration et de réparation.....	282
4.2.2 Adresses MAC de monodiffusion	282
4.2.3 Adresses MAC de multidiffusion	283
4.2.4 Adresses IP	283
4.2.5 Spécifications des nœuds.....	283
4.2.6 Mode d'acceptation des doublons (essais seulement).....	284
4.2.7 Mode de rejet des doublons.....	284
4.3 Trame PRP_Supervision	288
4.3.1 Format de la trame PRP_Supervision	288
4.3.2 Contenu de la trame PRP_Supervision	290
4.3.3 Trame PRP_Supervision pour RedBox.....	291
4.3.4 Nœud de pontage (obsolète)	291
4.4 Constantes	292
4.5 Entité de gestion de couche PRP (LME).....	292
5 Redondance transparente de haute disponibilité (HSR)	292
5.1 Objectifs du protocole HSR	292
5.2 Principe de fonctionnement du protocole HSR	293

5.2.1	Fonctionnement de base avec une topologie en anneau	293
5.2.2	Connexion HSR à d'autres réseaux	295
5.2.3	Structure des nœuds DANH.....	310
5.2.4	Structure d'une RedBox	311
5.3	Spécifications du protocole HSR	312
5.3.1	Disposition HSR	312
5.3.2	Fonctionnement HSR.....	312
5.3.3	Envoi de données par le DANH depuis son interface de couche de liaison.....	314
5.3.4	Réception de données par le DANH depuis un port HSR	315
5.3.5	Règles de transfert du DANH.....	315
5.3.6	Classe de service HSR	317
5.3.7	Synchronisation des horloges HSR.....	317
5.3.8	Retard de transmission déterministe et gigue	317
5.4	Spécifications de la RedBox HSR	317
5.4.1	Propriétés de la RedBox	317
5.4.2	Réception par la RedBox depuis le port C (interconnexion)	318
5.4.3	Réception par la RedBox depuis le port A ou le port B (anneau HSR).....	319
5.4.4	Réception par la RedBox depuis son interface de couche de liaison (en local)	321
5.4.5	Gestion de la ProxyNodeTable par la RedBox	321
5.4.6	CoS RedBox.....	322
5.4.7	Synchronisation des horloges RedBox.....	322
5.4.8	Accès au support RedBox.....	322
5.5	Spécification de la QuadBox	322
5.6	Méthode de rejet des doublons	322
5.7	Format des trames pour HSR.....	322
5.7.1	Format des trames pour toutes les trames	322
5.7.2	Trame HSR_Supervision	324
5.8	Constantes HSR	326
5.9	Entité de gestion de couche (LME) HSR	327
6	Déclaration de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS)	329
7	Base d'informations de gestion (MIB) PRP/HSR	331
Annexe A (normative) Synchronisation d'horloges sur des chemins redondants.....		348
A.1	Vue d'ensemble	348
A.2	Mapping PRP à PTP	348
A.2.1	Fonctionnement particulier du PRP pour les messages PTP	348
A.2.2	Scénarios et rôles d'appareils.....	350
A.2.3	Association à des LAN redondants par une BC	352
A.2.4	Association à des LAN redondants par des horloges à double association	352
A.2.5	Spécifications d'un DANP en tant que DAC	356
A.2.6	RedBoxes PRP-SAN pour PTP	357
A.3	Mapping HSR à PTP.....	377
A.3.1	Messages HSR et autres messages.....	377
A.3.2	Fonctionnement HSR avec les messages PTP.....	377
A.3.3	HSR avec horloges maîtres redondantes	379
A.3.4	Diagramme de temporisation HSR pour les messages PTP	380
A.3.5	Spécifications des nœuds HSR.....	381

A.4	RedBoxes HSR pour PTP	383
A.4.1	RedBoxes HSR-SAN	383
A.4.2	Connexion RedBox HSR-PRP par BC	384
A.4.3	Connexion RedBox HSR-PRP par TC	386
A.4.4	Connexion HSR-HSR par QuadBoxes	388
A.5	Spécification d'horloge à double association	389
A.5.1	Diagramme d'états	389
A.5.2	Supervision du port	392
A.5.3	Algorithme BMCA pour les ports couplés	393
A.5.4	Sélection de l'état des ports	394
A.6	Ensembles de données PTP pour la haute disponibilité	394
A.6.1	Généralités	394
A.6.2	Types de données	394
A.6.3	Ensembles de données pour OC ou BC	395
A.6.4	Ensembles de données pour TC	403
Annexe B (normative) Profil PTP destiné à l'automatisation des systèmes électriques (PUP) – Association d'une horloge redondante		404
B.1	Domaine d'application	404
B.2	Spécification du profil PTP	404
B.3	Spécifications	404
B.4	Association d'une horloge redondante	404
Annexe C (normative) Profils industriels PTP destinés aux réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation		406
C.1	Domaine d'application	406
C.2	Spécification du profil PTP	406
C.3	Types d'horloges	407
C.4	Informations communes sur la spécification du protocole	407
C.4.1	Protocole de base	407
C.4.2	Contrôle de version	407
C.4.3	Echelle de temps	408
C.4.4	BMCA	408
C.4.5	Mécanisme de correction de temps	408
C.4.6	Gestion	408
C.4.7	Prise en charge de 1 PPS	408
C.4.8	Transition de second intercalaire	408
C.4.9	Utilisation du numéro de port	408
C.4.10	Sécurité de la distribution de temps	409
C.5	Spécification du protocole pour le profil industriel L3E2E	409
C.5.1	Protocole de base	409
C.5.2	Adresse de multidiffusion	409
C.5.3	Mécanisme de calcul de retard	409
C.5.4	Remplissage des messages Sync	409
C.6	Spécification du protocole pour le profil industriel L2P2P	410
C.6.1	Protocole de base	410
C.6.2	Mécanisme de mesure de retard	410
C.6.3	Prise en compte des convertisseurs de support	410
C.7	Exigences de temporisation communes pour les profils L2P2P et L3E2E	410
C.7.1	Conditions de mesure	410
C.7.2	Imprécision temporelle du réseau	410

C.7.3	Réponse aux modifications d'intervalle	411
C.7.4	Exigences pour les GC	411
C.7.5	Exigences pour les horloges transparentes.....	413
C.7.6	Exigences pour les BC.....	413
C.8	Exigences pour les convertisseurs de support.....	417
C.9	Exigences pour les liaisons.....	417
C.10	Ingénierie de réseau	417
C.11	Réglages par défaut.....	418
C.12	Gestion des horloges à double association	419
C.13	Déclaration de conformité de mise en œuvre de protocole (PICS) pour PTP	420
C.13.1	Conventions PICS	420
C.13.2	PICS pour PTP	420
C.14	Recommandations pour la représentation temporelle	422
C.14.1	Utilisation d'indicateurs dans TimePropertyDS	422
C.14.2	Transition de second intercalaire UTC	423
C.14.3	ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR_TLV	425
Annexe D (informative)	Tutoriel relatif au protocole PTP pour le profil industriel PTP	429
D.1	Objectif	429
D.2	Exactitude et précision.....	429
D.3	Types d'horloges PTP	430
D.4	Options PTP principales.....	432
D.5	Communication des couches 2 et 3.....	433
D.6	Correction en 1 étape et en 2 étapes	433
D.6.1	Correction du temps dans les horloges transparentes.....	433
D.6.2	Conversion 2 étapes/1 étape	434
D.7	Mesure du retard de ligne entre extrémités	436
D.7.1	Méthode générale.....	436
D.7.2	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape	436
D.7.3	Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes	437
D.7.4	Calcul du retard de ligne entre extrémités à partir des messages Delay_Req/Delay_Resp	438
D.7.5	Prise en compte des convertisseurs de support dans le calcul du retard entre extrémités.....	439
D.8	Calcul du retard de ligne entre homologues	439
D.8.1	Calcul du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape	439
D.8.2	Calcul du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes	440
D.8.3	Prise en compte des convertisseurs de support dans le calcul du retard entre homologues	441
Annexe E (normative)	Base d'informations de gestion pour les horloges à une seule association et les horloges à double association.....	443
Annexe F (normative)	Essais de conformité pour le PRP, la HSR et la gestion de la redondance dans les PIP et PUP	472
F.1	Généralités	472
F.2	Essai de conformité PRP	472
F.2.1	Montage d'essai PRP	472
F.2.2	Composants d'un essai PRP	473

F.2.3	Essai de la documentation et de l'étiquetage	474
F.2.4	Essai des adresses IP (de monodiffusion)	474
F.2.5	Essai de configuration	475
F.2.6	Essai de DANP	475
F.2.7	Essai des Redboxes PRP	479
F.2.8	Essai de gestion	481
F.2.9	Essai de DANP ou de RedBox pour le traitement des trames PTP	483
F.3	Essai de conformité HSR	488
F.3.1	Montage d'essai HSR	488
F.3.2	Composants d'un essai HSR.....	489
F.3.3	Essai de la documentation et de l'étiquetage HSR	489
F.3.4	Essai de DANH ou de RedBox pour les adresses IP	490
F.3.5	Essai de DANH pour la configuration	490
F.3.6	Essai de DANH.....	491
F.3.7	Essai de RedBoxes HSR	495
F.3.8	Essai de DANH ou de RedBox pour compteurs de réception/transmission.....	497
F.3.9	Essai de DANH ou de RedBox pour le traitement des trames PTP dans L2P2P.....	498
	Bibliographie.....	502
	Figure 1 – Exemple PRP de réseau dupliqué général.....	272
	Figure 2 – Exemple PRP de réseau dupliqué dans la topologie en bus	273
	Figure 3 – Exemple PRP d'anneau redondant constitué de SAN et de DANP	273
	Figure 4 – PRP constitué de deux DANP qui communiquent	274
	Figure 5 – RedBox PRP, transition d'un LAN simple vers un LAN double	276
	Figure 6 – Trame PRP étendue par une RCT.....	277
	Figure 7 – Trame PRP à balise VLAN fermée par une RCT.....	278
	Figure 8 – Trame remplie PRP fermée par une RCT	278
	Figure 9 – Limites de l'algorithme de rejet de doublons.....	280
	Figure 10 – Exemple HSR de trafic en anneau pour les trames de multidiffusion	293
	Figure 11 – Exemple HSR de trafic en anneau pour les trames de monodiffusion	294
	Figure 12 – Exemple HSR de couplage de deux LAN PRP redondants à un anneau (monodiffusion).....	297
	Figure 13 – Exemple HSR de couplage d'un nœud d'anneau à des LAN PRP (multidiffusion).....	299
	Figure 14 – Exemple HSR de couplage d'un anneau à deux LAN PRP (multidiffusion).....	303
	Figure 15 – Exemple HSR de couplage de trois anneaux à un LAN PRP.....	304
	Figure 16 – Exemple HSR de couplage par homologues de deux anneaux	305
	Figure 17 – Exemple HSR d'anneaux connectés	306
	Figure 18 – Exemple HSR de topologie maillée.....	307
	Figure 19 – Exemple HSR de topologie qui utilise deux réseaux indépendants	308
	Figure 20 – Exemple HSR de couplage d'un LAN RSTP à HSR par deux ponts	309
	Figure 21 – Structure HSR d'un DANH.....	310
	Figure 22 – Structure HSR d'une RedBox	311
	Figure 23 – Trame HSR sans balise VLAN.....	323

Figure 24 – Trame HSR avec balise VLAN.....	323
Figure 25 – Nœud HSR avec compteurs de gestion	328
Figure 26 – RedBox HSR avec compteurs de gestion	329
Figure A.1 – Connexion d'une DAC maître à une DAC esclave par PRP	349
Figure A.2 – Eléments des réseaux de distribution de temps PRP	351
Figure A.3 – Horloge à double association en tant que BC (OC3A est la meilleure horloge maître)	352
Figure A.4 – Horloges à double association OC1 et OC2	354
Figure A.5 – Horloges à double association lorsqu'OC1 a la même identité sur les deux LAN.....	356
Figure A.6 – RedBox PRP en tant que TWBC	358
Figure A.7 – Modèle d'horloge DABC RedBox.....	359
Figure A.8 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec E2E – flux de messages	361
Figure A.9 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec E2E – temporisation	362
Figure A.10 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec P2P sur PRP – flux de messages	363
Figure A.11 – RedBoxes PRP en tant que DABC avec P2P – temporisation.....	364
Figure A.12 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E – flux de messages	366
Figure A.13 – RedBox PRP en tant que SLTC avec E2E – temporisation.....	368
Figure A.14 – RedBox PRP en tant que SLTC avec P2P – flux de messages.....	369
Figure A.15 – RedBox PRP en tant que SLTC avec P2P – diagramme de temporisation.....	370
Figure A.16 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – flux de messages	373
Figure A.17 – RedBox PRP en tant que DATC avec E2E – temporisation	374
Figure A.18 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P – flux de messages	375
Figure A.19 – RedBox PRP en tant que DATC avec P2P – temporisation	376
Figure A.20 – HSR avec deux GC (GC1 est le grand maître, GC2 est le maître de secours).....	379
Figure A.21 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (1 étape)	380
Figure A.22 – Messages PTP envoyés et reçus par un nœud HSR (2 étapes).....	381
Figure A.23 – Association d'une GC à un anneau HSR par l'intermédiaire d'une RedBox en tant que TC et BC.....	383
Figure A.24 – Couplage PRP-HSR par BC.....	385
Figure A.25 – Couplage PRP-HSR par DATC et SLTC.....	387
Figure A.26 – Couplage HSR à deux réseaux PRP et à un réseau HSR.....	388
Figure A.27 – Etats des ports avec les transitions pour le fonctionnement redondant.....	390
Figure A.28 – Algorithme BMCA pour les maîtres redondants	393
Figure C.1 – Réponse à un intervalle	411
Figure C.2 – Etats des BC	415
Figure D.1 – Erreur de temporisation en tant que fonction de distribution de probabilité	429
Figure D.2 – Principe du protocole PTP avec GC, TC et OC	431
Figure D.3 – Eléments PTP.....	432
Figure D.4 – Retards et logique d'horodatage dans les TC.....	433
Figure D.5 – Correction en 1 étape et en 2 étapes d'un message Sync (entre homologues).....	434

Figure D.6 – Conversion de la correction en 2 étapes en correction en 1 étape dans les TC	435
Figure D.7 – Conversion de la correction en 2 étapes en correction en 1 étape – Vue des messages.....	436
Figure D.8 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 1 étape	437
Figure D.9 – Mesure du retard de ligne entre extrémités avec correction d'horloge en 2 étapes.....	438
Figure D.10 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 1 étape	440
Figure D.11 – Mesure du retard de ligne entre homologues avec correction d'horloge en 2 étapes.....	441
Figure D.12 – Mesure du retard entre homologues et du retard du message Sync avec convertisseur de support.....	442
Figure F.1 – Montage d'essai pour PRP	473
Figure F.2 – Montage d'essai pour PRP et PTP avec L2P2P.....	483
Figure F.3 – Montage d'essai pour HSR (sans PTP)	489
Figure F.4 – Montage d'essai pour HSR avec L2P2P	498
Tableau 1 – Cas de rejet des doublons	280
Tableau 2 – Ensemble de données de surveillance.....	284
Tableau 3 – Attributs de NodesTable	285
Tableau 4 – Trame PRP_Supervision sans balise VLAN	289
Tableau 5 – Trame PRP_Supervision avec balise VLAN (facultative).....	290
Tableau 6 – Contenu de la trame PRP_Supervision	291
Tableau 7 – TLV PRP_Supervision pour RedBox	291
Tableau 8 – Constantes PRP	292
Tableau 9 – Trame HSR_Supervision sans balise VLAN.....	324
Tableau 10 – Trame HSR_Supervision avec balise VLAN facultative	325
Tableau 11 – Constantes HSR	327
Tableau 12 – PICS.....	330
Tableau A.1 – Etats	391
Tableau A.2 – Transitions	392
Tableau A.3 – Variables.....	392
Tableau C.1 – ClockClass.....	412
Tableau C.2 – Attributs PTP	419
Tableau C.3 – PICS pour les horloges	420
Tableau C.4 – Transitions avec un second intercalaire inséré (binaire UTC et C37.118).....	424
Tableau C.5 – Transitions avec un second intercalaire retiré (UTC binaire et C37.118)	425
Tableau C.6 – Transition de l'ATOI à l'heure d'été du Pacifique (printemps).....	426
Tableau C.7 – Transitions de l'ATOI à l'heure normale du Pacifique (automne).....	427
Tableau C.8 – Transitions avec un second intercalaire inséré dans l'heure normale du Pacifique	427
Tableau C.9 – Transitions avec un second intercalaire retiré dans l'heure normale du Pacifique	428
Tableau F.1 – Essai de la documentation et de l'étiquetage PRP	474

Tableau F.2 – Essai des adresses IP (de monodiffusion)	474
Tableau F.3 – Essai de configuration PRP (Tableau 8)	475
Tableau F.4 – Essai pour les trames de supervision PRP (Tableau 4 et Tableau 5)	475
Tableau F.5 – Essai pour le balisage PRP (4.1.10.2, 4.2.7.3)	477
Tableau F.6 – Essai de DANP sans NodesTable.....	478
Tableau F.7 – Essai de DANP avec une NodesTable	478
Tableau F.8 – Essai de rejet sur différents ports	479
Tableau F.9 – Essai pour les trames de supervision PRP (Tableau 4 et Tableau 5)	480
Tableau F.10 – Essai de RedBox pour ProxyNodeTable	480
Tableau F.11 – Essai de RedBox pour le transfert	481
Tableau F.12 – Essai des compteurs de réception/transmission DANP	482
Tableau F.13 – Procédure d'essai pour le traitement des trames PTP.....	485
Tableau F.14 – Essai de traitement des trames PTP	486
Tableau F.15 – Essai de traitement des trames PTP	487
Tableau F.16 – Procédure d'essai pour le traitement des trames PTP.....	488
Tableau F.17 – Essai de la documentation HSR	490
Tableau F.18 – Essai des adresses IP	490
Tableau F.19 – Procédure d'essai pour la configuration HSR (Tableau 11)	491
Tableau F.20 – Essai pour les trames de supervision HSR (Tableau 9 et Tableau 10)	492
Tableau F.21 – Essai pour le balisage HSR	493
Tableau F.22 – Essai de DANH pour la multidiffusion HSR en mode H	494
Tableau F.23 – Essai de DANH pour la monodiffusion HSR en mode H	494
Tableau F.24 – Essai de DANH pour les autres modes que le mode H.....	495
Tableau F.25 – Essai de Redbox pour les trames de supervision (Tableau 9 et Tableau 10)	495
Tableau F.26 – Essai de RedBox pour ProxyNodeTable	496
Tableau F.27 – Essai de RedBox pour la monodiffusion en mode H.....	496
Tableau F.28 – Essai de DANH ou de RedBox pour compteurs de réception/transmission	497
Tableau F.29 – Essai de traitement des trames PTP (esclave).....	499
Tableau F.30 – Essai de traitement des trames PTP (maître)	500

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE HAUTE DISPONIBILITÉ POUR L'AUTOMATISATION –

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.
- 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.

L'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. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2016. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) remplacement des références à l'IEC 61588:2009 par des références à l'IEC 61588:2021 pour le protocole PTP (*Precision Time Protocol*), sauf si la version précédente est explicitement référencée (Article 2);
- b) remplacement des références à l'IEC 61850-90-4:2013 par des références à l'IEC 61850-90-4:2020, avec les modifications correspondantes apportées aux nœuds logiques (Article 2);
- c) alignement des termes et abréviations sur la prochaine édition de l'IEC/IEEE 61850-9-3 (en cours d'élaboration) (Article 3);
- d) spécification de la prise en charge du protocole RSTP pour la HSR (5.2.2.10);
- e) extension des spécifications des RedBoxes et QuadBoxes aux TC (5.5);
- f) mise à disposition de la gestion de réseau (MIB) pour le PRP et la HSR sous forme de "composant de code", dans un document distinct lisible par machine (Article 7);
- g) spécification par le PTP, par rapport au PRP, d'un fonctionnement unifié des RedBoxes DATC et SLTC (A.2.6.4);
- h) spécification par le PTP, par rapport au PRP, du fonctionnement des RedBoxes pour les TC (A.4.3);
- i) alignement des ensembles de données PTP sur l'IEC 61588:2021 (Article A.6);
- j) extension du profil industriel PTP:
 - remplissage des messages Sync pour les convertisseurs de support (C.5.4);
 - définition de ClockClass alignée sur l'IEC 61588:2021, option a) (C.7.4.3);
 - fonctionnement des TC dans différents domaines (C.7.5.3);
 - comportement des BC en matière de rémanence et de récupération (C.7.6.2);
 - renommage et extension des entrées PICS (C.13.2);
 - mise à jour de la sémantique des indicateurs dans TimePropertyDS (C.14.1);
 - spécification de la gestion des événements UTC pendant un second intercalaire (C.14.2);
 - alignement de la représentation temporelle d'un second intercalaire UTC sur l'IEEE C37.118.2 (C.14.2.2);
 - recommandation des événements liés à l'heure d'été et aux seconds intercalaires dans le TLV ALTERNATE_TIME_OFFSET_INDICATOR (C.14.3.2).
- k) enrichissement du tutoriel pour expliquer la problématique des convertisseurs de support (D.8.3);
- l) mise à disposition de la MIB de gestion de réseau PTP (Annexe E) sous forme de "composant de code", dans un document distinct lisible par machine, en tenant compte des objets de l'IEC 61588:2021;
- m) ajout d'essais de conformité pour le PRP, la HSR et les horloges PTP à double association (Annexe F);
- n) mention des problèmes d'interopérabilité avec les éditions précédentes de la présente Norme internationale dans une note à la fin du paragraphe correspondant.

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

FDIS	Rapport de vote
65C/1120/FDIS	65C/1139/RVD

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 cette Norme internationale est l'anglais.

Le présent 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.

La présente 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 de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation*, se trouve sur le site web de l'IEC.

La présente norme IEC inclut des composants de code, c'est-à-dire des composants qui sont destinés à être traités directement par un ordinateur. Leur contenu correspond au texte placé entre les marqueurs <CODE BEGINS> et <CODE ENDS>, ou est clairement indiqué dans la présente norme comme étant un composant de code.

L'achat de la présente norme IEC inclut une licence de droits d'auteur qui permet à l'acheteur de vendre des logiciels qui contiennent des composants de code issus de la présente norme directement aux utilisateurs finaux et aux utilisateurs finaux par l'intermédiaire de distributeurs, sous réserve des conditions de licence logicielle de l'IEC, qui peuvent être consultées à l'adresse suivante: <http://www.iec.ch/CCv1>.

Le comité a décidé que le contenu du présent 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. A cette date, le document sera

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

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

Le contenu du corrigendum 1 (2023-04) a été pris en considération dans cet exemplaire.

INTRODUCTION

0.1 Généralités

Le présent document fait partie de la série IEC 62439 "*Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation*". Il a été élaboré conjointement avec le GT 10 du CE 57 de l'IEC comme méthode de redondance pour les réseaux d'automatisation de postes exigeants qui fonctionnent sur des réseaux de couche 2, conformément à l'IEC 61850-8-1 et à l'IEC 61850-9-2, et a été étendu pour répondre aux besoins de la CPF 2 de l'IEC 61784-1 et de l'IEC 61784-2 des réseaux de couche 3.

Le présent document spécifie deux protocoles de redondance associés qui assurent une commutation transparente avec un temps de reprise nul en cas de défaillance d'un élément de réseau:

- le protocole de redondance en parallèle PRP (Parallel Redundancy Protocol) qui permet d'associer des nœuds à deux réseaux tout en permettant d'associer des nœuds à un seul réseau; et
- la redondance transparente de haute disponibilité HSR (High-availability Seamless Redundancy) qui permet de lier des nœuds à deux ports dans un anneau ou des nœuds à plusieurs ports dans un réseau maillé.

Le présent document applique le principe de redondance transparente aux horloges conformes au protocole PTP.

Le présent document spécifie un profil industriel PTP (PIP, *PTP Industry Profile*) qui assure les performances nécessaires pour obtenir une précision temporelle inférieure à la microseconde. Ce profil peut être appliqué à tout réseau de communication industriel qui repose sur Ethernet. Deux variantes du PIP sont spécifiées:

- le profil de couche 3 entre extrémités (L3E2E, *Layer 3, End-to-End*) pour les horloges qui fonctionnent sur des réseaux de couche 3 avec une mesure du retard de chemin entre extrémités, comme le CP 2/2 de l'IEC 61784-1 et de l'IEC 61784-2; et
- le profil de couche 2 entre homologues (L2P2P, *Layer 2, Peer-to-Peer*) pour les horloges qui fonctionnent sur la couche 2 avec une mesure du retard de ligne entre homologues (P2P).

A partir du profil L2P2P, le WG 10 du CE 57 de l'IEC et le PSRC de l'IEEE ont conjointement spécifié le profil de système électrique (PUP, *Power Utility Profile*) et l'ont copié dans l'IEC/IEEE 61850-9-3. L'IEC et l'IEEE ont convenu par accord de maintenir l'alignement des contenus du présent document et de l'IEC/IEEE 61850-9-3, sous la tutelle de l'équipe DLMT (*Dual Logo Maintenance Team*) hébergée par l'IEEE PSCC P20.

Les spécifications du PRP et de la HSR ne présentent aucun problème de rétrocompatibilité, car les modifications sont des extensions compatibles du protocole. La version mineure de ces protocoles est maintenue à la valeur "1".

Les spécifications du profil d'horloge PIP reposent sur l'IEC 61588:2021, qui présente certaines différences par rapport à l'IEC 61588:2009. Le `minorVersionPTP` est passé à 1.

Le présent document comprend des lignes directrices pour les essais de conformité, qui s'appliquent au PRP, à la HSR et aux profils de synchronisation d'horloge PIP et PUP.

0.2 Déclaration de brevet

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) attire l'attention sur le fait qu'il est déclaré que la conformité avec les dispositions de la présente norme peut impliquer l'utilisation d'un brevet. 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, la déclaration du détenteur des droits de propriété est enregistrée à l'IEC. Des informations peuvent être obtenues dans la base de données des droits de propriété, disponible à l'adresse suivante: <http://patents.iec.ch>.

L'attention est d'autre part attirée sur le fait que certains des éléments de la présente norme peuvent faire l'objet de droits de propriété autres que ceux qui ont été enregistrés dans la base de données des droits de propriété. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

INTRODUCTION au Corrigendum 1

Ce Corrigendum 1 corrige les erreurs et les possibles erreurs d'interprétation dans l'IEC 62439-3:2021 qui ont été découvertes lors des premières implémentations sur le terrain basées sur la présente norme internationale. Toutes les corrections visent uniquement à améliorer la cohérence des implémentations des spécifications et n'introduisent pas de nouvelles fonctionnalités dans la technologie.

NOTE Ce Corrigendum 1 inclut des corrections pour les MIBs dans l'Article 7 et l'Annexe E. Ces MIBs sont fournies sous forme de composants de code dans des documents associés, voir <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>. La correction de l'article 7 et de l'annexe E sont fournies à titre de référence ; les versions des documents associés IEC_62439-3_2021B1.mib et IEC_62439-100_2021B1.mib contiennent le code corrigé et prévalent en cas de divergence.

D'autre part, les sections "DESCRIPTION" des MIBs dans l'Article 7 et l'Annexe E ont été malencontreusement traduites dans la version française, ce qui n'est pas approprié pour des composants de code.

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE HAUTE DISPONIBILITÉ POUR L'AUTOMATISATION –

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

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

La série IEC 62439 s'applique aux réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation qui reposent sur la technologie Ethernet.

Le présent document:

- spécifie le PRP et la HSR comme deux protocoles de redondance associés pour procurer une reprise transparente en cas de défaillance unique de liaison interpont ou de pont au sein du réseau, qui reposent sur le même schéma: transmission en parallèle d'informations dupliquées;
- spécifie le fonctionnement du protocole PTP dans les réseaux qui mettent en œuvre les deux protocoles de redondance (Annexe A);
- spécifie les profils PTP avec des performances adaptées à l'automatisation des systèmes électriques (Annexe B) et à l'automatisation industrielle (Annexe C);
- fournit, pour une meilleure compréhension, un tutoriel (Annexe D) relatif aux fonctionnalités PTP utilisées efficacement dans les réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation;
- comprend une base d'informations de gestion pour le PTP (Annexe E);
- définit une suite d'essais de conformité pour les protocoles ci-dessus (Annexe F).

1.2 Répartition des composants de code

Le présent document est associé à des composants de code. Chaque composant de code est un paquet ZIP qui contient au moins la représentation électronique du composant de code lui-même et un fichier qui décrit le contenu du paquet (IECManifest.xml).

Le fichier IECManifest contient différentes sections qui fournissent des informations sur:

- la notice de droit d'auteur;
- l'identification du composant de code;
- la publication relative au composant de code;
- la liste des fichiers électroniques qui composent le composant de code;
- une liste facultative de fichiers historiques qui permet de suivre les modifications apportées au cours du processus d'évolution du composant de code.

Les composants de code associés à la présente norme IEC sont un ensemble de MIB SNMP. Le composant de code IEC-62439-3-MIB.mib est un fichier qui contient les MIB pour le PRP/la HSR et le PTP_SNMP. Il est disponible dans une version complète, qui contient les MIB définies dans le présent document ainsi que la documentation associée, et dont l'accès est réservé à l'acheteur du présent document.

Les composants de code sont librement accessibles en téléchargement sur le site web de l'IEC à l'adresse suivante: https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments/IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip, mais son utilisation reste soumise aux conditions de licence.

Le cycle de vie d'un composant de code ne se limite pas au cycle de vie de la publication correspondante. Le cycle de vie de la publication comprend deux étapes, la "version" (qui correspond à une édition) et la "révision" (qui correspond à un amendement). Par conséquent, de nouvelles versions des composants de code peuvent être publiées, qui remplacent la version précédente, et sont disponibles sur le site web de l'IEC à l'adresse suivante: <https://www.iec.ch/sc65c/supportingdocuments>.

La dernière version/publication du document est accessible en sélectionnant le fichier IEC_62439-3.MIB.{VersionStateInfo}.full.zip du composant de code dont la valeur de VersionStateInfo est la plus élevée.

Si le code téléchargeable et le contenu publié par l'IEC au format pdf diffèrent, le code téléchargeable est le contenu valide; il peut faire l'objet de mises à jour. Voir les fichiers historiques.

2 Références normatives

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

IEC 60050-192, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 192: Sécurité de fonctionnement*

IEC 61588:2021, *Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems* (disponible en anglais seulement)

IEC TR 61850-90-4:2020, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines* (disponible en anglais seulement)

IEC 62439-1, *Réseaux de communication industriels – Réseaux de haute disponibilité pour l'automatisation – Partie 1: Concepts généraux et méthodes de calcul*

ISO/IEC/IEEE 8802-3:2021, *Telecommunications and exchange between information technology systems - Requirements for local and metropolitan area networks - Part 3: Standard for Ethernet* (disponible en anglais seulement)

IEC/IEEE 61850-9-3:2016, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-3: Precision time protocol profile for power utility automation* (disponible en anglais seulement)

IEEE 802.1Q-2018, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Network* (disponible en anglais seulement)

NOTE Les références à l'IETF sont datées et accompagnées de la demande de commentaire (RFC) originale. Les versions suivantes reçoivent un nouveau numéro de RFC. Etant donné que l'IETF modifie ou étend les documents et publie les errata en ligne, la version valide peut être consultée sur le web à l'adresse <https://tools.ietf.org/>.

IETF RFC 768, *User Datagram Protocol (UDP)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Août 1980 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc768>

IETF RFC 791, *Internet Protocol (IP)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc791>

IETF RFC 792, *Internet Control Message Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc792>

IETF RFC 793, *Transmission Control Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Septembre 1981 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc793>

IETF RFC 826, *Ethernet Address Resolution Protocol* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Novembre 1982 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc826>

IETF RFC 2578, *Structure of Management Information Version 2 (SMIPv2)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Avril 1999 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc2578>

IETF RFC 3418, *Structure of Management Information Version 2 (SMIPv2)* (disponible en anglais seulement) [en ligne]. Décembre 2002 [consulté le 2020-05-07]. Disponible à l'adresse suivante: <https://tools.ietf.org/html/rfc3418>