

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Industrial communication networks – Wireless communication networks –
Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations**

**Réseaux de communication industriels – Réseaux de communication sans fil –
Partie 1: Exigences de communication sans fil et considérations relatives au
spectre**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Industrial communication networks – Wireless communication networks –
Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations**

**Réseaux de communication industriels – Réseaux de communication sans fil –
Partie 1: Exigences de communication sans fil et considérations relatives au
spectre**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.040; 33.040.40; 35.240.50

ISBN 978-2-8322-4403-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions abbreviated terms and acronyms	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviated terms and acronyms	11
4 Wireless communication requirements of industrial automation – considerations for regulators.....	12
4.1 Worldwide harmonized frequency use	12
4.2 Coexistence management process (see IEC 62657-2)	12
4.3 Concepts for using spectrum in wireless industrial applications.....	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Suitable available spectrum for wireless industrial applications.....	14
4.3.3 Dedicated spectrum	15
4.3.4 Other concepts	16
4.4 Market relevance and requirements	18
4.4.1 General	18
4.4.2 Enabling position of industry equipment.....	19
4.4.3 Cost-benefit aspects and benefits in the application	20
4.5 Social, health and environmental aspects	21
4.5.1 General	21
4.5.2 Social, health and environmental considerations.....	21
4.5.3 Health concerns.....	24
4.5.4 Other concerns	25
5 Wireless communication requirements of industrial automation – considerations for automation experts.....	25
5.1 Use of wireless communication networks in industrial automation	25
5.1.1 General	25
5.1.2 Essential differences between wireless and wired communication networks.....	26
5.1.3 Communication networks in industrial automation.....	28
5.1.4 Application fields	30
5.2 Industrial automation application requirements (use cases)	31
5.2.1 General	31
5.2.2 Use case 1 – Safety of workers around transporting machines	31
5.2.3 Use case 2 – Level monitoring and alarming in a tank farm	32
5.2.4 Use case 3 – Field worker support with mobile wireless equipment.....	33
5.2.5 Use case 4 – Vibration monitoring and analysis of rotating machines	34
5.2.6 Use case 5 – Oil wellhead monitoring and control	34
5.2.7 Use case 6 – Some applications for factory automation, with a large number of nodes.....	35
5.3 Wireless communication network requirements	35
5.3.1 Timing and real-time	35
5.3.2 Bandwidth and bit rate	45
5.3.3 Radio propagation conditions, geographic coverage and scale of the network.....	46

5.3.4	Power consumption	48
5.3.5	Electromagnetic compatibility (EMC)	49
5.3.6	Functional safety	50
5.3.7	Intrinsic safety	50
5.3.8	Security	52
5.3.9	Availability, reliability	53
5.4	Life-cycle requirements	55
5.5	Integration of wireless communication systems into automation applications.....	55
5.6	Network information and statistics.....	55
Bibliography.....		56
Figure 1 – End producer revenue		19
Figure 2 – Typical risk reduction methods found in process plants		22
Figure 3 – Wireless communication system interrelated with the automation pyramid		29
Figure 4 – Example of graphical representation of consistent indicators.....		37
Figure 5 – General system model for defining application communication performance requirements.....		37
Figure 6 – Wireless automation device model for defining application communication performance requirements		38
Figure 7 – Communication link with wireless automation devices with fieldbus interfaces.....		39
Figure 8 – Communication link with a wireless automation device with I/O process interface and a wireless automation device with fieldbus interfaces		39
Figure 9 – Time fragments of transmission time		40
Figure 10 – Example of the density functions of transmission time		41
Figure 11 – Time fragments of update time		42
Figure 12 – Example of the density functions of update time		43
Table 1 – Example of a classification of application communication requirements		19
Table 2 – Structure of the communication networks used in the application fields		26
Table 3 – Benefits of using wireless systems		27
Table 4 – Examples of application grace time		53

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS –
WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS –****Part 1: Wireless communication requirements
and spectrum considerations**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62657-1 has been prepared by subcommittee 65C: Industrial networks, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation.

This first edition cancels and replaces the first edition of IEC TS 62657-1 published in 2014. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to IEC TS 62657-1:2014:

- a) update of requirements for wireless industrial applications;
- b) addition of performance indicators and their measurement.

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

FDIS	Report on voting
65C/874/FDIS	65C/878/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 62657 series, under the general title *Industrial communication networks – Wireless communication networks*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

This document provides general requirements of industrial automation and spectrum considerations that are the basis for industrial communication solutions. This document is intended to facilitate harmonization of future adjustments to international, national, regional and local regulations.

IEC 62657-2 provides the coexistence management concept and process. Based on the coexistence management process, a predictable assuredness of coexistence can be achieved for a given spectrum with certain application requirements.

INDUSTRIAL COMMUNICATION NETWORKS – WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS –

Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations

1 Scope

This part of IEC 62657 provides the wireless communication requirements dictated by the applications of wireless communication systems in industrial automation, and requirements of related context. The requirements are specified in a way that is independent of the wireless technology employed. The requirements are described in detail and in such a way as to be understood by a large audience, including readers who are not familiar with the industry applications.

Social aspects, environmental aspects, health aspects and market requirements for wireless communication systems in industrial automation are described to justify the wireless communication requirements.

This document also provides a rationale to successfully articulate the solutions of the wireless communication requirements proposed for the short-term and long-term. Coexistence management according to IEC 62657-2 is already applied in the short-term.

This document describes requirements of the industrial automation applications that can be used to ask for additional dedicated, worldwide unique spectrum. This additional spectrum is intended to be used for additional wireless applications while continuing using the current industrial, scientific and medical (ISM) bands.

This document provides useful information for the automation field professionals who are not familiar with the spectrum and wireless technologies.

Building automation is excluded from the scope because of the different usage constraints (for most non-industrial buildings it is normally difficult for the owner/operator to impose control over the presence and operation of radio equipment).

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 60079-10-1, *Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10-2, *Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Explosive dust atmospheres*

IEC 61511 (all parts), *Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector*

IEC 61784-2, *Industrial communication networks – Profiles – Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3*

IEC 61784-3, *Industrial communication networks – Profiles – Part 3: Functional safety fieldbuses – General rules and profile definitions*

IEC 62657-2:—¹, *Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 2: Coexistence management*

ETSI TR 102 889-2 V.1.1.1 (2011), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference Document; Short Range Devices (SRD); Part 2: Technical characteristics for SRD equipment for wireless industrial applications using technologies different from Ultra-Wide Band (UWB)*

ETSI EN 300 328 V2.1.1 (2016), *Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU*

3 Terms, definitions abbreviated terms and acronyms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62657-2:— and the following apply.

3.1.1

automation application

application of measurement and automatic control in the industrial automation domains

3.1.2

availability, <performance>

ability of an item to be in a state to perform a required function under given conditions at a given instant of time or over a given time interval, assuming that the required external resources are provided

Note 1 to entry This ability depends on the combined aspects of the reliability performance, the maintainability performance, and the maintenance support performance.

Note 2 to entry Required external resources, other than maintenance resources, do not affect the availability performance of the item.

[SOURCE: IEC 60050-191:1990, 191-02-05]

3.1.3

coexistence

wireless communication coexistence

state in which all wireless communication solutions of a plant using shared medium fulfil all their application communication requirements

Note 1 to entry: In IEEE 802.15.2-2003 [17]² the coexistence is defined as a characteristic of a device.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.13]

3.1.4

coexistence management

process to establish and to maintain coexistence that includes technical and organizational measures

¹ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC FDIS 62657-2:2017.

² Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

[SOURCE: IEC 62657-2: —, 3.1.15]

3.1.5

cognitive radio system

radio system employing technology that allows the system to obtain knowledge of its operational and geographical environment, established policies and its internal state; to dynamically and autonomously adjust its operational parameters and protocols according to its obtained knowledge in order to achieve predefined objectives; and to learn from the results obtained

[SOURCE: ITU-R SM.2152:2009] [8]

3.1.6

conduit

logical grouping of communication assets that protects the security of the channels it contains

Note 1 to entry This is analogous to the way that a physical conduit protects cables from physical damage [see IEC 62443 (all parts)].

Note 2 to entry A USB port is considered a conduit, but a USB device (e.g. memory stick) is considered an asset.

3.1.7

Ethernet

communication system according to ISO/IEC/IEEE 8802-3 and IEEE 802.1D

3.1.8

factory automation

automation application in industrial automation branches typically with discrete characteristics of the application to be automated with specific requirements for determinism, low latency, reliability, redundancy, cyber security, and functional safety

Note 1 to entry Low latency typically means below 10 ms delivery time.

3.1.9

plant

managed facility, typically with a physically protected perimeter, hosting the physical process, operation, personnel, equipment

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.58]

3.1.10

process automation

automation application in industrial automation branches typically with continuous characteristics of the application to be automated with specific requirements for determinism, reliability, redundancy, cyber security, and functional safety

3.1.11

reconfigurable radio system

RRS

radio system encompassing software defined radio and/or cognitive radio system

[SOURCE: ETSI TR 102 945 V1.1.1 (2013-06)]

3.1.12

reliability

ability of an item to perform a required function under given conditions for a given time interval

Note 1 to entry It is generally assumed that the item is in a state to perform this required function at the beginning of the time interval.

Note 2 to entry The term “reliability” is also used as a measure of reliability performance (see IEC 60050-191:1990, 191-12-01).

[SOURCE: IEC 60050-191:1990, 191-02-06, modified – Note 2 to entry has been modified.]

3.1.13

shared medium

resource of frequency band in particular area shared by several wireless applications

Note 1 to entry In the industrial, scientific and medical (ISM)-bands many wireless applications are used. Due to this joint use, the term shared medium is used in this document. The frequency bands are used by diverse ISM and wireless applications.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.77]

3.1.14

software defined radio

radio transmitter and/or receiver employing a technology that allows the RF operating parameters including, but not limited to, frequency range, modulation type, or output power to be set or altered by software, excluding changes to operating parameters which occur during the normal pre-installed and predetermined operation of a radio according to a system specification or standard

[SOURCE: ITU-R SM.2152:2009] [8]

3.1.15

telecommunication

any transmission, emission or reception of signs, signals, writings, images and sounds or intelligence of any nature by wire, radio, optical or other electromagnetic systems

[SOURCE: Radio Regulations (2012) – Art. 1 § 1.3]

3.1.16

victim

device interfered by emissions of radio frequencies by other devices or equipment

3.1.17

wireless application

any use of electromagnetic waves with devices or equipment for the generation and use of radio frequency energy

Note 1 to entry The definition includes radio determination equipment.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.93]

3.1.18

wireless communication

communication in which electromagnetic radiations are used to transfer information without the use of wires or optical fibers

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.94]

3.1.19

wireless solution

wireless communication solution

specific implementation or instance of a wireless communication system

Note 1 to entry A wireless solution may be composed of products of one or more producers.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.100]

3.1.20**wireless system****wireless communication system**

set of interrelated elements providing wireless communication

Note 1 to entry A wireless system is a high level representation of a system, while a wireless solution is a practical instance of a system. A wireless system can comprise one or more wireless networks.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.101]

3.2 Abbreviated terms and acronyms

AGV	Automated guided vehicle
BPCS	Basic process control system
CCP	Central coordination point
CO ₂	Carbon dioxide
DAA	Detect and avoid
DCS	Distributed control system
DECT	Digital enhanced cordless telecommunications
DSL	Digital subscriber line
EC	European Commission
EDGE	Enhanced data GSM environment
EIRP	Equivalent isotropic radiated power
EMC	Electromagnetic compatibility
EMI	Electromagnetic interference
EMS	Electromagnetic susceptibility
FIFO	First in first out memory
GPRS	General packet radio service
GPS	Global positioning system
GSM	Global system for mobile communications
ID	Identification
IEA	International energy agency
IP	Internet protocol
ISDN	Integrated services digital network
ISM	Industrial, scientific and medical
LAN	Local area network
LBT	Listen before talk
LOS	Line of sight
LTE	Long term evolution
NLOS	Non line of sight
OLOS	Obstructed line of sight
PC	Personal computer
PPE	Personal protective equipment
RF	Radio frequency
RRS	Reconfigurable radio system
SDR	Software defined radio
SIL	Safety integrity level

SIS	Safety instrumented system
SOP	Standard operating procedures
SRD	Short range devices
TDMA	Time division multiple access
UMTS	Universal mobile telecommunications system
USB	Universal serial bus
WIA-PA	Wireless network for industrial automation – process automation
WLAN	Wireless local area network
WRT	Wireless real-time

4 Wireless communication requirements of industrial automation – considerations for regulators

4.1 Worldwide harmonized frequency use

One of the reasons to enable worldwide harmonized frequency use of wireless devices is that they will go through several steps of successive integration before being actually used (into a product, then a machine, then a factory), so the final geographical location of the wireless device is not necessarily known. Regulation of the utilization of frequency bands is a matter of national sovereignty and has not yet been harmonized worldwide. Even when using the 2,4 GHz ISM band, national device approvals or licenses could be required. Furthermore, it could be necessary in some countries to gain approval for the operation of a wireless network, or to publish details of such a network in advance. Occasionally there are local usage restrictions related to the maximum transmission power that exceed international or regional norms, or a limitation of operation for indoor or outdoor areas. It is therefore important when exporting wireless systems to clarify in advance whether and under what circumstances the devices in question are permitted to be operated in the respective country.

NOTE Normally, manufacturers include such information in their documentation.

4.2 Coexistence management process (see IEC 62657-2)

Standard network solutions with specific performance characteristics (such as time criticality, safety and security) are used in industrial automation applications. The specific performance characteristics needed for industrial automation are identified and provided in Clause 5.

The overall market for wireless network solutions spans a range of diverse applications, with differing performance and functional requirements. Within this overall market, the industrial automation domain could include:

- process automation, covering for example the following industry branches:
 - oil & gas, refining,
 - chemical,
 - pharmaceutical,
 - mining,
 - pulp & paper,
 - water & wastewater,
 - steel;
- electric power like:
 - power generation (for example wind turbine),
 - power transmission and distribution (grid);
- factory automation, covering for example the following industry branches:

- food & beverage,
- automotive,
- machinery,
- semiconductor.

In industrial automation nowadays there are both wired networks and wireless networks. Examples of these wireless networks are IEC 62591 (*WirelessHART*®³), IEC 62601 (WIA-PA) and IEC 62734 (ISA100.11a); all these networks use IEEE 802.15.4 for the process applications. Other examples of wireless networks are specified in IEC 61784-1 and IEC 61784-2 communication profiles that use IEEE 802.11 and IEEE 802.15.1 for factory automation applications. Unlike separately wired networks, wireless networks share the same medium and thus may interfere with each other. Therefore, unless predictable coexistence is assured, operation of multiple wireless networks within the same facility could be problematic, resulting in unacceptable interference and consequently in the failure to meet time critical, safety and security requirements.

Typically, an industrial plant is in a fenced area and all the plant equipment is under the supervision of the plant management who can fully implement a coexistence management process for all the wireless networks of the plant.

Automation applications can also reside in industrial facilities with higher ambient electromagnetic interference (EMI) levels than those of non-industrial domains. One more influence is radiated EMI. Regional regulations can allow significant radiated power for specific radio applications in unlicensed spectrum, potentially generating a high field strength in the proximity of a wireless system.

In some cases the owner/operator may not be able to control, or may not choose to control, the equipment present. IEC 62657-2 can also be used to assist in the identification of the resulting performance limitations.

The coexistence management process represents the activities of the coexistence management system. The coexistence management process includes technical and organizational activities in order to establish and to maintain the coexistence state of all wireless solutions in a plant. The coexistence parameters specified in IEC 62657-2:—, Clause 5, and provided as described in IEC 62657-2:—, Clause 6, are used in different phases of the coexistence management process. The coexistence management process consists of the following phases:

- investigation phase (see IEC 62657-2:—, 7.4.1);
- planning phase (see IEC 62657-2:—, 7.4.2);
- implementation phase (see IEC 62657-2:—, 7.4.3);
- operation phase (see IEC 62657-2:—, 7.4.4).

4.3 Concepts for using spectrum in wireless industrial applications

4.3.1 General

This document discusses the following concepts and the resulting requirements for using spectrum in wireless industrial applications:

- use of suitable available spectrum for wireless industrial applications, see 4.3.2;
- dedicated spectrum for wireless industrial applications, see 4.3.3;

³ *WirelessHART*® is the trademark of a product supplied by the FieldComm Group™. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

- other concepts, see 4.3.4.

NOTE The order of the concepts does not mean any ranking or priority.

In addition to the coexistence management, combinations of the other concepts can be found in practical applications.

4.3.2 Suitable available spectrum for wireless industrial applications

Several frequency bands are necessary to address all the different operational requirements for wireless industrial applications. Operating simultaneously in parallel frequency bands improves the availability of the wireless communication. The coverage depends on the selected frequency band.

NOTE Low frequencies have a higher coverage than higher frequencies.

While the non-critical wireless links could use existing spectrum and comply with existing rules and standards, new frequencies (outside the 2,4 GHz and other license-exempt bands) need to be identified for the most demanding/critical wireless links in industrial applications. The preference is to have this new spectrum close to or adjacent to bands which are globally already available and for which industrial wireless technology has already been developed.

To address the specific needs for wireless industrial applications, the following requirements and recommendations are identified.

- Specific wireless technologies that are robust in a dynamic and multi-path environment shall be used.
- Frequency bands shall be either globally available, or adjacent to such bands, to facilitate the use of similar technology with minimally different operating frequencies.
- Frequency bands should be above 1,4 GHz if interference from welding machines needs to be avoided, and below 6 GHz due to both the quasi optical propagation behavior above this value, the requirement for non-line-of-sight wireless communications and power efficiency as needed for battery powered devices.

Existing solutions for industrial wireless communication use frequencies such as 920 MHz (EU, US, Japan, Korea, etc.), 1 880 MHz to 1 900 MHz (DECT), the 2,4 GHz ISM-band or the 5 GHz WLAN bands.

Currently, the industrial automation applications use the existing spectrum allocated for generic SRDs. The 2,4 GHz band is a commonly used band and its use is regulated by each country.

For example in Europe, devices with an EIRP of less than 10 mW can be used with no restriction for mitigation techniques. These devices shall comply with ETSI EN 300 440-1 [12] and ETSI EN 300 440-2 [13], while devices with an EIRP of 10 mW to 100 mW can only be used with restrictions. These devices shall comply with ETSI EN 300 328 and ERC/REC 70-03 [10]. The restrictions in ETSI EN 300 328 require

- an automatic sharing mechanism, which requires the use of listen before talk (LBT) or
- a medium utilization factor or
- a detect and avoid (DAA) mechanism, also called “listen after talk”.

These restrictions are incompatible with the needs of industrial wireless links.

Security mechanisms shall always be part of the communication architecture of industrial wireless applications to defend the industrial user against attacks. Pervasive action plans (so-called “safe-modes”) also exist to take into account intended and unintended interference created by others such as jamming. This may include moving to different frequencies. Cyber security standards for industrial applications are available, such as IEC 62443 (all parts).

Typically the use of a single common wireless standard by multiple uncoordinated users will not result in interference between them. For example, separate user groups may each establish IEEE 802.11 [15] radio networks in the same space, and conformance to IEEE 802.11 will allow them to coexist to a basic extent. Provisions in some other standards, e.g. Bluetooth®⁴, may also provide some measures to facilitate basic coexistence among certain differing standards. However, the basic level of coexistence provided by these measures will not meet industrial requirements, since they do not guarantee deterministic and managed sharing of the common radio resource. In an industrial context, where many diverse radio networks have to simultaneously meet performance requirements and different levels of priorities have to be satisfied, a coexistence management according to IEC 62557-2 ensures predetermined and equitable sharing.

EXAMPLE An example solution is the combined use of a clock synchronized slot assignment technology, called time division multiple access (TDMA), and a network manager tool in an access point (gateway) that assigns the allowed slots to transmit data. This can allow several thousand devices to operate in a meshed network over several years without any collision among themselves.

Non-critical wireless links can use the existing non-licensed bands such as ISM and have to comply with national or regional regulations. Operation in some of the license-exempt bands is subject to using specific mitigation techniques as mandated by the applicable regulation/standard. These mitigation techniques would apply to any SRD, including those used for industrial applications, as it is obvious that a variety of SRD applications might already be present in the industrial environment.

In frequency bands where the industrial automation devices are not the primary users or the users on the same priority, then they shall support mitigation techniques. Those can be:

- Power control:
 - reduce power to a limit so that the interference level is below the required threshold (protection zone);
 - do not use more power than that your intended receiver needs (TransmitPowerControl).
- Time synchronization based sharing.
- Frequency selection.
- LBT, DAA.
- Central coordination point (CCP).
- Used mitigation/sharing technique in the range that others are using to detect the incumbent.

4.3.3 Dedicated spectrum

4.3.3.1 Critical wireless links in industrial applications

Some industrial applications require a strictly deterministic behavior of the wireless communication links. The availability, reliability, predictability, dependability, immunity and quality of industrial wireless equipment are quite different from many other short range applications. Therefore the short term solution that is based on coexistence management and the spectrum typically used for the mass market generic type of SRD applications may not be adequate for these industrial applications. Coexistence management should be complemented in the long term by an additional dedicated, worldwide unique spectrum.

The candidate frequency bands are not supposed to become generic license-exempt bands but should be limited to certain specific applications.

⁴ Bluetooth® is the trademark of a product supplied by the Bluetooth Special Interest Group. This information is given for the convenience of users of this standard and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

This document highlights the need for a new spectrum to be designated that corresponds to the following needs.

- The critical wireless links needed for industrial applications should have a certain priority in spectrum designation.
- The requested band should be specific for these industrial applications and not be overlapping with the existing license-exempt bands.
- The new band would be most useful if it were applied for worldwide use.

Once the new spectrum has been designated, the development of a harmonized standard for these critical wireless links in industrial applications is needed.

4.3.3.2 Proposed candidate frequency bands

The requirement to use radio systems in an area where electromagnetic emissions occur results in a request of spectrum above 1,4 GHz. The requirements of non-line-of-sight communications and power efficiency result in a request of spectrum below 6 GHz (see also 4.3.2 and 5.3.2).

There exists no specific regulation for industrial applications at the publication time of this document. Wireless industrial applications that currently exist on the market use the existing spectrum designated for generic devices or some specific short range devices and therefore fall within the scope of existing regulations.

EXAMPLE The existing annexes of ERC/REC 70-03 [10].

Unfortunately, the requirements of critical wireless links in industrial applications cannot be fulfilled when these links operate in these license-exempt bands; this is why an exclusive (specific license-exempt band) spectrum is required for wireless industrial applications as soon as possible.

4.3.4 Other concepts

4.3.4.1 Geolocation licensing

The dense deployment of wireless solutions can be foreseen to be restricted to well defined areas (building, site, user premises, etc.), so that it makes sense to take into account geolocation information as an additional parameter in the shared medium access rules of a wireless device. The aim is to avoid communication overhead and to simultaneously protect possible victim devices. The victim devices shall be protected in a way that they do not experience an unfair degradation of service from other devices.

The inclusion of geolocation information is also in line with the ITU definition of the spectrum utilization factor in ITU-R SM.1046-2 [9], which is the product of frequency bandwidth, geometric (geographic) space, and time.

Interference with a victim device will only occur if three conditions are fulfilled simultaneously: using same location (assuming a constant, limited EIRP), same time and same frequency.

The proposal is to consider the geolocation of the device to control its transmission characteristics. In a non-crowded area or in owned premises (where radio environment can be managed), a license for a specific band should be obtainable from the relevant national regulator.

A device can obtain information about its current geolocation by several techniques, ranging from simple to sophisticated solutions. Currently this domain is experiencing further progress and interest because of the discussion about cognitive radio systems.

A first and simple approach is to link the device to a fixed mounted controller, following a master–slave concept. If a slave device is in range and under management of such a controller (master), it is allowed to operate with up to 100 mW and employing relaxed timing constraints for its transmissions. Slave devices losing the link to the master shall stop their relaxed operation immediately. The geolocation information is given implicitly, owing to the proposed master–slave concept, thus avoiding the need for explicit geolocation information by positioning systems such as GPS, Galileo or GLONASS. In addition, it is proposed that slave devices employ an assessment metric of their slave-to-slave and slave-to-master connections (e.g. link quality indication) that can be reported back to the controller and which enables the slave device itself to adapt reactively to interference experienced by victim devices. The controller can additionally be in charge of maintaining proper coexistence and interference management within the user's premises. Other concepts can also be applied.

By limiting the range of operation, for example to a typical indoor environment, the risk of interference with devices outside the user's premises is eliminated by the attenuation of surrounding walls. Typical values of attenuation by walls and floors are 10 dB and above, which limits the field strength below the limits of a device operating with less than or equal to 10 mW, which can be operated without timing constraints.

Even without a wall, propagation losses can limit the interference outside of the user's premises to a certain level, which can be below the limits of a device operating with 10 mW (EIRP) at the border of the user's premises. At 2,4 GHz, the signal will be attenuated by 49,6 dB (accounting for freespace attenuation only) at a distance of 3 m.

4.3.4.2 Reconfigurable radio systems (RRS)

Reconfigurable radio systems (RRS) are expected to become important drivers for the evolution of wireless communications and to bring substantial benefits from reconfigurable flexible and cost-effective architectures for wireless devices to a better utilization of the radio frequency spectrum, thereby helping to mitigate the "spectrum scarcity" problem.

RRS, in particular software defined radio (SDR) and cognitive radio technologies, have been investigated in the commercial, public safety and military areas.

If RRS concepts are applied then in addition the typical industrial automation requirements shall apply:

- deterministic communication in addition to best effort communication;
- use of the preferred spectrum in the range of 1,4 GHz to 6 GHz (see also 4.3.2 and 5.3.2);
- RRS shall not increase significantly the power consumption (maximum shall not be more than two times the power needed in a non-RRS device);
- joining/registration procedure to a network.

4.3.4.3 Central coordination point (CCP) approach

A solution for reconfiguration of a radio system could be based on an CCP of multiple devices. The term central means that one coordination point will coordinate multiple devices that do not have the burden to detect and avoid possible collisions. This CCP can also be combined with a decentralized approach having more than one CCP.

There are three possible classes of CCPs:

- a) CCP for sharing with other incumbent services/applications;
- b) CCP for intra-system coexistence;
- c) CCP in public area.

The major rationales for this approach are the following.

- Build low cost devices:
 - antenna, receiver, etc. optimized for the operation and not for sensing the primary user;
 - no pilot channel, CCP should speak the language of the controlled devices.
- Battery powered devices cannot support the needed computing power for the mitigation methods.

CCP concept requirements are the following.

- a) CCP shall have minimal impact on interference to the outside world. Use as little power as needed for example by using:
 - 1) a leaky-wave antenna;
 - 2) a directional antenna;
 - 3) an antenna near to the controlled devices.
- b) Per device mitigation is allowed.
- c) CCP may have a wired interface to get configured; especially for security set up.
- d) CCP shall talk the language of the controlled devices.
- e) Provide a pilot channel between CCP and the controlled devices to make the life of CCP easy. This is in contradiction with the requirements for low cost devices and battery powered devices.

The CCP topologies could be:

- a centralized approach using one CCP and having one or more antennas;
- multiple CCPs that coordinate themselves where each CCP may have one or more antennas.

The CCP protocol, algorithm, arbitration, etc. have to be specified to guarantee a multi-vendor implementation with the same system reaction on given situations.

The installation should be guided, for example for:

- sensing where the incumbent can best be identified; e.g. on the roof;
- the antenna for the communication to the controlled device near the controlled device;
- requirement for a coexistence management according to IEC 62657-2.

4.4 Market relevance and requirements

4.4.1 General

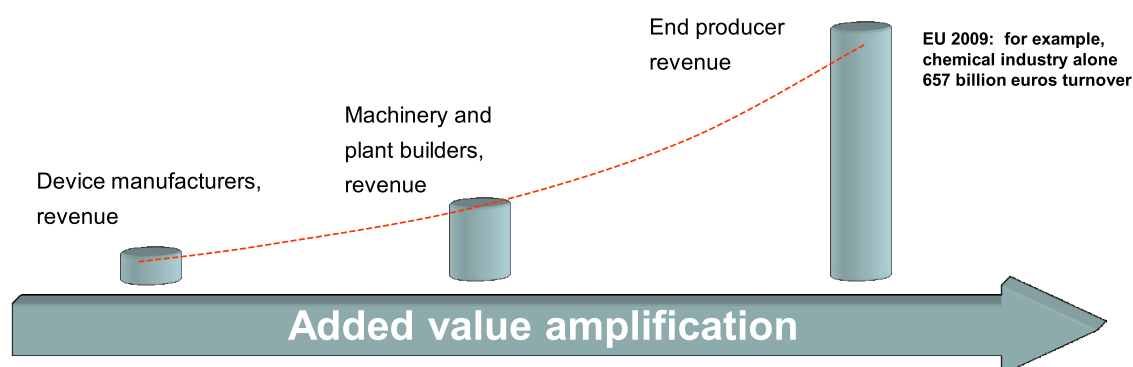
Wireless technology is now mature and is increasingly used to transfer data in automation applications (both process automation and factory automation). Wireless technology is going to play an important role in the application of the industrial Internet of things. Most wireless communication systems use the license-free ISM frequency bands to transfer process and diagnostics data. Due to various requirements such as transmission speed and the distances to be bridged, several wireless technologies have established themselves on the market.

Industrial production (such as automotive, chemical, pharmaceutical, machinery, food and beverage) is highly automated. The global productivity of industrial production can benefit from using wireless devices.

Counting the number of nodes is not the right approach to compare the industrial wireless market versus the telecommunications and commercial market.

The market relevance of wireless devices for the industrial automation market can be demonstrated by considering the end producer revenue regarding the market where the

wireless devices and machines are installed (see Figure 1). In the telecommunications and commercial market, the selling of the device is mostly the end of the revenue, while in industrial automation the wireless devices are the enabler of the revenue of the end producer.



IEC

Figure 1 – End producer revenue

4.4.2 Enabling position of industry equipment

4.4.2.1 Wireless product

A wireless product is typically called wireless field device or wireless device for industrial automation applications. The attribute wireless expresses the presence of a wireless communication interface. Wireless products can be classified in various ways, for example according to the scheme described in Table 1 where they are classified according to the degree of application criticality. Efforts for coexistence management can vary according to the classification described in Table 1.

Table 1 – Example of a classification of application communication requirements

Class	Application	Application communication requirements
Functional safety	Implementation of a safety-related system whose failure could have an impact on the safety of persons and/or the environment and/or the plant	The communication protocol should support functional safety communication and the coexistence management shall be established in order to fulfil all requirements of IEC 62657-2.
Control	Closed or open loop control	The communication protocol should support a higher availability, reliability, and time-criticality protocol than the one used for other application domains such as consumer industry or telecommunication. The coexistence management shall be established in order to fulfil most of the requirements of IEC 62657-2.
Monitoring	Process visualization and alerting	No specific add-ons required for the communication protocol. The coexistence management should be established in order to fulfil at least some requirements of IEC 62657-2.
NOTE 1 This table is copied from IEC 62657-2:—, Table 1.		
NOTE 2 The relative terms “most” and “minimum” are based on the graphical description in IEC 62657-2:—, Figure 3.		

The classification of automation applications primarily refers to the functional requirements of the application to be considered.

However, it is possible that an automation application, allocated by default to a less critical application class based on its functionality, is nevertheless vitally important for business processes. In this case, it is recommended to allocate it to a more critical application class, to represent its meaning for the company properly and to indicate a higher effort to ensure coexistence.

Further applications ranging from radio bar code readers to voice and video over IP applications can be classified likewise.

4.4.2.2 Wireless machine

A wireless machine is a machine that for the communication function uses a product like a wireless field device (see 4.4.2.1). The manufacturer of a machine can use the wireless products to build a machine in a more efficient manner.

4.4.2.3 Improved production

A plant of a manufacturer of products includes the apparatus, machines, instruments, devices, means of transportation, control equipment and other operating equipment in order to have an efficient manufacturing of the intended products. Manufacturers of products use the wireless machines (see 4.4.2.2) and the wireless products (see 4.4.2.1) to improve production by achieving an efficient production compared to a cable based communication network interface.

4.4.3 Cost-benefit aspects and benefits in the application

4.4.3.1 General

When considering whether or not to use an industrial wireless system, it should be considered whether such use is economically viable (taking into account the technical criteria, see IEC 62657-2:—, Clause 6) and which concrete advantages could be obtained, see 5.1.2.2.

4.4.3.2 Cost-benefit factors

4.4.3.2.1 General

There are numerous possibilities of using industrial wireless systems, and these open up a wide range of benefits. To be able to determine such benefits as a user or operator, it is necessary to look at the various life-cycle phases of a plant and the communication systems that are possibly used. It is useful here to look more closely at the following factors and to use these when comparing wireless systems within an application field, or to compare them with wire-connected alternatives:

- quantitative factors;
- qualitative factors.

All of these factors can be "added up" and compared in a concrete case by the user to determine whether or not the use of a wireless system is practical in the respective case and which system should be used.

4.4.3.2.2 Quantitative factors

The following quantitative factors should be considered.

- Engineering costs, e.g. for planning, device configuration and device programming.

NOTE 1 This cost factor greatly depends on the respective wireless systems, because more simple systems often only need to be switched on. On the other hand, other – more complex – systems often require extensive device configuration to provide reliable and effective communication.

- Costs of material and devices, e.g. for wire conductors and contact for sensors as opposed to access points and antennas.

NOTE 2 The projected costs for material and devices are in most cases roughly identical for both types of systems (wireless-based and wire-connected).

- Installation costs, e.g. for assembly (laying of cables as opposed to installing an antenna).

NOTE 3 Wireless systems often cost less to install when compared to cable-connected systems.

- Operation and maintenance costs, e.g. costs of cleaning, repairs and replacement caused by wear, but also the concomitant costs for downtimes.

NOTE 4 This item provides the greatest source of savings when using wireless systems.

4.4.3.2.3 Qualitative factors

The following qualitative factors should be considered.

- System availability: the same system availability that can be achieved with a wired communication network may be also achieved with a wireless communication network if the wireless coexistence management is applied.
- Product/process quality: by using additional sensors that would not be economical when wire-connected, additional measured values can be gained and, for example, the rejection rate in production can be reduced and processes can be optimized.
- Performance of the communication infrastructure: it is achieved by connecting the required number of participants and by using an adequate data rate.
- Expandability/flexibility of the communication infrastructure: i.e. how well can the system be expanded or converted for additional participants.

4.5 Social, health and environmental aspects

4.5.1 General

A suitable wireless communication performance in industrial automation applications enables the industry to solve the requirements regarding social and environmental aspects and obtain the benefits described in 4.5.

There are many potential social and environmental benefits of wireless application for the industry. These benefits include improvement of safety, improvement of the labor environment and health care, resource conservation and reduction of CO₂ emission.

Most industrial applications deploy mechanisms of control and safety applications, which typically require predictable, deterministic, and repeatable performance, so that their communication services are not interrupted by other less critical applications. Control systems are groups of devices that monitor sensors and other inputs, make control decisions and issue outputs that interact with the real world, e.g. pumps, valves, heaters, traffic lights. Incorrect outputs based on corrupted control can cause harm to people, environment and equipment.

The use of wireless communication helps get more information from the plant and thus achieve an improved control. For example, a production line of plastic bottles can use less material if the precision of the continuous material thickness is stable. This can be achieved by implementing more measurement points in the production line to control the temperature, pressure, fluidity, etc., of the material when transported to the extruder.

4.5.2 Social, health and environmental considerations

4.5.2.1 Avoiding serious accidents

Accidents which sometimes happen in manufacturing plants bring very serious consequences when the plant handles dangerous material and high energy. These accidents could be prevented by a multi-layer protection system. IEC 61511 specifies the following five layers for the protection of the process industry (see Figure 2): control and monitoring, prevention, mitigation, plant emergency response, and community emergency response. In every layer, wireless technology helps to maintain and to improve the safety level.

According to IEC 61511, the basic process control system (BPCS) is a key layer of protection “... which responds to input signals from the process, its associated equipment, other programmable systems and/or operator, and generates output signals causing the process and its associated equipment to operate in the desired manner” A wireless communication system could be used between the control system and the process, using wireless sensors and wireless actuators. It could be used also for communications with other associated equipment and operators who need alarms to take the required actions.

The safety instrumented system (SIS) performs specified functions to achieve or maintain a safe state of the process when unacceptable or dangerous process conditions are detected. It is used for both purposes of prevention and mitigation. Safety instrumented systems are separate and independent of regular control systems but are composed of similar elements, including sensors, logic solvers, actuators and support systems. A wireless communication system could be used for SIS as well as for BPCS.

The final layers are plant and community emergency response. If a large safety event occurs this layer responds in a way that minimizes ongoing damage, injury or loss of life. It includes evacuation plans, firefighting, etc. Wireless communication systems help functions such as warning of the evacuation directive and monitoring of the disaster area.

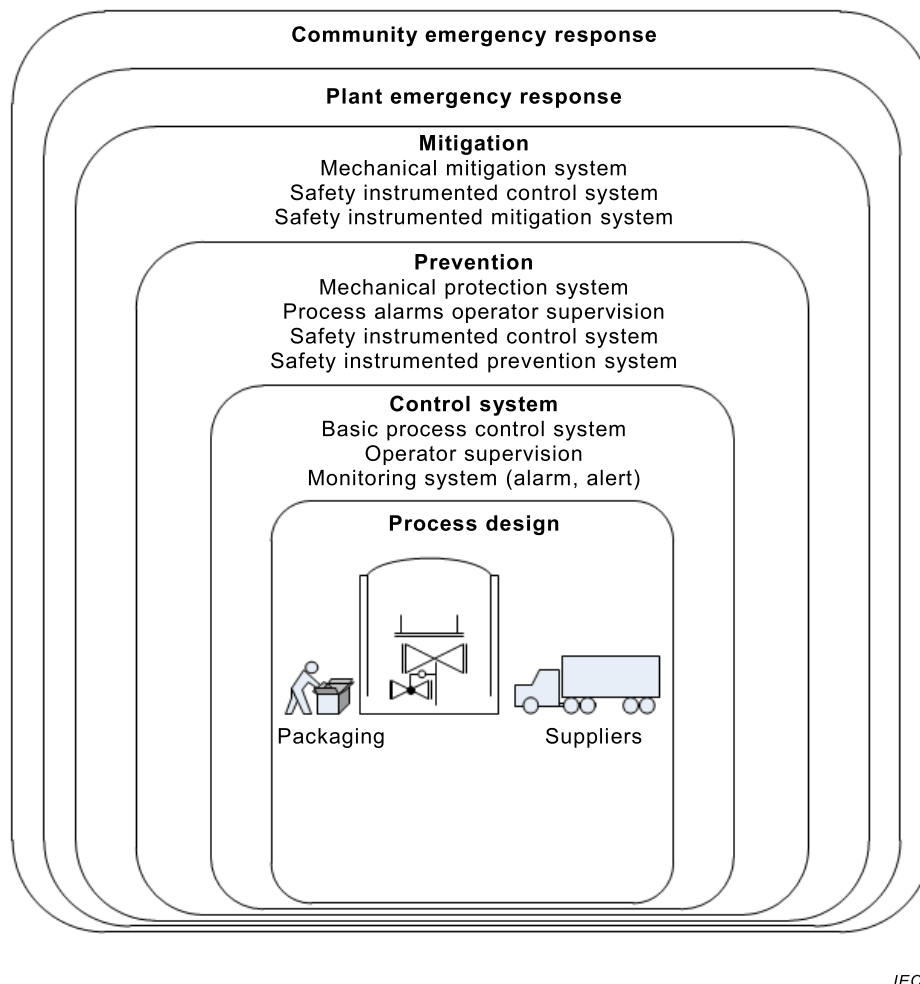


Figure 2 – Typical risk reduction methods found in process plants

4.5.2.2 Improving human safety

In a manufacturing environment there are many machines and equipment which can injure personnel such as press machines and automated guided vehicles (AGV). In such

environments, wireless communication allows to have safety systems which could be deployed to ensure human safety.

In some plants where flammable or toxic gases are dealt with, measures using wireless technology such as monitoring leakage of such dangerous gases, announcing the evacuation directives to field operators and confirming the safety of the personnel might be necessary.

4.5.2.3 Improving energy efficiency

Energy efficiency has received an ever growing attention worldwide since it is considered a major lever to help secure a sustainable society in view of climate change, growing population and security of supply. Growing populations and industrializing countries create huge needs for electrical energy.

Wireless communication systems contribute to the establishment of sophisticated energy management systems, which include functions to measure energy consumption and to optimize energy efficiency.

Energy management systems are a fundamental part of the overall solution, since they allow optimized use of energy, general reliability and sustainability of performance. Low-consumption products that function when not needed still consume energy (lamps, motors and electronics on standby, etc.). A 2 °C variation in temperature setting on heating or cooling can consume up to 10 % additional energy, hence small drifts can have significant consequences.

Automation and control are essential for the optimization of energy usage.

- They allow consuming only what is necessary, when and where necessary.
- They allow correcting “bad habits” and improving behavior.
- They can easily be installed in existing sites and improve existing performance.
- They complement energy-efficient end-use products to improve overall usage performance.

Examples of solutions are occupancy detectors and light detectors, timers, variable-speed drives, electric motor systems automation and control, programmable logic controllers (PLCs). Wireless communication systems make these solutions more efficient and more suitable for the intended scope.

4.5.2.4 Improving labor environment

Automation systems can prevent persons from working in dangerous environments, can minimize physical heavy work and can allow the replacement of workers in monotonous activities. However, the necessity for wired connectivity makes tasks difficult in some cases. The wire connection might be impractical because of the cost resulting from the distance to be covered by the wired connection or because of its frequency of usage. In other cases, the wired connection might be not feasible due to the movement of the communicating points.

Wireless communication systems can be used to provide real-time information on the use of personal protective equipment (PPE); for instance, these systems can determine whether each worker is wearing the required PPE, monitor the workers' presence and warn the worker if PPE is not properly used. They can also be very useful to detect whether a worker enters an area where the worker can be injured (physical protection). For example, they can detect if the worker is on the trajectory of a moving robot arm or of other moving equipment.

Wireless communication systems can solve these problems and improve the labor environment.

4.5.2.5 Reducing CO₂ emission

From a political and scientific viewpoint the global discussion is concentrating on limiting the global warming to a 2 °C increase by the end of the century. In order to reach an acceptable level of likelihood for such a limitation the IEA has developed the 450 µl/l (target CO₂ equivalent concentration) scenario. This scenario would result in a reduction of nearly 19 Gt of annual CO₂ emissions compared to a business as usual scenario in 2030. Nearly 45 % of the necessary reduction is seen to be achieved through energy efficiency measures. These can be further broken down to 10 % contribution by industry, 18 % by buildings and 17 % by the transport sector. Additionally the sustainability and conservation of resources need to be considered. Automation itself is a necessary enabler of energy efficiency measures, solutions and systems.

Renewable energies (REs) are those methods of obtaining energy which can operate indefinitely without emitting greenhouse gases, and they are important not only for energy efficiency but also for decarbonization. REs include hydropower generation, wind power, solar thermal power generation, solar photovoltaic electricity, geothermal power generation, heat pump systems and nuclear generation.

CO₂ (carbon dioxide) capture and storage (CCS) is one of the methods with a large potential to achieve considerable reductions in CO₂ emissions. There are two main potential options to store CO₂: the ocean and geological reservoirs.

In all these solutions, wireless communication systems are very useful.

4.5.2.6 Conserving limited natural resources

Some industrial products contain limited natural resources (for example water, energy, and gold) or need them for the manufacturing of the products themselves. Since these resources are limited, they should be used in an optimal way to achieve a sustainable society.

Automation systems are indispensable for this optimization, and wireless communication systems could help achieve a better optimization.

Examples for achieving the conservation of limited natural resources by using wireless communication systems include the following:

- waste water treatment systems, where additional information from moving valves is used to improve the cleaning process and reduce the amount of fresh water in chemical plants;
- smart grids, where the implementation of many measurement devices in a widely distributed control system can reduce the energy consumption, and thus save fossil fuels;
- chemical production processes, where many temporary mounted wireless devices provide data that is only important during start-up and help reduce the amount of raw material.

4.5.3 Health concerns

The transmission power of Bluetooth, WLAN and other wireless systems is at least 10 times to 20 times lower than the transmission power of mobile telephones, which can operate up to 2 W. Industrial wireless modules are also not worn directly on the body and the radiated power absorbed by the body is usually less than one thousandth of the transmitted energy. In comparison to a mobile telephone, the radiation exposure from an industrial wireless module is therefore much less, and can be considered to be almost insignificant. The medical risks are correspondingly low.

NOTE Additional information is available from international standards such as IEC 62479:2010, Annex A [3], or ICNIRP [21] or national bodies like the Federal Office for Radiation Protection in Germany (Bundesamt für Strahlenschutz), the Safety Code 6 in Canada, the OET Bulletin 65 in the United States, IEEE C95.1-2005 [19].

Wireless communication is not a problem if kept under the limits shown in 4.5.3.

4.5.4 Other concerns

Wireless technology compared to wired communication could be seen as not reliable.

There is a concern about battery-powered wireless devices. This is not a problem if batteries are used in accordance with the Directive 2006/66/EC [11] of the European Parliament on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators (also known as the Battery Directive) or a similar procedure in other countries.

Wireless communication is not a problem. Wireless technology is well established, it has been the subject of research for decades and is widely used in public areas. Battery powering is today well established and evolving using e-mobility.

5 Wireless communication requirements of industrial automation – considerations for automation experts

5.1 Use of wireless communication networks in industrial automation

5.1.1 General

Subclause 5.1 specifies wireless communication requirements dictated by applications of wireless communication systems in industrial automation.

Wired communication systems have been widely deployed in industrial automation for a long time. Although wireless communication systems will not replace all existing wired communication systems, they have special characteristics that wired systems do not have. These characteristics can provide tremendous benefit for industrial automation systems, but they bring new concerns as well, to be settled before practical deployments. Therefore the essential differences between wireless communication systems and wired communication systems should be well recognized from the point of view of both advantages and concerns. These essential differences are discussed in 5.1.2.

There are many kinds of application areas where wireless communication systems can be utilized in industrial automation. These application areas can be categorized by two aspects. One aspect is the plant level where the wireless communication system is deployed and the other aspect is the industry type in which the system is deployed. These categorizations are discussed in 5.1.3 and 5.1.4, respectively.

The phase of a plant life cycle (commissioning, maintenance, operation, etc.) in which the wireless application is used should also be considered as it possibly has specific requirements.

Wireless communication requirements are best substantiated with practical use cases. Some typical use cases are described in 5.2. Each use case emphasizes multiple essential requirements and provides the background and context for the pertinent requirements.

In order to cover all essential requirements of wireless communication systems with consistency, a categorization of the requirements is useful. Categorized wireless communication requirements are specified in 5.3.3 to 5.3.8.

Table 2 shows the structure of the plant networks used in the application fields.

Table 2 – Structure of the communication networks used in the application fields

Communication networks in industrial automation (5.1.3)	Application field (5.1.4)	
	Process automation (5.1.4.2)	Factory automation (5.1.4.3)
Cross-plant wireless network (5.1.3.2)	Use cases (5.2)	
Plant-wide wireless network (5.1.3.3)		
Sensor/actuator wireless network (5.1.3.4)		

5.1.2 Essential differences between wireless and wired communication networks

5.1.2.1 General

Wireless communication has been further developed in a variety of ways within the last few years and has found its way into complex applications of industrial automation. There are persons who have some reservations regarding the use of wireless technologies, because of insufficient or incorrect information. Subclause 5.1.2 is aimed at answering the most significant reservations.

5.1.2.2 Advantages in using wireless communication networks

The most essential property of wireless communication systems is of course that they do not require wires to connect communication nodes to each other. This characteristic not only saves wire material cost but it can also reduce the communication system installation cost and installation time. This property alone enables new applications such as a temporary measurement system for the purpose of process analysis and troubleshooting. Similarly, there are wired communication applications which are technically feasible but not practical on economic grounds, for instance long distance wiring for only a few measuring points.

Since wireless communication systems can be deployed in moving or rotating equipment, they can be used for new applications which could not be conceived with wired communication systems. Mobile wireless equipment carried by field workers is another effective application.

Wireless systems should not be viewed as a general replacement for cable, but when used in a targeted manner they provide significant advantages in a multitude of industrial applications when compared to cable-connected systems. They provide both qualitative benefits such as increased ease of use or increased flexibility during installation, as well as quantifiable benefits such as lower installation and maintenance costs (see Table 3).

Table 3 – Benefits of using wireless systems

Plant networks	Application example	Benefits	Benefits for the user/operator
Cross-plant wireless networks	Remote monitoring	Independent of telephone, internet and network connections	• Low planning effort • Simplified engineering • Higher flexibility • Cost-savings in operation, for connection fees, due to reduced hardware and optimized processes
	Control of water/drainage systems	Uniform communication path (no mixed operation between analog, ISDN, DSL, dedicated line)	
	Operation of mobile processing plants (e.g. water)	Data availability at all times and at all places without temporary cable installation	
	Monitoring of decentralized systems	Decentralized process controller is not required	
	Monitoring of mobile logistics processes (e.g. crane, truck)	Permanent data availability to optimize delivery-chain management	
Plant-wide wireless networks	Shelf access equipment, electrical monorail systems and automated guided vehicle systems	Simplified installation, maintenance-free and greater flexibility in contrast to wire conductors and optical data links	• Can be expanded easily • Increased availability • Higher flexibility • Increased safety for persons • Improved resource planning • Cost savings during installation, in operation and during repairs
	Gantry crane	No need for drag chains, thereby eliminating failures caused by wear	
	Rotary indexing machines, tool changers	Many fewer weak spots caused by wire conductors or loosened plug connections	
	Integration of I/O and serial interfaces (e.g. robots)	Weight reduction due to savings of data cables in cable pathway	
	Building networking	No earth work or laying work required	
	Mobile operation	Very easy to use and saving of additional operating terminals	
	Locating persons and equipment	Position can be localized wirelessly	
Sensor/actuator wireless networks	Monitoring of measuring points (e.g. temperature)	No laying of data cables and often no power lines on the side of the field device	• Can be expanded easily • Increased availability • Higher flexibility • Increased process and product quality due to additional sensors • Cost savings during installation and operation
	Monitoring of mobile measuring stations	No installation and removal of temporary cable installations	
	Rotary indexing machines, tool changers	No weak spots caused by wire conductors or loosened or defective plug connections	
	Plant-wide signal detection	Connection of sensors/actuators that are distributed or difficult to reach, as well as fast retrofitting/conversion	
	Corrosion monitoring, pipe weld monitoring for leakage, vibration monitoring	Physical wiring of the sensor is completely impractical (such as along a pipe elevated 5 m to 10 m above the ground)	

5.1.2.3 Concerns in the deployment of wireless systems

Although wireless systems provide the advantage of not requiring installation of wires, their implementation poses new challenges.

Wireless medium has neither well defined confinement nor visible confinement. Therefore the radio propagation path and characteristics strongly depend on the environment conditions and radio interference can come from any direction.

Multiple wireless communication systems need to share a common space as communication medium. A particular frequency band cannot be used in the same space at the same time by multiple communication systems. This issue needs to be solved while maintaining the requirements for industrial automation.

Moreover, the collisions occur at receiver, while the transmitter is typically unable to detect that the corresponding receiver has collisions.

5.1.3 Communication networks in industrial automation

5.1.3.1 General

In individual cases, the requirements, advantages and benefits of wireless systems are highly dependent on the application under consideration. It is advisable for this reason to divide them into fields of application. This allows suitable comparisons among different wireless systems, and also with wire solutions.

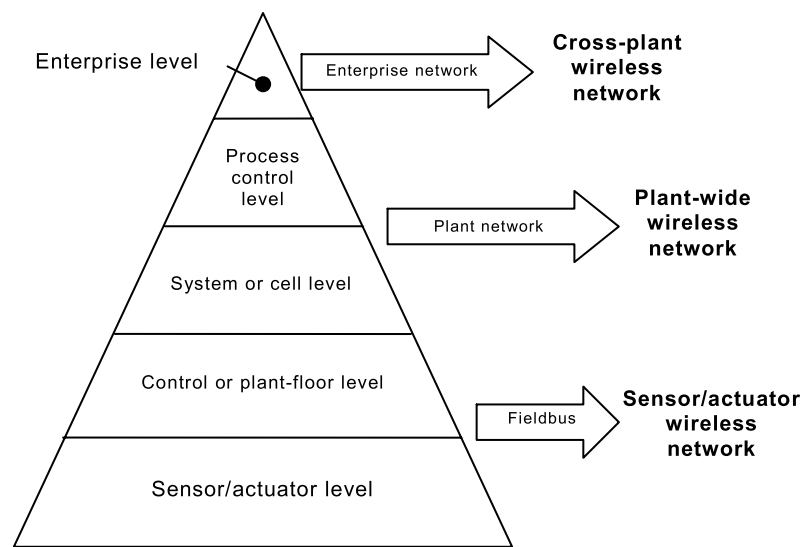
Communication networks for industrial automation can be loosely organized around the classical “automation pyramid” (see Figure 3).

The different communication networks are:

- enterprise network;
- plant network;
- fieldbus.

The wireless technology is used to extend these three kinds of networks.

- a) Cross-plant wireless networks: networks with a low number of components, with large to very large spatial spread and small or medium volumes of data, for remote maintenance and remote control.
- b) Plant-wide wireless networks: networks with a medium number of components, with limited spatial spread and small to very large volumes of data, depending on the requirements of the application.
- c) Sensor/actuator wireless networks: networks based on sensor and actuator nodes operating at the field level with very small packets of data and a very high number of components.



IEC

Figure 3 – Wireless communication system interrelated with the automation pyramid

5.1.3.2 Cross-plant wireless network

Primarily, a cross-plant wireless network is concerned with bridging large distances. Remote access can thereby be made to stationary machines and systems as well as to mobile participants, e.g. vehicles. The usable data rate initially plays a subordinate role, whereby efforts are also made even here to achieve bit rates that are as high as possible. A difference can also be made between occasional data exchange, which is often sufficient for remote control applications (e.g. sporadic transfer of measured values), and continuous data exchange which is often required for remote maintenance, even if only for a limited period of time.

In addition to proprietary wireless solutions with ranges of just a few kilometers or satellite-supported communication, GSM, GPRS, UMTS, LTE, EDGE and other wireless solutions are used. The advantages of these systems are worldwide availability, increasing bandwidths and decreasing costs.

5.1.3.3 Plant-wide wireless network

Applications in this field can be divided into four sub-areas.

- a) Wireless communication between stationary participants (e.g. two machines or system parts where cabling is at least twice as expensive due to local conditions).
- b) Wireless communication to or between mobile participants (e.g. automated guided vehicle systems).
- c) Wireless communication for mobile control and monitoring.
- d) Wireless communication for localization, i.e. for detecting persons and objects using appropriate transponders.

The requirements for data rate, real-time performance and the maximum number of supported participants can vary widely in these four sub-areas, because they are very closely connected to the application to be implemented. If only a few signals are to be transferred by wireless technology then a decentralized I/O module with an integrated radio interface is usually all that is required. If, on the other hand, a broadband wireless network rollout is required, e.g. to connect several control systems, PC or mobile operator panels, then WLAN would be the suitable wireless system. An additional benefit of this system is the ability to use the wireless network for several applications, e.g. to forward video streams in parallel to control and visualization data.

If there is also an additional need to transmit safety-critical signals then it is essential that the wireless system can support a safety protocol which, e.g. when combined with WLAN or Bluetooth, allows the Industrial Ethernet standards according to IEC 61784-2 and their functional safety profiles according to IEC 61784-3 to be used.

5.1.3.4 Sensor/actuator wireless network

This wireless network is often linked via gateways (protocol converters) to other networks, e.g. Ethernet, because it only needs to transfer low volumes of data.

Various wireless networks have established themselves in industrial automation due to the different requirements for factory automation and process automation.

Whilst sensor/actuator networks within factory automation usually use a large number of small packets of data within short distances with a high throughput, the most important aspect of process automation is usually secured wireless transmission over long distances.

For a sensor/actuator wireless network, there have only been a few protocol standards up to now that permit interoperability between devices from different manufacturers.

Process automation applications use protocol standards that are based on IEEE 802.15.4 such as IEC 62591 (*WirelessHART*®), IEC 62601 (WIA-PA), IEC 62734 (ISA100.11a), or even proprietary protocols.

Factory automation applications use protocol standards that are based for example on IEEE 802.15.1 [16], IEEE 802.11 [15], IEEE 802.15.4 [18] or even proprietary protocols.

5.1.4 Application fields

5.1.4.1 General

Industrial automation technologies are quite different for factory automation and process automation, because of the different requirements posed by each of these applications.

5.1.4.2 Process automation

Process automation is mostly characterized by applications within the field of the control, monitoring and diagnostics of heating, cooling, mixing, stirring and pumping procedures.

Often, analog signals of filling level, temperature or pressure monitoring are transferred and evaluated. These evaluated measurements have been made available to automate extraordinary start-up and shutdown operation for continuous process and batch process. Furthermore, they are useful for control of product quality and the switching of products for a batch process corresponding to the manufacturing of a wide variety of products in small quantities. In process automation there are relatively slow changes in measured values; a sampling every 100 ms through several seconds is typical for these applications. This characteristic directly determines the requirements for the reaction speeds of the wireless technologies applied in process automation.

The energy required by wireless and sensor components is correspondingly low and can often be provided by decentralized supply units such as batteries or so-called energy harvesters (e.g. energy is generated from temperature variations, light, machine vibrations or the flow of media).

A large process automation system requires wide wireless transmission ranges.

The size of a process automation system is often many times larger than in typical factory automation plants. A wide range is therefore an important requirement for wireless networks in this field.

The plant structure only changes moderately over time compared to factory automation and therefore the propagation conditions change accordingly.

5.1.4.3 Factory automation

A marked characteristic of factory automation machines and systems is their fast production processes. Often this means that machine parts are in motion within a limited space.

Fast processes require short operation cycles and fail-safe transfer of sensor and actuator signals. Cycle times of less than 10 ms are quite normal. This characteristic of factory automation directly determines the requirements for the wireless technologies.

Fast production processes make the highest demands on wireless solutions.

Due to their limited spatial spread, various wireless networks are often operated within the same small area.

Wireless technologies can cover the most varied range of applications within factory automation. Uses have already been implemented from wireless connection of sensors within an automation cell right up to communication on the field or control level. Diversified wireless solutions thereby provide technologies that are geared towards the respective requirements for range, cycle time and number of participants.

5.2 Industrial automation application requirements (use cases)

5.2.1 General

Subclause 5.2 describes some use cases of wireless communication in industrial applications. One of the purposes is to illustrate the benefits of wireless applications, and the other is to mention technical requirements from an application viewpoint. All major requirements are included in the use cases of 5.2.

5.2.2 Use case 1 – Safety of workers around transporting machines

5.2.2.1 Description

This use case is related to transporting machines used in indoor assembling lines, e.g. in the manufacturing of automobiles or household electric appliances. These unmanned transporting machines are also known as AGV. Some unmanned transporting vehicles, which are controlled through wireless communications, carry parts and components and feed them to stations in the assembly line. The vehicles basically run on dedicated tracks, but in some places the tracks need to cross people's pathways. A safety interlock mechanism is required in these crossing areas in order to assure the safety of workers.

Light curtains, laser scanners or radar scanners ahead of a vehicle on the pathway detect the entering of persons in the crossing area. This event is reported to a safety logic solver, which recognizes the situation and decides to stop the vehicle which is approaching the crossing area. Wired connectivity to the vehicle is not practical because it moves on the track, so the communication between the logic solver and the vehicle is implemented using wireless communications.

5.2.2.2 Consequence of losing the function

If the communication of a request to stop a vehicle fails, the vehicle might enter the crossing area occupied by persons. As a result, the transporting vehicle may cause severe injuries to

personnel. The vehicle itself may be damaged. Moreover, any kind of accident affects the continuity of production line operations, with production losses.

5.2.2.3 Critical requirements

In cases where the communication system stops working, such condition should be detected and the vehicle shall suddenly stop, even if it has not received any request to stop from the logic solver.

One serious case of failure is the case where the error detection mechanism cannot detect the error which changed the content of a request. In this case, the vehicle might interpret the message as if no request to stop was received under healthy communication conditions, and this may cause an accident.

Mechanisms with a certain level of complexity and corresponding error detection capability such as cyclic redundancy check are usually employed in the safety-communication system to detect errors, but they are not sufficient by themselves. In order to meet the required safety levels, such as the SIL levels specified in IEC 61508, the bit error rate should be less than a certain level depending on the residual error rate of the error detection mechanism. Enough immunity against EMI is necessary for the communication system to keep the bit error rate below the acceptable level.

The communication delay is also important. If the reaction time from detection of an event by the light curtain to the stopping of the vehicle is shorter than the process safety time, which is the acceptable maximum delay of reaction for the target process, then an accident can happen.

5.2.3 Use case 2 – Level monitoring and alarming in a tank farm

5.2.3.1 Description

This use case is for a tank farm where several huge tanks are installed in an area of several square kilometers. These tanks may contain dangerous material such as combustible material and toxic material. Level monitoring and its related alarming are very important to prevent leakage of content.

A tank farm occupies a widespread area, so wiring is very costly especially when it is only for level monitoring.

Wireless communication circumvents the problems caused by the large electro-potential differences that can occur across communicating equipment during lightning events near or over a tank farm.

A wiring in tank farms to lower the electro-potential differences is not needed anymore if the communication is provided by wireless devices that do not need external power.

A wireless communication is very effective in such cases.

5.2.3.2 Consequence of losing the function

In cases where the monitoring and alarm functions do not work correctly because of communication errors, an overflowing of the tank content could happen.

Leakage of toxic content may affect the workers' health and it could also cause serious environmental issues. Overflow of combustible content could cause explosions or fire disasters. These accidents cause damage to manufacturing assets and loss of materials, with huge financial losses as a consequence.

Optimization of inventory is another important aspect of level monitoring. Since some materials stored in tanks are very expensive, minimizing such inventory saves production costs.

5.2.3.3 Critical requirements

In order to properly cover the area of a tank farm a long range radio is required. In some cases there are several metal structures between communication nodes, and this may cause attenuation and multi-path distortion. Therefore better propagation performance is required. Individual tanks may have a very large structure that can be an obstacle to the radio propagation. In these cases, where a line of sight to the location of the level sensors may not be feasible, it is possible to circumvent the obstacles using a mesh topology.

5.2.4 Use case 3 – Field worker support with mobile wireless equipment

5.2.4.1 Description

Field workers of the process industry cover wide areas of outdoor plant sites for the purpose of patrol or maintenance. These field workers need to reference standard operating procedures (SOP) documents in order to execute their task such as process operation and equipment maintenance. If they do not have intelligent communication means, they need to carry heavy binders of SOP. A maintenance person might need instruction manuals of equipment which include graphical information. Wireless communication systems are useful for these applications, because a wired connection is not practical for mobile field workers.

A person checking process conditions might need information about a DCS system, such as loop configurations and historical trend data, to recognize process conditions by measured values. To provide such information a wireless access to the DCS is used. In this case communication delays should be short enough to provide fresh data indicating the current process conditions.

Sometimes voice communication between field workers and engineers in the control room is useful. The engineer in the control room has easy access to a large amount of information and can advise field workers who have limited information. Even video information could be used to support field activities. Video data, which is captured by a field worker and is sent to the control room, can help engineers grasp the situation and provide directions.

In emergency situations, a wireless communication system contributes to the safety of field workers. Besides providing voice communication, a real time location system helps in recognizing the worker's location, movement and status.

5.2.4.2 Consequence of losing the function

In the cases where the wireless communication system fails, the efficiency of field work decreases tremendously and the safety of field workers can be seriously compromised.

5.2.4.3 Critical requirements

The wireless communication system should cover the whole area where the field workers may travel. In order to achieve the appropriate radio range, a mesh topology may be required.

The graphics, pictures, and streaming of voice and video demand substantial wireless communication bandwidth.

The wireless communication equipment which is carried by field workers should be light and with sufficient autonomy, therefore power consumption should be minimized to reduce the battery weight and to prolong the battery life.

5.2.5 Use case 4 – Vibration monitoring and analysis of rotating machines

5.2.5.1 Description

This use case is related to condition-based maintenance. Since the vibration pattern of most rotating machines changes with deterioration, the monitoring of vibrations can be used to determine the maintenance time for rotating machines. In some cases a wired connection to the vibration sensor is not practical because of its movement. In other cases there are so many points to be measured that wiring is not acceptable in terms of cost. A wireless communication system can be used to resolve these issues.

5.2.5.2 Consequence of losing the function

If condition monitoring through wireless communications is not available, the maintenance work is compelled to be based on an estimated time schedule. This typically means that the frequency of maintenance is increased while the risk of unexpected shutdowns due to undetected equipment degradation is also increased.

5.2.5.3 Critical requirements

The data size of vibration patterns is usually relatively large. In some cases real-time monitoring is needed to provide alarming. Therefore, substantial bandwidth and real-time performance are required.

5.2.6 Use case 5 – Oil wellhead monitoring and control

5.2.6.1 Description

This use case is related to oil wellheads which are scattered in wide oil fields. The pressure and the flow rate of crude oil spouting change depending on the condition of the oil field. In order to control the total production volume of oil from several wellheads, valves installed at each wellhead should be adjusted according to the condition indicated by flow rate, pressure and temperature.

Oil wellheads are usually scattered and unmanned. Visiting every wellhead to check its condition and to adjust it is time consuming and inefficient. The installation of a wired communication system is not practical because wellheads are scattered in a large area. Therefore, a wireless communication system can be an effective solution. The condition of each wellhead can be monitored remotely. Even the adjustment of valves can be performed remotely. Therefore, the frequency of physically visiting a wellhead can be greatly reduced.

5.2.6.2 Consequence of losing the function

If the wireless communication is not available, the frequency of wellhead visits increases and the optimization of production rates cannot be achieved.

5.2.6.3 Critical requirements

Enough radio range is required to connect to distant wellheads. Usually a line of sight is possible but disrupting climatic conditions should be taken into account.

Since wellheads are located in far and unmanned places, the frequency of visits to replace batteries for wireless equipment shall be kept to a minimum. Therefore, the power consumption of the wireless system shall be minimized.

Appropriate security measures shall be in place because the wireless network spreads into an open and wide area and malicious persons can easily obtain physical access to the network.

5.2.7 Use case 6 – Some applications for factory automation, with a large number of nodes

5.2.7.1 Description

This use case is a generic application in indoor manufacturing such as for automobiles or for household electric appliances. Usually the set-up of a manufacturing production line changes more frequently compared to a set-up in the process industry. The refurbishment of the communication system of a production line is much less when the communication system is based on a wireless technology instead of a wire technology.

5.2.7.2 Consequence of losing the function

If the function of a wireless communication system is lost, critical parts of the production line (e.g., robot work cell) cannot continue to operate.

5.2.7.3 Critical requirements

The density of wireless components in a manufacturing shop floor is usually very high, with many wireless applications overcrowding the same area. In addition, the wireless traffic is much higher in the manufacturing than in the process industry. Therefore, the coexistence of multiple wireless communication systems is crucial. It is highly recommended to establish a coexistence management according to IEC 62657-2, a CCP or adequate mechanism to achieve and maintain coexistence.

5.3 Wireless communication network requirements

5.3.1 Timing and real-time

5.3.1.1 Common requirements

All the systems involved in industrial automation pose some constraints regarding the response time, i.e. the time between the presentation of a set of inputs (stimulus) and the presentation of the required behavior (response), including the availability of all associated outputs. Obviously, how fast the response time has to be depends on the characteristics of the controlled plant.

In regulation tasks, delays appear as dead times, which additionally may be affected by jitter (variable delay). In sequential tasks, delays slow down plant operation, possibly beyond what the plant may tolerate. Clearly, the delay and jitter due to the wireless network shall be less than the value that affects the required system response time. In addition, time synchronization among wireless devices is also required. Time synchronization prevents mutual disturbance of the communications and the use of timestamps added to the transmitted data allows the time behavior of a station to be decoupled from the communication delay and jitter. Time synchronization can be achieved by allocating transmission slots to stations and making them all follow a time-driven message transmission schedule. Implemented this way, time synchronization is beneficial to avoid collisions, to have a correct response time and a better bandwidth utilization.

If industrial applications require results in a bounded time then the industrial automation system shall be a deterministic or real-time system. Consequently, a communication system used in this industrial automation system shall provide the required data transfer in bounded time including repetitions needed to correct transmission errors.

5.3.1.2 Wireless real-time requirements

5.3.1.2.1 Basic principles of performance indicators

A wireless real-time (WRT) communication network is a wireless communication network that performs real-time communication.

Users of WRT communication networks have different requirements for different applications. In order to satisfy these requirements in an optimal way WRT communication networks will exhibit different performance.

Performance indicators (specified in 5.3.1.2.3) can be used to specify the capabilities of a WRT end device and a WRT communication network as well as to specify the requirements of an application. Performance indicators can be used as a set of interaction means between the user of the WRT device and the manufacturer of the WRT device and network components. Subclause 5.3.1.2.2 specifies the application requirements.

Performance indicators represent

- a) the capabilities of a WRT end device,
- b) the capabilities of a WRT communication network, and
- c) the requirements of an application.

A consistent set of performance indicators (specified in 5.3.1.2.3) is used to represent the WRT capabilities. Some of the performance indicators are interdependent; in this case some indicator values depend on the value of others to provide a consistent set.

NOTE 1 The interdependence is due to physical or logical constraints, which cannot be violated. For example the indicators "WRT-Throughput" (which would use 90 % of the total bandwidth) and "Throughput non-WRT" (90 %) cannot happen at the same time because that would describe a transmission load of 180 %.

No general boundary values to specify WRT performance are specified for the indicators in this document, but device suppliers need to specify boundary values for a specific product if they claim to be compliant to this document.

Technology specific devices shall specify

- a) the selection of performance indicators out of possible performance indicators defined in 5.3.1.2.3 relevant to a given device, optionally with their individual limits or ranges,
- b) the interdependence between performance indicators,
- c) optionally, lists with consistent performance indicator values.

Each of the lists has one or more leading performance indicators. The leading performance indicators are preset to a fixed value (typically optimized to have the best overall performance). The other performance indicators in the list are shown with their related consistency limits,

- d) optionally, a more comprehensive representation of the relation between performance indicators (Figure 4 shows an example of a graphical representation).

If WRT end devices and WRT communication networks have at least one consistent set of performance indicators then this set can be used for a proper design according to the application requirements.

NOTE 2 A set of lists with consistent performance indicators is only given when interdependence between performance indicators exists.

NOTE 3 Applications can have requirements where one particular indicator has higher importance than all the others. Such applications will find useful the opportunity to select the consistent indicator list with the relevant leading indicator. Other applications can have requirements where several indicators are of equally high importance. For such applications, a graphical or otherwise more comprehensive representation of the relation between consistent indicators is more appropriate. Figure 4 is an example of a graphical representation of consistent indicators given by a device.

NOTE 4 WRT end devices are designed under the discretion of the manufacturer of such a device. Therefore no assumption could be made on how many WRT end-stations (network interfaces) are built in one device. In order to achieve comparable performance indicators from the application perspective the performance indicators are built on WRT end-stations, not on WRT devices.

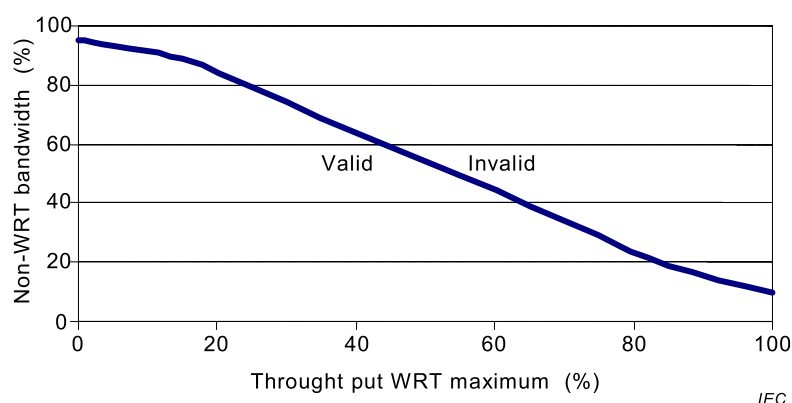


Figure 4 – Example of graphical representation of consistent indicators

5.3.1.2.2 Application requirements

The capabilities of a WRT communication network are specified in 5.3.1.2.3 as indicators. The indicators are used to match application requirements to the capabilities of components compliant to one or more devices.

The definition of performance indicators is based on a general model of wireless industrial communication (see Figure 5). It assumes that an automation application contains distributed automation functions which exchange their data wirelessly. This means wireless communication functions are used for data transmission.

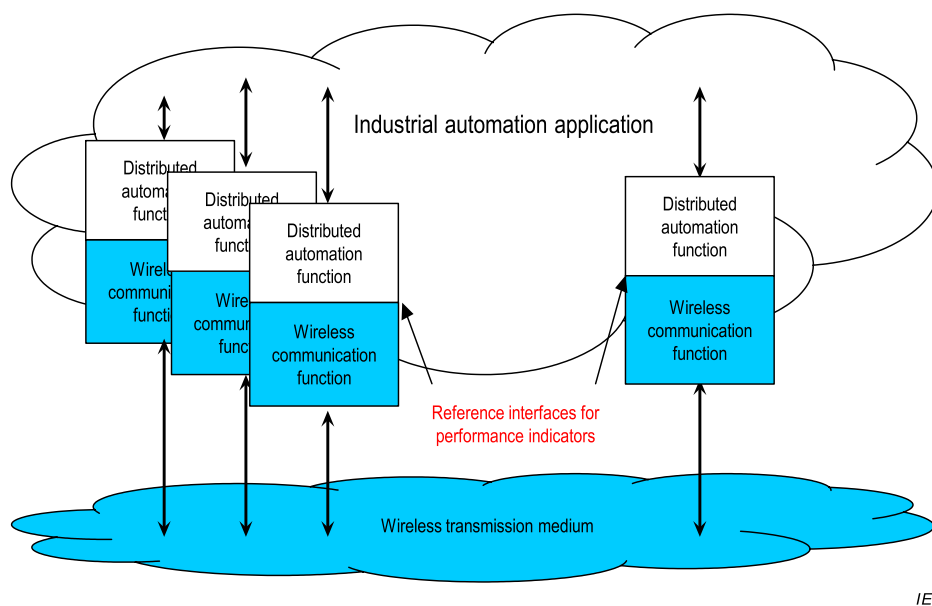
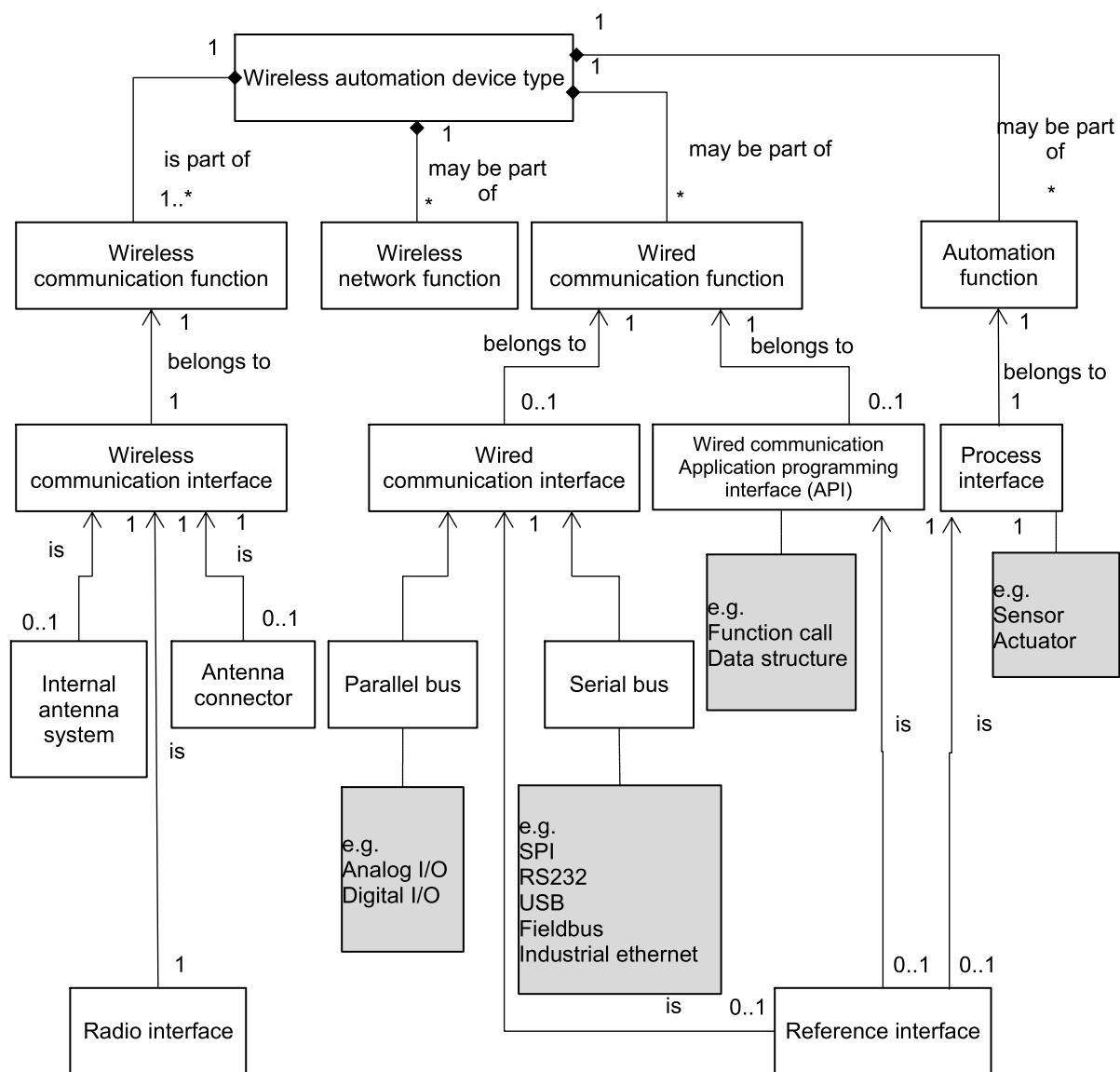


Figure 5 – General system model for defining application communication performance requirements

The key prerequisite in this context is that the wireless communication system has to meet the performance requirements of the application. Points of reference for a quantitative assessment of this demand are the interfaces between automation function and communication function. The required performance indicator values with respect to such so called reference interfaces shall be met by the characteristic parameter values of the wireless communication system. The variety of wireless communication systems and device implementations is the reason that no unique reference interface can be specified. However, with the help of a wireless automation device model shown in Figure 6 a virtual reference interface can be defined.



IEC

Figure 6 – Wireless automation device model for defining application communication performance requirements

Depending on the automation application the request for user data transmission or the event of successful reception is transferred via a wired communication interface (e.g. fieldbus), via an application programming interface (e.g. a buffer or FIFO) or via a process interface (e.g. a digital input). That way the start event and the stop event of performance indicator measurements can be specified.

Examples of wireless communication devices with different reference interfaces are shown in Figure 7 and Figure 8.

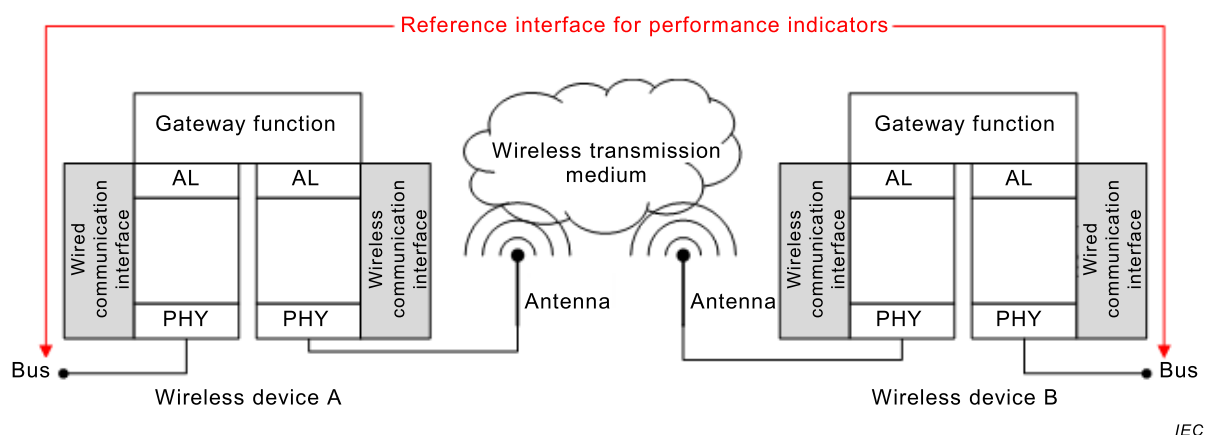


Figure 7 – Communication link with wireless automation devices with fieldbus interfaces

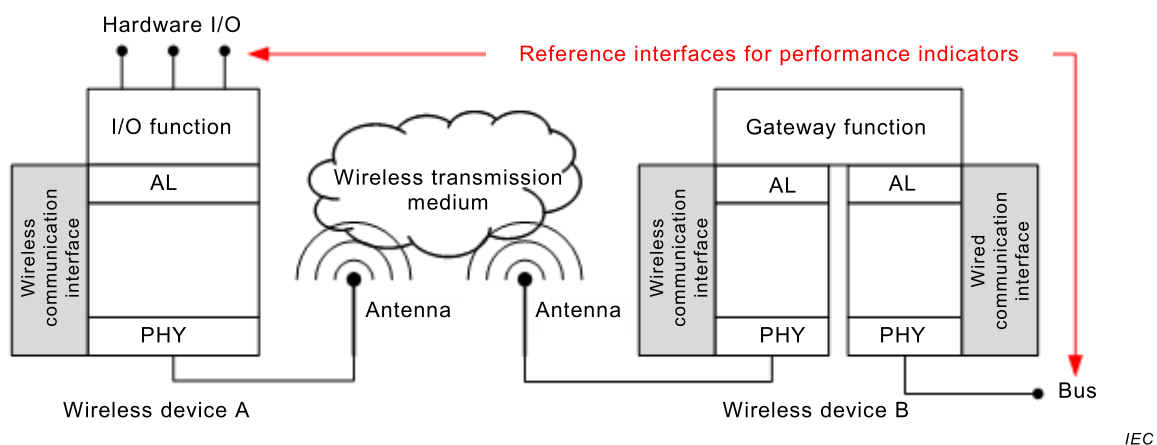


Figure 8 – Communication link with a wireless automation device with I/O process interface and a wireless automation device with fieldbus interfaces

It has to be taken into account that values of characteristic parameters are distributed in a certain range. This is because of software processes, busy resources (e.g. buffer or wireless transmission medium), and disturbances. Thus, statistical parameters shall be used to characterize the performance of wireless communications systems. Which statistical parameters are suitable depends on the characteristic parameter and are specified in 5.3.2 to 5.3.9.

In order to compare requested performance indicator values with provided characteristic parameter values of a wireless communication system, relevant conditions shall be considered. This applies to the extent of communication requests, wireless communication device and system configuration, and environmental conditions. Parameters that can be used to specify those conditions are explained in IEC 62657-2:—, Clause 5.

NOTE A standardized method for the assessment of wireless communication systems is the subject of ongoing research activities. This concerns in particular the specification of application profiles using the parameters of IEC 62657-2:—, Clause 5.

Performance indicators can be determined in a unified way for most important well specified application conditions.

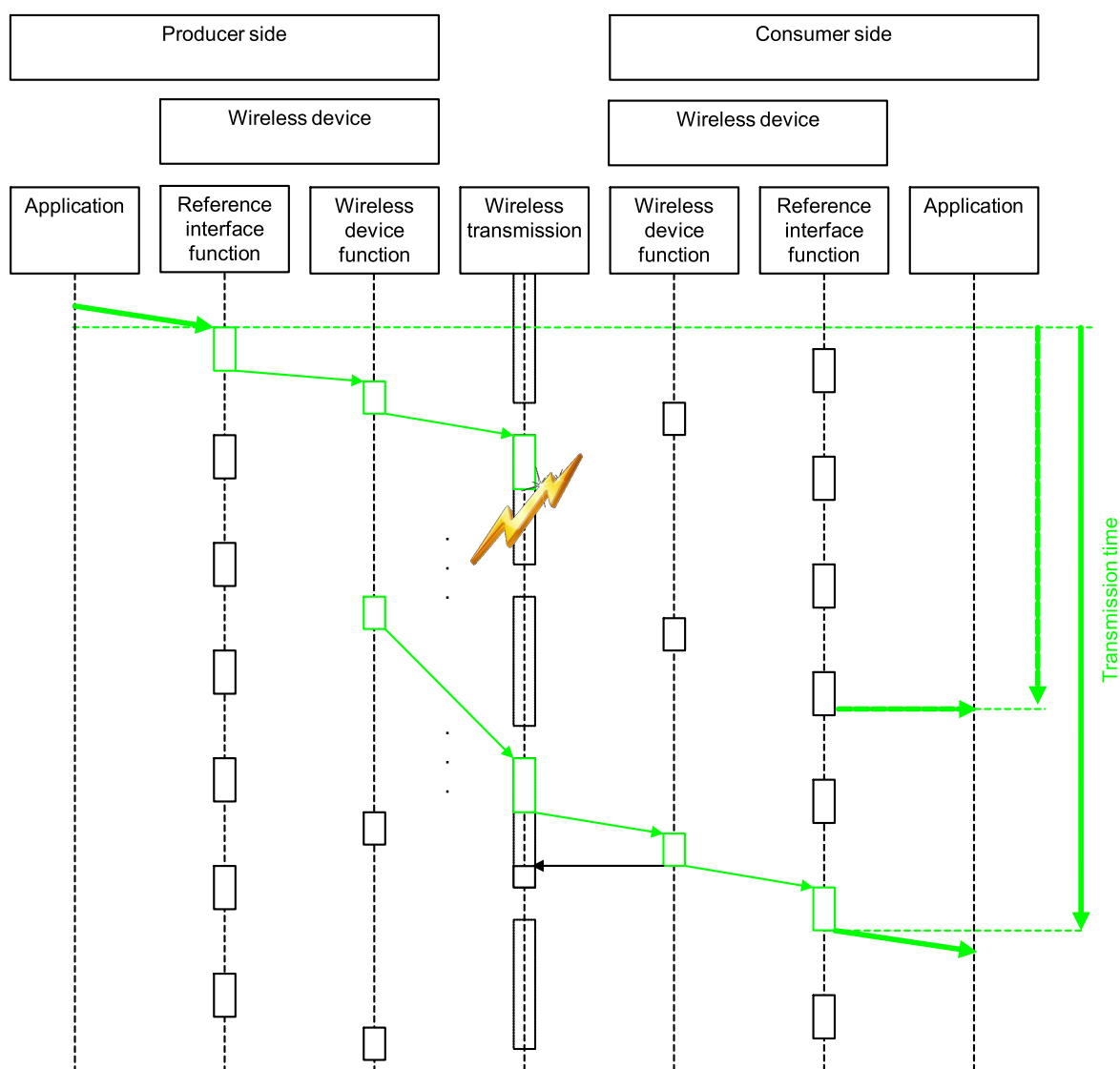
Characteristic parameters allow not only to assess a WRT communication network with respect to the real-time performance but also the coexistence capability. Therefore, the following characteristic parameters are also defined in IEC 62657-2:

- transmission time, according to IEC 62657-2:—, 5.52;
- update time, according to IEC 62657-2:—, 5.56;
- data throughput, according to IEC 62657-2:—, 5.13.

5.3.1.2.3 Performance indicators

5.3.1.2.3.1 Transmission time

The transmission time is the interval from a start event at the relevant reference interface of a producer until a stop event of the same transmission at the reference interface of a consumer (see Figure 9). Depending on the type of reference interface the start event can be the transfer of the first bit of user data, the first byte or a trigger event at a process interface. Respectively, the stop event can be the last bit of user data, the last byte or a trigger event of a process interface.



IEC

Figure 9 – Time fragments of transmission time

The transmission time is composed of following time fragments:

- latency of reference interface functions at producer side and consumer side;

- waiting time and latency of wireless device functions at producer side and consumer side;
- medium access control delay;
- wireless data transfer time;
- retransmission method.

The values of these time fragments depend on implementation, configuration, wireless technology and environmental conditions, which are most likely different for each transmission of user data.

The transmission time shall be characterized by mode value and percentile p95 value of a measurement sample. Optionally, the minimum value and the maximum value of the same sample can be added.

An example of a typical distribution of transmission time values of a measurement sample is shown in Figure 10.

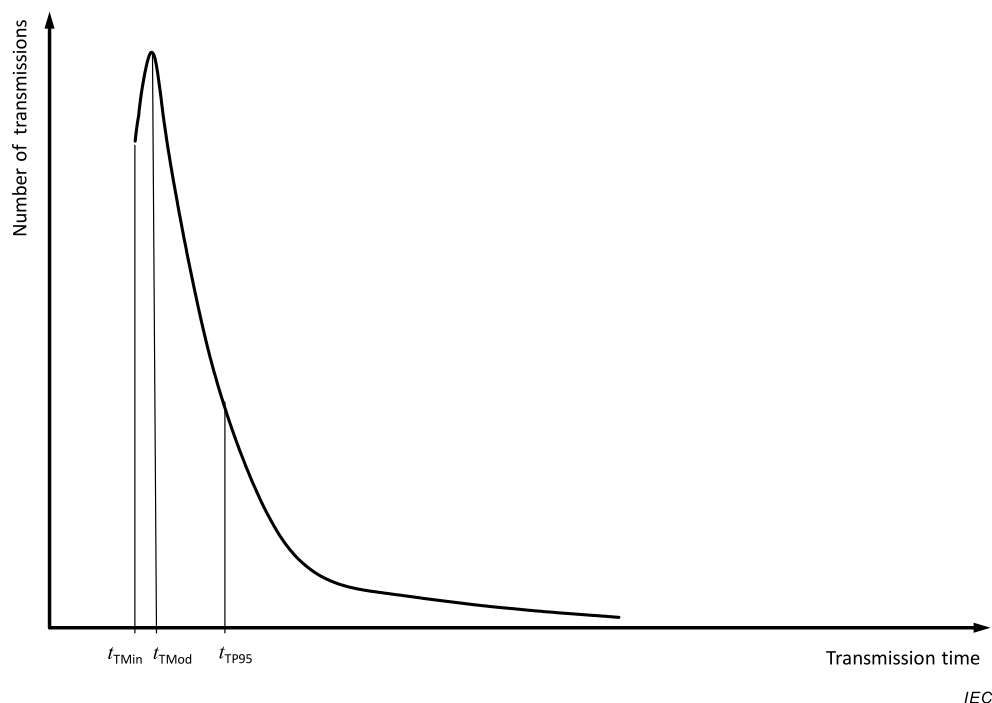


Figure 10 – Example of the density functions of transmission time

The transmission time is especially relevant for applications with event driven communication request.

5.3.1.2.3.2 Update time

The update time is the interval from a start event at the reference interface of a consumer until a following stop event at the same reference interface. Depending on the type of reference interface the start event can be the transfer of the last bit of user data, the last byte or a trigger event at the process interface of a consumer. The stop event can be the last bit of user data, the last byte or a trigger event of a process interface that can be referred to the following successful transmission of the same producer. Figure 11 shows the time fragments that build the update time.

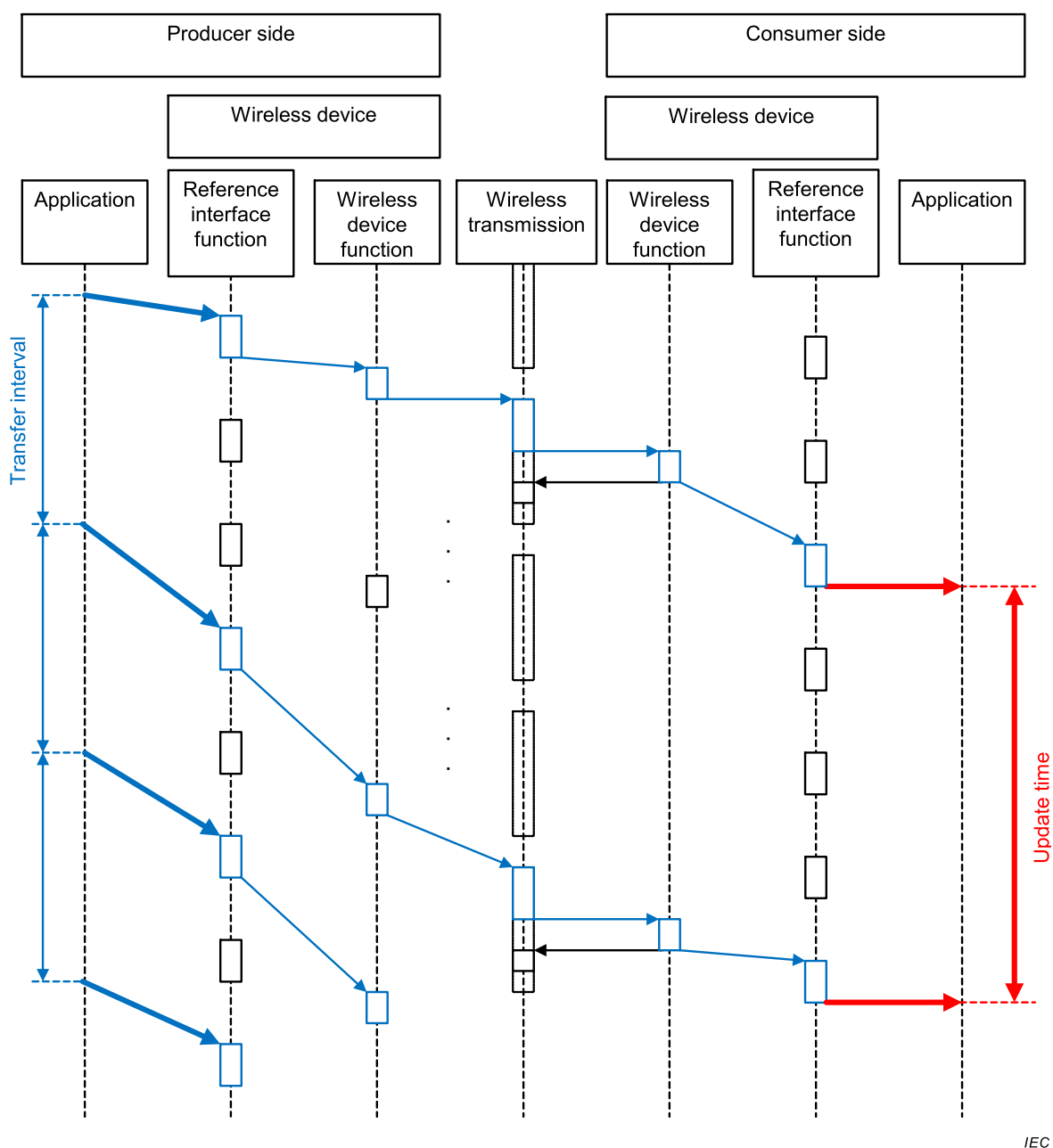


Figure 11 – Time fragments of update time

In addition to the time fragments of the transmission time, the transfer interval determines the update time value.

The update time shall be characterized by the mean value and the standard deviation value of a measurement sample. Optionally the minimum value and the maximum value or span value of the same sample can be added.

An example of a typical distribution of update time values of a measurement sample is shown in Figure 12.

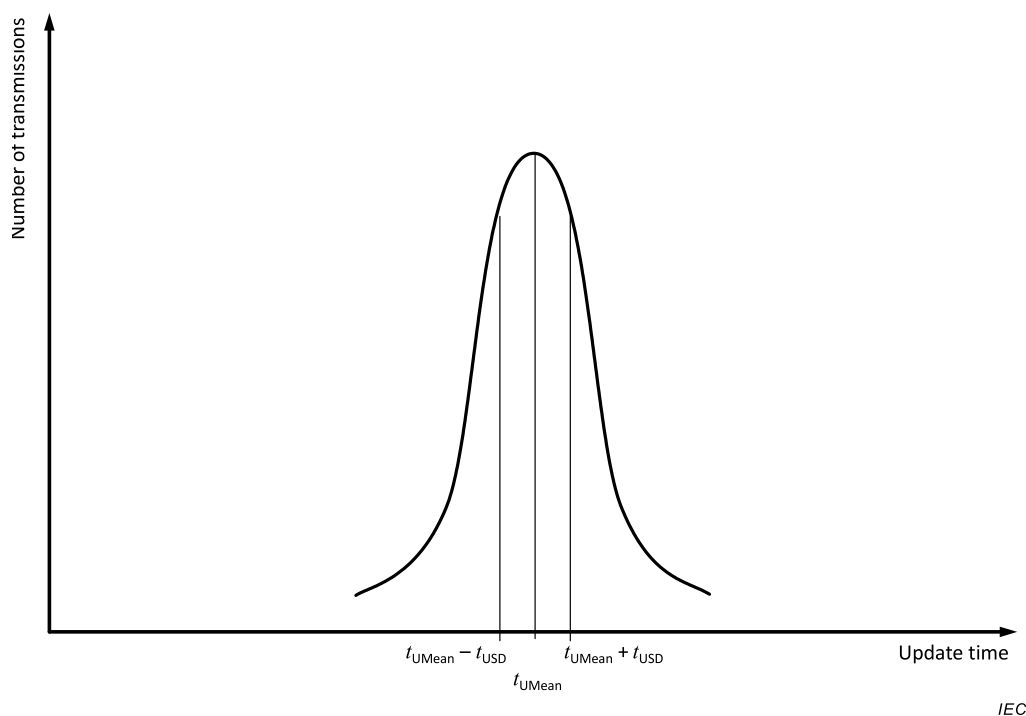


Figure 12 – Example of the density functions of update time

The update time is especially relevant for applications with cyclic communication requests as in control applications.

5.3.1.2.3.3 WRT-Throughput

WRT-Throughput shall represent the total amount of application layer protocol data unit data (by octet length) on one link per second.

5.3.1.2.3.4 Non-WRT bandwidth

The non-WRT bandwidth shall represent the percentage of bandwidth which can be used for non-WRT communication on one link. Additionally the total link bandwidth shall be specified.

NOTE The indicators WRT-Throughput and non-WRT bandwidth are related to each other.

5.3.1.2.3.5 Time synchronization accuracy

Time synchronization accuracy shall represent the maximum deviation between any two successive node clocks.

5.3.1.2.3.6 Non-time-based synchronization accuracy

The non-time-based synchronization accuracy shall represent the maximum jitter of the periodic updates at the reference interface of a consumer using triggering by periodic events at the reference interface of the producer to establish cyclic behavior.

NOTE This factor accounts for coherency of data or actions triggered by the event, and it is a measure of the coherency spread.

5.3.1.2.3.7 Redundancy recovery time

Redundancy recovery time shall represent the maximum time for an item (for example a wireless device, an access point, a gateway) to recover from failure and become fully operational again in case of a single permanent failure.

NOTE If a permanent failure occurs, the latency of a message is the redundancy recovery time.

5.3.1.2.3.8 Availability

Availability A is a measure of the ability to fulfil a required functionality during a specified time interval. Applied to the function of a wireless communication system, availability is the ratio of the time interval of error free transmission (uptime, t_U) to an observation time t_O . Assuming constant user data length, the availability can also be calculated by the ratio of the number of transmitted user packets N_{TX} to the number of error free received user packets N_{RX} .

The availability is the reciprocal of the packet loss rate (PLR).

$$A = \frac{t_U}{t_O} = \frac{N_{RX}}{N_{TX}} \quad (1)$$

where

- A is the availability;
- t_U is the uptime;
- t_O is the observation time;
- N_{RX} is the number of error free received user packets;
- N_{TX} is the number of transmitted user packets.

$$A = \frac{1}{PLR} = \frac{N_{TX}}{N_{TX} - N_{RX}} \quad (2)$$

where

- A is the availability;
- PLR is the packet loss rate;
- N_{RX} is the number of error free received user packets;
- N_{TX} is the number of transmitted user packets.

A packet is considered to be lost if user data that has been transferred at the reference interface of a producer is not transferred at the application interface of the consumer. In addition, the packet is considered as lost if the transmission time exceeds a limit, specified by the application. If the packet sequence is corrupted, the late package is also considered as lost even if the time limit is met.

A partial availability $a(t)$ is calculated if the observation time t_O is less than a certain measurement interval t_M . This is of importance when accumulated packet losses or timely limited break-downs of the availability shall be detected and analysed. These effects are hidden when the availability is calculated only over a measurement interval which is normally very large in comparison to the transmission time in order to get significant results for statistical analysis.

$$a(t) = \frac{\Delta N_{RX}}{\Delta N_{TX}} \quad (3)$$

where

- $a(t)$ is the partial availability;
- N_{RX} is the partial number of error free received user packets;
- N_{TX} is the partial number of transmitted user packets.

5.3.1.3 Process automation requirements

The most critical requirements are in the field of control, where the time constants are in the range of 100 ms to some seconds. On the other hand, as stated in 5.1.4.3, applications within the field of the monitoring and diagnostics of heating, cooling, mixing, stirring and pumping procedures usually have longer time constants, in the range of seconds to minutes. Consequently the requirements about the update time (see IEC 62657-2:—, 5.56) of the wireless network are on the same order of magnitude. In particular, relatively long update times allow the use of message retries to increase robustness and allow the implementation of fully interconnected (mesh) network topology. With regard to time synchronization, accuracy in the order of one millisecond is needed to apply low power consumption strategies based on time division medium access.

5.3.1.4 Factory automation requirements

In factory automation, discrete, stepwise manufacturing dominates (for example, assembling a product from many different parts). Factory automation production lines have cycle times which may vary from 1 s (one product produced and tested per second) to 1 min. In addition, these applications are characterized by a high node density, with an average density requirement of more than one wireless device per m³. Typically most of the I/O signals are digital and the events are typically separated in time (asynchronous) and individually relevant, resulting in a large number of telegrams, with a worst case equal to two times the number of I/O per production cycle. This means that thousands of packets may be exchanged across the network each second. For this reason, the requirements of network response time for factory automation are much more stringent than those of process automation. In particular, such a short response time is usually met by adopting star topologies and a high data rate. Regarding time synchronization, accuracy in the order of a few microseconds may be needed to satisfy low jitter requirements.

5.3.1.5 Cross-plant requirements

Cross-plant data transfers are mainly used for supply chain management and production scheduling purposes and are based on aggregation of data coming from a lower plant level. For this reason, timing requirements (latency, synchronization accuracy) are less stringent than those for the plant-wide layer, in the order of tens of seconds or more.

5.3.1.6 Plant-wide requirements

Plant-wide data transfers are mainly intended for performance analysis and maintenance purposes; they are based on aggregation of data coming from a lower plant level. For this reason, timing requirements (latency, synchronization accuracy) are less stringent than those for the sensor/actuator level (see Figure 3), in the order of seconds. An exception is wireless communication to or between mobile participants (e.g. automated guided vehicle systems), whose requirements are comparable with those at the sensor/actuator level.

5.3.1.7 Sensor/actuator requirements

Control loops are implemented at the sensor/actuator level; for this reason time latency is a crucial parameter at this level.

The timing requirements (latency, synchronization accuracy) can be very stringent; in factory automation requirements in the order of a few milliseconds are typical, with a jitter in the order of a few microseconds.

5.3.2 Bandwidth and bit rate

5.3.2.1 Common requirements

In order to understand bandwidth and bit rate requirements it is useful to define the data delivery model (i.e. traffic characteristics) of a wireless communication system used in industrial automation. Generally, two different data delivery models are used:

- Cyclic (periodic or time triggered) data. Here the data coming from or going to the field has a cyclic behavior, thus showing well defined bandwidth requirements, both deterministic and predictable. In addition, cyclic data freshness is an important parameter, since newer data make obsolete the old data, i.e. the time to live is short. This model is often used for control, where the data regarding the control input quantities is acquired periodically all at the same time and then dispatched before the next step.
- Acyclic (aperiodic or event triggered) data. This kind of traffic, which spans over all the plant levels, is usually generated by unexpected events, such as for example alarms. Typically there may be bursts of events; this fact requires the use of a priority service in order to allow as soon as possible the solution of the most critical events. Clearly, there is a strict relationship among the bandwidth available to the user, the actual bit rate and the timing performance of the wireless communication solution.

To solve a large part of the industrial automation applications it is required to get a worldwide available dedicated spectrum with at least 76 MHz bandwidth, but this spectrum need not be contiguous. This amount of spectrum is based on the assumption of a typical number of devices per plant and a typical data traffic. The assumptions and the evaluation of the required amount of bandwidth are given in ETSI TR 102 889-2. The scale of the network is shown in 5.3.3.

The typical data traffic for cyclic and acyclic transmission of data and alarms can for example be combined in one channel out of several channels in this 76 MHz band.

The desired spectrum of 76 MHz bandwidth shall be available above 1,4 GHz in order to reduce the impact of non-intentional radiators such as arc welding machines, to allow for large area covering, and to guarantee low cost and multi-vendor radio availability. Multiple (in the order of ten) channels shall be available to ensure robustness to interferences and coexistence with other co-located wireless communication solutions. The actual number of available channels depends not only on the bit rate but also on the spreading/modulation technique. For example, frequency hopping systems are based on a high number of narrowband channels, while direct sequence spreading techniques are based on a few wideband channels.

5.3.2.2 Process automation requirements

Wireless stations employed in process automation usually exchange a few bytes per data (consider that the value of each quantity may be represented by a 4-byte floating point number) with a relatively long cycle time (maybe on the order of seconds or slower). In fact, most of the signal processing is performed at the sensor level and only useful information is sent via the wireless channel. For this reason, bandwidth requirements for process automation are less severe than those for factory automation. Usually a bit rate of hundreds of kilobits per second is sufficient, resulting in a required frequency range in the order of at least 34 MHz according to ETSI TR 102 889-2:2011, Table 1.

5.3.2.3 Factory automation requirements

Most of the wireless devices used in factory automation are digital I/O points, thus exchanging a very few bytes per transaction. However, the node density can be very high and the cycle time very short, thus requiring a high user bandwidth. In particular, a short cycle time on the order of a few milliseconds limits the available time “over the air”, requiring a raw bit rate of no less than 1 Mbit/s. For this reason, the available bandwidth shall be at least 42 MHz according to ETSI TR 102 889-2:2011, Table 1.

5.3.3 Radio propagation conditions, geographic coverage and scale of the network

Propagation conditions influence the robustness of a wireless communication system as well as the interference of other wireless communication systems. They depend on the frequency used, the dimensions and characteristics of the operation area, natural environmental conditions and intervisibility. The latter considers LOS, NLOS and OLOS between two wireless devices.

A spatial separation is rarely possible in the case of wireless application. Radio propagation can only be restricted spatially with great efforts. Structural conditions (for example massive reinforced concrete walls) and the reduction of the radiated power (by adjusting the output power of the radio transmitter and the choice of the antenna radiation pattern) can be used for spatial separation. If the power is reduced, the power of all related radio components (base stations, repeaters, end devices, etc.) should be adjusted accordingly.

If the transceivers have multiple antennas then it would be possible to utilize spatial processing, such as interference rejection techniques, to separate simultaneous transmissions in space.

Three application classes can be logically identified in a plant:

- cell (or subunit) automation;
- factory hall (or plant subunit) automation;
- plant level wide automation.

The cell automation is a part of a production line in an automotive plant or a discrete manufacturing plant or a subunit in a process automation plant (for example, a reactor with a local control to which sensors and actuators are connected). Typically, cell automation requires lower range communications (for example, a 10 m to 30 m range) but is more demanding for latency and robustness, and the cell is capable of living with fast movements, integrated antennas and many obstacles (nearly complete shielding). One such cell has one wireless system with an average of 30 devices. Up to 10 such cells can be in close proximity, so that their interference area overlaps.

The factory hall automation contains a whole production line or moving applications (for example, moving through a factory hall in discrete manufacturing, such as automated guided vehicles, overhead conveyor system based automation), or a whole production unit in process automation (for example, a chemical reactor).

A factory hall (or plant subunit) has the following characteristics.

- It covers a larger area (e.g. 100 m × 100 m). This is solved by an industrial WLAN or a mesh type technology (TDMA schemes used) to safely cover a larger area.
- It uses systems composed of an average of 100 devices and still requires low latencies:
 - up to five such independent systems can be within range of each other (are within "interference" range);
 - the area related local device density at 150 m interference range therefore is approximately $(5 \times 100 \text{ devices}) / (150 \text{ m} \times 150 \text{ m})$ or 0,022 devices per m² at 100 m interference range.

The plant level wide automation covers areas of variable size, up to the whole plant, typically with an industrial mesh technology that has the following characteristics.

- It could cover large areas such as 1 km × 1 km and typically is implemented with a mesh technology to increase robustness against typical industrial influences (moving obstacles, interference/coexistence).
- One such mesh system can have up to 1 000 connected devices, where each device only covers a smaller range (e.g. 100 m) and consequently the mesh covers all the area, without using excessive power.
- There may be up to five independent such mesh networks operating in parallel in the whole plant.
- Each mesh network uses a maximum of 50 devices and the devices of the different mesh networks can be in range of each other (are within "interference" range).

- The area related local device density at 100 m interference range therefore is approximately $(5 \times 50 \text{ devices}) / (100 \text{ m} \times 100 \text{ m})$ or 0,025 devices per m^2 at 100 m interference range.

Mesh networks operating in parallel use overlapping, preferably in the same frequency band, to get maximal flexibility of coexistence management, to increase spectrum efficiency and to have the same needed spectrum properties such as industrial-interference-free, power efficiency (range) and compensation for damping by obstacles.

All of these three application classes are operated in parallel (partially or completely overlapping interference area), and often by different operators and connected to different control systems.

It shall be possible to switch on and off each of the many wireless systems and to vary the number of connected active devices and data amount transferred, depending on the needs of the many different production cells/subunits/lines in order to maximize individually production, quality and safety, and to do service, troubleshooting and installation work on the production units.

5.3.4 Power consumption

5.3.4.1 Common requirements

Industrial networks typically require uninterrupted service, especially for the control applications. In this case, on the wired network section, alternative paths shall be provided through redundant network design. As a result, these networks are designed with redundancy for fault-tolerance as the basic requirement. Unfortunately, this fact has a negative impact on energy consumption as the redundant network consumes energy even if it is on stand-by mode.

Possible solutions are the shutdown approach (i.e. to put components to sleep), the slowdown approach (i.e. adaptation of the transmitting rate to the real needs), and the coordination approach (i.e. network-wide management and global solutions for energy efficiency).

On the wireless sections, the need for uninterrupted service introduces further requirements. First, more access points (APs) are needed to enforce full network coverage and suitable approaches shall be taken to maximize the network lifetime, i.e. the time of the first node failure. This is a commonly used measure that reflects the fact that in a wireless network the failure of a single node can determine network partitioning and interrupt any further service. Wherever network nodes are battery operated, there is a potential for network partitioning due to one or more nodes with a shortage of battery supply. As a result, in all industrial automation networks including battery-operated nodes, any means to reduce the nodes' power consumption shall be taken.

Generally speaking, process automation applications are less demanding, while factory automation applications are more demanding just because of the typical traffic of the relevant applications.

In addition, even if the target of the energy efficiency requires a significant reduction of the power consumption in all parts of a plant, cross-plant and plant-wide applications are less critical because they are usually mains powered.

The most critical situations are at the sensor/actuator level, especially where only battery operated solutions are feasible.

5.3.4.2 Sensor/actuator requirements

Typically, sensor/actuator networks made up of battery-operated nodes feature a major need for protocols able to optimize power consumption, so as to prolong the lifetime of the nodes and thus that of the network as a whole, while also meeting end-to-end delay requirements. The requirement on power consumption often clashes with the need for real-time support, which comes out as these networks may be used for control and monitoring applications. This results in a real-time traffic with a compromise between delay constraints and power consumption.

Low-power processors and very small memories are typically used for nodes in sensor/actuator networks. This, however, does not solve the problem, as the amount of energy consumed by the communications in these networks may be significantly higher than that required for processing.

This fact implies a tradeoff among the frequency spectrum used for the wireless transmission, the transmission range and the power consumption. In particular, the lower the frequency range, the longer the covered distance in a single hop with the same transmission power. Furthermore, if the application allows for a multi-hop network, the distance can be covered by a series of low power transmissions, making this approach more energy efficient compared to a single hop network.

5.3.5 Electromagnetic compatibility (EMC)

5.3.5.1 General

Many kinds of electrical equipment and radio equipment are installed, and sources of radio frequency wave are increasing all over the plant or factory. In plants and factories, cases in which several electrical equipment and radio equipment coexist side by side are increasing.

EMC includes electromagnetic interference (EMI) and electromagnetic susceptibility (EMS). The effects of EMS shall be examined.

5.3.5.2 Common requirements

It is necessary for the equipment to keep normal performance under some specific electromagnetic environment.

For example, an arc welding machine and a wire electric discharge machine are used for fusion joining metals, or an arc furnace is used for dissolving manufactured steel or speciality steel.

Interference from a welding machine may stem from both conduction emissions and radiated emissions. The wireless system needs to give special consideration to the interfering emission wave. A welding machine is often used for temporary building construction work, and it may cause non-reproducible failure.

It is well known that a microwave oven affects wireless LAN system in the home environment. Similar disturbances can be observed when microwave machines are used, for example, in the sterilization process in a food processing plant.

Before using a wireless system it is necessary to conduct a site survey in order to identify whether there are noise sources. Then, if noise sources are identified, the following actions shall be taken into account during the design of the wireless system and its configuration:

- design of wireless network and locations for wireless equipment;
- selection of radio frequency and its power;
- installation of shields for the identified noise sources.

These actions shall be part of the coexistence management according to IEC 62657-2.

5.3.6 Functional safety

5.3.6.1 Common requirements

The common requirements describe the very strict requirements for the field, i.e. at the plant level “sensor/actuator”. Signals for functional safety of machines and systems are being transmitted more and more over networks. Functionally safe communication can be implemented not only over networks using cables, but also over wireless paths. This allows one to extend the communication to mobile parts and thus solve important issues such as the one described in the use case in 5.2.2. For example, functionally safe communication can be established between the central system controller and a safety input/output module on a mobile transport system. The implementation of a functional safety communication is usually based on the use of a safety transmission protocol whose safety mechanisms are independent of the transmission physics. Functional safety communication profiles (FSCPs) for fieldbuses are specified in IEC 61784-3.

Any wireless network is susceptible to interference and less than 100 % reliable even if it uses a harmonized or exclusively-licensed band. Suitable measures shall be part of the equipment to prevent accidents caused by the failure of a wireless link.

5.3.6.2 Additional requirements for specific applications

The issue here is that for each specific application the safety communications shall not be executed with delays beyond the time limits that are specified for that application. Beyond those time limits, the lack of information would result in a serious safety problem for the personnel and the machinery, or would result in a safe state, which means the loss of normal operation.

For process applications, these time limits may generally be in the range from 100 ms to several seconds over a large area. For factory automation, these time limits may generally be in the range of milliseconds over a small area.

As clarified for the use cases described in 5.2, a compromise here is not acceptable: not fulfilling the functional safety requirements may result in loss of production, and above all in physical harm to people or loss of human life.

5.3.7 Intrinsic safety

5.3.7.1 General

Some industrial process automation plants and factories use explosive gas, vapour or dust as materials or produce them in their manufacturing process. Particularly, in a field of a tank farm, oil and gas well-head or crushing plant, explosive gas, vapour or dust atmospheres are or may be present in quantities sufficient to produce explosive atmospheres. Therefore, only electrical equipment which is designed with a suitable type of explosion protection shall be installed in such applications.

In case that explosion incident should happen in such plants or factories, fire and explosion would break out, and then the incident would turn into a significant accident, and it could cause loss of human life at worst.

If the atmosphere in an area where electrical and instrumentation equipment are installed may cause an explosion, which means that explosive atmospheres are or may be present, this electrical equipment shall be constructed with special technical methods so that any failures in the equipment shall not become ignition sources and trigger any explosions of the explosive atmospheres.

Although current regulation of explosion proof and certification of equipment which is intended for use in places with an explosive atmosphere depends on authorities of each country or region and their laws, the basic concept and technical requirements are based on the IEC 60079 series, ISO/IEC 80079-34 [31] and related International Standards. Moreover, an internationally recognized certification system is very important and beneficial for most manufacturers, suppliers and end users. So IECEx proposes a system for certification to standards relating to equipment for use in explosive atmospheres. It has emerged to become an essential compliance assessment tool for the global industry and thus encourages mutual recognition of the certification procedure.

On the other hand, area classification for hazardous location is defined, but it is a little different among countries. The area that is filled with explosive gas or vapour atmospheres permanently or for more than 1 000 hours per a year is called “Zone 0”. The area that is filled with explosive combustible dusts permanently or for more than 1 000 hours per year is called “Zone 20”.

IEC and European countries use a zone system, whereas North America uses a class and division system which consists of types based on the explosive characteristics of the materials and the risk of fire or explosion.

The type of protection is defined in IEC 60079 series, and it depends on the zone where electrical equipment is installed and the technical methods for explosion protection. Intrinsically safe apparatus and intrinsically safe parts of associated apparatus may be installed in Zone 0 according to IEC 60079-10-1 and Zone 20 according to IEC 60079-10-2.

5.3.7.2 Common requirements

Intrinsic safety is a type of protection which is applicable to electrical equipment in which the electrical circuits themselves are unable to become ignition sources, and those equipment and the apparatus are incapable of causing an explosion in the explosive atmospheres. The definition and specification of intrinsic safety is provided in IEC 60079-11 [26], as an equipment protection by intrinsic safety “i”. The electrical equipment and related apparatus compliant with requirements of intrinsic safety eliminate any sources for ignition of explosive atmospheres.

The injection of electrical energy into circuits and components of the equipment and the apparatus should be restricted under safety energy level. In addition, the maximum temperature of all surfaces of the equipment shall be kept under the suitable required temperature level even after the application of faults.

The threshold power of radio frequency from 9 kHz to 60 GHz for continuous and pulsed transmission is also defined in IEC 60079-0 [25]. However, the threshold value of the power is in the range of several watts, so normal equipment for data transmission does not exceed this power threshold.

Intrinsic safety for fieldbus is specified in IEC 60079-11 [26] and IEC 60079-25 [27]. This concept enables a number of installing devices to increase more than conventional entity model concept with field barriers. However, the number of devices connected to the same bus cable and their distance are still limited because of requirements in terms of energy of electrical power and signal.

Wireless equipment has no signal line and sometimes also has no power cable, so it is easier to install wireless equipment in explosive atmospheres. Each device in wireless communication system is connected to the others without cables, so requirements of intrinsic safety for equipment can be considered individually.

For example, sensor devices are placed in hazardous area filled with explosion atmospheres, and on the other hand a gateway or access point equipment can be located outside of the

hazardous area. At that time, only the wireless sensor device shall be considered to be designed as intrinsic safety protection.

Wireless sensor network originally has been considered to be installed into harsh areas of industrial automation. So, most industrial wireless equipment designed as intrinsic safety is provided by industrial automation vendors. Moreover, it has been found that using wireless communication system in the field of industrial automation enables field workers to be more efficient. So laptops, PDAs and tablets compliant with requirements of intrinsic safety are also used in industrial applications today.

5.3.7.3 Additional requirements for specific applications

Most transmitters for sensor network are driven by batteries. Depending on the interval of data transmission, the energy of the batteries is used up in a few months or years. Therefore, it is necessary to change batteries at regular maintenance or sometimes during operation. As for transmitters with intrinsic safety protection, changing batteries in explosive atmospheres is required. Some transmitters enable to change batteries in hazardous areas by using a package containing normal battery cells, and some transmitters use a sealed battery package, see IEC 62952.

5.3.8 Security

5.3.8.1 General

A secure network system keeps confidentiality, integrity, and availability. Wireless systems are faced with unauthorized access or eavesdropping. These threats may happen due to inappropriate operation and unintended accident. A wireless network is more likely to be exposed because the medium of wireless communication is air and it can be accessed more easily than wired media.

Adequate design and preparation are required in order to keep a wireless network secure and trustworthy. At first, it is productive to consider security within each network level and protocol layer in a plant or a factory. After that, the solution is the usage of a logical conduit according to IEC 62443-3-2⁵, which already ensures security between layers. Security considerations shall be applied throughout the life cycle of the entire wireless system.

5.3.8.2 Access control

Access control is an important function to protect against invasion by unauthorized access. Access control shall be in place to manage the user account and wireless equipment.

The credentials associated with the user account shall determine the role and authority for that user account. Management of a unique ID depending on each equipment or device is recommended in order to join a network system securely.

5.3.8.3 Encryption

A secure wireless system shall use encryption techniques. There are many kinds of encryption technologies and specifications. The appropriate selection shall be done according to the confidentiality requirements. A key shall be used for joining a network securely when new equipment and devices are installed.

5.3.8.4 Key management

When setting up an industrial wireless network, the cryptographic keys for later secure communication shall be set up. The established keys shall be resilient to attacks and flexible to dynamic update.

⁵ Under preparation.

Key management can be described as static and dynamic. The static schemes assume a static and short-lived network.

The dynamic schemes assume long-lived networks, and adopt dynamic re-keying for sustained security and survivability. There are other key classifications such as symmetric or asymmetric.

Only trusted devices shall be allowed to join a network. A key management scheme shall support the joining and leaving of devices in the network. The joining process can be done manually or automatically. Each device can be pre-installed with a private key which supports its authentication with the authentication server.

5.3.8.5 Other considerations

Jamming interferes with proper communication. Countermeasures should be established to guard against someone entering areas near a wireless system (physical security), or to hide the presence of wireless system itself (e.g. Faraday cage).

5.3.9 Availability, reliability

The availability and reliability of the wireless network shall meet with the requirements of the application.

The communication protocols shall provide reliable data communication, and preserve the determinism of real-time data communication. In cases of fault, removal and insertion of a component, communication protocols shall provide deterministic recovery times.

The reliability of a wireless communication network can be increased by channel hopping to provide a level of immunity against interference from other RF devices operating in the same band, as well as robustness to mitigate multipath interference effects. In addition, the use of selective channel utilization facilitates coexistence with other RF systems by detecting and avoiding using occupied channels within the spectrum. Selective channel utilization can also enhance reliability by avoiding the use of channels with consistently poor performance.

The required availability can be achieved by

- increasing reliability of the devices and elements,
- improving maintenance and
- using redundancy.

Plants rely on the correct function of the automation system. Plants tolerate a degradation of the automation system for only a short time, called the grace time. The network recovery time should be shorter than the grace time since the application typically needs to perform additional tasks (related to protocol and data handling, waiting for the next scheduled communication cycle, etc.) before the plant is back to the fully operational state. Applications can be distinguished by their grace time, as Table 4 shows.

Table 4 – Examples of application grace time

Applications	Typical grace time [s]
Uncritical automation, e.g. enterprise systems	20
Automation management, e.g. manufacturing, factory automation	2
General automation, e.g. process automation, power plants	0,2
Time-critical automation, e.g. synchronized drives	0,020

Some plants have stricter requirements when they are required to operate continuously, having no idle period during which the plant may be maintained or reconfigured. In this case, the grace time holds for the stricter requirement, for instance dictated by the hot-swapping of parts of the equipment.

Automation systems may contain redundancy to cope with failures. Methods differ on how to handle redundancy, but their key performance factor is the recovery time, i.e. the time needed to restore operation after occurrence of a disruption. If the recovery time exceeds the grace time of the plant, protection mechanisms initiate a (safe) shutdown, which may cause significant loss of production and plant operational availability.

NOTE 1 Even though functional safety is not directly addressed, high reliability is a desirable feature in a safety system.

A key characteristic of recovery is its determinism, i.e. the guarantee that the recovery time remains below a certain value as long as the basic assumptions (single failure at a time, no common mode of failure, less than maximum system extension) are met.

Redundancy within the network considers the presence of more network elements than necessary for operation, in order to prevent loss of communication caused by a failure. To this effect, more than one path between any two end nodes shall be used.

It is possible to construct a nearly infinite range of topologies from the nodes and functions.

Examples of redundant topologies are:

- meshed network (providing multiple path interconnecting field devices);
- parallel network (by using the same spectrum or different spectrum).

According to the requirements of the availability of the wireless communication network the suitable redundancy mode should be selected or it should be possible to define it.

- Backup mode

Devices and associated elements like cables, power supply, antenna, etc. are available as spare parts that can replace failed devices or elements.

NOTE 2 In IEC 60050-191:1990, 191-15-03, this kind of redundancy is named "standby redundancy". The term "dynamic redundancy" is also used.

- Alternate (active) mode

In the alternate mode, redundant paths are used alternately, at random or according to regular patterns.

If it is detected that one of the redundant paths is in a disconnected state, that path stops being used while other paths continue being used alternatively.

This mode allows checking the availability of the components continuously and therefore increases diagnosis coverage.

- Parallel (active) operation

In the parallel operation, messages are transmitted via all available redundant paths.

The receiving end node selects one of the received messages.

NOTE 3 The term "static redundancy" or "work-by" is also used.

Faults are detected through error detection mechanisms that detect only a percentage of the faults. The coverage is the probability that diagnosis mechanisms detect an error within a time that allows recovery before other mechanisms take action to protect the plant or before the plant suffers damage.

5.4 Life-cycle requirements

Wireless communication systems for industrial automation shall meet requirements beyond installation and commissioning.

Wireless communication systems for industrial automation application shall adopt a coexistence management process that can be maintained along all the life cycle of the application.

For battery powered wireless devices, a standardized battery format should be used to simplify and make less expensive the maintenance procedures. The maintenance procedure adopted for the battery exchange shall also cover the case of explosive environments, where this is applicable, see IEC 62952.

Furthermore, wireless communication devices should provide diagnosis parameters, statistics and related services aimed at being used to detect type and location of disturbed communication links and to analyse reasons for communication errors. Internal diagnosis parameter should be able to be mapped to uniquely specified information parameters for wireless communication diagnosis and failure analyses.

5.5 Integration of wireless communication systems into automation applications

Wireless communication systems are an integrated part of automation applications. The planning, purchasing, installation, and commissioning are part of the engineering process of the automation systems.

To facilitate integration, wireless automation devices should provide appropriate device descriptions or other methods of tool integration.

EXAMPLE The following standards are examples of device descriptions or other methods of tool integration: IEC 61804-3 (EDDL), IEC 62453 (FDT), IEC 62769 (FDI), IEC 62714 (Automation Markup Language) or ISO 15745 [33] (Reference description).

Furthermore, information should be provided in order to use specific tools, e.g. for simulation of wireless communication scenarios in industrial environments.

Other aspects are:

- diagnosis [KPI];
- coordination of different operating networks in the same space, see 4.3.4.3.

KPI performance statistics use key performance indicators (KPI). These improvements result in expansion of statistics provided for example by gateways. For example, a wireless communication network can specify a service that allows to read out the KPI information of wireless devices and the network to build statistics and to provide a summary of network performance.

If cyber security is required according to IEC 62443 (all parts), then it is recommended to build a list of devices that are authorized to participate in the network activity. Part of the authorization process could be the provisioning process. Devices that are identified as not authorized could be listed in a quarantine list to be reported to the coexistence manager who should work closely with the cyber security responsible person.

5.6 Network information and statistics

Access to network topological and performance data should be made available through the communication network if these are available in the wireless devices.

NOTE The availability of the interconnections could also be shown in the same picture (e.g. by adding a third dimension or colour proportional to signal levels and communication availability).

Bibliography

- [1] IEC 60050-191:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 191: Dependability and quality of service* (available at www.electropedia.org)
- [2] IEC 61784-1, *Industrial communication networks – Profiles – Part 1: Fieldbus profiles*
- [3] IEC 62479:2010, *Assessment of the compliance of low-power electronic and electrical equipment with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (10 MHz to 300 GHz)*
- [4] IEC 62591, *Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles – WirelessHART™*
- [5] IEC 62601, *Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles – WIA-PA*
- [6] IEC 62734, *Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles – ISA 100.11a*
- [7] ISO/IEC/IEEE 8802-3:2014, *Standard for Ethernet*
- [8] ITU-R SM.2152:2009, *Definitions of Software Defined Radio (SDR) and Cognitive Radio System (CRS)*
- [9] ITU-R SM.1046-2:2006, *Definition of spectrum use and efficiency of a radio system*
- [10] CEPT/ECC ERC Recommendation 70-03, *Relating to the use of Short Range Devices (SRD)*
- [11] Directive 2006/66/EC of the European Parliament on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators
- [12] ETSI EN 300 440-1, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Part 1: Technical characteristics and test methods*
- [13] ETSI EN 300 440-2, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Part 2: Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive*
- [14] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges*
- [15] IEEE 802.11-2016, *IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*
- [16] IEEE 802.15.1-2005, *IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs)*

- [17] IEEE 802.15.2-2003, *IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 15.2: Coexistence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless Devices Operating in Unlicensed Frequency Bands*
- [18] IEEE 802.15.4-2015, *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks*
- [19] IEEE C95.1-2005, *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz*
- [20] FITS, April 2010, ifak e.V. Magdeburg, *Einflussgrößen zur Definition von Anwendungsklassen* (Influencing parameter for defining application classes)

NOTE Report in Project "Entwicklung von Standardtests zur einheitlichen Bewertung industrieller Funklösungen (FITS), Magdeburg" (Development of Measurement Methods for the Uniform Assessment of Industrial Radio Solutions).
- [21] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. *Health Physics*, 1998, vol. 74, pp. 494-522, <available at <http://www.icnirp.org>>
- [22] NAMUR NE 124:2009, *Wireless Automation Requirements*, <available at www.namur.net>
- [23] VDI/VDE 2185 Part 2:2009-12, *Radio based communication in industrial automation – Management of the coexistence of radio solutions*
- [24] ZVEI, Frankfurt, Germany, April 2009, Coexistence of Wireless Systems in Automation Technology – Explanations on reliable parallel operation of wireless communication solutions
- [25] IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*
- [26] IEC 60079-11, *Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i"*
- [27] IEC 60079-25, *Explosive atmospheres – Part 25: Intrinsically safe electrical systems*
- [28] IECEx 60079-27-V1 ed1.0, IECEx Test Report for IEC TS 60079-27:2002, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 27: Fieldbus intrinsically safe concept (FISCO)*
- [29] IEC TS 60079-27:2002, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Part 27: Fieldbus intrinsically safe concept (FISCO)*
- [30] VDI/VDE 2185 Part 3:2013-01, *Radio-based communication in industrial automation – Requirements and specifications for power supply solutions based on batteries and energy harvesting*
- [31] ISO/IEC 80079-34:2011, *Explosive atmospheres – Part 34: Application of quality systems for equipment manufacture*
- [32] Radio Regulations Articles:2012, *Article 1*, available at <http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFE.PDF> [viewed 2016-12-22]

- [33] ISO 15745 (all parts), *Industrial automation systems and integration -- Open systems application integration framework*
 - [34] IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*
 - [35] IEC 61804-3, *Function Blocks (FB) for process control and Electronic Device Description Language (EDDL) – Part 3: EDDL syntax and semantics*
 - [36] IEC 62443 (all parts), *Industrial communication networks – Network and system security*
 - [37] IEC 62453 (all parts), *Field device tool (FDT) interface specification*
 - [38] IEC 62714 (all parts), *Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering – Automation markup language*
 - [39] IEC 62769 (all parts), *Field device integration (FDI)*
 - [40] IEC 62952 (all parts), *Power sources for a wireless communication device*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	62
INTRODUCTION	64
1 Domaine d'application	65
2 Références normatives	65
3 Termes, définitions, abréviations et acronymes	66
3.1 Termes et définitions	66
3.2 Abréviations et acronymes	69
4 Exigences de communication sans fil d'automatisation industrielle – considérations pour les régulateurs	70
4.1 Utilisation de fréquence harmonisée au niveau mondial	70
4.2 Processus de gestion de coexistence (voir l'IEC 62657-2)	70
4.3 Concepts relatifs à l'utilisation du spectre dans les applications industrielles sans fil	72
4.3.1 Généralités	72
4.3.2 Spectre disponible adapté pour les applications industrielles sans fil	72
4.3.3 Spectre dédié	74
4.3.4 Autres concepts	75
4.4 Adéquation avec le marché et exigences	77
4.4.1 Généralités	77
4.4.2 Activation de la position de l'équipement industriel	78
4.4.3 Aspects liés à la rentabilité et avantages de l'application	80
4.5 Aspects sociaux, sanitaires et environnementaux	81
4.5.1 Généralités	81
4.5.2 Considérations sociales, sanitaires et environnementales	81
4.5.3 Problèmes de santé	84
4.5.4 Autres questions	85
5 Exigences de communication sans fil d'automatisation industrielle – considérations pour les experts	85
5.1 Utilisation des réseaux de communication sans fil en automatisation industrielle	85
5.1.1 Généralités	85
5.1.2 Différences essentielles entre les réseaux de communication sans fil et les réseaux de communication filaires	86
5.1.3 Réseaux de communication en automatisation industrielle	88
5.1.4 Champs d'application	90
5.2 Exigences en matière d'application d'automatisation industrielle (cas d'utilisation)	91
5.2.1 Généralités	91
5.2.2 Cas d'utilisation 1 – Sécurité des travailleurs autour des machines de transport	92
5.2.3 Cas d'utilisation 2 – Surveillance de niveau et alarme dans un parc de stockage	92
5.2.4 Cas d'utilisation 3 – Support des agents sur le terrain avec un équipement sans fil mobile	93
5.2.5 Cas d'utilisation 4 – Surveillance et analyse des vibrations des machines rotatives	94
5.2.6 Cas d'utilisation 5 – Surveillance et commande de tête de puits de pétrole	95

5.2.7	Cas d'utilisation 6 – Quelques applications pour l'automatisation d'usine, avec un grand nombre de nœuds.....	95
5.3	Exigences relatives au réseau de communication sans fil	96
5.3.1	Synchronisation et temps réel.....	96
5.3.2	Bande passante et débit binaire.....	108
5.3.3	Conditions de propagation radioélectrique, couverture géographique et échelle du réseau	109
5.3.4	Consommation de puissance	110
5.3.5	Compatibilité électromagnétique (CEM)	111
5.3.6	Sécurité fonctionnelle	112
5.3.7	Sécurité intrinsèque	113
5.3.8	Sécurité	115
5.3.9	Disponibilité, fiabilité.....	116
5.4	Exigences de cycle de vie.....	118
5.5	Intégration de systèmes de communication sans fil dans des applications d'automatisation.....	118
5.6	Informations et statistiques du réseau.....	119
	Bibliographie.....	120
	Figure 1 – Revenus du producteur final.....	78
	Figure 2 – Méthodes classiques de réduction des risques dans les usines de transformation.....	82
	Figure 3 – Système de communication sans fil étroitement lié à la pyramide d'automatisation.....	89
	Figure 4 – Exemple de représentation graphique d'indicateurs cohérents	98
	Figure 5 – Modèle de système général pour la définition des exigences de performances de communication d'application	98
	Figure 6 – Modèle d'appareil d'automatisation sans fil pour la définition des exigences de performances de communication d'application	99
	Figure 7 – Liaison de communication avec appareils d'automatisation sans fil dotés d'interfaces de bus de terrain.....	100
	Figure 8 – Liaison de communication avec un appareil d'automatisation sans fil doté d'une interface de processus E/S et un appareil d'automatisation sans fil doté d'interfaces de bus de terrain.....	100
	Figure 9 – Fragments de temps d'une durée de transmission.....	102
	Figure 10 – Exemple de fonctions de densité de durée de transmission.....	103
	Figure 11 – Fragments de temps du temps d'actualisation	104
	Figure 12 – Exemple de fonctions de densité de temps d'actualisation.....	105
	Tableau 1 – Exemple de classification des exigences de communication d'application.....	79
	Tableau 2 – Structure des réseaux de communication utilisés dans les champs d'application	86
	Tableau 3 – Avantages que présente l'utilisation des systèmes sans fil	87
	Tableau 4 – Exemples de temps de grâce d'applications	116

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE COMMUNICATION SANS FIL –

Partie 1: Exigences de communication sans fil et considérations relatives au spectre

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62657-1 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 première édition annule et remplace la première édition de l'IEC TS 62657-1, parue en 2014. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques suivantes par rapport à l'IEC TS 62657-1:2014:

- a) mise à jour des exigences relatives aux applications industrielles sans fil;
- b) ajout d'indicateurs de performances et leur mesurage.

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

FDIS	Rapport de vote
65C/874/FDIS	65C/878/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.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62657, publiées sous le titre général *Réseaux de communication industriels – Réseaux de communications sans fil*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

Le présent document fournit les exigences générales en matière d'automatisation industrielle et les considérations relatives au spectre qui servent de fondement aux solutions de communication industrielles. Il est destiné à faciliter l'harmonisation de futures adaptations à des règlements internationaux, nationaux, régionaux et locaux.

L'IEC 62657-2 stipule le concept et le processus de gestion de coexistence. Sur la base du processus de gestion de coexistence, une assurance prévisible de la coexistence peut être obtenue pour un spectre donné, avec certaines exigences d'application.

RÉSEAUX DE COMMUNICATION INDUSTRIELS – RÉSEAUX DE COMMUNICATION SANS FIL –

Partie 1: Exigences de communication sans fil et considérations relatives au spectre

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62657 fournit les exigences de communication sans fil dictées par les applications des systèmes de communication sans fil dans le domaine de l'automatisation industrielle, ainsi que les exigences du contexte associé. Les exigences sont spécifiées indépendamment de la technologie sans fil utilisée. Les exigences sont décrites en détail et de manière à être comprises par le plus grand nombre, y compris les lecteurs qui ne sont pas familiers des applications industrielles.

Les aspects sociaux, environnementaux et sanitaires, ainsi que les exigences du marché des systèmes de communication sans fil dans le domaine de l'automatisation industrielle sont décrits pour justifier les exigences de communication sans fil.

Le présent document vise également à bien articuler les solutions satisfaisant aux exigences de communication sans fil proposées sur le long terme et le court terme. La gestion de coexistence selon l'IEC 62657-2 est déjà appliquée à court terme.

Le présent document décrit les exigences relatives aux applications d'automatisation industrielle qui peuvent être utilisées pour le spectre unique dédié supplémentaire au niveau mondial. Ce spectre supplémentaire est destiné à être utilisé pour les applications sans fil supplémentaires, sans pour autant abandonner les bandes industrielles, scientifiques et médicales (ISM) en cours.

Le présent document donne des informations utiles aux professionnels de l'automatisation qui ne connaissent pas bien les technologies du spectre et les technologies sans fil.

Compte tenu des différentes contraintes d'utilisation, l'automatisation des bâtiments est exclue du domaine d'application (pour la plupart des bâtiments non industriels, le propriétaire/l'opérateur ayant souvent des difficultés à imposer un contrôle de présence et de fonctionnement des équipements radio).

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60079-10-1, *Atmosphères explosives – Partie 10-1: Classement des emplacements – Atmosphères explosives gazeuses*

IEC 60079-10-2, *Atmosphères explosives – Partie 10-2: Classement des emplacements – Atmosphères explosives poussiéreuses*

IEC 61511 (toutes les parties), *Sécurité fonctionnelle – Systèmes instrumentés de sécurité pour le secteur des industries de transformation*

IEC 61784-2, *Réseaux de communication industriels – Profils – Partie 2: Profils de bus de terrain supplémentaires pour les réseaux en temps réel basés sur l'ISO/CEI 8802-3*

IEC 61784-3, *Réseaux de communication industriels – Profils – Partie 3: Bus de terrain de sécurité fonctionnelle – Règles générales et définitions de profils*

IEC 62657-2:—¹, *Réseaux de communication industriels – Réseaux de communication sans fil – Partie 2: Gestion de coexistence*

ETSI TR 102 889-2 V.1.1.1 (2011), *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference Document; Short Range Devices (SRD); Part 2: Technical characteristics for SRD equipment for wireless industrial applications using technologies different from Ultra-Wide Band (UWB)* (disponible en anglais seulement)

ETSI EN 300 328 V2.1.1 (2016), *Wideband transmission systems; Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation techniques; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU* (disponible en anglais seulement)

3 Termes, définitions, abréviations et acronymes

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 62657-2 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

application d'automatisation

application de mesure et de commande automatique dans les domaines de l'automatisation industrielle

3.1.2

disponibilité, <performances>

aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée

Note 1 à l'article La disponibilité dépend de la fiabilité, de la maintenabilité et de la logistique de maintenance.

Note 2 à l'article Les moyens extérieurs nécessaires, autres que la logistique de maintenance, n'influencent pas la disponibilité de l'entité.

[SOURCE: IEC 60050-191:1990, 191-02-05]

3.1.3

coexistence

coexistence de communications sans fil

état dans lequel toutes les solutions de communication sans fil d'une installation utilisant un support commun satisfont à toutes les exigences de communication de leur application

Note 1 à l'article Dans l'IEEE 802.15.2-2003 [17]², la coexistence est définie comme une caractéristique d'un appareil.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.13]

¹ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC FDIS 62657-2:2017.

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3.1.4**gestion de coexistence**

processus visant à établir et maintenir la coexistence comportant des mesures techniques et organisationnelles

[SOURCE: IEC 62657-2: —, 3.1.15]

3.1.5**système de radiocommunication cognitif**

système de radiocommunication qui utilise une technologie lui permettant d'obtenir des informations sur son environnement opérationnel et géographique, sur les principes en vigueur et sur son état interne; cette technologie lui permet aussi d'adapter de façon dynamique et autonome ses paramètres et protocoles d'exploitation en fonction des informations obtenues, pour pouvoir atteindre des objectifs préalablement définis, et de tirer parti des résultats ainsi obtenus

[SOURCE: UIT-R SM.2152:2009] [8]

3.1.6**conduit**

regroupement logique d'actifs de communication assurant la sécurité des canaux qu'il contient

Note 1 à l'article: Cela s'apparente à un conduit physique protégeant les câbles contre les dommages physiques [voir l'IEC 62443 (toutes les parties)].

Note 2 à l'article: Un port USB est considéré comme un conduit, mais un appareil USB (une clé USB, par exemple) est considéré comme un actif.

3.1.7**Ethernet**

système de communication conforme à l'ISO/IEC/IEEE 8802-3 et à l'IEEE 802.1D

3.1.8**automatisation d'usine**

application d'automatisation utilisée dans le secteur de l'automatisation industrielle, présentant en général les caractéristiques discrètes de l'application à automatiser, avec des exigences spécifiques de déterminisme, de faible latence, de fiabilité, de redondance, de cybersécurité et de sécurité fonctionnelle

Note 1 à l'article: En règle générale, une faible latence correspond à un temps de livraison inférieur à 10 ms.

3.1.9**installation**

aménagement géré, en général doté d'un périmètre de protection physique, hébergeant le procédé physique, le fonctionnement, le personnel et les équipements

[SOURCE: IEC 62657-2: —, 3.1.58]

3.1.10**contrôle de procédés**

application d'automatisation utilisée dans le secteur de l'automatisation industrielle, présentant en général les caractéristiques continues de l'application à automatiser, avec des exigences spécifiques de déterminisme, de fiabilité, de redondance, de cybersécurité et de sécurité fonctionnelle

3.1.11**système de radiocommunication reconfigurable****RRS**

système de radiocommunication englobant les systèmes de radiocommunication définis par logiciel et/ou les systèmes de radiocommunication cognitifs

[SOURCE: In English, ETSI TR 102 945 V1.1.1 (2013-06)]

3.1.12

fiabilité

aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné

Note 1 à l'article Il est en général supposé que l'entité est en état d'accomplir la fonction requise au début de l'intervalle de temps donné.

Note 2 à l'article Le terme "fiabilité" est également utilisé pour mesurer les performances de fiabilité (voir l'IEC 60050-191:1990, 191-12-01).

[SOURCE: IEC 60050-191:1990, 191-02-06, modifiée – La Note 2 à l'article a été modifiée.]

3.1.13

support partagé

ressource de bande de fréquences dans une zone particulière partagée par plusieurs applications sans fil

Note 1 à l'article Dans les bandes industrielle, scientifique et médicale (ISM), de nombreuses applications sans fil sont utilisées. C'est en raison de ces utilisations conjointes que le terme "support partagé" est employé dans le présent document. Les bandes de fréquences sont utilisées par diverses applications ISM et sans fil.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.77]

3.1.14

système de radiocommunication défini par logiciel

émetteur et/ou récepteur de radiocommunication utilisant une technologie qui permet de régler ou de modifier au moyen d'un logiciel les paramètres d'exploitation RF, par exemple la gamme de fréquences, le type de modulation ou la puissance de sortie (la liste n'est pas exhaustive), à l'exclusion de modifications des paramètres d'exploitation qui interviennent pendant l'exploitation normale préinstallée et prédéterminée d'un appareil de radio conformément à une norme ou à une spécification de système

[SOURCE: UIT-R SM.2152:2009] [8]

3.1.15

télécommunication

toute transmission, émission ou réception de signes, de signaux, d'écrits, d'images, de sons ou de renseignements de toute nature, par fil, radioélectricité, optique ou autres systèmes électromagnétiques

[SOURCE: Règlements des radiocommunications (2012) – Art. 1 § 1.3]

3.1.16

victime

appareil brouillé par des émissions de radiofréquences d'autres appareils ou équipements

3.1.17

application sans fil

tout usage d'ondes électromagnétiques avec des appareils ou équipements pour la génération et l'utilisation d'énergie radioélectrique

Note 1 à l'article La définition inclut les équipements de localisation radio.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.93]

3.1.18**communication sans fil**

communication dans laquelle le transfert d'information se fait au moyen de rayonnement électromagnétique, sans utilisation de câbles ni de fibres optiques

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.94]

3.1.19**solution sans fil****solution de communication sans fil**

mise en œuvre particulière ou exemple particulier d'un système de communication sans fil

Note 1 à l'article Une solution sans fil peut se composer de produits issus d'un ou de plusieurs fabricants.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.100]

3.1.20**système sans fil****système de communication sans fil**

ensemble d'éléments interdépendants permettant une communication sans fil

Note 1 à l'article Un système sans fil est une représentation générique d'un système, tandis qu'une solution sans fil est une mise en œuvre pratique d'un système. Un système sans fil peut comprendre un ou plusieurs réseaux sans fil.

[SOURCE: IEC 62657-2:—, 3.1.101]

3.2 Abréviations et acronymes

AGV	<i>automated guided vehicle</i> (véhicule à guidage automatique)
BPCS	<i>basic process control system</i> (système de commande de processus de base)
CCP	central coordination point (point de coordination central)
CO ₂	dioxyde de carbone
DAA	<i>detect and avoid</i> (détection et évitement)
DCS	<i>distributed control system</i> (système de commande distribué)
DECT	<i>digital enhanced cordless telecommunications</i> (système de télécommunications numériques améliorées sans cordon)
DSL	<i>digital subscriber line</i> (ligne d'abonné numérique)
CE	Commission Européenne
EDGE	<i>enhanced data GSM environment</i> (environnement GSM à données améliorées)
PIRE	puissance isotrope rayonnée équivalente
CEM	compatibilité électromagnétique
EMI	<i>electromagnetic interference</i> (brouillage électromagnétique)
EMS	<i>electromagnetic susceptibility</i> (susceptibilité électromagnétique)
FIFO	<i>first in first out memory</i> (mémoire premier entré – premier sorti)
GPRS	<i>general packet radio service</i> (service de radiocommunication général par paquet)
GPS	<i>global positioning system</i> (système mondial de radiorepérage)
GSM	<i>global system for mobile communications</i> (système mondial de communications mobiles)
ID	identification
AIE	Agence internationale de l'énergie
IP	<i>Internet protocol</i> (protocole Internet)

RNIS	réseau numérique à intégration de services
ISM	industriel, scientifique et médical
LAN	<i>local area network</i> (réseau local)
LBT	<i>listen before talk</i> (écoute du canal avant d'émettre)
LOS	<i>line of sight</i> (ligne visuelle)
LTE	<i>long term evolution</i> (évolution à long terme)
NLOS	<i>non line of sight</i> (sans visibilité directe)
OLOS	<i>obstructed line of sight</i> (ligne visuelle obstruée)
PC	<i>personal computer</i> (ordinateur personnel)
EPI	équipement de protection individuelle
RF	radiofréquences
RRS	<i>reconfigurable radio system</i> (système de radiocommunication reconfigurable)
SDR	<i>software defined radio</i> (système de radiocommunication défini par logiciel)
SIL	<i>safety integrity level</i> (niveau d'intégrité de sécurité)
SIS	<i>safety instrumented system</i> (système instrumenté de sécurité)
SOP	<i>standard operating procedures</i> (modes opératoires normalisés)
SRD	<i>short range devices</i> (appareils de courte portée)
AMRT	accès multiple par répartition temporelle
UMTS	<i>universal mobile telecommunications system</i> (système universel de télécommunications mobiles)
USB	<i>universal serial bus</i> (bus série universel)
WIA-PA	<i>wireless network for industrial automation – process automation</i> (réseau sans fil pour automatisation industrielle – contrôle de procédés)
WLAN	<i>wireless local area network</i> (réseau local sans fil)
WRT	<i>wireless real-time</i> (système en temps réel sans fil)

4 Exigences de communication sans fil d'automatisation industrielle – considérations pour les régulateurs

4.1 Utilisation de fréquence harmonisée au niveau mondial

L'une des raisons qui justifient l'utilisation de fréquence harmonisée au niveau mondial des appareils sans fil est que leur utilisation passe en premier lieu par plusieurs étapes successives d'intégration (dans un produit, une machine, puis une usine), l'emplacement géographique final n'étant donc pas nécessairement connu. La réglementation en matière d'utilisation des bandes de fréquences est une question de souveraineté nationale, et n'a pas encore été harmonisée au niveau mondial. Même en cas d'utilisation de la bande ISM 2,4 GHz, des autorisations ou licences nationales pour ces appareils peuvent être exigées. De plus, dans certains pays, il peut s'avérer nécessaire d'obtenir une autorisation d'exploitation d'un réseau sans fil ou de publier préalablement les caractéristiques du réseau en question. Parfois, il existe des restrictions d'utilisation locales en matière de puissance maximale de transmission qui dépassent les normes internationales ou régionales ou une limitation d'exploitation en intérieur ou en extérieur. Si les systèmes sans fil sont destinés à l'exportation, il est donc important de clarifier à l'avance si les appareils peuvent être exploités dans le pays concerné, et dans quelles circonstances.

NOTE En principe, les fabricants intègrent ces informations dans leur documentation.

4.2 Processus de gestion de coexistence (voir l'IEC 62657-2)

Les solutions de réseau normalisées présentant des caractéristiques de performances particulières (criticité temporelle, sûreté et sécurité, par exemple) sont utilisées dans les

applications d'automatisation industrielle. Les caractéristiques de performances particulières nécessaires à l'automatisation industrielle sont identifiées et indiquées à l'Article 5.

L'ensemble du marché des solutions réseau sans fil représente un éventail d'applications diverses, dont les exigences de performances et de fonctionnement sont différentes. Au sein de ce marché global, le domaine d'automatisation industrielle peut inclure:

- le contrôle de procédés, par exemple dans les secteurs suivants de l'industrie:
 - hydrocarbures, gaz, raffinage,
 - chimie,
 - pharmacie,
 - extraction minière,
 - pâte et papier,
 - eaux et eaux usées,
 - acier;
- énergie électrique, comme:
 - la production électrique (par exemple: éolienne),
 - transmission et distribution de puissance (réseau);
- automatisation d'usine, par exemple dans les secteurs industriels suivants:
 - alimentaire,
 - automobile,
 - machinerie,
 - semiconducteurs.

Aujourd'hui, le secteur de l'automatisation industrielle intègre tant des réseaux filaires que des réseaux sans fil. Des exemples de ce type de réseaux sans fil sont présentés dans l'IEC 62591 (*WirelessHART*³), l'IEC 62601 (WIA-PA) et l'IEC 62734 (ISA100.11a). Tous ces réseaux s'appuient sur la norme IEEE 802.15.4 relative aux applications de processus. D'autres exemples de réseaux sans fil sont spécifiés dans les profils de communication de l'IEC 61784-1 et de l'IEC 61784-2 qui s'appuient sur l'IEEE 802.11 et l'IEEE 802.15.1 pour les applications d'automatisation d'usine. À l'inverse des réseaux filaires séparés, les réseaux sans fil partagent le même support et peuvent donc interférer les uns avec les autres. Par conséquent, à moins qu'une coexistence prévisible soit assurée, le fonctionnement de plusieurs réseaux sans fil dans la même installation peut s'avérer problématique, donnant lieu à un brouillage inacceptable et, de fait, à l'impossibilité de satisfaire aux exigences de criticité temporelle, de sûreté et de sécurité.

En règle générale, une installation industrielle se trouve dans une zone clôturée, et l'ensemble de ses équipements est placé sous la surveillance de la direction de l'installation, qui peut mettre en œuvre un processus de gestion de coexistence pour tous les réseaux sans fil de l'installation.

Les applications d'automatisation peuvent également se trouver dans des installations industrielles présentant des niveaux de brouillage électromagnétique (EMI) ambiant supérieurs à ceux des domaines non industriels. Les brouillages électromagnétiques rayonnés sont une autre influence à prendre en compte. Les règlements régionaux peuvent autoriser une puissance rayonnée significative pour les applications radio particulières dans le spectre sans licence, générant potentiellement de fortes intensités de champ à proximité d'un système sans fil.

³ *WirelessHART*[®] est la marque d'un produit distribué par FieldComm Group[™]. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

Dans certains cas, le propriétaire/l'opérateur peut ne pas être en mesure de commander, ou choisir de ne pas commander, l'équipement en présence. L'IEC 62657-2 peut également aider à l'identification des limitations de performances qui en résultent.

Le processus de gestion de coexistence représente les activités du système de gestion de coexistence. Le processus de gestion de coexistence comprend des activités techniques et organisationnelles visant à établir et maintenir l'état de coexistence de toutes les solutions sans fil d'une installation. Les paramètres de coexistence spécifiés à l'Article 5 de l'IEC 62657-2:—, et fournis tels que décrits à l'Article 6 de l'IEC 62657-2:—, sont utilisés dans différentes phases du processus de gestion de coexistence. Le processus de gestion de coexistence se compose des phases suivantes:

- phase d'investigation (voir l'IEC 62657-2:—, 7.4.1);
- phase de planification (voir l'IEC 62657-2:—, 7.4.2);
- phase de mise en œuvre (voir l'IEC 62657-2:—, 7.4.3);
- phase d'exploitation (voir l'IEC 62657-2:—, 7.4.4).

4.3 Concepts relatifs à l'utilisation du spectre dans les applications industrielles sans fil

4.3.1 Généralités

Le présent document présente les concepts suivants et les exigences qui en résultent quant à l'utilisation du spectre dans les applications industrielles sans fil:

- utilisation du spectre disponible adapté pour les applications industrielles sans fil (voir 4.3.2);
- spectre dédié pour les applications industrielles sans fil (voir 4.3.3);
- autres concepts (voir 4.3.4).

NOTE L'ordre de présentation des concepts n'est significatif d'aucun classement ni d'aucune priorité.

Outre la gestion de coexistence, les combinaisons d'autres concepts peuvent faire l'objet d'applications pratiques.

4.3.2 Spectre disponible adapté pour les applications industrielles sans fil

Plusieurs bandes de fréquences sont nécessaires pour satisfaire à toutes les exigences opérationnelles différentes relatives aux applications industrielles sans fil. Le fonctionnement simultané dans des bandes de fréquences parallèles améliore la disponibilité de la communication sans fil. La couverture dépend de la bande de fréquences sélectionnée.

NOTE Les basses fréquences offrent une meilleure couverture que les fréquences plus élevées.

Même si les liaisons sans fil non critiques peuvent utiliser le spectre existant et satisfaire aux règles et normes en vigueur, il est nécessaire d'identifier de nouvelles fréquences (hors de la bande 2,4 GHz et des autres bandes sans licence) pour les liaisons sans fil les plus exigeantes/critiques des applications industrielles. Il est préférable que ce nouveau spectre soit proche ou à proximité des bandes qui sont déjà globalement disponibles et pour lesquelles une technologie sans fil industrielle a déjà été développée.

Pour répondre aux besoins spécifiques d'applications industrielles sans fil, les exigences et recommandations suivantes sont formulées.

- Des technologies sans fil spécifiques robustes dans un environnement dynamique et à trajet multiple doivent être utilisées.
- Des bandes de fréquences doivent être globalement disponibles ou adjacentes à ces bandes, afin de faciliter l'utilisation d'une technologie aux fréquences de fonctionnement très peu différentes.

- Il convient que des bandes de fréquences soient supérieures à 1,4 GHz s'il est nécessaire d'éviter le brouillage provenant des soudeuses, et inférieures à 6 GHz compte tenu du comportement de propagation quasi optique au-dessus de cette valeur, des exigences relatives aux communications sans fil NLOS (*non-line-of-sight*) et du rendement nécessaires pour les appareils alimentés par batterie.

Les solutions existantes pour la communication sans fil pour l'industrie utilisent des fréquences telles que 920 MHz (UE, US, Japon, Corée, etc.), 1 880 MHz à 1 900 MHz (DECT), la bande ISM 2,4 GHz ou les bandes WLAN 5 GHz.

Actuellement, les applications d'automatisation industrielle utilisent le spectre existant alloué pour les SRD génériques. La bande 2,4 GHz est souvent utilisée et fait l'objet d'une réglementation dans chaque pays.

Par exemple, en Europe, les appareils dont la PIRE est inférieure à 10 mW peuvent être utilisés sans restriction pour les techniques d'atténuation. Ces appareils doivent satisfaire à l'ETSI EN 300 440-1 [12] et à l'ETSI EN 300 440-2 [13], alors que les appareils dont la PIRE est comprise entre 10 mW et 100 mW peuvent uniquement être utilisés avec des restrictions. Ces appareils doivent satisfaire à l'ETSI EN 300 328 et à l'ERC/REC 70-03 [10]. Les restrictions formulées dans l'ETSI EN 300 328 exigent

- un mécanisme de partage automatique, qui exige une écoute du canal avant d'émettre (LBT – *listen before talk*) ou
- un facteur d'utilisation du support ou
- un mécanisme de détection et d'évitement (DAA), également appelé "*listen after talk*" (écoute du canal après l'émission).

Ces restrictions sont incompatibles avec les besoins en matière de liaisons sans fil industrielles.

Les mécanismes de sécurité doivent toujours faire partie intégrante de l'architecture de communication des applications sans fil industrielles, afin de protéger l'industriel contre les attaques. Des plans d'action omniprésents (appelés "modes sécurisés") prennent également en compte les brouillages volontaires et involontaires générés par d'autres appareils (le brouillage intentionnel, par exemple). Cela peut inclure le déplacement vers des fréquences différentes. Des normes de cybersécurité pour les applications industrielles sont disponibles, comme l'IEC 62443 (toutes les parties), par exemple.

En règle générale, l'utilisation d'une seule norme commune pour appareils sans fil par plusieurs utilisateurs non coordonnés évite les brouillages entre eux. Par exemple, des groupes d'utilisateurs séparés peuvent chacun mettre en place des réseaux de radiocommunication IEEE 802.11 [15] dans le même espace, la conformité à l'IEEE 802.11 leur permettant de coexister. Les dispositions formulées dans d'autres normes (Bluetooth®⁴, par exemple) peuvent également fournir des mesures visant à faciliter la coexistence de base selon certaines normes différentes. Toutefois, le niveau de coexistence de base proposé par ces mesures ne satisfait pas aux exigences de l'industrie, étant donné que ces mesures ne garantissent pas le partage déterministe et géré des ressources radio communes. Dans un contexte industriel, dans lequel de nombreux réseaux de radiocommunication différents doivent satisfaire simultanément aux exigences de performances et à différents niveaux de priorité, une gestion de coexistence selon l'IEC 62557-2 assure un partage prédéterminé et équitable.

EXEMPLE Un exemple de solution est l'utilisation combinée d'un intervalle de temps synchronisé par horloge, appelé TDMA (*time division multiple access* – accès multiple par répartition temporelle) et d'un outil de gestion de

⁴ Bluetooth® est la marque d'un produit distribué par Bluetooth Special Interest Group. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs de la présente Norme et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

réseau dans un point d'accès (passerelle) qui attribue les intervalles de temps admis pour transmettre les données. Cela peut permettre à plusieurs milliers d'appareils de fonctionner dans un réseau maillé pendant plusieurs années sans collision entre eux.

Les liaisons sans fil non critiques peuvent utiliser les bandes sans licence existantes (ISM, par exemple) et doivent satisfaire aux réglementations nationales ou régionales. Dans certaines bandes sans licence, le fonctionnement est soumis à l'utilisation de techniques d'atténuation particulières, conformément aux demandes de la réglementation/norme applicable. Ces techniques d'atténuation s'appliquent à tous les SRD, y compris ceux utilisés pour les applications industrielles. Il paraît en effet évident que l'environnement industriel est déjà susceptible de contenir un certain nombre d'applications SRD.

Elles doivent prendre en charge les techniques d'atténuation dans les bandes de fréquences dans lesquelles les appareils d'automatisation industrielle ne sont pas les principaux utilisateurs ni les utilisateurs présentant la même priorité. Il peut s'agir:

- du contrôle de puissance:
 - de réduire la puissance à une limite telle que le niveau de brouillage soit inférieur au seuil exigé (zone de protection);
 - Ne pas utiliser plus de puissance que n'en a besoin le récepteur prévu (TransmitPowerControl).
- Partage basé sur la synchronisation temporelle.
- Sélection de fréquence.
- LBT, DAA.
- Point de coordination central (CCP).
- Technique d'atténuation/de partage utilisée dans la plage que d'autres utilisent pour détecter le titulaire.

4.3.3 Spectre dédié

4.3.3.1 Liaisons sans fil critiques dans les applications industrielles

Certaines applications industrielles exigent un comportement strictement déterministe des liaisons de communication sans fil. La disponibilité, la fiabilité, le caractère prévisible, la sûreté de fonctionnement, l'immunité et la qualité de l'équipement sans fil industriel sont assez différents de ceux d'autres applications de courte portée. Par conséquent, la solution à court terme qui repose sur la gestion de coexistence et le spectre généralement utilisé pour le type d'applications SRD génériques de grande distribution peuvent ne pas être adaptés à ces applications industrielles. Il convient de compléter la gestion de coexistence à long terme par un spectre unique dédié supplémentaire au niveau mondial.

Les bandes de fréquences candidates ne sont pas supposées devenir des bandes sans licences génériques, mais il convient de les limiter à certaines applications spécifiques.

Le présent document souligne la nécessité de concevoir un nouveau spectre répondant aux besoins suivants.

- Il convient que les liaisons sans fil critiques dont ont besoin les applications industrielles aient une certaine priorité en matière de conception de spectre.
- Il convient que la bande demandée soit spécifique à ces applications industrielles et ne chevauche pas les bandes sans licence existantes.
- La nouvelle bande est plus utile si elle est utilisée dans le monde entier.

Une fois le nouveau spectre conçu, il est nécessaire de développer une norme harmonisée pour ces liaisons sans fil critiques dans les applications industrielles.

4.3.3.2 Bandes de fréquences candidates proposées

L'exigence relative à l'utilisation de systèmes radio dans une zone d'émissions électromagnétiques répond à une demande de spectre supérieur à 1,4 GHz. Les exigences de communication et de rendement sans visibilité directe répondent à une demande de spectre inférieur à 6 GHz (voir également 4.3.2 et 5.3.2).

Il n'existe aucun règlement spécifique pour les applications industrielles au moment de la publication du présent document. Les applications industrielles sans fil actuellement sur le marché utilisent le spectre existant conçu pour des appareils génériques ou pour certains appareils de courte portée spécifiques. Elles entrent donc dans le domaine d'application des règlements existants.

EXEMPLE Les annexes existantes de l'ERC/REC 70-03 [10].

Malheureusement, les exigences de liaisons sans fil critiques dans les applications industrielles ne peuvent pas être satisfaites lorsque ces liaisons fonctionnent dans ces bandes sans licence. C'est la raison pour laquelle un spectre exclusif (bande sans licence spécifique) est exigé dès que possible pour les applications industrielles sans fil.

4.3.4 Autres concepts

4.3.4.1 Licence de géolocalisation

Il peut être prévu de réduire la densité de solutions sans fil à des zones bien définies (bâtiment, site, locaux de l'utilisateur, etc.) de manière à ce que la prise en compte des informations de géolocalisation comme paramètre supplémentaire dans les règles d'accès au support partagé d'un appareil sans fil soit logique. Il s'agit d'éviter les surcharges de communication et de protéger en même temps les possibles appareils victimes. Les appareils victimes doivent être protégés de manière à ne pas être confrontés à une dégradation du service par d'autres appareils.

L'intégration d'informations de géolocalisation est également en ligne directe avec la définition UIT du facteur d'utilisation du spectre de l'UIT-R SM.1046-2 [9], qui est le produit de la bande passante de fréquences par l'espace géométrique (géographique) et par le temps.

Les interférences avec un appareil victime se produisent uniquement si trois conditions sont satisfaites en même temps: utilisation du même emplacement (en supposant une PIRE constante et limitée), même durée et même fréquence.

Il s'agit de tenir compte de la géolocalisation de l'appareil pour contrôler ses caractéristiques de transmission. Dans une zone dépeuplée ou dans des locaux habités (dans lesquels l'environnement radio peut être géré), il convient d'obtenir une licence correspondant à une bande spécifique auprès de l'autorité de réglementation nationale compétente.

Un appareil peut obtenir des informations sur sa localisation géographique en cours de plusieurs façons, de la plus simple à la plus sophistiquée. Ce domaine a enregistré d'importants progrès et suscité un grand intérêt à la suite des débats concernant les systèmes de radiocommunication cognitifs.

Une première approche simple consiste à associer l'appareil à un contrôleur fixe, en s'appuyant sur le concept maître-esclave. Si un appareil esclave se trouve dans la zone de couverture et est géré par ce type de contrôleur (le maître), il peut fonctionner jusqu'à 100 mW et utiliser des contraintes de synchronisation moins strictes pour ses transmissions. Les appareils esclaves qui perdent la liaison avec le maître doivent immédiatement interrompre leur mode de fonctionnement moins strict. Les informations de géolocalisation sont dues au concept de maître-esclave proposé et donné de manière implicite, ce qui permet d'éviter les informations de géolocalisation explicites données par les systèmes de positionnement (GPS, Galileo ou GLONASS, par exemple). De plus, il est proposé que les appareils esclaves utilisent une métrique d'évaluation de leurs connexions esclave-esclave et

esclave-maître (indication de la qualité de la liaison, par exemple) qui peut être signalée au contrôleur, et qui permet à l'appareil esclave lui-même de s'adapter immédiatement en cas d'interférences auxquelles sont confrontés les appareils victimes. En outre, le contrôleur peut être chargé de la gestion de coexistence et des interférences à l'intérieur des locaux de l'utilisateur. D'autres concepts peuvent également être appliqués.

En limitant la zone de fonctionnement à un environnement intérieur classique, par exemple, le risque d'interférences avec des appareils situés à l'extérieur des locaux est éliminé grâce à l'atténuation des murs. Les valeurs d'atténuation classiques par les murs et le sol sont d'au moins 10 dB, ce qui limite l'intensité du champ en dessous des limites d'un appareil fonctionnant à une valeur inférieure ou égale à 10 mW, qui peut fonctionner sans contrainte de synchronisation.

Même sans mur, les pertes de transmission peuvent limiter les interférences à l'extérieur des locaux de l'utilisateur à un certain niveau, lequel peut être inférieur aux limites d'un appareil fonctionnant à 10 mW (PIRE) aux abords des locaux. À 2,4 GHz, le signal est atténué de 49,6 dB (en tenant compte de l'atténuation d'espace libre uniquement) à une distance de 3 m.

4.3.4.2 Systèmes de radiocommunication reconfigurables (RRS)

Il est prévu que les systèmes de radiocommunication reconfigurables (RRS) deviennent des vecteurs importants de l'évolution des communications sans fil, et offrent des avantages substantiels en matière d'architectures flexibles et rentables des appareils sans fil en vue d'une meilleure utilisation du spectre des radiofréquences, aidant de ce fait à limiter le problème de "rareté du spectre".

Les systèmes de radiocommunication reconfigurables, et en particulier les technologies de radiocommunication définies par logiciel (SDR) et de radiocommunication cognitive, ont fait l'objet d'études dans les domaines commerciaux, de la sécurité publique et militaires.

Si les concepts RRS sont appliqués, les exigences en matière d'automatisation industrielle classique doivent également l'être:

- communication déterministe à l'appui d'une communication au mieux;
- utilisation du spectre préférentiel dans la plage comprise entre 1,4 GHz et 6 GHz (voir également 4.3.2 et 5.3.2);
- les systèmes de radiocommunication reconfigurables ne doivent pas augmenter outre mesure la consommation de puissance (la consommation maximale ne devant pas être supérieure à deux fois la puissance dont a besoin un appareil non RRS);
- procédure d'adhésion/d'enregistrement auprès d'un réseau.

4.3.4.3 Approche relative au point de coordination central (CCP)

Une solution de reconfiguration d'un système de radiocommunication peut reposer sur un point de coordination centrale de plusieurs appareils. Le terme "central" signifie qu'un point de coordination coordonne plusieurs appareils qui ne sont pas en charge de détecter et d'éviter les possibles collisions. Ce point de coordination central peut également être combiné à une approche décentralisée comportant plusieurs points de coordination centraux.

Il existe trois classes possibles de points de coordination centraux:

- a) le point de coordination central pour le partage avec d'autres services/applications titulaires;
- b) le point de coordination central pour la coexistence interne au système;
- c) le point de coordination central dans l'espace public.

Les principales justifications pour cette approche sont les suivantes.

- Construction d'appareils peu coûteux:
 - antenne, récepteur, etc. optimisés pour le fonctionnement et pas pour la détection de l'utilisateur principal;
 - pas de canal de pilote, il convient que le point de coordination central parle le langage des appareils commandés.
- Les appareils alimentés par batterie ne peuvent pas prendre en charge la puissance de calcul dont ont besoin les méthodes d'atténuation.

Les exigences relatives au concept de point de coordination central sont les suivantes.

- a) Le point de coordination central doit avoir le moins d'impact possible sur le brouillage du monde extérieur. Utiliser aussi peu de puissance que nécessaire, à l'aide par exemple:
 - 1) d'une antenne à onde de fuite;
 - 2) d'une antenne directionnelle;
 - 3) d'une antenne à proximité des appareils commandés;
- b) Atténuation par appareil est admise.
- c) Le point de coordination central peut disposer d'une interface filaire pour être configuré, plus particulièrement pour la configuration de la sécurité;
- d) Le point de coordination central doit parler le langage des appareils commandés.
- e) Fournir un canal de pilote entre le point de coordination central et les appareils commandés afin de faciliter la vie du point de coordination central. Cela va à l'encontre des exigences relatives aux appareils peu coûteux et aux appareils alimentés par batterie.

Les topologies de point de coordination central peuvent être les suivantes:

- une approche centralisée utilisant un point de coordination central et disposant d'une ou de plusieurs antennes;
- plusieurs points de coordination centraux qui se coordonnent eux-mêmes, chacun d'eux pouvant disposer d'une ou de plusieurs antennes.

Le protocole, l'algorithme, l'arbitrage, etc. CCP doit être spécifié de manière à garantir une mise en œuvre multifournisseur avec la même réaction du système face à des situations données.

Il convient de guider l'installation, par exemple pour:

- détecter où le titulaire peut être le mieux identifié (sur le toit, par exemple);
- l'antenne de communication avec l'appareil commandé à proximité de l'appareil commandé;
- exigence en matière de gestion de coexistence selon l'IEC 62657-2.

4.4 Adéquation avec le marché et exigences

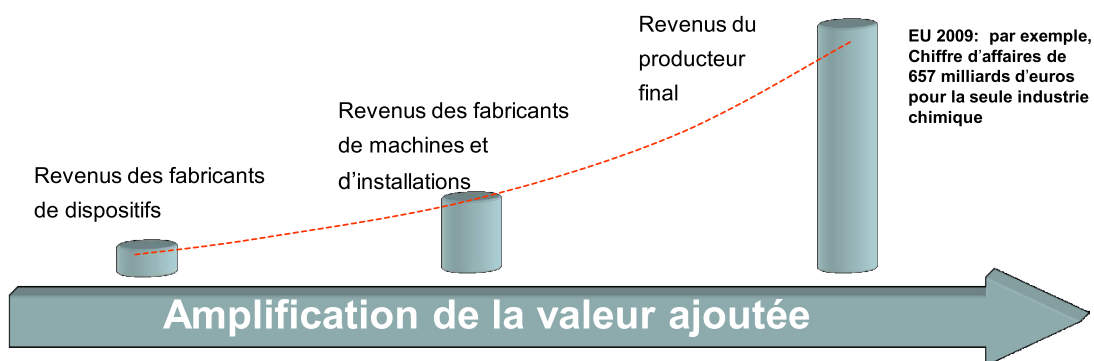
4.4.1 Généralités

La technologie sans fil est arrivée à maturité, et est de plus en plus utilisée pour transférer des données dans des applications d'automatisation (tant dans le contrôle de procédés que dans l'automatisation d'usine). La technologie sans fil va jouer un rôle de premier plan dans l'application de l'Internet industriel des objets. De nombreux systèmes de communication sans fil utilisent les bandes de fréquences ISM sans licence pour transférer les données de processus et de diagnostic. Compte tenu des différentes exigences (la vitesse de transmission et les distances à parcourir, par exemple), plusieurs technologies sans fil se sont fait une place sur le marché.

La production industrielle (le secteur de l'automobile, de la chimie, des machines, le secteur pharmaceutique, le secteur de l'alimentaire, par exemple) est extrêmement automatisée. La productivité industrielle globale peut tirer profit de l'utilisation d'appareils sans fil.

Le fait de compter le nombre de nœuds n'est pas la meilleure façon de comparer le marché des appareils sans fil industriels au marché des télécommunications et au marché commercial.

L'adéquation des appareils sans fil avec le marché de l'automatisation industrielle peut être démontrée en l'abordant du point de vue des revenus du producteur final en fonction du marché dans lequel les appareils sans fil et les machines sont installés (voir la Figure 1). Sur le marché des télécommunications et le marché commercial, la vente d'un appareil représente le plus souvent la finalité en matière de revenus, alors qu'en automatisation industrielle, les appareils sans fil sont vecteurs de revenus pour le producteur final.



IEC

Figure 1 – Revenus du producteur final

4.4.2 Activation de la position de l'équipement industriel

4.4.2.1 Produit sans fil

Un produit sans fil est en général appelé appareil de terrain sans fil ou appareil sans fil pour applications d'automatisation industrielle. L'attribut "sans fil" indique la présence d'une interface de communication sans fil. Les produits sans fil peuvent être classés de différentes manières, selon le schéma décrit au Tableau 1, par exemple, dans lequel ils sont classés selon le niveau de criticité de l'application. Les efforts de gestion de coexistence peuvent varier en fonction de la classification décrite au Tableau 1.

Tableau 1 – Exemple de classification des exigences de communication d'application

Classe	Application	Exigences relatives à la communication d'application
Sécurité fonctionnelle	Mise en œuvre d'un système lié à la sécurité dont la défaillance pourrait avoir des conséquences sur la sécurité des personnes et/ou de l'environnement et/ou des installations	Il convient que le protocole de communication prenne en charge la communication de sécurité fonctionnelle, la gestion de coexistence devant être établie afin de satisfaire à toutes les exigences de l'IEC 62657-2.
Commande	Commande par boucle ouverte ou fermée	Il convient que le protocole de communication prenne en charge plus de disponibilité, de fiabilité et de criticité temporelle que dans d'autres secteurs, tels que les biens de consommation et les télécommunications. La gestion de coexistence doit être établie pour satisfaire à la plupart des exigences de l'IEC 62657-2.
Surveillance	Visualisation de processus et alerte	Aucune extension particulière exigée pour le protocole de communication. Il convient d'établir la gestion de coexistence afin de satisfaire au moins à certaines exigences de l'IEC 62657-2.
NOTE 1 Ce tableau est issu de l'IEC 62657-2:—, Tableau 1.		
NOTE 2 Les termes relatifs "la plupart" et "minimales" s'appuient sur la description graphique donnée à la Figure 3 de l'IEC 62657-2:—.		

La classification des applications d'automatisation fait référence essentiellement aux exigences fonctionnelles de l'application à considérer.

Toutefois, une application d'automatisation, attribuée par défaut à une classe d'application moins critique selon sa fonctionnalité, peut être néanmoins vitale pour les processus métier. Dans ce cas, il est recommandé de l'attribuer à une classe d'application plus critique, afin de représenter correctement sa signification pour la société et indiquer un effort plus important pour assurer la coexistence.

D'autres applications, allant des lecteurs radio de code à barres aux applications de voix et vidéo par IP, peuvent être classées de la même manière.

4.4.2.2 Machine sans fil

Une machine sans fil est une machine qui utilise un produit tel qu'un appareil de terrain sans fil pour assurer la fonction de communication (voir 4.4.2.1). Le fabricant d'une machine peut utiliser les produits sans fil pour construire une machine de manière plus efficace.

4.4.2.3 Production améliorée

L'installation d'un fabricant de produits comprend les appareillages, les machines, les instruments, les appareils, les moyens de transport, l'équipement de commande et d'autres équipements d'exploitation permettant d'assurer la fabrication efficace des produits prévus. Les fabricants de produits utilisent les machines sans fil (voir 4.4.2.2) et les produits sans fil (voir 4.4.2.1) pour améliorer la production. Il s'agit d'atteindre une production efficace comparée à une interface de réseau de communication par câble.

4.4.3 Aspects liés à la rentabilité et avantages de l'application

4.4.3.1 Généralités

Lorsque la question se pose de savoir s'il est préférable d'utiliser ou pas un système sans fil industriel, il convient de se demander si son utilisation est viable d'un point de vue économique (en tenant compte des critères techniques, voir l'IEC 62657-2:—, Article 6) et quels avantages concrets cela pourrait procurer (voir 5.1.2.2).

4.4.3.2 Facteurs coûts-bénéfices

4.4.3.2.1 Généralités

Il existe de nombreuses possibilités d'utilisation des systèmes sans fil industriels, chacune d'elles présentant de nombreux avantages. Pour être en mesure de déterminer ces avantages en tant qu'utilisateur ou opérateur, les différentes phases du cycle de vie d'une installation et les systèmes de communication qu'il est possible d'utiliser doivent être observés. Ici, il est utile d'examiner de plus près les facteurs suivants et de les utiliser pour comparer les systèmes sans fil dans le cadre d'un champ d'application particulier ou pour les comparer à d'autres systèmes filaires:

- facteurs quantitatifs;
- facteurs qualitatifs.

L'utilisateur peut "additionner" tous ces facteurs et les comparer dans un cas concret pour déterminer si l'utilisation d'un système sans fil se révèle pratique ou pas dans le cas respectif, et quel système il convient d'utiliser.

4.4.3.2.2 Facteurs quantitatifs

Il convient de considérer les facteurs quantitatifs suivants.

- Les coûts techniques (pour la planification, la configuration de l'appareil et sa programmation, par exemple).

NOTE 1 Ce facteur coût dépend fortement des systèmes sans fil considérés, car, la plupart du temps, des systèmes plus simples doivent uniquement être mis sous tension. Par ailleurs, d'autres systèmes (plus complexes) exigent souvent une configuration d'appareil étendue pour assurer une communication fiable et efficace.

- Les coûts des matériaux et des appareils (conducteurs filaires et contact des capteurs, par opposition aux points d'accès et aux antennes, par exemple).

NOTE 2 Les coûts prévus des matériaux et des appareils sont, dans la plupart des cas, à peu près identiques pour les deux types de systèmes (sans fil et filaires).

- Les coûts d'installation, de l'ensemble par exemple (pose des câbles par opposition à l'installation d'une antenne).

NOTE 3 Les systèmes sans fil coûtent souvent moins cher à installer comparés aux systèmes connectés par câble.

- Les coûts de fonctionnement et de maintenance (les coûts liés au nettoyage, aux réparations et au remplacement des pièces usées, mais également les coûts concomitants liés aux temps d'indisponibilité, par exemple).

NOTE 4 Cet article donne la meilleure source d'économies lors de l'utilisation des systèmes sans fil.

4.4.3.2.3 Facteurs qualitatifs

Il convient de considérer les facteurs qualitatifs suivants.

- Disponibilité du système: la même disponibilité obtenue avec un réseau de communication filaire peut également l'être avec un réseau de communication sans fil si la gestion de coexistence sans fil est appliquée.

- Qualité du produit/processus: en utilisant des capteurs supplémentaires, ce qui ne se révélerait pas économique dans le cas des systèmes filaires, des valeurs mesurées supplémentaires peuvent être obtenues et, par exemple, le taux de rejet en production peut être réduit et les processus optimisés.
- Performances de l'infrastructure de communication: elles sont atteintes en connectant le nombre exigé de participants et en utilisant une vitesse de transfert de données adaptée.
- Extensibilité/flexibilité de l'infrastructure de communication: il s'agit de la mesure dans laquelle le système peut être convenablement étendu ou converti pour des participants supplémentaires.

4.5 Aspects sociaux, sanitaires et environnementaux

4.5.1 Généralités

Des performances de communication sans fil adaptées dans des applications d'automatisation industrielle permettent à l'industrie de satisfaire aux exigences sociales et environnementales, et d'obtenir les bénéfices décrits en 4.5.

Une application sans fil adaptée à l'industrie présente de nombreux avantages sociaux et environnementaux potentiels. Ces avantages incluent l'amélioration de la sécurité, de l'environnement de travail et du système de santé, la préservation des ressources et la réduction des émissions de CO₂.

La plupart des applications industrielles mettent en place des mécanismes d'applications de commande et de sécurité, qui exigent en général des performances prévisibles, déterministes et répétables, de manière à ce que d'autres applications moins critiques n'interrompent pas leurs services de communication. Les systèmes de commande sont des groupes d'appareils qui surveillent les capteurs et les autres entrées, prennent des décisions de commande et produisent des résultats qui interagissent avec le monde réel (des pompes, des vannes, des appareils chauffants, des feux de signalisation, par exemple). Des résultats incorrects basés sur une commande corrompue peuvent se révéler dangereux pour les personnes, l'environnement et l'équipement.

L'utilisation d'une communication sans fil facilite l'obtention d'informations supplémentaires auprès de l'installation et, de ce fait, améliore la commande. Par exemple, une chaîne de production de bouteilles en plastique peut utiliser moins de matériaux si la précision de l'épaisseur régulière du matériau est stable. Pour ce faire, il suffit de placer plusieurs points de mesure dans la chaîne de production afin de commander la température, la pression, la fluidité, etc., du matériau au moment de son transport vers la machine d'extrusion.

4.5.2 Considérations sociales, sanitaires et environnementales

4.5.2.1 Évitement des accidents en série

Les accidents qui se produisent parfois dans les usines de fabrication ont des conséquences très graves lorsque l'installation traite des matériaux dangereux et de l'énergie élevée. Ces accidents pourraient être évités à l'aide d'un système de protection multicouches. L'IEC 61511 spécifie les cinq couches suivantes pour la protection de l'industrie de transformation (voir la Figure 2): contrôle et surveillance, prévention, atténuation, mesure d'urgence de l'installation et mesure d'urgence de la communauté. Dans chaque couche, la technologie sans fil permet de maintenir et d'améliorer le niveau de sécurité.

Selon l'IEC 61511, le système de commande de processus de base (BPCS) est une couche de protection essentielle "... qui répond aux signaux d'entrée provenant du processus, de ses équipements associés, d'autres systèmes programmables et/ou de l'opérateur, et qui génère des signaux de sortie faisant fonctionner le processus et ses équipements associés de la manière souhaitée" Un système de communication sans fil peut être utilisé entre le système de commande et le processus, à l'aide de capteurs et d'actionneurs sans fil. Il peut également être utilisé pour les communications avec d'autres équipements associés et opérateurs ayant besoin d'alarmes pour procéder aux actions exigées.

Le système instrumenté de sécurité (SIS) exécute les fonctions spécifiées permettant d'atteindre ou de maintenir un état de sécurité du processus lorsque des conditions de processus inacceptables ou dangereuses sont détectées. Il est utilisé pour la prévention et l'atténuation. Les systèmes instrumentés de sécurité sont séparés et indépendants des systèmes de commande réguliers, mais ils sont composés d'éléments similaires, y compris des capteurs, des unités logiques, des actionneurs et des systèmes de support. Un système de communication sans fil peut être utilisé tant pour le SIS que pour le BPCS.

Les couches finales sont la mesure d'urgence de l'installation et de la communauté. Si un événement important touchant la sécurité se produit, cette couche répond de manière à réduire le plus possible les dommages, les blessures ou le décès des personnes. Elle inclut les plans d'évacuation, la lutte contre les incendies, etc. Les systèmes de communication sans fil aident les fonctions telles que les mises en garde d'évacuation et la surveillance des zones sinistrées.

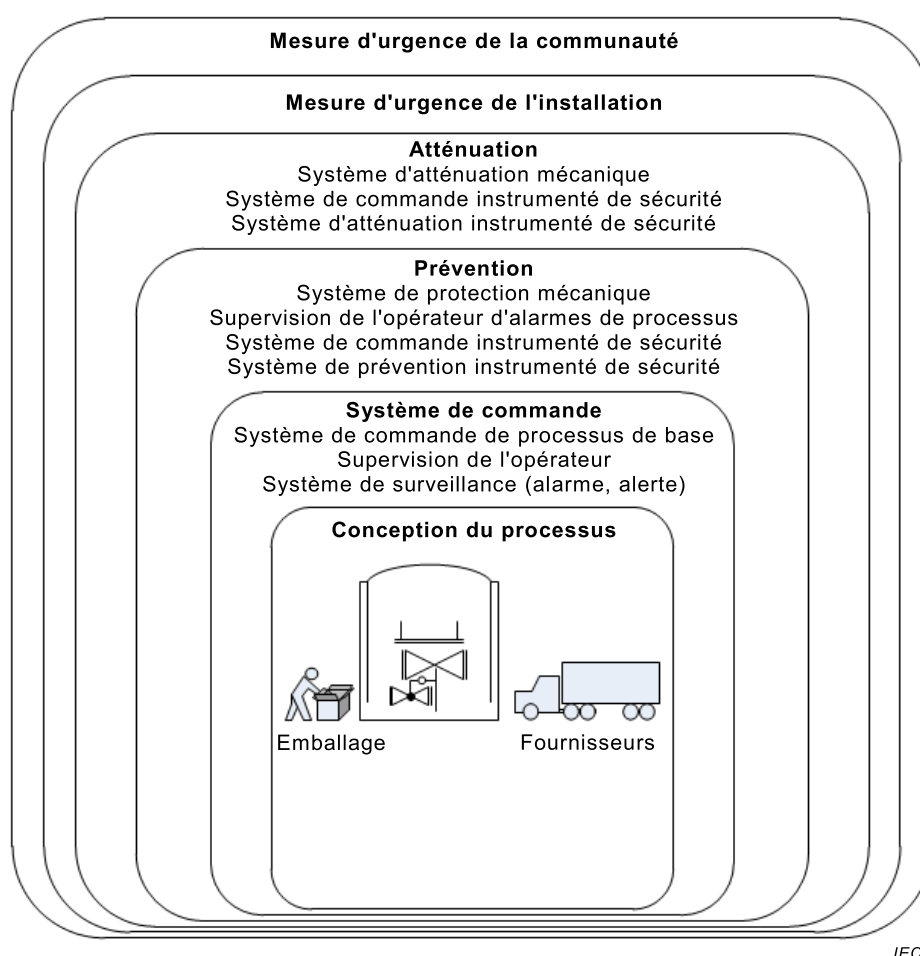


Figure 2 – Méthodes classiques de réduction des risques dans les usines de transformation

4.5.2.2 Amélioration de la sécurité des personnes

Dans un environnement de production, de nombreuses machines et de nombreux équipements peuvent blesser les personnes (les presses et les véhicules à guidage automatique (AGV), par exemple). Dans ces environnements, la communication sans fil permet de disposer de systèmes de sécurité qui peuvent être déployés pour assurer la sécurité des personnes.

Dans certaines installations, dans lesquelles des gaz inflammables ou toxiques sont manipulés, il peut s'avérer nécessaire de mettre en place des mesures utilisant la technologie

sans fil (la surveillance des fuites de gaz dangereux, l'annonce des directives d'évacuation aux opérateurs sur place et la confirmation de la sécurité des personnes, par exemple).

4.5.2.3 Amélioration du rendement en énergie

Le rendement en énergie fait l'objet d'une attention de plus en plus importante dans le monde entier, étant donné qu'il est considéré comme un élément majeur pour assurer une société durable compte tenu des changements climatiques, de l'accroissement de la population et de la sécurité d'approvisionnement. La population croissante et les pays en voie d'industrialisation créent un besoin considérable en énergie électrique.

Les systèmes de communication sans fil contribuent à la mise en place de systèmes de gestion d'énergie sophistiqués, qui intègrent des fonctions de mesure de la consommation d'énergie et d'optimisation du rendement en énergie.

Les systèmes de gestion d'énergie sont un élément fondamental de la solution globale, étant donné qu'ils permettent une utilisation optimisée de l'énergie, ainsi qu'une fiabilité et une viabilité générales des performances. Les produits basse consommation qui fonctionnent alors que ce n'est pas utile consomment toujours de l'énergie (les lampes, les moteurs et les appareils électroniques en veille, par exemple). Une variation de 2 °C du réglage de température d'un appareil chauffant ou refroidissant peut consommer jusqu'à 10 % d'énergie en plus, de petits décalages pouvant donc avoir des conséquences importantes.

L'automatisation et la commande sont essentielles à l'optimisation de l'utilisation d'énergie.

- Elles permettent de ne consommer que ce qui est nécessaire, au moment et là où cela est nécessaire.
- Elles permettent de corriger les "mauvaises habitudes" et d'améliorer les comportements.
- Elles peuvent aisément être installées sur les sites existants et améliorer leurs performances.
- Elles viennent en complément des produits de consommation finale économes en énergie afin d'améliorer les performances globales d'utilisation.

Il s'agit, par exemple, des détecteurs de présence et des photodétecteurs, des temporisateurs, des variateurs de vitesse, des systèmes d'automatisation et de commande de moteur électrique, et des automates logiques programmables (PLC). Les systèmes de communication sans fil rendent ces solutions plus efficaces et plus adaptées au domaine d'application prévu.

4.5.2.4 Amélioration de l'environnement de travail

Les systèmes d'automatisation peuvent empêcher les personnes de travailler dans des environnements dangereux, réduire le plus possible les travaux physiques difficiles et remplacer des travailleurs dans les activités monotones. Toutefois, dans certains cas, la nécessité d'une connectivité filaire rend les tâches difficiles. La connexion filaire peut se révéler peu pratique compte tenu des coûts liés à la distance à parcourir ou de sa fréquence d'utilisation. Dans d'autres cas, la connexion filaire peut être irréalisable compte tenu du mouvement des points de communication.

Les systèmes de communication sans fil peuvent être utilisés pour donner des informations en temps réel relatives à l'utilisation de l'équipement de protection individuelle (EPI). Par exemple, ils peuvent déterminer si chaque travailleur porte son équipement de protection individuelle, surveiller la présence des travailleurs et avertir que l'EPI n'est pas correctement utilisé. Ils peuvent également être très utiles pour détecter l'entrée d'un travailleur dans une zone où il peut être blessé (protection physique). Par exemple, ils peuvent détecter que le travailleur se trouve sur la trajectoire d'un bras robotisé qui se déplace ou d'un autre équipement mobile.

Les systèmes de communication sans fil peuvent résoudre ces problèmes et améliorer l'environnement de travail.

4.5.2.5 Réduction des émissions de CO₂

D'un point de vue politique et scientifique, la discussion globale porte sur la limitation du réchauffement climatique à une augmentation de 2 °C d'ici la fin du siècle. Pour atteindre un niveau acceptable de probabilité d'une telle limitation, l'AIE a établi un scénario de stabilisation à 450 µl/l (concentration équivalente de CO₂ cible). Ce scénario se traduirait par une réduction de presque 19 Gt des émissions de CO₂ par an comparé à un scénario de maintien de statu quo en 2030. Il est prévu d'atteindre pratiquement 45 % de la réduction nécessaire grâce à la mise en place de mesures de rendement en énergie. Ce pourcentage peut être réparti entre 10 % de contribution par l'industrie, 18 % par les bâtiments et 17 % par le secteur des transports. De plus, il est nécessaire de tenir compte de la durabilité et de la préservation des ressources. L'automatisation elle-même est un facteur nécessaire des mesures, des solutions et des systèmes de rendement en énergie.

Les énergies renouvelables (ER) sont des méthodes de production d'énergie qui peuvent être utilisées indéfiniment sans émettre de gaz à effet de serre, et qui sont importantes tant pour le rendement en énergie que pour la décarbonisation. Les énergies renouvelables comprennent la production d'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, la production thermodynamique solaire, l'électricité solaire photovoltaïque, la production d'énergie géothermique, les systèmes de pompe à chaleur et la production nucléaire.

La capture et le stockage (CCS) du CO₂ (dioxyde de carbone) est l'une des méthodes présentant un énorme potentiel de réduction considérable des émissions de CO₂. Il existe deux principales options potentielles de stockage du CO₂: l'océan et les réservoirs géologiques.

Dans tous les cas, les systèmes de communication sans fil sont très utiles.

4.5.2.6 Préservation des ressources naturelles limitées

Certains produits industriels contiennent des ressources naturelles limitées (de l'eau, de l'énergie et de l'or, par exemple) ou en ont besoin pour la fabrication des produits eux-mêmes. Ces ressources étant limitées, il convient de les utiliser de manière optimale pour assurer une société durable.

Les systèmes d'automatisation sont indispensables à cette optimisation, et les systèmes de communication sans fil peuvent aider à y parvenir.

Voici quelques exemples de préservation des ressources naturelles limitées grâce à des systèmes de communication sans fil:

- les systèmes de traitement des eaux usées, dans lesquels des informations supplémentaires provenant de vannes mobiles sont utilisées pour améliorer le processus d'assainissement et réduire la quantité d'eau douce dans les usines de produits chimiques;
- les réseaux intelligents, dans lesquels la mise en œuvre de nombreux appareils de mesure dans un système de commande largement distribué peut réduire la consommation d'énergie et donc économiser les combustibles fossiles;
- les procédés de production chimique, dans lesquels de nombreux appareils montés temporairement fournissent des données importantes uniquement au moment du démarrage et aident à réduire la quantité de matières premières.

4.5.3 Problèmes de santé

La puissance de transmission des systèmes Bluetooth, WLAN et d'autres systèmes sans fil est au moins 10 à 20 fois inférieure à celle des téléphones mobiles, qui peuvent fonctionner à 2 W. Les modules sans fil industriels ne sont pas non plus portés directement sur le corps, et

la puissance rayonnée absorbée par le corps est en général inférieure à un millième de l'énergie transmise. Comparée à un téléphone mobile, l'exposition aux rayonnements issus d'un module sans fil industriel est donc bien moindre et peut être considérée comme étant pratiquement nulle. Les risques médicaux sont par conséquent faibles.

NOTE Des informations supplémentaires sont disponibles dans les normes internationales (l'IEC 62479:2010, Annexe A [3] ou l'ICNIRP [21], par exemple) ou auprès d'organismes nationaux comme l'Office fédéral allemand chargé de la radioprotection (Bundesamt für Strahlenschutz), le Code de sécurité 6 au Canada, l'OET Bulletin 65 aux États-Unis, l'IEEE C95.1-2005 [19].

La communication sans fil n'est pas un problème si elle reste sous les limites indiquées en 4.5.3.

4.5.4 Autres questions

Comparée à la communication filaire, la technologie sans fil peut être perçue comme n'étant pas fiable.

Les appareils sans fil alimentés par batterie sont une source de préoccupation. Ce n'est pas un problème si les batteries sont utilisées conformément à la Directive 2006/66/CE [11] du Parlement européen relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs (également appelée Directive sur les piles) ou à une procédure similaire dans les autres pays.

La communication sans fil n'est pas un problème. La technologie sans fil est bien établie, elle fait l'objet de recherches depuis des décennies et est largement utilisée dans les espaces publics. L'alimentation par batterie est aujourd'hui bien établie et évolue grâce à l'e-mobilité.

5 Exigences de communication sans fil d'automatisation industrielle – considérations pour les experts

5.1 Utilisation des réseaux de communication sans fil en automatisation industrielle

5.1.1 Généralités

Le paragraphe 5.1 spécifie les exigences de communication sans fil dictées par les applications des systèmes de communication sans fil en automatisation industrielle.

Les systèmes de communication filaires ont été largement déployés dans l'automatisation industrielle pendant longtemps. Même si les systèmes de communication sans fil ne remplaceront jamais les systèmes de communication filaires existants, ils présentent des caractéristiques particulières dont sont dépourvus les systèmes filaires. Ces caractéristiques peuvent présenter des avantages substantiels pour les systèmes d'automatisation industrielle, mais elles soulèvent également de nouvelles questions à résoudre avant de procéder aux déploiements pratiques. Par conséquent, il convient de bien reconnaître les différences essentielles entre les systèmes de communication sans fil et les systèmes de communication filaires tant du point de vue des avantages qu'elles présentent que des questions qu'elles soulèvent. Ces différences essentielles sont présentées en 5.1.2.

Les systèmes de communication sans fil peuvent être utilisés dans de nombreux domaines d'application en automatisation industrielle. Ces domaines d'application peuvent être classés selon deux aspects. Un aspect concerne le niveau de l'installation dans lequel le système de communication sans fil est déployé, l'autre étant le type d'industrie dans lequel le système est déployé. Ces classifications sont présentées en 5.1.3 et 5.1.4, respectivement.

Il convient également de tenir compte de la phase de cycle de vie d'une installation (mise en service, maintenance, exploitation, etc.) dans laquelle l'application sans fil est utilisée, étant donné qu'elle est susceptible de faire l'objet d'exigences particulières.

Les exigences en matière de communication sans fil sont mieux étayées avec des cas pratiques d'utilisation. Certains cas pratiques classiques sont décrits en 5.2. Chaque cas d'utilisation met l'accent sur plusieurs exigences essentielles et fournit l'historique et le contexte des exigences pertinentes.

Pour couvrir toutes les exigences essentielles des systèmes de communication sans fil avec cohérence, il est utile de classer les exigences. Les exigences de communication sans fil classées sont spécifiées de 5.3.3 à 5.3.8.

Le Tableau 2 présente la structure des réseaux de l'installation dans les champs d'application.

Tableau 2 – Structure des réseaux de communication utilisés dans les champs d'application

Réseaux de communication en automatisation industrielle (5.1.3)	Champ d'application (5.1.4)	
	Contrôle de procédés (5.1.4.2)	Automatisation d'usine (5.1.4.3)
Réseau sans fil entre installations (5.1.3.2)	Cas d'utilisation (5.2)	
Réseau sans fil au niveau de l'installation (5.1.3.3)		
Réseau sans fil de capteurs/actionneurs (5.1.3.4)		

5.1.2 Différences essentielles entre les réseaux de communication sans fil et les réseaux de communication filaires

5.1.2.1 Généralités

La communication sans fil a été développée de différentes manières au cours de ces dernières années et s'est fait une place dans des applications complexes d'automatisation industrielle. Des personnes ont émis des réserves quant à l'utilisation des technologies sans fil, à cause des informations insuffisantes ou incorrectes à leur sujet. Le Paragraphe 5.1.2 a pour objet de répondre aux réserves les plus significatives.

5.1.2.2 Avantages de l'utilisation des réseaux de communication sans fil

La propriété la plus importante des systèmes de communication sans fil est sans aucun doute l'absence de fil pour connecter les nœuds de communication entre eux. Cette caractéristique non seulement réduit les coûts en matériau filaire, mais peut également réduire les coûts et la durée d'installation du système de communication. Cette propriété seule ouvre la porte à de nouvelles applications (un système de mesure provisoire pour les besoins de l'analyse de procédé et de dépannage, par exemple). De la même manière, des applications de communication filaires sont techniquement réalisables mais ne sont pas pratiques pour des raisons économiques (le câblage longue distance pour seulement quelques points de mesure, par exemple).

Les systèmes de communication sans fil pouvant être déployés sur des équipements mobiles ou rotatifs, ils peuvent être utilisés pour de nouvelles applications dont la conception serait impossible avec des systèmes de communication filaires. Un équipement sans fil mobile porté par les agents sur le terrain est une autre application efficace.

Il convient de ne pas considérer les systèmes sans fil comme un substitut définitif aux systèmes filaires, mais utilisés de manière ciblée, ils offrent des avantages non négligeables dans une multitude d'applications industrielles comparés aux systèmes connectés par câble. Ils présentent à la fois des avantages qualitatifs (une plus grande facilité d'utilisation et une plus grande souplesse d'installation, par exemple) et des avantages quantifiables (coûts d'installation et de maintenance moins élevés, par exemple) (voir le Tableau 3).

Tableau 3 – Avantages que présente l'utilisation des systèmes sans fil

Réseaux de l'installation	Exemple d'application	Avantages	Avantages pour l'utilisateur/opérateur
Réseaux sans fil entre installations	Télésurveillance	Indépendance des raccordements téléphoniques, Internet et réseau	• Moindres efforts de planification • Ingénierie simplifiée • Plus grande souplesse • Économies réalisées au niveau de l'exploitation, pour les coûts de connexion, en raison d'un matériel réduit et de processus optimisés
	Contrôle des systèmes d'alimentation en eau/de drainage	Voie de communication uniforme (pas de fonctionnement mixte entre les lignes analogiques, ISDN, DSL et dédiées)	
	Fonctionnement des usines de traitement mobiles (l'eau, par exemple)	Disponibilité des données à tout moment et en tout lieu sans réseau de câblage temporaire	
	Surveillance des systèmes décentralisés	Aucun système de commande de processus décentralisé n'est exigé	
	Surveillance des processus logistiques mobiles (grue, camion, par exemple)	Disponibilité permanente des données afin d'optimiser la gestion de la chaîne d'approvisionnement	
Réseaux sans fil au niveau de l'installation	Appareil de desserte de rayonnage, système monorail électrique et systèmes de véhicule à guidage automatique	Installation simplifiée, pas de maintenance et plus grande souplesse, contrairement aux conducteurs filaires et aux liaisons de données optiques	• Peuvent être aisément étendus • Disponibilité accrue • Plus grande souplesse • Plus grande sécurité des personnes • Planification des ressources améliorée • Économies réalisées lors de l'installation, de l'exploitation et des réparations
	Grue sur portique	Pas besoin de chaîne de halage, ce qui élimine les pannes provoquées par l'usure	
	Machines à transfert rotatif, changeurs d'outil	Beaucoup moins de points faibles provoqués par les conducteurs filaires ou les fiches de raccordement desserrées	
	Intégration d'interfaces d'E/S et d'interfaces série (des robots, par exemple)	Diminution du poids en raison d'économies de câble de données dans le chemin de câble	
	Mise en réseau de bâtiment	Pas de terrassement ni de travaux de pose exigés	
	Utilisation mobile	Utilisation très facile et économie de terminaux de fonctionnement supplémentaires	
	Localisation des personnes et des équipements	La position peut être déterminée sans fil	
Réseaux sans fil de capteurs/actionneur	Surveillance des points de mesure (la température, par exemple)	Pas de pose de câbles de données et souvent pas de ligne électrique côté appareil de terrain	• Peuvent être aisément étendus • Disponibilité accrue • Plus grande souplesse • Meilleure qualité du processus et du produit
	Surveillance des stations de mesure mobiles	Pas d'installation ni de dépose des réseaux de câblage temporaire	

Réseaux de l'installation	Exemple d'application	Avantages	Avantages pour l'utilisateur/opérateur
	Machines à transfert rotatif, changeurs d'outil	Pas de points faibles provoqués par les conducteurs filaires ou les fiches de raccordement desserrées ou défectueuses	grâce aux capteurs supplémentaires • Économies réalisées lors de l'installation et de l'exploitation
	Détection de signal au niveau de l'installation	Connexion des capteurs/actionneurs qui sont répartis ou difficiles d'accès, et rénovation/conversion rapide	
	Surveillance de la corrosion, surveillance des soudures de tube pour détecter les fuites, surveillance des vibrations	Le câblage physique du capteur est totalement inconcevable (le long d'un tube élevé entre 5 m et 10 m au-dessus du sol, par exemple)	

5.1.2.3 Questions relatives au déploiement des systèmes sans fil

Même si les systèmes sans fil présentent l'avantage d'éviter d'installer des câbles, leur mise en œuvre soulève de nouveaux défis.

Le confinement du support sans fil n'est pas bien défini ni visible. Par conséquent, le trajet et les caractéristiques de propagation radioélectrique dépendent fortement des conditions d'environnement, et le brouillage radioélectrique peut venir de toutes les directions.

Il est nécessaire que plusieurs systèmes de communication sans fil partagent un espace commun en tant que support de communication. Plusieurs systèmes de communication ne peuvent pas utiliser simultanément une bande de fréquences particulière dans le même espace. Il est nécessaire de résoudre ce problème tout en continuant à satisfaire aux exigences d'automatisation industrielle.

De plus, les collisions se produisent au niveau du récepteur, alors que l'émetteur est en général incapable de détecter que le récepteur correspondant est confronté à des collisions.

5.1.3 Réseaux de communication en automatisation industrielle

5.1.3.1 Généralités

Dans les cas particuliers, les exigences, les avantages et les bénéfices que présentent les systèmes sans fil dépendent fortement de l'application à l'étude. C'est la raison pour laquelle il est préférable de les répartir en champs d'application. Cela permet de procéder à des comparaisons pertinentes entre les différents systèmes sans fil, ainsi qu'avec les solutions filaires.

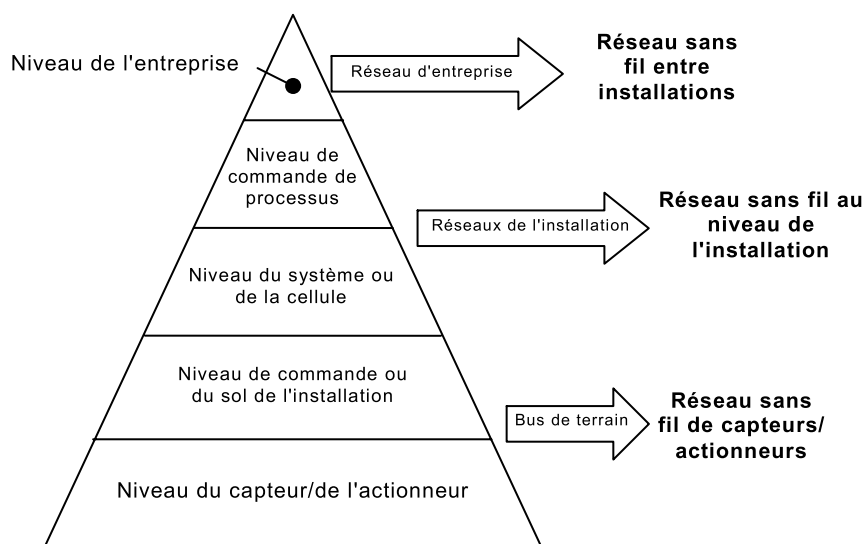
Les réseaux de communication pour l'automatisation industrielle peuvent être assez librement organisés autour de la "pyramide d'automatisation" classique (voir la Figure 3).

Les différents réseaux de communication sont les suivants:

- réseau d'entreprise;
- réseau d'installation;
- bus de terrain.

La technologie sans fil permet d'étendre ces trois types de réseaux.

- a) Réseaux sans fil entre installations: réseaux comportant un petit nombre de composants, avec un étalement spatial important à très important et des volumes de données faibles à moyens, pour la télémaintenance et la commande à distance.
- b) Réseaux sans fil au niveau de l'installation: réseaux comportant un nombre moyen de composants, avec un étalement spatial limité et des volumes de données faibles à très importants, en fonction des exigences de l'application.
- c) Réseaux sans fil de capteurs/actionneurs: réseaux s'appuyant sur des nœuds capteurs et actionneurs fonctionnant sur le terrain avec de très petits paquets de données et un très grand nombre de composants.



IEC

Figure 3 – Système de communication sans fil étroitement lié à la pyramide d'automatisation

5.1.3.2 Réseau sans fil entre installations

En premier lieu, un réseau sans fil entre installations est destiné à couvrir de grandes distances. Les machines et systèmes stationnaires, ainsi que les participants mobiles (les véhicules, par exemple) peuvent donc être accessibles à distance. Au départ, la vitesse de transfert de données utilisables joue un rôle secondaire, des efforts étant même faits pour atteindre des débits binaires aussi élevés que possible. Une différence peut également être faite entre l'échange occasionnel de données, souvent suffisant pour les applications de télécommande (le transfert sporadique de valeurs mesurées, par exemple) et l'échange continu de données, souvent exigé pour la télémaintenance, même pour une période limitée.

Outre les solutions sans fil propriétaires avec des plages de quelques kilomètres ou la communication par satellite, des solutions GSM, GPRS, UMTS, LTE, EDGE et d'autres solutions sans fil sont utilisées. Ces systèmes présentent l'avantage d'être disponibles au niveau mondial, d'augmenter la bande passante et de diminuer les coûts.

5.1.3.3 Réseau sans fil au niveau de l'installation

Les applications de ce domaine peuvent être divisées en quatre sous-domaines.

- a) Communication sans fil entre participants stationnaires (deux machines ou parties d'un système dans lesquelles le câblage est au moins deux fois plus cher en raison des conditions locales, par exemple).
- b) Communication sans fil avec ou entre des participants mobiles (des systèmes de véhicule à guidage automatique, par exemple).
- c) Communication sans fil pour la commande et la surveillance.

- d) Communication sans fil pour la localisation, c'est-à-dire pour détecter des personnes et des objets à l'aide de transpondeurs appropriés.

Les exigences en matière de vitesse de transfert de données, les performances en temps réel et le nombre maximal de participants pris en charge peuvent varier largement dans ces quatre sous-domaines, car ils sont intimement liés à l'application à mettre en œuvre. Si seulement quelques signaux doivent être transférés par la technologie sans fil, seul un module E/S décentralisé doté d'une interface radio intégrée est en général exigé. D'autre part, si un déploiement de réseau sans fil à large bande est exigé (pour connecter plusieurs systèmes de commande, ordinateurs ou panneaux d'opérateur mobile, par exemple), le réseau WLAN serait un système sans fil adapté. Ce système offre également la possibilité d'utiliser le réseau sans fil pour plusieurs applications (pour transférer des flux de données vidéo parallèlement aux données de commande et de visualisation, par exemple).

En cas de besoin supplémentaire de transmission de signaux de sécurité, il est essentiel que le système sans fil puisse prendre en charge un protocole de sécurité qui, s'il est par exemple combiné à un réseau WLAN ou Bluetooth, permet d'utiliser les normes Industrial Ethernet conformément à l'IEC 61784-2 et leurs profils de sécurité fonctionnelle conformément à l'IEC 61784-3.

5.1.3.4 Réseau sans fil de capteurs/actionneurs

Ce réseau sans fil est souvent lié par des passerelles (convertisseurs de protocole) à d'autres réseaux (Ethernet, par exemple), car seulement de petits volumes de données doivent être transférés.

Différents réseaux sans fil se sont établis eux-mêmes dans l'automatisation industrielle en raison des différentes exigences en matière d'automatisation d'usine et de contrôle de procédés.

Même si les réseaux de capteurs/actionneurs qui composent une automatisation d'usine utilisent en général un grand nombre de petits paquets de données sur de courtes distances avec un débit élevé, l'aspect le plus important du contrôle de procédés est en général la transmission sans fil sécurisée sur de longues distances.

Jusqu'à présent, pour un réseau sans fil de capteurs/actionneurs, seules quelques normes de protocole ont permis d'assurer l'interopérabilité entre les appareils provenant de différents fabricants.

Les applications de contrôle de procédés utilisent des normes de protocole s'appuyant sur l'IEEE 802.15.4, comme l'IEC 62591 (*WirelessHART*®), l'IEC 62601 (WIA-PA), l'IEC 62734 (ISA100.11a), voire des protocoles propriétaires.

Les applications d'automatisation d'usine utilisent des normes de protocole s'appuyant, par exemple, sur l'IEEE 802.15.1 [16], l'IEEE 802.11 [15], l'IEEE 802.15.4 [18], voire même des protocoles propriétaires.

5.1.4 Champs d'application

5.1.4.1 Généralités

Les technologies d'automatisation industrielle sont assez différentes pour l'automatisation d'usine et le contrôle de procédés, compte tenu des différentes exigences posées par chacune de ces applications.

5.1.4.2 Contrôle de procédés

Le contrôle de procédés se caractérise principalement par des applications dans le domaine de la commande, de la surveillance et du diagnostic des procédures de chauffage, de refroidissement, de mélange, d'agitation et de pompage.

Souvent, des signaux analogiques de surveillance du niveau de remplissage, de la température ou de la pression sont transférés et évalués. Ces valeurs mesurées ont été mises à disposition pour automatiser les opérations extraordinaires de démarrage et d'arrêt du procédé continu et du procédé discontinu. De plus, elles permettent de contrôler la qualité du produit et le passage des produits à un procédé discontinu correspondant à la fabrication d'un large éventail de produits en petites quantités. Les valeurs mesurées du contrôle de procédés varient relativement lentement. Un échantillonnage réalisé toutes les 100 ms sur plusieurs secondes est classique pour ces applications. Cette caractéristique détermine directement les exigences relatives aux vitesses de réaction des technologies sans fil appliquées dans le contrôle de procédés.

L'énergie exigée par les composants sans fil et les composants de capteur est par conséquent faible, et peut souvent être fournie par des blocs d'alimentation décentralisés, comme des piles ou des récupérateurs d'énergie (l'énergie est générée par des variations de température, de la lumière, les vibrations de la machine ou des fluides, par exemple).

Un important système de contrôle de procédés exige de larges portées de transmission sans fil.

La taille d'un système de contrôle de procédés est souvent beaucoup plus grande que dans les installations d'automatisation d'usine classique. Dans ce domaine, une large plage est donc une exigence importante pour les réseaux sans fil.

La structure de l'installation ne change que modérément dans le temps comparée à l'automatisation d'usine, les conditions de propagation changeant donc en conséquence.

5.1.4.3 Automatisation d'usine

Les processus de production rapides sont caractéristiques des machines et des systèmes d'automatisation d'usine. Cela signifie souvent que les pièces mécaniques se déplacent dans un espace limité.

Les processus rapides exigent des cycles de manœuvres courts et un transfert à sécurité intégrée des signaux du capteur et de l'actionneur. Des durées de cycle inférieures à 10 ms sont plutôt normales. Cette caractéristique de l'automatisation d'usine détermine directement les exigences relatives aux technologies sans fil.

Les processus de production rapides sont les plus exigeants pour les solutions sans fil.

Compte tenu de leur étalement spatial limité, plusieurs réseaux sans fil sont souvent utilisés dans le même espace réduit.

Les technologies sans fil peuvent couvrir l'éventail d'applications le plus étendu dans l'automatisation d'usine. Des utilisations ont déjà été mises en œuvre, de la connexion sans fil des capteurs à l'intérieur d'une cellule d'automatisation à la communication sur le terrain ou au niveau de commande. Des solutions sans fil diversifiées offrent donc des technologies s'articulant autour des exigences respectives en matière de plage, de durée de cycle et de nombre de participants.

5.2 Exigences en matière d'application d'automatisation industrielle (cas d'utilisation)

5.2.1 Généralités

Le paragraphe 5.2 décrit certains cas d'utilisation de communication sans fil dans les applications industrielles. Il s'agit d'une part d'illustrer les avantages que présentent les applications sans fil, et d'autre part de mentionner les exigences techniques du point de vue d'une application. Toutes les exigences majeures sont incluses dans les cas d'utilisation de 5.2.

5.2.2 Cas d'utilisation 1 – Sécurité des travailleurs autour des machines de transport

5.2.2.1 Description

Ce cas d'utilisation concerne les machines de transport utilisées sur les lignes d'assemblage intérieures (pour la fabrication d'automobiles ou d'appareils électriques domestiques, par exemple). Ces machines de transport automatisées sont également appelées AGV. Certains véhicules de transport automatisés, commandés par l'intermédiaire de communications sans fil, transportent des pièces et des composants, qu'ils placent dans les postes de la ligne d'assemblage. Les véhicules se déplacent sur des pistes prévues à cet effet qui, à certains endroits, croisent des personnes. Dans ces zones de croisement, un mécanisme de verrouillage de sécurité est exigé pour assurer la sécurité des travailleurs.

Des rideaux lumineux, des lecteurs de codes à barres laser ou des lecteurs radar placés à l'avant d'un véhicule sur le chemin détectent l'entrée de personnes dans la zone de croisement. Cet événement est signalé à une unité logique de sécurité, qui reconnaît la situation et décide d'arrêter le véhicule qui approche de la zone de croisement. La connectivité filaire avec le véhicule n'est pas pratique, car ce dernier se déplace sur la piste, la communication entre l'unité logique et le véhicule étant donc assurée par les communications sans fil.

5.2.2.2 Conséquence de la perte de fonction

Si la communication d'une demande d'arrêt du véhicule n'aboutit pas, le véhicule risque d'entrer dans la zone de croisement occupée par des personnes. Le véhicule de transport peut alors gravement blesser le personnel. Le véhicule lui-même peut être endommagé. De plus, un accident a un impact sur la continuité du fonctionnement de la chaîne de production, engendrant des pertes de production.

5.2.2.3 Exigences essentielles

Si le système de communication arrête de fonctionner, il convient que cet état soit détecté, et le véhicule doit immédiatement s'arrêter, même si l'unité logique ne le lui a pas demandé.

Un cas grave de défaillance est lorsque le mécanisme de détection des erreurs ne peut pas détecter l'erreur qui a modifié la teneur d'une demande. Dans ce cas, le véhicule peut interpréter le message comme si aucune demande d'arrêt n'avait été reçue dans les conditions de communication normales, ce qui peut provoquer un accident.

Les mécanismes présentant un certain niveau de complexité et dotés d'une capacité de détection d'erreur correspondante (contrôle de redondance cyclique, par exemple) sont en général utilisés dans le système de communication de sécurité pour détecter les erreurs, mais ils ne se suffisent pas à eux-mêmes. Pour satisfaire aux niveaux de sécurité exigés (les niveaux de SIL spécifiés dans l'IEC 61508, par exemple), il convient que le taux d'erreur sur les bits soit inférieur à un certain niveau, en fonction du taux d'erreur résiduel du mécanisme de détection des erreurs. Une immunité suffisante au brouillage électromagnétique est nécessaire pour le système de communication afin de maintenir le taux d'erreur sur les bits sous le niveau acceptable.

Le délai de communication est également important. Si le temps de réaction entre la détection d'un événement par le rideau lumineux et l'arrêt du véhicule est plus court que le temps de sécurité du processus, qui est le temps de réaction maximal acceptable pour le processus cible, un accident peut se produire.

5.2.3 Cas d'utilisation 2 – Surveillance de niveau et alarme dans un parc de stockage

5.2.3.1 Description

Ce cas d'utilisation concerne un parc de stockage dans lequel sont installés d'énormes réservoirs, sur une surface de plusieurs kilomètres carrés. Ces réservoirs peuvent contenir

des matières dangereuses (des matières combustibles et toxiques, par exemple). La surveillance du niveau et son alarme associée sont très importantes pour éviter les fuites.

Un parc de stockage occupant une vaste zone, son câblage est très coûteux, plus particulièrement s'il est uniquement destiné à la surveillance du niveau.

La communication sans fil contourne les problèmes provoqués par d'importantes différences de potentiel électrique qui peuvent se produire dans les équipements de communication en cas de foudre à proximité ou sur un parc de stockage.

Il n'est plus nécessaire de câbler les parcs de stockage pour diminuer les différences de potentiel électrique si la communication est assurée par des appareils sans fil qui n'ont pas besoin d'une alimentation externe.

Une communication sans fil est très efficace dans ces cas.

5.2.3.2 Conséquence de la perte de fonction

Si les fonctions de surveillance et d'alarme ne fonctionnent pas correctement à la suite d'erreurs de communication, le réservoir peut déborder.

Une fuite de substances toxiques peut avoir un impact sur la santé des travailleurs et provoquer de graves problèmes d'environnement. Le débordement de matière combustible peut provoquer des explosions ou des incendies. Ces accidents endommagent les biens de production et provoquent la perte de matériaux, avec des préjudices financiers considérables.

L'optimisation des stocks est un autre aspect important de la surveillance du niveau. Certaines matières stockées dans les réservoirs sont très chères, et le fait de réduire le plus possible ces stocks permet d'économiser les coûts de production.

5.2.3.3 Exigences essentielles

Pour couvrir correctement la zone d'un parc de stockage, une communication longue portée est exigée. Dans certains cas, les nœuds de communication sont séparés par plusieurs structures métalliques, ce qui peut provoquer une atténuation et une distorsion due à la propagation par trajets multiples. Par conséquent, de meilleures performances de propagation sont exigées. La structure des réservoirs individuels peut être très volumineuse, ce qui peut être un obstacle à la propagation radioélectrique. Dans ce cas, si une ligne visuelle vers l'emplacement des capteurs de niveau peut ne pas être réalisable, les obstacles peuvent être contournés grâce à une topologie maillée.

5.2.4 Cas d'utilisation 3 – Support des agents sur le terrain avec un équipement sans fil mobile

5.2.4.1 Description

Les agents sur le terrain officiant dans l'industrie de transformation parcourent de grandes distances dans les installations extérieures pour assurer les rondes ou la maintenance. Ils doivent consulter des documents relatifs aux modes opératoires normalisés (SOP) pour exécuter leurs tâches (opération du processus et maintenance de l'équipement, par exemple). S'ils ne disposent pas de moyens de communication intelligents, ils doivent porter de lourds classeurs contenant les procédures d'exploitation normalisées. Une personne chargée de la maintenance peut avoir besoin des manuels d'instruction de l'équipement, qui contiennent des informations graphiques. Les systèmes de communication sans fil sont utiles pour ces applications, une connexion filaire ne s'avérant pas très pratique pour les agents sur le terrain mobiles.

Une personne qui contrôle les conditions du processus peut avoir besoin d'informations relatives à un système DCS (les configurations de boucles et les données de tendance

historique, par exemple) afin de reconnaître les conditions du processus par des valeurs mesurées. Pour fournir ces informations, un accès sans fil au DCS est utilisé. Dans ce cas, il convient que les délais de communication soient suffisamment courts pour fournir des données à jour indiquant les conditions du processus en cours.

Parfois, une communication vocale entre les agents sur le terrain et les ingénieurs dans la salle de commande est utile. L'ingénieur dans la salle de commande peut accéder aisément à une grande quantité d'informations et peut conseiller les agents sur le terrain qui disposent d'informations limitées. Même des informations vidéo peuvent être utilisées pour appuyer les activités sur le terrain. Les données vidéo, récoltées par un agent sur le terrain et envoyées à la salle de commande, peuvent aider les ingénieurs à comprendre la situation et donner des instructions.

En cas d'urgence, un système de communication sans fil participe à la sécurité des agents sur le terrain. Outre le fait d'assurer la communication vocale, un système de localisation en temps réel permet de reconnaître l'emplacement, les mouvements et l'état de l'agent sur le terrain.

5.2.4.2 Conséquence de la perte de fonction

En cas de défaillance du système de communication sans fil, l'efficacité du travail sur le terrain diminue considérablement et la sécurité des agents sur le terrain peut être gravement compromise.

5.2.4.3 Exigences essentielles

Il convient que le système de communication sans fil couvre l'ensemble de la zone dans laquelle les agents sur le terrain peuvent se déplacer. Pour obtenir la portée de radio appropriée, une topologie maillée peut être exigée.

Les graphiques, les images et la diffusion en continu d'éléments vocaux et vidéo demandent une bande passante de communication sans fil assez importante.

Il convient que l'équipement de communication sans fil transporté par les agents sur le terrain soit léger et qu'il présente une autonomie suffisante. Il convient donc de réduire le plus possible la consommation de puissance afin de réduire le poids de la batterie et prolonger sa durée de vie.

5.2.5 Cas d'utilisation 4 – Surveillance et analyse des vibrations des machines rotatives

5.2.5.1 Description

Ce cas d'utilisation concerne la maintenance conditionnelle. Étant donné que le diagramme vibratoire de la plupart des machines rotatives change au fur et à mesure de la détérioration, la surveillance des vibrations peut permettre de déterminer le temps de maintenance de ces machines. Dans certains cas, une connexion filaire au capteur de vibrations n'est pas pratique en raison de son mouvement. Dans d'autres cas, le nombre de points à mesurer est tellement important que le câblage n'est pas acceptable en raison du coût. Un système de communication sans fil peut être utilisé pour résoudre ces problèmes.

5.2.5.2 Conséquence de la perte de fonction

Si la surveillance d'état par l'intermédiaire de communications sans fil n'est pas disponible, le travail de maintenance est obligé de reposer sur un calendrier estimé. Cela signifie généralement que la fréquence de maintenance augmente alors que le risque d'arrêts imprévus à la suite d'une dégradation non détectée de l'équipement augmente également.

5.2.5.3 Exigences essentielles

La taille de données des diagrammes vibratoires est en général relativement importante. Dans certains cas, une surveillance en temps réel est nécessaire pour fournir une alarme. Par conséquent, une bande passante importante et des performances en temps réel sont exigées.

5.2.6 Cas d'utilisation 5 – Surveillance et commande de tête de puits de pétrole

5.2.6.1 Description

Ce cas d'utilisation concerne les têtes de puits de pétrole dispersées dans de vastes champs pétrolifères. La pression et le débit de pétrole brut varient selon l'état du champ pétrolifère. Pour contrôler le volume de production total de pétrole de plusieurs têtes de puits, il convient de régler les vannes installées sur chacune d'elles en fonction des conditions indiquées par le débit, la pression et la température.

Les têtes de puits de pétrole sont en général dispersées et automatisées. Le contrôle de chaque tête de puits pour vérifier son état et la régler est chronophage et inefficace. L'installation d'un système de communication filaire n'est pas pratique, car les têtes de puits sont dispersées dans un grand espace. Par conséquent, un système de communication sans fil peut être une solution efficace. L'état de chaque tête de puits peut être surveillé à distance. Même les vannes peuvent être réglées à distance. Par conséquent, la fréquence de visite d'une tête de puits peut être énormément réduite.

5.2.6.2 Conséquence de la perte de fonction

Si la communication sans fil n'est pas disponible, la fréquence de visite des têtes de puits augmente et la capacité de production ne peut pas être optimisée.

5.2.6.3 Exigences essentielles

Une portée de radio suffisante est exigée pour se connecter à des têtes de puits distantes. En règle générale, une ligne visuelle est possible, mais il convient de tenir compte des conditions climatiques perturbées.

Les têtes de puits se trouvant dans des endroits éloignés et automatisés, les visites de l'équipement sans fil pour remplacer ses batteries doivent être aussi rares que possible. Par conséquent, la consommation de puissance du système sans fil doit être réduite le plus possible.

Des mesures de sécurité appropriées doivent être prévues. En effet, le réseau sans fil s'étendant sur une vaste zone ouverte, des personnes mal intentionnées peuvent aisément avoir accès au réseau.

5.2.7 Cas d'utilisation 6 – Quelques applications pour l'automatisation d'usine, avec un grand nombre de nœuds

5.2.7.1 Description

Ce cas d'utilisation est une application générique en fabrication intérieure (d'automobiles ou d'appareils électriques domestiques, par exemple). En règle générale, le montage d'une chaîne de production change plus souvent comparé à celui de l'industrie de transformation. La rénovation du système de communication d'une chaîne de production est bien moindre lorsque le système de communication repose sur une technologie sans fil plutôt que sur une technologie filaire.

5.2.7.2 Conséquence de la perte de fonction

En cas de perte de fonction d'un système de communication sans fil, les parties critiques de la chaîne de production (une cellule de travail robotisée, par exemple) ne peuvent plus fonctionner.

5.2.7.3 Exigences essentielles

La densité de composants sans fil dont est composé un atelier de fabrication est en général très forte, de nombreuses applications sans fil encombrant le même espace. De plus, le trafic sans fil est beaucoup plus important dans l'industrie manufacturière que dans l'industrie de transformation. Par conséquent, la coexistence de plusieurs systèmes de communication sans fil est essentielle. Il est vivement recommandé d'établir une gestion de coexistence conformément à l'IEC 62657-2, un point de coordination central ou un mécanisme adapté permettant d'obtenir et de maintenir la coexistence.

5.3 Exigences relatives au réseau de communication sans fil

5.3.1 Synchronisation et temps réel

5.3.1.1 Exigences communes

Tous les systèmes impliqués dans l'automatisation industrielle posent certaines contraintes eu égard au temps de réponse, c'est-à-dire le temps entre la présentation d'un ensemble d'entrées (stimulus) et la présentation du comportement exigé (réponse), y compris la disponibilité de toutes les sorties associées. Évidemment, la rapidité du temps de réponse doit dépendre des caractéristiques de l'installation commandée.

Dans les tâches de régulation, les retards apparaissent comme des temps morts, qui peuvent être également affectés par la gigue (retard variable). Dans les tâches séquentielles, les retards ralentissent le fonctionnement de l'installation, probablement au-delà de ce qu'elle peut tolérer. Le retard et la gigue dus au réseau sans fil doivent clairement être inférieurs à la valeur ayant un impact sur le temps de réponse exigé du système. De plus, la synchronisation temporelle entre les appareils sans fil est également exigée. La synchronisation temporelle empêche la perturbation mutuelle des communications, et l'utilisation d'horodatages ajoutés aux données transmises permet de dissocier la réactivité d'une station du retard de communication et de la gigue. La synchronisation temporelle peut être assurée en attribuant des intervalles de transmission aux stations et en leur faisant respecter un plan de transmission de message dans le temps. Mise en œuvre de cette manière, la synchronisation temporelle permet d'éviter les collisions, d'obtenir un temps de réponse correct et de mieux utiliser la bande passante.

Si des applications industrielles exigent des résultats dans un temps limité, le système d'automatisation industrielle doit être un système déterministe ou en temps réel. Par conséquent, un système de communication utilisé dans ce système d'automatisation industrielle doit assurer le transfert de données exigé dans un temps limité, y compris les répétitions nécessaires à la correction des erreurs de transmission.

5.3.1.2 Exigences relatives aux systèmes en temps réel sans fil

5.3.1.2.1 Principes de base des indicateurs de performances

Un réseau de communication en temps réel sans fil (WRT) est un réseau de communication sans fil qui assure une communication en temps réel.

Les exigences des utilisateurs de ces réseaux de communication WRT sont différentes en fonction des applications. Pour satisfaire à ces exigences de manière optimale, les réseaux de communication WRT offrent des performances différentes.

Des indicateurs de performances (spécifiés en 5.3.1.2.3) peuvent être utilisés pour spécifier les capacités d'un appareil terminal WRT et d'un réseau de communication WRT, ainsi que les exigences d'une application. Les indicateurs de performances peuvent être autant de moyens d'interaction entre l'utilisateur de l'appareil WRT et le fabricant de l'appareil et des composants de réseau WRT. Le paragraphe 5.3.1.2.2 spécifie les exigences d'application.

Les indicateurs de performances représentent

- a) les capacités d'un appareil terminal WRT,
- b) les capacités d'un réseau de communication WRT, et
- c) les exigences d'une application.

Un ensemble cohérent d'indicateurs de performances (spécifiés en 5.3.1.2.3) est utilisé pour représenter les capacités WRT. Certains indicateurs de performances sont interdépendants, auquel cas, certaines valeurs d'indicateur dépendent de la valeur d'autres indicateurs pour former un ensemble cohérent.

NOTE 1 L'interdépendance est due à des contraintes physiques ou logiques, qui ne peuvent pas être enfreintes. Par exemple, les indicateurs "Débit WRT" (qui utiliserait 90 % de la bande passante totale) et "Débit non WRT" (90 %) ne peuvent pas se produire en même temps, car cela indiquerait une charge de transmission de 180 %.

Aucune valeur limite générale pour spécifier les performances WRT n'est spécifiée pour les indicateurs dans le présent document, mais il est nécessaire que les fournisseurs d'appareil spécifient les valeurs limites pour un produit particulier s'ils revendiquent la conformité au présent document.

Les appareils spécifiques à la technologie doivent spécifier

- a) le choix des indicateurs de performances parmi ceux possibles définis en 5.3.1.2.3 et pertinents pour un appareil donné, éventuellement avec leurs limites ou leurs plages,
- b) l'interdépendance entre les indicateurs de performances,
- c) éventuellement, des listes contenant les valeurs d'indicateurs de performances cohérents.

Chacune des listes contient au moins un indicateur de performances avancé. Une valeur fixe est préalablement attribuée aux indicateurs de performances avancés (en général optimisée pour obtenir les meilleures performances globales). Les autres indicateurs de performances de la liste sont présentés avec leurs limites de cohérence associées,

- d) éventuellement, une représentation plus exhaustive de la relation entre les indicateurs de performances (la Figure 4 donne un exemple de représentation graphique).

Si les appareils terminaux WRT et les réseaux de communication WRT contiennent au moins un ensemble cohérent d'indicateurs de performances, cet ensemble peut être utilisé pour la conception selon les exigences de l'application.

NOTE 2 Un ensemble de listes d'indicateurs de performances cohérents est uniquement donné lorsque l'interdépendance entre les indicateurs de performances existe.

NOTE 3 Des applications peuvent exiger qu'un indicateur particulier ait plus d'importance que tous les autres. Ces applications trouvent utile la possibilité de choisir la liste d'indicateurs cohérents contenant l'indicateur avancé pertinent. D'autres applications peuvent exiger que plusieurs indicateurs soient d'importance égale. Pour ces applications, une représentation graphique ou plus exhaustive de la relation entre les indicateurs cohérents est plus appropriée. La Figure 4 est un exemple de représentation graphique d'indicateurs cohérents donnés par un appareil.

NOTE 4 La conception des appareils terminaux WRT relève du fabricant de ce type d'appareil. Par conséquent, aucune hypothèse ne peut être formulée quant au nombre de stations d'extrémité WRT (interfaces de réseau) intégrées dans un appareil. Pour obtenir des indicateurs de performances comparables du point de vue de l'application, les indicateurs de performances sont intégrés dans les stations d'extrémité WRT, et pas dans les appareils WRT.

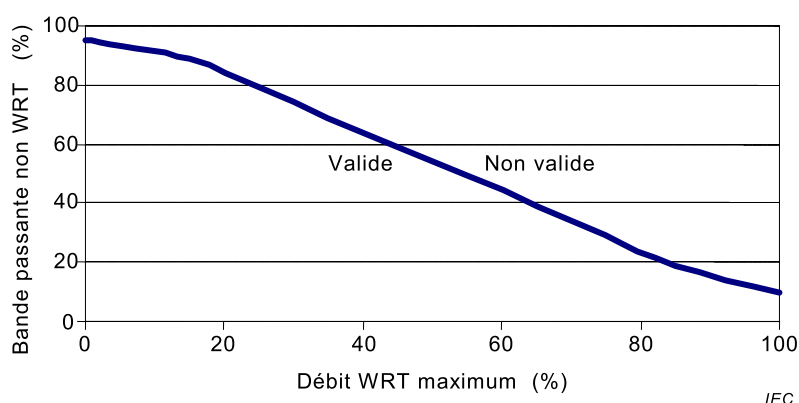


Figure 4 – Exemple de représentation graphique d'indicateurs cohérents

5.3.1.2.2 Exigences relatives à l'application

Les capacités d'un réseau de communication WRT sont spécifiées en 5.3.1.2.3 en tant qu'indicateurs. Les indicateurs sont utilisés pour mettre en correspondance les exigences relatives à l'application avec les capacités des composants conformes à un ou plusieurs appareils.

La définition des indicateurs de performances s'appuie sur un modèle général de communication industrielle sans fil (voir la Figure 5). Elle part du principe qu'une application d'automatisation contient des fonctions d'automatisation distribuée qui échangent leurs données sans fil. Cela signifie que les fonctions de communication sans fil sont utilisées pour la transmission de données.

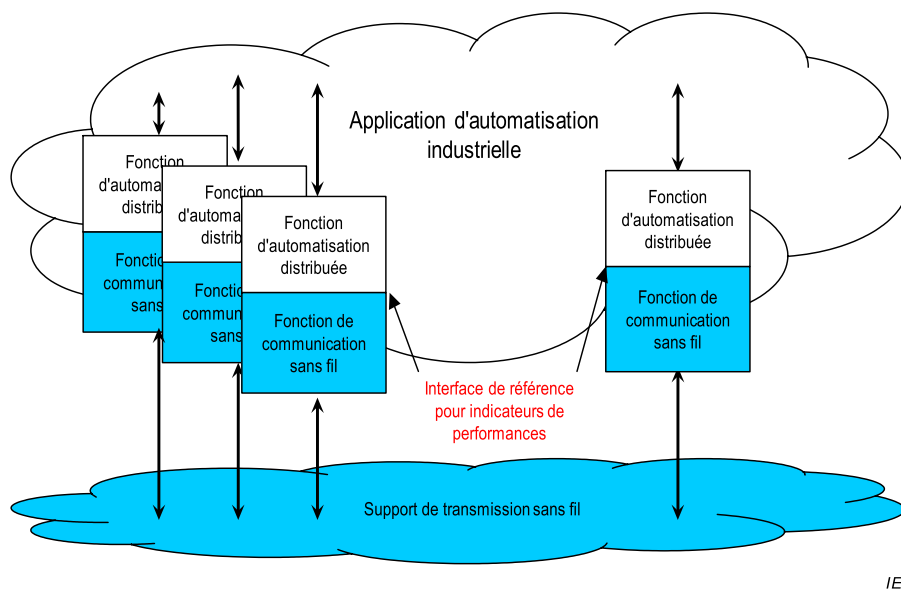
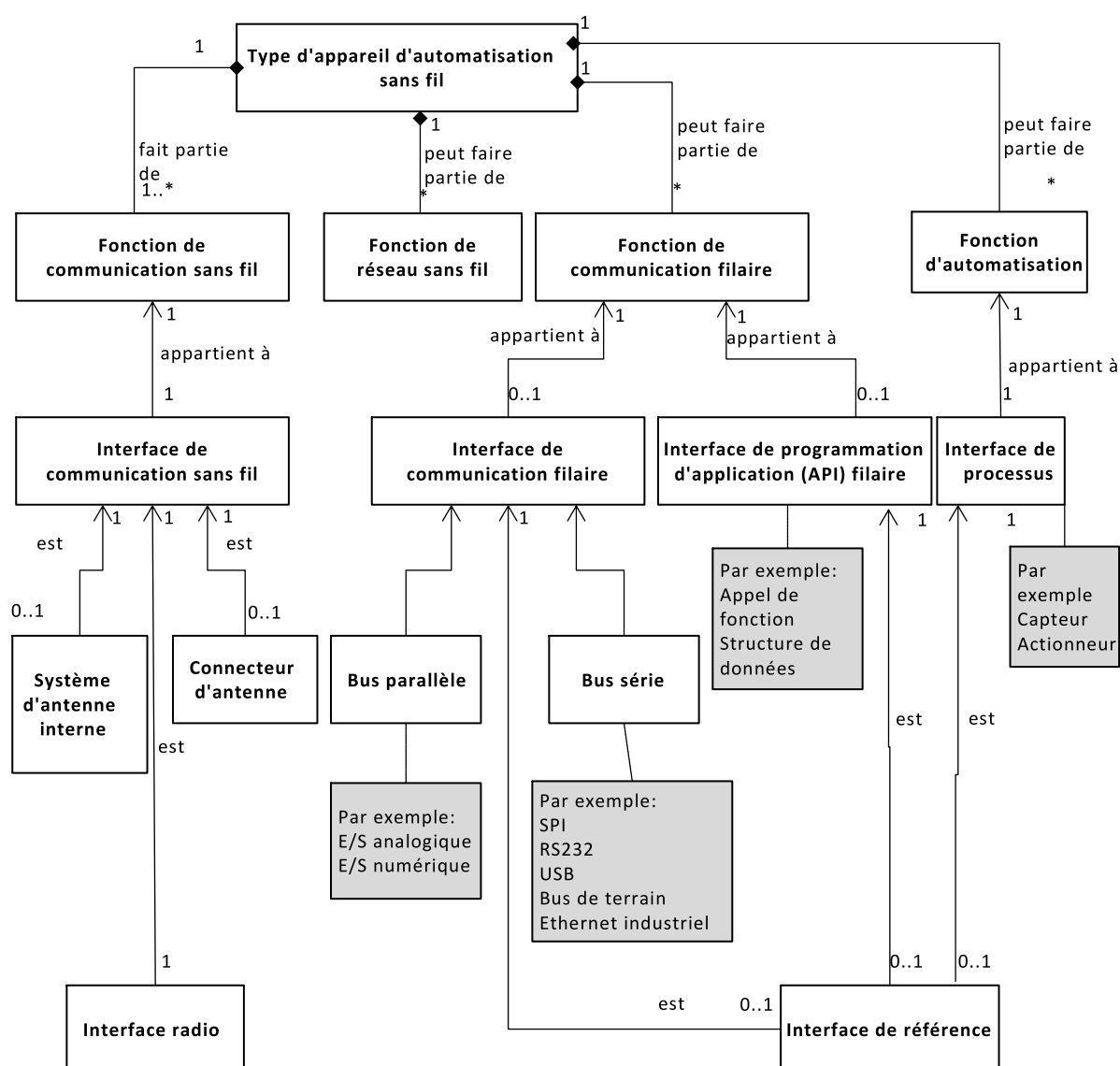


Figure 5 – Modèle de système général pour la définition des exigences de performances de communication d'application

Dans ce contexte, la condition essentielle est que le système de communication sans fil doit satisfaire aux exigences de performances de l'application. Les points de référence pour une évaluation quantitative de cette demande sont les interfaces entre la fonction d'automatisation et la fonction de communication. Les valeurs exigées d'indicateur de performances par rapport à ces interfaces de référence doivent être respectées par les valeurs de paramètre caractéristiques du système de communication sans fil. La variété des systèmes de communication sans fil et des mises en œuvre d'appareil explique pourquoi aucune interface de référence unique ne peut être spécifiée. Toutefois, grâce au modèle d'appareil

d'automatisation sans fil présenté à la Figure 6, une interface de référence virtuelle peut être définie.



IEC

Figure 6 – Modèle d'appareil d'automatisation sans fil pour la définition des exigences de performances de communication d'application

Selon l'application d'automatisation, la demande de transmission de données utilisateur ou l'événement de réception réussie est transféré(e) par l'intermédiaire d'une interface de communication filaire (un bus de terrain, par exemple), d'une interface de programmation d'application (un tampon ou FIFO, par exemple) ou d'une interface de processus (une entrée numérique, par exemple). De cette manière, l'événement de départ et l'événement d'arrêt des mesures d'indicateur de performances peuvent être spécifiés.

Des exemples d'appareils de communication sans fil dotés d'interfaces de référence différentes sont présentés à la Figure 7 et la Figure 8.

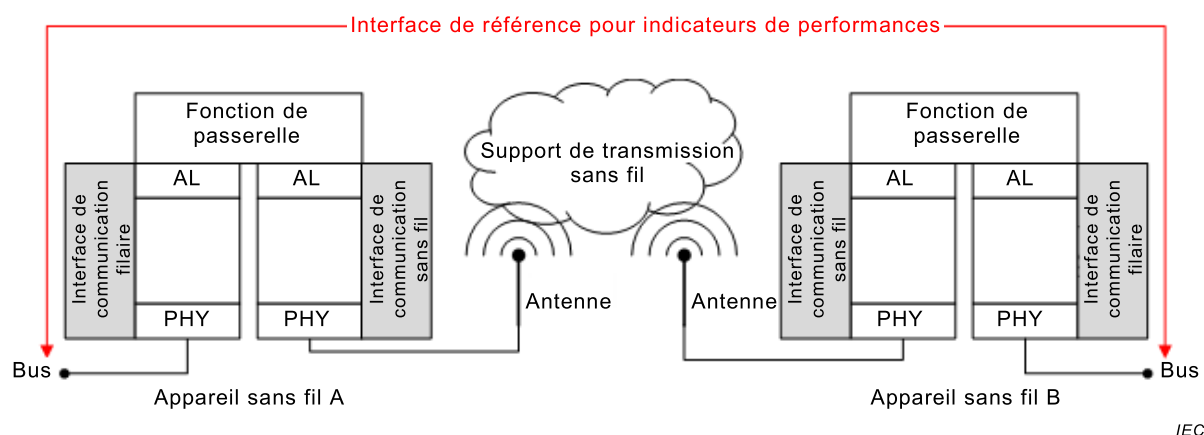


Figure 7 – Liaison de communication avec appareils d'automatisation sans fil dotés d'interfaces de bus de terrain

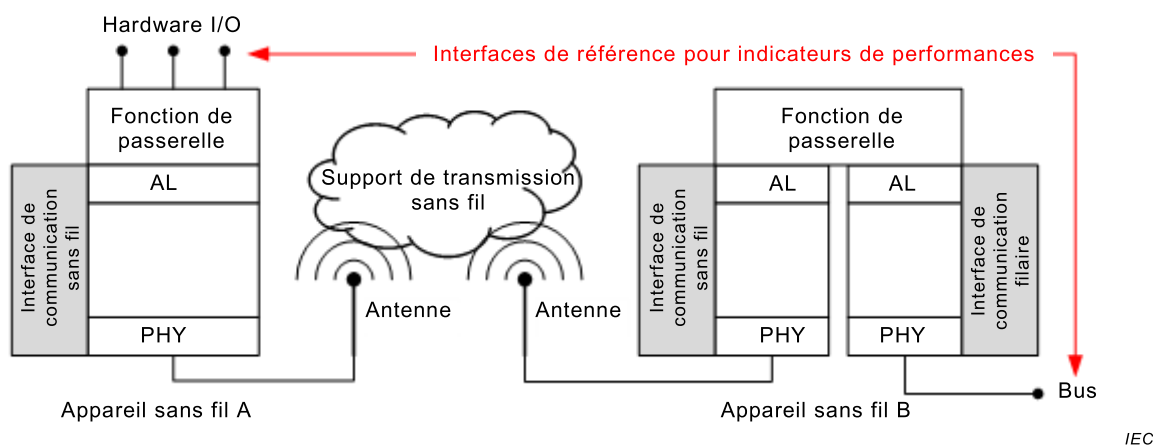


Figure 8 – Liaison de communication avec un appareil d'automatisation sans fil doté d'une interface de processus E/S et un appareil d'automatisation sans fil doté d'interfaces de bus de terrain

Le fait que des valeurs de paramètres caractéristiques sont réparties dans une certaine plage doit être pris en compte. Cela tient aux processus logiciels, aux ressources occupées (tampon ou support de transmission sans fil, par exemple) et aux perturbations. Par conséquent, des paramètres statistiques doivent être utilisés pour caractériser les performances des systèmes de communications sans fil. Les paramètres statistiques pertinents dépendent du paramètre caractéristique et sont spécifiés en 5.3.2 et en 5.3.9.

Pour comparer les valeurs d'indicateur de performances demandées avec les valeurs de paramètre caractéristique fournies d'un système de communication sans fil, les conditions correspondantes doivent être prises en compte. Cela s'applique aux demandes de communication, à la configuration de l'appareil et du système de communication sans fil, ainsi qu'aux conditions environnementales. Les paramètres qui peuvent être utilisés pour spécifier ces conditions sont expliqués dans l'IEC 62657-2:—, Article 5.

NOTE Une méthode normalisée d'évaluation des systèmes de communication sans fil fait l'objet de recherches en cours. Cela concerne en particulier la spécification des profils d'application utilisant les paramètres de l'IEC 62657-2:—, Article 5.

Les indicateurs de performances peuvent être déterminés de manière unifiée pour les conditions d'application bien spécifiées les plus importantes.

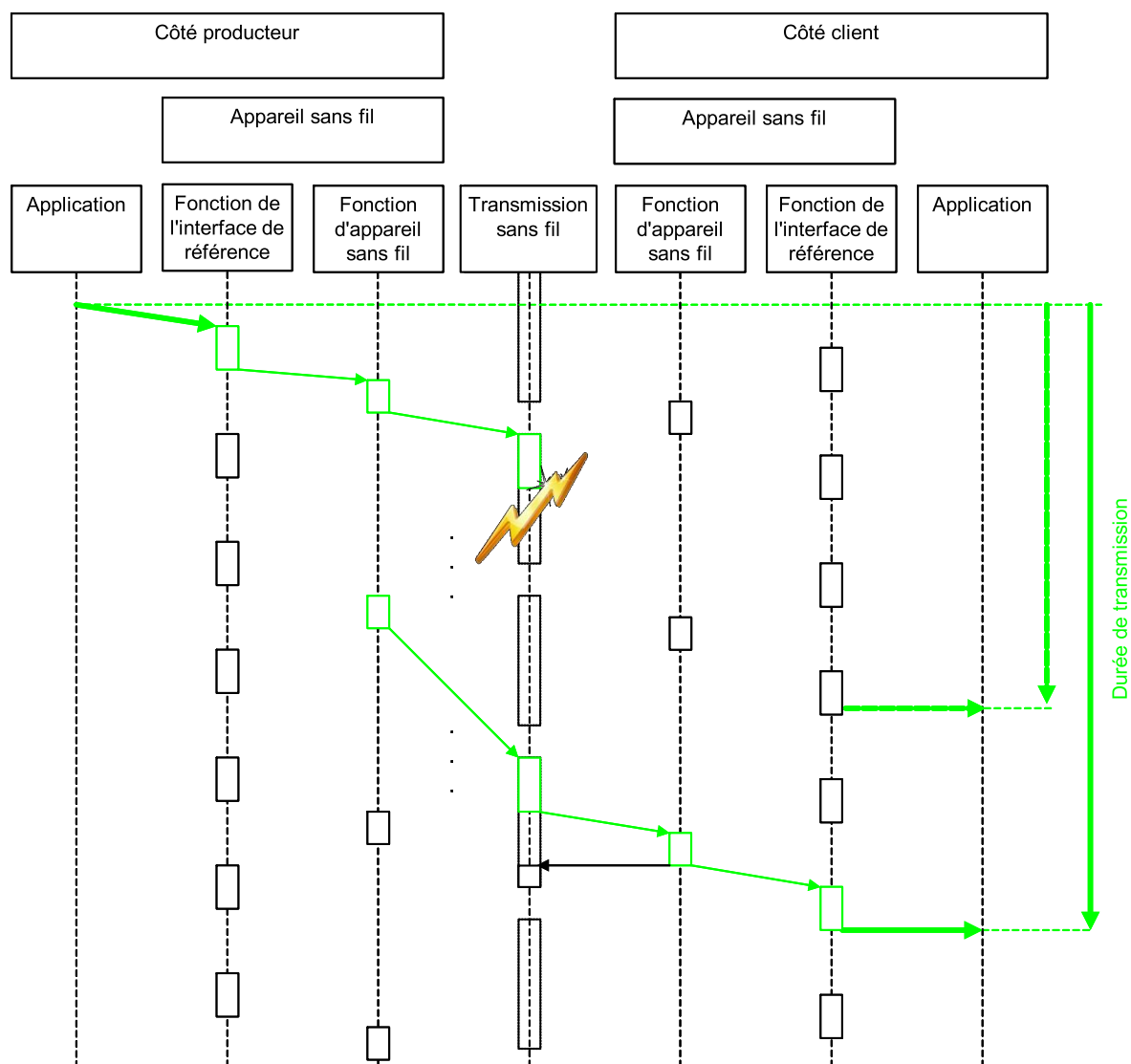
Les paramètres caractéristiques permettent non seulement d'évaluer un réseau de communication WRT par rapport aux performances en temps réel, mais également la capacité de coexistence. Par conséquent, les paramètres caractéristiques suivants sont également définis dans l'IEC 62657-2:

- durée de transmission, selon l'IEC 62657-2:—, 5.52;
- temps d'actualisation, selon l'IEC 62657-2:—, 5.56;
- débit de données, selon l'IEC 62657-2:—, 5.13.

5.3.1.2.3 Indicateurs de performances

5.3.1.2.3.1 Durée de transmission

La durée de transmission est l'intervalle entre un événement de départ au niveau de l'interface de référence correspondante d'un producteur et un événement d'arrêt de la même transmission au niveau de l'interface de référence du client (voir la Figure 9). Selon le type d'interface de référence, l'événement de départ peut être le transfert du premier bit des données utilisateur, le premier octet ou un événement déclencheur au niveau d'une interface de processus. Respectivement, l'événement d'arrêt peut être le dernier bit des données utilisateur, le dernier octet ou un événement déclencheur d'une interface de processus.



IEC

Figure 9 – Fragments de temps d'une durée de transmission

La durée de transmission est composée des fragments de temps suivants:

- latence des fonctions de l'interface de référence côté producteur et côté client;
- temps d'attente et latence des fonctions d'appareil sans fil côté producteur et côté client;
- délai de contrôle d'accès au support;
- période de transmission de données sans fil;
- méthode de retransmission.

Les valeurs de ces fragments de temps dépendent de la mise en œuvre, de la configuration, de la technologie sans fil et des conditions environnementales, qui sont plus susceptibles d'être différentes pour chaque transmission de données utilisateur.

La durée de transmission doit être caractérisée par la valeur de mode et la valeur de quantile p95 d'un échantillon de mesure. La valeur minimale et la valeur maximale du même échantillon peuvent éventuellement être ajoutées.

Un exemple de répartition classique des valeurs de durée de transmission d'un échantillon de mesure est présenté à la Figure 10.

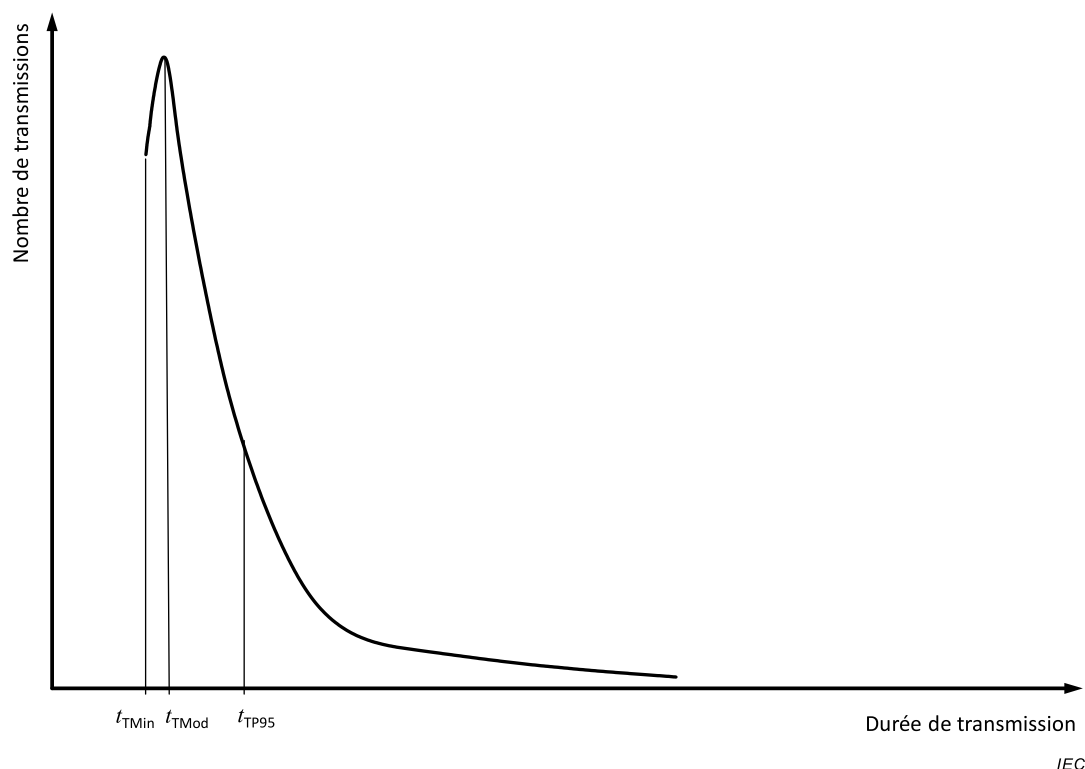
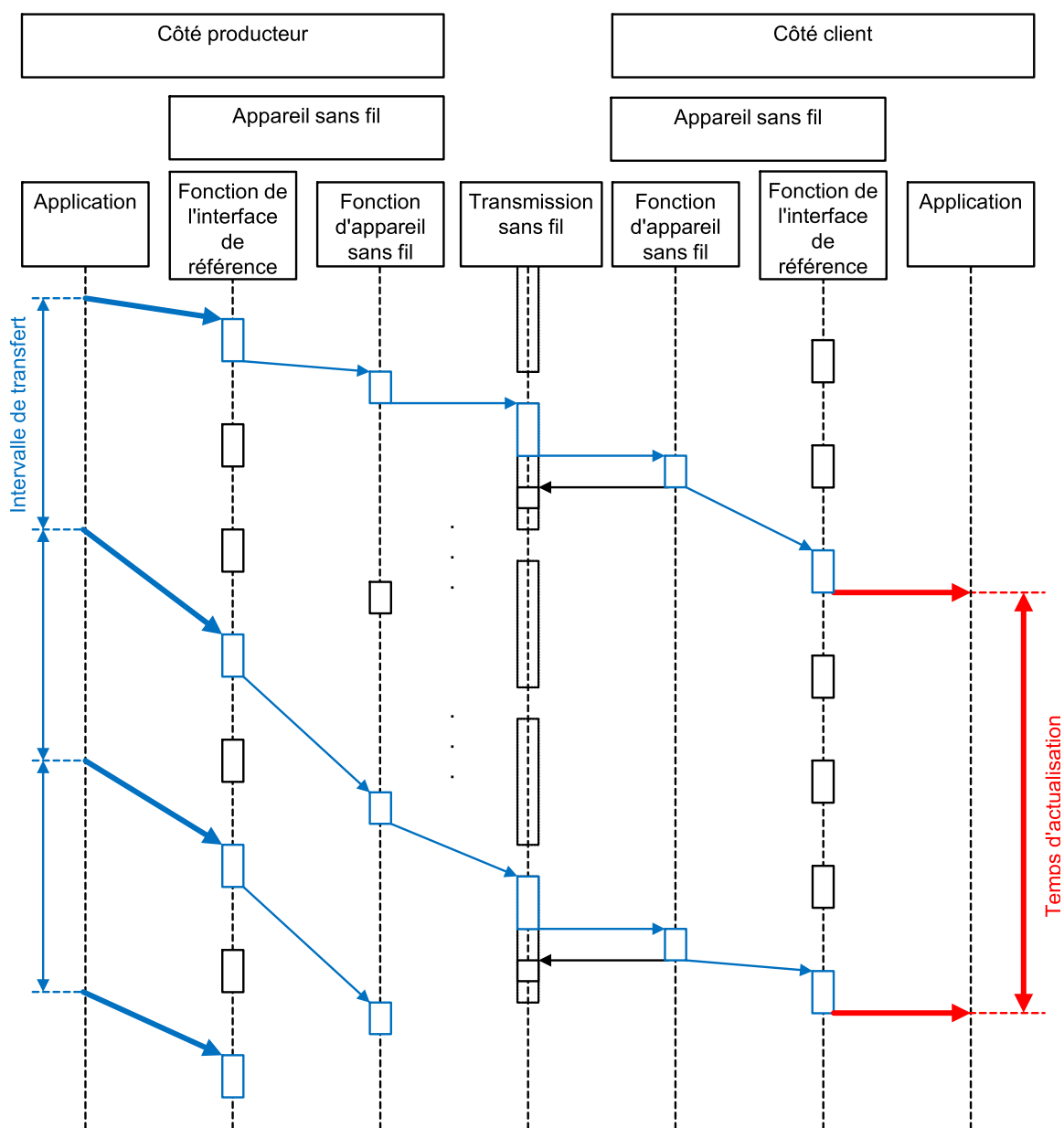


Figure 10 – Exemple de fonctions de densité de durée de transmission

La durée de transmission est particulièrement pertinente pour les applications avec demande de communication événementielle.

5.3.1.2.3.2 Temps d'actualisation

Le temps d'actualisation est l'intervalle entre un événement de départ au niveau de l'interface de référence d'un client et un événement d'arrêt suivant au niveau de la même interface de référence. Selon le type d'interface de référence, l'événement de départ peut être le transfert du dernier bit des données utilisateur, le dernier octet ou un événement déclencheur au niveau de l'interface de processus d'un client. L'événement d'arrêt peut être le dernier bit des données utilisateur, le dernier octet ou un événement déclencheur d'une interface de processus qui peut être lié à la transmission réussie suivante du même producteur. La Figure 11 présente les fragments de temps qui génèrent le temps d'actualisation.



IEC

Figure 11 – Fragments de temps du temps d'actualisation

Outre les fragments de temps de la durée de transmission, l'intervalle de transfert détermine la valeur de temps d'actualisation.

Le temps d'actualisation doit être caractérisé par la valeur moyenne et la valeur d'écart-type d'un échantillon de mesure. La valeur minimale et la valeur maximale ou la valeur de variation du même échantillon peuvent éventuellement être ajoutées.

Un exemple de répartition classique des valeurs de temps d'actualisation d'un échantillon de mesure est présenté à la Figure 12.

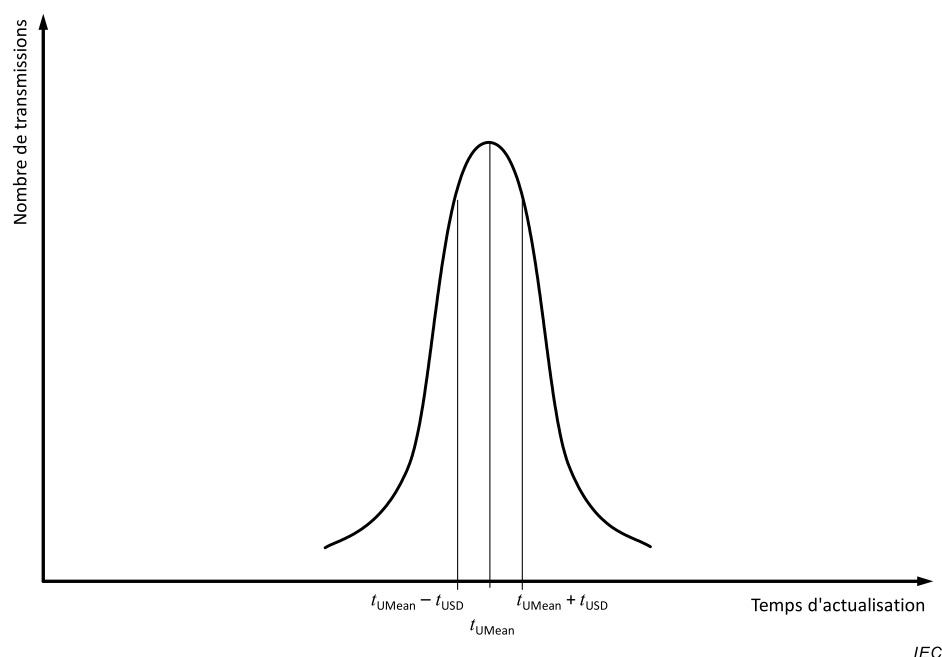


Figure 12 – Exemple de fonctions de densité de temps d'actualisation

Le temps d'actualisation est particulièrement pertinent pour les applications avec des demandes de communication cyclique (dans les applications de commande, par exemple).

5.3.1.2.3.3 Débit WRT

Le débit WRT doit représenter la quantité totale de données LPDU (par longueur d'octet) sur une liaison par seconde.

5.3.1.2.3.4 Bande passante non WRT

La bande passante non WRT doit représenter le pourcentage de bande passante qui peut être utilisée pour la communication non WRT sur une liaison. De plus, la bande passante totale de la liaison doit être spécifiée.

NOTE Les indicateurs Débit WRT et Bande passante non-WRT sont liés l'un à l'autre.

5.3.1.2.3.5 Exactitude de synchronisation temporelle

L'exactitude de synchronisation temporelle doit représenter l'écart maximal entre deux horloges de nœud successives.

5.3.1.2.3.6 Exactitude de synchronisation non temporelle

L'exactitude de synchronisation non temporelle doit représenter la gigue maximale des mises à jour périodiques au niveau de l'interface de référence d'un client, en déclenchant des événements périodiques au niveau de l'interface de référence du producteur pour établir le comportement cyclique.

NOTE Ce facteur tient compte de la cohérence des données ou des actions déclenchées par l'événement. Il s'agit d'une mesure de la dispersion de cohérence.

5.3.1.2.3.7 Temps de reprise de redondance

Le temps de reprise de redondance doit représenter la durée maximale de reprise d'un élément (un appareil sans fil, un point d'accès ou une passerelle, par exemple) après défaillance, et le temps qu'il met à devenir de nouveau totalement opérationnel à la suite d'une simple défaillance permanente.

NOTE En cas de défaillance permanente, la latence d'un message est le temps de reprise de redondance.

5.3.1.2.3.8 Disponibilité

La disponibilité A est une mesure de l'aptitude à satisfaire à une fonctionnalité exigée au cours d'un intervalle de temps spécifié. Appliquée à la fonction d'un système de communication sans fil, la disponibilité est le rapport de l'intervalle de temps d'une transmission sans erreur (durée de fonctionnement, t_U) sur le temps d'observation t_O . En partant du principe que la longueur des données utilisateur est constante, la disponibilité peut également être calculée par le rapport du nombre de paquets utilisateur transmis N_{TX} sur le nombre de paquets utilisateur reçus sans erreur N_{RX} .

La disponibilité est la réciproque du taux de perte de paquets (TPP).

$$A = \frac{t_U}{t_O} = \frac{N_{RX}}{N_{TX}} \quad (1)$$

où

A est la disponibilité;

t_U est la durée de fonctionnement;

t_O est le temps d'observation;

N_{RX} est le nombre de paquets utilisateur reçus sans erreur;

N_{TX} est le nombre de paquets utilisateur transmis.

$$A = \frac{1}{PLR} = \frac{N_{TX}}{N_{TX} - N_{RX}} \quad (2)$$

où

A est la disponibilité;

PLR est le taux de perte de paquets;

N_{RX} est le nombre de paquets utilisateur reçus sans erreur;

N_{TX} est le nombre de paquets utilisateur transmis.

Un paquet est considéré comme étant perdu si les données utilisateur qui ont été transférées au niveau de l'interface de référence d'un producteur ne le sont pas au niveau de l'interface d'application du client. De plus, le paquet est considéré comme étant perdu si la durée de transmission dépasse une certaine limite, spécifiée par l'application. Si la séquence de paquets est corrompue, le dernier paquet est également considéré comme étant perdu même si la limite de temps est respectée.

Une disponibilité partielle $a(t)$ est calculée si le temps d'observation t_O est inférieur à un certain intervalle de mesure t_M . Cela est important si les pertes de paquets cumulées ou les interruptions ponctuelles de disponibilité doivent être détectées et analysées. Ces effets ne sont pas perceptibles si la disponibilité est calculée uniquement sur un intervalle de mesure qui est en principe très étendu comparé à la durée de transmission, afin d'obtenir des résultats significatifs pour l'analyse statistique.

$$a(t) = \frac{\Delta N_{RX}}{\Delta N_{TX}} \quad (3)$$

où

$a(t)$ est la disponibilité partielle;

N_{RX} est le nombre partiel de paquets utilisateur reçus sans erreur;

N_{TX} est le nombre partiel de paquets utilisateur transmis.

5.3.1.3 Exigences en matière de contrôle de procédés

Les exigences les plus critiques concernent le domaine de la commande, dans lequel les constantes de temps sont comprises entre 100 ms et quelques secondes. Par ailleurs, comme indiqué en 5.1.4.3, les constantes de temps sont souvent plus longues pour les applications dans le domaine de la surveillance et du diagnostic des procédures de réchauffement, de refroidissement, de mélange, d'agitation et de pompage (de quelques secondes à quelques minutes). Par conséquent, les exigences relatives au temps d'actualisation (voir l'IEC 62657-2:—, 5.56) du réseau sans fil sont du même ordre d'amplitude. En particulier, des temps d'actualisation relativement longs permettent d'utiliser de nouvelles tentatives de message pour accroître la robustesse et permettre la mise en œuvre d'une topologie de réseau (maillée) totalement interconnectée. Eu égard à la synchronisation temporelle, une exactitude de l'ordre d'une milliseconde est nécessaire à l'application de stratégies de faible consommation de puissance grâce à un accès au support par répartition temporelle.

5.3.1.4 Exigences en matière d'automatisation d'usine

En automatisation d'usine, la fabrication manufacturière et par étapes domine (assemblage d'un produit à partir de différentes pièces, par exemple). Les durées de cycle des chaînes de production d'automatisation d'usine peuvent varier de 1 s (un produit fabriqué et soumis à l'essai à chaque seconde) à 1 min. De plus, ces applications se caractérisent par une densité de nœud élevée, avec une exigence de densité moyenne de plus d'un appareil sans fil par m³. En règle générale, la plupart des signaux d'E/S sont numériques et les événements sont souvent séparés dans le temps (asynchrones) et pertinents individuellement, ce qui donne un grand nombre de télégrammes, le cas le moins favorable étant égal à deux fois le nombre d'E/S par cycle de production. Cela signifie que des milliers de paquets peuvent être échangés toutes les secondes sur le réseau. C'est la raison pour laquelle les exigences en matière de temps de réponse du réseau pour l'automatisation d'usine sont beaucoup plus strictes que celles du contrôle de procédés. En particulier, un temps de réponse si court est souvent respecté en optant pour des topologies en étoile et une vitesse de transfert de données élevée. Concernant la synchronisation temporelle, une exactitude de l'ordre de quelques microsecondes peut être nécessaire à la satisfaction des exigences de faible gigue.

5.3.1.5 Exigences entre installations

Les transferts de données entre installations permettent principalement de gérer la chaîne d'approvisionnement et de planifier la production. Ils reposent sur l'agrégation de données provenant d'un niveau inférieur de l'installation. C'est la raison pour laquelle les exigences de synchronisation (latence, exactitude de synchronisation) sont moins strictes que celles de la couche au niveau de l'installation (de l'ordre de dizaines de secondes, voire plus).

5.3.1.6 Exigences au niveau de l'installation

Les transferts de données au niveau de l'installation sont principalement utilisés pour l'analyse des performances et la maintenance. Ils reposent sur l'agrégation de données provenant d'un niveau inférieur de l'installation. C'est la raison pour laquelle les exigences de synchronisation (latence, exactitude de synchronisation) sont moins strictes que celles du niveau du capteur/de l'actionneur (voir la Figure 3), de l'ordre de quelques secondes. Une exception est la communication sans fil avec ou entre des participants mobiles (des systèmes de véhicule à guidage automatique, par exemple), dont les exigences sont comparables à celles formulées au niveau du capteur/de l'actionneur.

5.3.1.7 Exigences du capteur/de l'actionneur

Des boucles d'asservissement sont mises en œuvre au niveau du capteur/de l'actionneur. C'est la raison pour laquelle la latence est un paramètre essentiel à ce niveau.

Les exigences de synchronisation (latence, exactitude de synchronisation) peuvent être très strictes. En automatisation d'usine, des exigences de l'ordre de quelques millisecondes sont classiques, avec une gigue de l'ordre de quelques microsecondes.

5.3.2 Bande passante et débit binaire

5.3.2.1 Exigences communes

Pour bien comprendre les exigences en matière de bande passante et de débit binaire, il est utile de définir le modèle de livraison de données (c'est-à-dire les caractéristiques du trafic) d'un système de communication sans fil utilisé en automatisation industrielle. En règle générale, deux modèles différents de livraison de données sont utilisés:

- Données cycliques (périodiques ou déclenchées dans le temps). Ici, le comportement des données échangées avec le terrain est cyclique et présente donc des exigences de bande passante bien définies, tant déterministes que prévisibles. De plus, la fraîcheur des données cycliques est un paramètre important, les nouvelles données rendant obsolètes les anciennes (c'est-à-dire que la durée de vie est courte). Ce modèle est souvent utilisé pour la commande, les données relatives aux grandeurs d'entrée de commande étant acquises périodiquement en même temps, puis réparties avant l'étape suivante.
- Données acycliques (apériodiques ou déclenchées par événement). Ce type de trafic, qui s'étend sur tous les niveaux de l'installation, est souvent généré par des événements imprévus (des alarmes, par exemple). En règle générale, une série d'événements peut se produire, ce qui exige l'utilisation d'un service de priorité pour résoudre dès que possible les événements les plus critiques. Il existe une relation claire entre la bande passante disponible pour l'utilisateur, le débit binaire réel et les performances de synchronisation de la solution de communication sans fil.

Pour résoudre une grande partie des applications d'automatisation industrielle, il est exigé d'obtenir un spectre dédié disponible au niveau mondial d'au moins 76 MHz de bande passante, ce spectre pouvant ne pas être contigu. Cette quantité de spectre repose sur l'hypothèse d'un certain nombre d'appareils par installation et d'un trafic de données normal. Les hypothèses et l'évaluation de la quantité exigée de bande passante sont données dans l'ETSI TR 102 889-2. L'échelle du réseau est présentée en 5.3.3.

Le trafic de données classique dans le cadre d'une transmission cyclique et acyclique des données et des alarmes peut, par exemple, être combiné dans l'un des canaux de cette bande de 76 MHz.

Le spectre souhaité de la bande passante de 76 MHz doit être disponible au-dessus de 1,4 GHz afin de réduire l'impact des émetteurs non intentionnels (les machines de soudage à l'arc, par exemple) pour assurer la couverture d'une vaste zone, et garantir la disponibilité d'équipements radio bon marché auprès de fournisseurs multiples. Plusieurs canaux (une dizaine) doivent être disponibles pour assurer la résistance aux brouillages et la coexistence avec d'autres solutions de communication sans fil colocalisées. Le nombre réel de canaux disponibles dépend non seulement du débit binaire, mais également de la technique d'étalement/de modulation. Par exemple, les systèmes à sauts de fréquence reposent sur un grand nombre de canaux à bande étroite, alors que les techniques d'étalement à séquence directe s'appuient sur quelques canaux à large bande.

5.3.2.2 Exigences en matière de contrôle de procédés

Les stations sans fil utilisées en contrôle de procédés échangent en général quelques octets par données (considérer que la valeur de chaque grandeur peut être représentée par un nombre à virgule flottante de 4 octets) avec une durée de cycle relativement longue (peut-être de l'ordre de quelques secondes, voire moins). En effet, la majeure partie du traitement du signal est réalisée au niveau du capteur, et seules les informations utiles sont envoyées par l'intermédiaire du canal sans fil. C'est la raison pour laquelle les exigences relatives à la bande passante pour le contrôle de procédés sont moins strictes que celles prévues pour l'automatisation d'usine. En règle générale, un débit binaire de centaines de kilobits par

seconde est suffisant, ce qui donne une plage de fréquences exigées de l'ordre d'au moins 34 MHz selon l'ETSI TR 102 889-2:2011, Tableau 1.

5.3.2.3 Exigences en matière d'automatisation d'usine

La plupart des appareils sans fil utilisés en automatisation d'usine sont des points d'E/S numérique, qui échangent donc très peu d'octets par transaction. Toutefois, la densité de nœud peut être très élevée et la durée de cycle très courte, ce qui exige une importante bande passante d'utilisateur. En particulier, une durée de cycle courte de l'ordre de quelques millisecondes limite le temps disponible "par liaison radio", exigeant un débit binaire brut d'au moins 1 Mbit/s. C'est la raison pour laquelle la bande passante disponible doit être d'au moins 42 MHz selon l'ETSI TR 102 889-2:2011, Tableau 1.

5.3.3 Conditions de propagation radioélectrique, couverture géographique et échelle du réseau

Les conditions de propagation influent sur la robustesse d'un système de communication sans fil, ainsi que sur les interférences provenant d'autres systèmes de communication sans fil. Elles dépendent de la fréquence utilisée, de la dimension et des caractéristiques du lieu de fonctionnement, des conditions environnementales naturelles et de l'intervisibilité. Cette dernière s'attache aux LOS, NLOS et OLOS entre deux appareils sans fil.

Une séparation spatiale est rarement possible avec des applications sans fil. La propagation radioélectrique ne peut être limitée dans l'espace que difficilement. La séparation spatiale peut s'obtenir grâce à des conditions structurelles (des murs en béton armé massifs, par exemple) et une réduction de la puissance rayonnée (en réglant la puissance de sortie de l'émetteur radio et en choisissant bien la caractéristique de rayonnement de l'antenne). Si la puissance est réduite, il convient de régler en conséquence la puissance de tous les composants radio connexes (stations de base, répéteurs, appareils terminaux, etc.).

Si les émetteurs-récepteurs possèdent plusieurs antennes, un traitement spatial peut alors être utilisé (des techniques de rejet des bruits, par exemple) pour séparer des transmissions simultanées dans l'espace.

Trois classes d'application peuvent être identifiées de manière logique dans une installation:

- l'automatisation de cellule (ou sous-unité);
- automatisation d'atelier de production (ou sous-unité d'installation);
- automatisation au niveau de l'installation.

L'automatisation de cellule fait partie intégrante de la chaîne de production d'une installation d'automatisation, d'une installation de fabrication manufacturière ou d'une sous-unité dans une installation de contrôle de procédés (un réacteur avec une commande locale à laquelle les capteurs et les actionneurs sont reliés, par exemple). En règle générale, l'automatisation de cellule exige des communications de plus faible portée (entre 10 m et 30 m, par exemple) mais demande plus de latence et de robustesse, la cellule acceptant les mouvements rapides, les antennes intégrées et de nombreux obstacles (blindage presque complet). Ce type de cellule comporte un système sans fil avec 30 appareils en moyenne. Jusqu'à 10 de ces cellules peuvent être très proches, de sorte que leurs zones de brouillage se chevauchent.

L'automatisation d'atelier de production comporte une chaîne de production complète ou des applications mobiles (le déplacement à travers un atelier de production en fabrication manufacturière, comme les véhicules à guidage automatique, l'automatisation basée sur un système de convoyage aérien informatisé, par exemple) ou une unité de production complète en contrôle de procédés (un réacteur chimique, par exemple).

Les caractéristiques d'un atelier de production (ou d'une sous-unité d'installation) sont les suivantes.

- Il couvre une grande surface (100 m × 100 m, par exemple). La solution est un réseau WLAN industriel ou une topologie de type maillée (schémas TDMA utilisés) permettant de couvrir une zone plus étendue.
- Il utilise des systèmes composés de 100 appareils en moyenne, et exige toujours de faibles latences:
 - jusqu'à cinq systèmes indépendants de ce type peuvent être à portée les uns des autres (dans la portée "de brouillage");
 - la densité locale d'appareils dans la zone à une portée de brouillage de 150 m est donc d'environ $(5 \times 100 \text{ appareils}) / (150 \times 150) \text{ m}$ ou de 0,022 appareil par m² à une portée de brouillage de 100 m.

L'automatisation au niveau de l'installation couvre des zones de taille variable, jusqu'à toute l'installation, souvent avec une technologie de maillage industriel présentant les caractéristiques ci-dessous.

- Elle peut couvrir des zones étendues (de 1 km × 1 km, par exemple) et est souvent mise en œuvre avec une technologie de maillage afin d'accroître la résistance aux influences industrielles classiques (obstacles mobiles, brouillage/coexistence).
- Ce type de réseau maillé peut comporter jusqu'à 1 000 appareils connectés, chacun d'eux ne couvrant qu'une petite portée (100 m, par exemple), le maillage couvrant donc toute la zone, sans utiliser trop de puissance.
- Jusqu'à five réseaux maillés indépendants de ce type peuvent fonctionner en parallèle dans toute l'installation.
- Chaque réseau maillé utilise au maximum 50 appareils, les appareils de différents réseaux maillés pouvant être à portée les uns des autres (dans la portée "de brouillage").
- La densité locale d'appareils dans la zone à une portée de brouillage de 100 m est donc d'environ $(5 \times 50 \text{ appareils}) / (100 \times 100) \text{ m}$ ou de 0,025 appareil par m² à une portée de brouillage de 100 m.

Les réseaux maillés fonctionnant en parallèle utilisent le chevauchement, de préférence dans la même bande de fréquences, afin d'obtenir la flexibilité maximale en matière de gestion de coexistence, d'augmenter l'efficacité du spectre et de disposer des mêmes propriétés de spectre nécessaires (sans brouillage industriel, rendement (portée) et compensation de l'amortissement par des obstacles, par exemple).

Ces trois classes d'application fonctionnent en parallèle (chevauchant en partie ou en totalité la zone de brouillage), souvent par différents opérateurs et sont reliées à différents systèmes de commande.

Chacun des nombreux systèmes sans fil doit pouvoir être activé et désactivé, et varier le nombre d'appareils actifs connectés et la quantité de données transférées, en fonction des besoins des cellules/sous-unités/chaînes de production, afin d'optimiser individuellement la production, la qualité, la sécurité et de réaliser des activités de service, de dépannage et d'installation sur les unités de production.

5.3.4 Consommation de puissance

5.3.4.1 Exigences communes

En règle générale, les réseaux industriels exigent un service sans interruption, particulièrement pour les applications de commande. Dans ce cas, sur la section de réseau filaire, d'autres chemins doivent être prévus dans le cadre d'une conception de réseau redondant. Il en résulte que ces réseaux sont conçus avec, pour exigence de base, une redondance visant à assurer la tolérance aux pannes. Malheureusement, cela a un impact négatif sur la consommation d'énergie, étant donné que le réseau redondant consomme de l'énergie même s'il est en veille.

Les solutions possibles sont l'arrêt (c'est-à-dire la mise en veille des composants), le ralentissement (c'est-à-dire l'adaptation de la vitesse de transmission en fonction des véritables besoins) et la coordination (c'est-à-dire la gestion au niveau du réseau et des solutions globales de rendement en énergie).

Sur les sections sans fil, le besoin de service sans interruption introduit d'autres exigences. En premier lieu, des points d'accès (AP) supplémentaires sont nécessaires pour renforcer la couverture totale du réseau, et des approches appropriées doivent être adoptées pour optimiser la durée de vie du réseau, c'est-à-dire le temps jusqu'à la première défaillance d'un nœud. Il s'agit d'une mesure communément utilisée, qui reflète le fait que, dans un réseau sans fil, la défaillance d'un seul nœud peut partitionner le réseau et interrompre d'autres services. Si les nœuds de réseau sont alimentés par batterie, il existe un risque de partitionnement du réseau si un ou plusieurs nœuds sont confrontés à une pénurie d'alimentation par batterie. Par conséquent, dans tous les réseaux d'automatisation industrielle, y compris les nœuds alimentés par batterie, tous les moyens permettant de réduire la consommation de puissance du nœud doivent être utilisés.

D'une manière générale, les applications de contrôle de procédés sont les moins exigeantes, alors que les applications d'automatisation d'usine sont les plus exigeantes, en raison simplement du trafic habituel dont elles font l'objet.

De plus, même si le rendement en énergie a pour objectif de réduire de manière significative la consommation de puissance dans toutes les parties d'une installation, les applications entre installations et au niveau de l'installation sont moins critiques, car elles sont le plus souvent alimentées par le secteur.

Les situations les plus critiques sont celles se produisant au niveau du capteur/de l'actionneur, particulièrement lorsque seules des solutions alimentées par batterie sont réalisables.

5.3.4.2 Exigences du capteur/de l'actionneur

En règle générale, les réseaux de capteurs/d'actionneurs composés de nœuds alimentés par batterie créent un besoin profond de protocoles d'optimisation de la consommation de puissance, afin de prolonger la durée de vie des nœuds et, par conséquent, de l'ensemble du réseau, tout en satisfaisant aux exigences de délai de bout en bout. Les exigences en matière de consommation de puissance se heurtent souvent à la nécessité de support en temps réel, ces réseaux pouvant être utilisés pour les applications de commande et de surveillance. Cela donne lieu à un trafic de nature temps réel offrant un compromis entre contraintes de délai et consommation de puissance.

Des processeurs basse puissance et de très petites mémoires sont en général utilisés pour les nœuds qui composent les réseaux de capteurs/d'actionneurs. Toutefois, cela ne résout pas le problème, la quantité d'énergie consommée par les communications dans ces réseaux pouvant être bien plus importante que celle exigée pour le traitement.

Il faut faire un compromis entre le spectre des fréquences utilisé pour la transmission sans fil, la portée de la transmission et la consommation de puissance. En particulier, pour la même puissance de transmission, plus la plage de fréquences est faible, plus la distance parcourue en un seul saut est importante. De plus, si l'application accepte un réseau multibond, la distance peut être parcourue par une série de transmissions à faible puissance, rendant cette approche plus économe en énergie par rapport à un réseau à un seul bond.

5.3.5 Compatibilité électromagnétique (CEM)

5.3.5.1 Généralités

De nombreux équipements électriques et équipements radio étant installés, les sources d'onde de fréquence radio sont de plus en plus nombreuses dans toute l'installation ou l'usine. Dans les installations et les usines, de plus en plus d'équipements électriques et d'équipements radio coexistent côte à côte.

La compatibilité électromagnétique inclut le brouillage électromagnétique (EMI) et la susceptibilité électromagnétique (EMS). Les effets de l'EMS doivent être examinés.

5.3.5.2 Exigences communes

Les performances des équipements doivent rester normales dans un certain environnement électromagnétique spécifique.

Par exemple, une machine de soudage à l'arc et une machine d'électroérosion à fil sont utilisées pour l'assemblage des métaux par fusion ou un four à arc est utilisé pour dissoudre l'acier fabriqué ou les aciers spéciaux.

Le brouillage provenant d'une soudeuse peut être le résultat tant d'émissions conduites que d'émissions rayonnées. Il est nécessaire que le système sans fil tienne particulièrement compte de l'onde d'émission brouilleuse. Une soudeuse est souvent utilisée pour les travaux temporaires de construction de bâtiment, et elle peut provoquer des défaillances non reproductibles.

Il est bien connu qu'un four à microonde a souvent un impact sur les systèmes LAN sans fil en environnement domestique. Des perturbations similaires peuvent être observées lorsque des machines à microonde sont utilisées (dans le cadre des processus de stérilisation utilisés dans une usine alimentaire, par exemple).

Avant d'utiliser un système sans fil, une visite des lieux doit être réalisée afin d'identifier la présence de sources de bruit. Ensuite, si des sources de bruit sont identifiées, les actions suivantes doivent être prises en compte lors de la conception et de la configuration du système sans fil:

- conception d'un réseau sans fil et emplacements de l'équipement sans fil;
- sélection d'une radiofréquence et de sa puissance;
- installation de blindages pour les sources de bruit identifiées.

Ces actions doivent faire partie de la gestion de coexistence conformément à l'IEC 62657-2.

5.3.6 Sécurité fonctionnelle

5.3.6.1 Exigences communes

Les exigences communes décrivent les exigences très strictes pour le domaine, c'est-à-dire le niveau d'installation "capteur/actionneur". Des signaux de sécurité fonctionnelle pour les machines et les systèmes sont transmis et se déplacent de plus en plus sur des réseaux. Une communication sûre d'un point de vue fonctionnel peut être mise en œuvre non seulement sur les réseaux câblés, mais également sur les trajets sans fil. Cela permet d'étendre la communication aux parties mobiles et, par conséquent, de résoudre des problèmes importants tels que ceux décrits dans le cas d'utilisation de 5.2.2. Par exemple, une communication sûre d'un point de vue fonctionnel peut être établie entre le contrôleur de système central et un module d'entrée/sortie de sécurité sur un système de transport mobile. La mise en œuvre d'une communication sûre d'un point de vue fonctionnel repose en général sur l'utilisation d'un protocole de transmission de sécurité dont les mécanismes de sécurité sont indépendants des éléments physiques de la transmission. Des profils de communication de sécurité fonctionnelle (FSCP) pour les bus de terrain sont spécifiés dans l'IEC 61784-3.

Un réseau sans fil est susceptible de faire l'objet de brouillage et de ne plus être 100 % fiable, même s'il utilise une bande harmonisée ou sous licence exclusive. L'équipement doit faire l'objet de mesures adaptées afin d'éviter les accidents à la suite d'une défaillance d'une liaison sans fil.

5.3.6.2 Exigences supplémentaires pour les applications spécifiques

Pour chaque application spécifique, les délais des communications de sécurité ne doivent pas dépasser les limites de temps spécifiées pour ladite application. Au-delà de ces limites, le manque d'informations exposerait le personnel et les machines à un grave problème de sécurité ou donnerait lieu à un état de sécurité, c'est-à-dire à la perte du fonctionnement normal.

Pour les applications de processus, ces limites de temps peuvent généralement être comprises entre 100 ms et plusieurs secondes sur une zone étendue. Pour l'automatisation d'usine, ces limites de temps peuvent généralement être de l'ordre de quelques millisecondes sur une zone réduite.

Comme cela a été clarifié pour les cas d'utilisation décrits en 5.2, aucun compromis n'est envisageable ici: ne pas satisfaire aux exigences de sécurité fonctionnelle peut donner lieu à une perte de production et, par-dessus tout, blesser ou tuer des personnes.

5.3.7 Sécurité intrinsèque

5.3.7.1 Généralités

Certaines installations et usines de contrôle de procédés industriels utilisent des gaz, vapeurs ou poussières explosifs ou les produisent dans le cadre de leur processus de fabrication. Particulièrement, dans un parc de stockage, une tête de puits de pétrole et de gaz ou une installation de broyage, des gaz, vapeurs ou poussières explosifs sont ou peuvent être présents en quantités suffisantes pour générer des atmosphères explosives. Par conséquent, seul un équipement électrique faisant office de protection adaptée contre les explosions doit être installé dans ce type d'applications.

Si une explosion se produisait dans ce type d'installation ou d'usine, un incendie ou une explosion éclaterait et l'incident se transformerait en accident grave, susceptible de provoquer la perte de vie humaine dans le pire des cas.

Si l'atmosphère d'une zone dans laquelle est installé un équipement et des appareils électriques peut provoquer une explosion, ce qui signifie qu'il s'agit ou qu'il peut s'agir d'une atmosphère explosive, cet équipement électrique doit être construit selon des techniques particulières pour éviter que sa défaillance ne soit une source d'inflammation et ne fasse exploser l'atmosphère en question.

Même si la réglementation actuelle en matière d'équipement antidéflagrant et de certification des équipements destinés à être utilisés en atmosphère explosive dépend des autorités de chaque pays ou région et de leurs lois, le concept de base et les exigences techniques s'appuient sur la série IEC 60079, sur l'ISO/IEC 80079-34 [31] et sur les Normes internationales connexes. De plus, un système de certification reconnu au niveau international est très important et bénéfique pour tous les fabricants, fournisseurs et utilisateurs finals. Le schéma de certification IECEx propose donc un système de certification selon des normes relatives aux équipements utilisés en atmosphère explosive. Il s'est révélé être un outil d'évaluation de conformité essentiel pour l'industrie mondiale et encourage la reconnaissance mutuelle de la procédure de certification.

D'autre part, une classification des zones est définie pour les emplacements dangereux, mais elle est légèrement différente selon les pays. La "Zone 0" est celle contenant des atmosphères explosives de gaz ou de vapeur en permanence ou pendant plus de 1 000 heures par an. La "Zone 20" est celle contenant des poussières combustibles explosives en permanence ou pendant plus de 1 000 heures par an.

L'IEC et les pays européens utilisent un système de zone, les pays d'Amérique du Nord utilisant plutôt un système de classe et de division composé de différents types définis en fonction des caractéristiques explosives des matières et du risque d'incendie ou d'explosion.

Le type de protection est défini dans la série IEC 60079, et dépend de la zone dans laquelle est installé l'équipement électrique et des techniques de protection contre les explosions. Les appareillages à sécurité intrinsèque et les parties à sécurité intrinsèque des appareillages associés peuvent être installés dans la Zone 0 selon l'IEC 60079-10-1 et la Zone 20 selon l'IEC 60079-10-2.

5.3.7.2 Exigences communes

La sécurité intrinsèque est un type de protection propre aux équipements électriques, dont les circuits électriques eux-mêmes ne peuvent pas devenir des sources d'inflammation, ces équipements et les appareillages n'étant pas en mesure de provoquer une explosion dans les atmosphères explosives. La définition et la spécification de la sécurité intrinsèque sont données dans l'IEC 60079-11 [26] (Protection de l'équipement par sécurité intrinsèque "i"). Les équipements électriques et les appareillages connexes satisfaisant aux exigences de sécurité intrinsèque éliminent toutes les sources d'inflammation des atmosphères explosives.

Il convient de limiter l'injection d'énergie électrique dans les circuits et les composants de l'équipement et de l'appareillage sous un certain niveau d'énergie de sécurité. De plus, la température maximale de toutes les surfaces de l'équipement doit être maintenue sous le niveau de température exigé, même après l'application de défauts.

La puissance de seuil de radiofréquences comprise entre 9 kHz et 60 GHz pour la transmission continue et à impulsions est également définie dans l'IEC 60079-0 [25]. Toutefois, la valeur de seuil de la puissance étant de l'ordre de plusieurs watts, les équipements normaux pour la transmission de données ne dépassent pas ce seuil de puissance.

La sécurité intrinsèque des bus de terrain est spécifiée dans l'IEC 60079-11 [26] et l'IEC 60079-25 [27]. Ce concept permet un certain nombre d'appareils d'installation d'augmenter plus que le concept de modèle d'entité conventionnel avec des barrières de champ. Toutefois, le nombre d'appareils connectés au même câble de bus et leur distance sont toujours limités compte tenu des exigences en matière d'énergie de puissance électrique et de signal.

Les équipements sans fil ne disposant d'aucune ligne de transfert des signaux, voire même parfois de câble d'alimentation, il est plus facile de les installer dans des atmosphères explosives. Les appareils d'un système de communication sans fil étant reliés les uns aux autres sans câble, les exigences de sécurité intrinsèque de l'équipement peuvent être considérées individuellement.

Par exemple, si des appareils à capteur sont placés dans une zone dangereuse contenant une atmosphère explosive, un équipement de passerelle ou de point d'accès peut par ailleurs se trouver à l'extérieur de la zone dangereuse. À cet instant, seul l'appareil à capteur sans fil doit être considéré comme une protection de sécurité intrinsèque.

À l'origine, le réseau de capteurs sans fil était prévu pour être installé dans les zones difficiles de l'automatisation industrielle. Ainsi, la plupart des équipements sans fil industriels de sécurité intrinsèque sont apportés par les fournisseurs d'automatisation industrielle. De plus, il s'avère que l'utilisation d'un système de communication sans fil dans le secteur de l'automatisation industrielle permet aux agents sur le terrain d'être plus efficaces. Ainsi, des ordinateurs portables, des PDA et des tablettes satisfaisant aux exigences de sécurité intrinsèque sont également utilisés de nos jours dans des applications industrielles.

5.3.7.3 Exigences supplémentaires pour les applications spécifiques

La plupart des émetteurs de réseau de capteurs sont alimentés par batterie. Selon l'intervalle de transmission de données, l'énergie des batteries est consommée en quelques mois ou quelques années. Les batteries doivent donc être changées dans le cadre d'une maintenance régulière ou de temps en temps au cours de l'exploitation. Pour ce qui est des émetteurs

dotés d'une protection de sécurité intrinsèque, il est exigé de changer les batteries évoluant dans des atmosphères explosives. Les batteries de certains émetteurs peuvent être changées dans des zones dangereuses à l'aide d'un module contenant des éléments de batterie normaux, d'autres émetteurs utilisant un module de batterie scellé (voir l'IEC 62952).

5.3.8 Sécurité

5.3.8.1 Généralités

Un réseau sécurisé maintient la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité. Les systèmes sans fil sont souvent confrontés à des accès non autorisés ou à de l'espionnage électronique. Ces menaces peuvent se produire à la suite d'un fonctionnement inapproprié et à un accident imprévu. Un réseau sans fil est susceptible d'être exposé dans une plus large mesure, car le support de communication sans fil est l'air, lequel peut être plus facilement accessible qu'un support filaire.

Une conception et une préparation adéquates sont exigées pour maintenir la sécurité et la fiabilité d'un réseau sans fil. En premier lieu, dans une installation ou une usine, il est productif de prendre en compte la sécurité à chaque niveau du réseau et à chaque couche de protocole. Ensuite, la solution consiste à utiliser un conduit logique conforme à l'IEC 62443-3-2, qui assure déjà la sécurité entre les couches. Les considérations en matière de sécurité doivent être appliquées tout au long du cycle de vie de l'ensemble du système sans fil.

5.3.8.2 Contrôle des accès

Le contrôle des accès est une fonction importante de protection contre les invasions par accès non autorisé. Il doit être mis en place pour gérer le compte utilisateur et l'équipement sans fil.

Les justificatifs d'identité associés au compte utilisateur doivent déterminer le rôle et l'autorité pour ce compte. Pour rejoindre un système de réseau, il est recommandé de gérer un identifiant unique en fonction de chaque équipement ou appareil.

5.3.8.3 Chiffrement

Un système sans fil sécurisé doit utiliser des techniques de chiffrement. De nombreuses technologies et spécifications de chiffrement sont disponibles. Le bon choix doit être fait en fonction des exigences en matière de confidentialité. Lorsque de nouveaux équipements ou appareils sont installés, une clé doit être utilisée pour rejoindre un réseau en toute sécurité.

5.3.8.4 Gestion de clé

Lors de la configuration d'un réseau sans fil industriel, des clés cryptographiques de communication sécurisée ultérieure doivent être définies. Les clés établies doivent être résilientes aux attaques et flexibles pour une mise à jour dynamique.

La gestion de clé peut être décrite comme étant statique et dynamique. Les schémas statiques supposent un réseau statique et de courte durée de vie.

Les schémas dynamiques supposent des réseaux de longue durée de vie et adoptent la recombinaison dynamique pour une sécurité et une viabilité durables. Il existe d'autres classifications de clé (symétrique ou asymétrique, par exemple).

Seuls les appareils dignes de confiance doivent être autorisés à rejoindre un réseau. Un schéma de gestion de clé doit prendre en charge l'intégration des appareils dans un réseau ou leur retrait. L'intégration peut être manuelle ou automatique. Une clé privée peut être préalablement attribuée à chaque appareil pour la prise en charge de l'authentification auprès du serveur d'authentification.

5.3.8.5 Autres considérations

Le brouillage intentionnel gêne la communication. Il convient de prendre des contre-mesures pour empêcher les intrusions dans des zones proches d'un système sans fil (sécurité physique) ou pour dissimuler la présence du système sans fil lui-même (cage de Faraday, par exemple).

5.3.9 Disponibilité, fiabilité

La disponibilité et la fiabilité du réseau sans fil doivent satisfaire aux exigences de l'application.

Les protocoles de communication doivent assurer une communication fiable des données et préserver le caractère déterministe de la communication de données en temps réel. En cas de défaut, de retrait et d'insertion d'un composant, les protocoles de communication doivent fournir des temps de reprise déterministes.

La fiabilité d'un réseau de communication sans fil peut être augmentée par saut de voie afin d'assurer un niveau d'immunité contre les brouillages issus d'autres appareils RF fonctionnant dans la même bande, et la robustesse pour atténuer les effets du brouillage par trajet multiple. De plus, l'utilisation d'un canal sélectif facilite la coexistence avec d'autres systèmes RF en détectant et en évitant l'utilisation de canaux occupés à l'intérieur du spectre. L'utilisation de canal sélectif peut également améliorer la fiabilité en évitant l'utilisation de canaux présentant systématiquement de faibles performances.

La disponibilité exigée peut être obtenue

- en augmentant la fiabilité des appareils et des éléments,
- en améliorant la maintenance, et
- grâce à la redondance.

Les installations comptent sur le bon fonctionnement du système d'automatisation. Elles ne tolèrent sa dégradation que pendant une courte durée, appelée temps de grâce. Il convient que le temps de reprise du réseau soit plus court que le temps de grâce, l'application ayant en général besoin de réaliser d'autres tâches (liées à la gestion du protocole et des données, à l'attente du cycle de communication prévu suivant, etc.) avant que l'installation ne revienne à l'état totalement opérationnel. Les applications peuvent se distinguer en fonction de leur temps de grâce (voir le Tableau 4).

Tableau 4 – Exemples de temps de grâce d'applications

Applications	Temps de grâce classiques [s]
Automatisation non critique (systèmes d'entreprise, par exemple)	20
Gestion d'automatisation (fabrication, automatisation d'usine, par exemple)	2
Automatisation générale (contrôle de procédés, centrales électriques, par exemple)	0,2
Automatisation à contrainte de temps (entraînements synchronisés, par exemple)	0,020

Certaines installations font l'objet d'exigences plus strictes lorsqu'elles doivent fonctionner en continu, sans période de repos au cours de laquelle l'installation peut être maintenue ou reconfigurée. Dans ce cas, le temps de grâce vaut pour l'exigence la plus stricte, dictée par exemple par le remplacement à chaud des parties de l'équipement.

Les systèmes d'automatisation peuvent contenir une redondance pour faire face aux défaillances. Les méthodes de gestion de la redondance sont différentes, mais leur facteur de

performance clé est le temps de reprise, c'est-à-dire le temps nécessaire à la reprise du fonctionnement à la suite d'une interruption. Si le temps de reprise est supérieur au temps de grâce de l'installation, des mécanismes de protection lancent un arrêt (sûr), ce qui peut provoquer une perte significative de production et de disponibilité opérationnelle de l'installation.

NOTE 1 Même si la sécurité fonctionnelle n'est pas directement concernée, une importante fiabilité est une caractéristique souhaitable dans un système de sécurité.

Une caractéristique essentielle de la reprise est son déterminisme, c'est-à-dire la garantie que le temps de reprise reste inférieur à une certaine valeur tant que les hypothèses de base (une seule défaillance à la fois, pas de mode de défaillance commun, moins que l'extension maximale du système) sont satisfaites.

La redondance au sein du réseau tient compte de la présence de plus d'éléments de réseau que nécessaire pour le fonctionnement, afin d'éviter la perte de communication à la suite d'une défaillance. À cet effet, plusieurs trajets entre deux nœuds terminaux doivent être utilisés.

Un nombre pratiquement infini de topologies peut être construit à partir des nœuds et des fonctions.

Voici quelques exemples de topologies redondantes:

- réseau maillé (fournissant plusieurs trajets interconnectant des appareils de terrain);
- réseau parallèle (en utilisant le même spectre ou un spectre différent).

Conformément aux exigences de disponibilité du réseau de communication sans fil, il convient de sélectionner le mode de redondance adapté ou de pouvoir le définir.

- Mode de sauvegarde

Les appareils et éléments associés (les câbles, l'alimentation, l'antenne, etc.) sont disponibles en pièces de rechange qui peuvent remplacer les appareils ou éléments défaillants.

NOTE 2 Dans l'IEC 60050-191:1990, 191-15-03, ce type de redondance est appelé "redondance en attente" ou "redondance passive". Le terme "redondance dynamique" est également utilisé.

- Mode alternatif (actif)

En mode alternatif, les trajets redondants sont utilisés alternativement, de manière aléatoire ou régulière.

Si l'un des trajets redondants a été détecté comme étant à l'état déconnecté, il n'est plus utilisé, alors que les autres trajets continuent à être utilisés alternativement.

Ce mode permet de vérifier la disponibilité des composants en continu et, par conséquent, d'augmenter la couverture de diagnostic.

- Fonctionnement parallèle (actif)

En fonctionnement parallèle, les messages sont transmis par tous les trajets redondants disponibles.

Le nœud terminal de réception sélectionne l'un des messages reçus.

NOTE 3 Le terme "redondance statique" ou "de travail" est également utilisé.

Les défauts sont détectés par des mécanismes de détection des erreurs qui ne détecte qu'un pourcentage des défauts. La couverture est la probabilité que des mécanismes de diagnostic détectent une erreur dans un temps imparti, de sorte que la reprise ait lieu avant l'intervention d'autres mécanismes de protection de l'installation ou avant que l'installation ne soit endommagée.

5.4 Exigences de cycle de vie

Les systèmes de communication sans fil pour l'automatisation industrielle doivent satisfaire aux exigences au-delà de l'installation et de la mise en service.

Les systèmes de communication sans fil pour les applications d'automatisation industrielle doivent adopter un processus de gestion de coexistence qui peut être maintenu tout au long du cycle de vie de l'application.

Pour ce qui est des appareils sans fil alimentés par batterie, il convient d'utiliser un format de batterie normalisé de manière à simplifier les procédures de maintenance et à les rendre moins onéreuses. Dans la mesure du possible, la procédure de maintenance adoptée pour l'échange de batteries doit également couvrir le cas des environnements explosifs (voir l'IEC 62952).

De plus, il convient que les appareils de communication sans fil fournissent des paramètres de diagnostic, des statistiques et des services connexes destinés à détecter le type et l'emplacement des liaisons de communication perturbées, et pour analyser les raisons des erreurs de communication. Il convient que le paramètre de diagnostic interne puisse être mis en correspondance avec des paramètres d'informations spécifiés de manière unique pour les diagnostics de communication sans fil et les analyses de défaillance.

5.5 Intégration de systèmes de communication sans fil dans des applications d'automatisation

Les systèmes de communication sans fil font partie intégrante des applications d'automatisation. La planification, l'achat, l'installation et la mise en service font partie intégrante du processus d'ingénierie des systèmes d'automatisation.

Pour faciliter l'intégration, il convient que les appareils d'automatisation sans fil fournissent des descriptions appropriées de l'appareil ou d'autres méthodes d'intégration d'outil.

EXEMPLE Les normes suivantes sont des exemples de descriptions d'appareil ou d'autres méthodes d'intégration d'outil: IEC 61804-3 (EDDL), IEC 62453 (FDT), IEC 62769 (FDI), IEC 62714 (Automation Markup Language) ou ISO 15745 [33] (Description de référence).

De plus, il convient de fournir des informations relatives à l'utilisation d'outils spécifiques (pour simuler des scénarii de communication sans fil en environnements industriels, par exemple).

Les autres aspects sont:

- le diagnostic [KPI];
- la coordination des différents réseaux d'exploitation dans un même espace (voir 4.3.4.3).

Les statistiques de performances KPI utilise les indicateurs clé de performances (KPI). Ces améliorations permettent le développement de statistiques fournies par les passerelles, par exemple. Par exemple, un réseau de communication sans fil peut spécifier un service permettant de lire les informations de l'indicateur clé de performances des appareils sans fil et du réseau afin de générer des statistiques et de fournir un récapitulatif des performances du réseau.

Si la cybersécurité est exigée conformément à l'IEC 62443 (toutes les parties), il est recommandé de générer une liste des appareils autorisés à participer à l'activité du réseau. Une partie du processus d'autorisation pourrait être composée du processus d'approvisionnement. Les appareils identifiés comme n'étant pas autorisés peuvent être placés dans une liste de quarantaine transmise au gestionnaire de coexistence. Il convient que ce dernier travaille en collaboration avec la personne chargée de la cybersécurité.

5.6 Informations et statistiques du réseau

Il convient de pouvoir accéder aux données de performances et aux données topologiques du réseau grâce au réseau de communication, si ces données sont disponibles dans les appareils sans fil.

NOTE La disponibilité des interconnexions peut également être présentée dans la même image (en ajoutant une troisième dimension ou une couleur proportionnelle aux niveaux de signal et à la disponibilité de communication, par exemple).

Bibliographie

- [1] IEC 60050-191:1990, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 191: Sûreté de fonctionnement et qualité de service* (disponible sous www.electropedia.org)
- [2] IEC 61784-1, *Réseaux de communication industriels – Profils – Partie 1: Profils de bus de terrain*
- [3] IEC 62479:2010, *Évaluation de la conformité des appareils électriques et électroniques de faible puissance aux restrictions de base concernant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques (10 MHz à 300 GHz)*
- [4] IEC 62591, *Réseaux de communication industrielle – Réseaux de communications sans fil et profils de communication – WirelessHART™*
- [5] IEC 62601, *Réseaux industriels – Réseau de communications sans fil et profils de communication – WIA-PA*
- [6] IEC 62734, *Réseaux industriels – Réseau de communication sans fil et profils de communication – ISA 100.11a*
- [7] ISO/IEC/IEEE 8802-3:2014, *Standard for Ethernet* (disponible en anglais seulement)
- [8] UIT-R SM.2152:2009, *Définitions des systèmes de radiocommunication définis par logiciel (SDR) et des systèmes de radiocommunication cognitifs (CRS)*
- [9] UIT-R SM.1046-2:2006, *Définitions du facteur d'utilisation du spectre et de l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système radioélectrique*
- [10] CEPT/ECC ERC Recommendation 70-03, *Relating to the use of Short Range Devices (SRD)* (disponible en anglais seulement)
- [11] Directive 2006/66/CE du Parlement européen relative aux piles et accumulateurs ainsi qu'aux déchets de piles et d'accumulateurs
- [12] ETSI EN 300 440-1, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Part 1: Technical characteristics and test methods* (disponible en anglais seulement)
- [13] ETSI EN 300 440-2, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short range devices; Radio equipment to be used in the 1 GHz to 40 GHz frequency range; Part 2: Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive* (disponible en anglais seulement)
- [14] IEEE 802.1D-2004, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks: Media Access Control (MAC) Bridges* (disponible en anglais seulement)
- [15] IEEE 802.11-2016, *IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* (disponible en anglais seulement)

- [16] IEEE 802.15.1-2005, *IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs)* (disponible en anglais seulement)
- [17] IEEE 802.15.2-2003, *IEEE Recommended Practice for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 15.2: Coexistence of Wireless Personal Area Networks with Other Wireless Devices Operating in Unlicensed Frequency Bands* (disponible en anglais seulement)
- [18] IEEE 802.15.4-2015, *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks* (disponible en anglais seulement)
- [19] IEEE C95.1-2005, *IEEE standard for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz* (disponible en anglais seulement)
- [20] FITS, April 2010, ifak e.V. Magdeburg, Einflussgrößen zur Definition von Anwendungsklassen (Paramètres d'influence pour la définition des classes d'application),

NOTE Rapport dans le projet "Entwicklung von Standardtests zur einheitlichen Bewertung industrieller Funklösungen (FITS), Magdeburg" (Développement de méthodes de mesure pour l'évaluation uniforme des solutions radio industrielles).
- [21] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure in time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. *Health Physics*, 1998, vol. 74, pp. 494-522, <adresse <http://www.icnirp.org> >
- [22] NAMUR NE 124:2009, *Wireless Automation Requirements*, <adresse <http://www.namur.net> >
- [23] VDI/VDE 2185 Part 2:2009-12, *Radio based communication in industrial automation – Management of the coexistence of radio solutions*
- [24] ZVEI, Frankfurt, Germany, April 2009, *Coexistence of Wireless Systems in Automation Technology – Explanations on reliable parallel operation of wireless communication solutions*
- [25] IEC 60079-0, *Atmosphères explosives – Partie 0: Matériel – Exigences générales*
- [26] IEC 60079-11, *Atmosphères explosives – Partie 11: Protection de l'équipement par sécurité intrinsèque "i"*
- [27] IEC 60079-25, *Atmosphères explosives – Partie 25: Systèmes électriques de sécurité intrinsèque*
- [28] IECEx 60079-27-V1 ed1.0, IECEx Test Report for IEC TS 60079-27:2002, *Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses – Partie 27: Concept de réseau de terrain de sécurité intrinsèque (FISCO)*
- [29] IEC TS 60079-27:2002, *Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses – Partie 27: Concept de réseau de terrain de sécurité intrinsèque (FISCO)*

- [30] VDI/VDE 2185 Part 3:2013-01, *Radio-based communication in industrial automation – Requirements and specifications for power supply solutions based on batteries and energy harvesting*
 - [31] ISO/IEC 80079-34:2011, *Atmosphères explosives – Partie 34: Application des systèmes de qualité pour la fabrication d'équipements*
 - [32] Règlements des radiocommunications Articles:2012, *Article 1*, disponible à l'adresse
<http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFF.PDF>
[consulté 2016-12-22]
 - [33] ISO 15745 (toutes les parties), *Systèmes d'automatisation industrielle et intégration – Cadres d'intégration d'application pour les systèmes ouverts*
 - [34] IEC 61508 (toutes les parties), *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*
 - [35] IEC 61804-3, *Blocs fonctionnels (FB) pour les procédés industriels et le langage de description électronique de produit (EDDL) – Partie 3: sémantique et syntaxe EDDL*
 - [36] IEC 62443 (toutes les parties), *Industrial communication networks – Network and system security* (disponible en anglais seulement)
 - [37] IEC 62453 (toutes les parties), *Spécification des interfaces des outils des dispositifs de terrain (FDT)*
 - [38] IEC 62714 (toutes les parties), *Format d'échange de données techniques pour une utilisation dans l'ingénierie des systèmes d'automatisation industrielle – Automation markup language*
 - [39] IEC 62769 (toutes les parties), *Intégration des appareils de terrain (FDI)*
 - [40] IEC 62952 (toutes les parties), *Sources d'énergie pour un appareil de communication sans fil*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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