

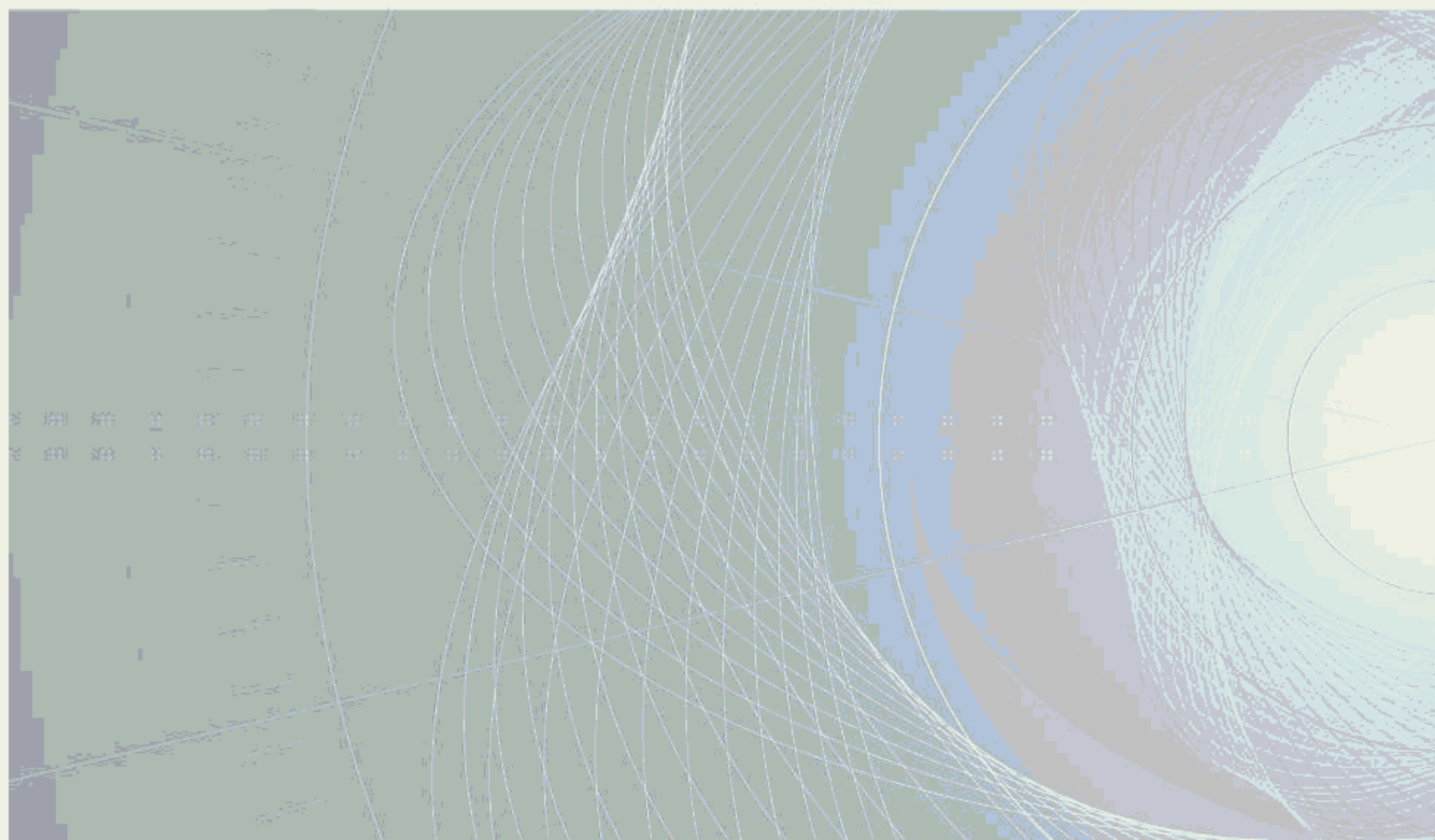
# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Mobile remotely controlled systems for nuclear and radiological applications –  
General requirements**

**Systèmes télécommandés mobiles pour applications nucléaires et  
radiologiques – Exigences générales**







## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 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 Varembé  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

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

### About IEC publications

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

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries 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](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 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.

### A propos de l'IEC

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

### A propos des publications IEC

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

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

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

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques 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](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 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.





IEC 63048

Edition 1.0 2020-11

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

**Mobile remotely controlled systems for nuclear and radiological applications –  
General requirements**

**Systèmes télécommandés mobiles pour applications nucléaires et  
radiologiques – Exigences générales**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.120.01

ISBN 978-2-8322-8988-4

---

**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 and definitions .....   | 7  |
| 4 Abbreviated terms .....   | 9  |
| 5 General descriptions .....  | 9  |
| 5.1 Working environment .....   | 9  |
| 5.1.1 General .....   | 9  |
| 5.1.2 Atmospheric environment .....   | 9  |
| 5.1.3 Structural environment .....  | 9  |
| 5.2 Structure of MRCS .....   | 9  |
| 5.3 Risk analysis and safety measures .....   | 11 |
| 6 General requirements .....  | 12 |
| 6.1 General .....   | 12 |
| 6.2 Safety requirements .....   | 12 |
| 6.2.1 General .....   | 12 |
| 6.2.2 Requirements for preventing damage to humans .....                                | 12 |
| 6.2.3 Requirements for preventing damage to the nuclear and radiological facility ..... | 13 |
| 6.2.4 Requirements for preventing damage of MRCSs .....                                 | 13 |
| 6.3 Functional requirements .....   | 14 |
| 6.3.1 General .....   | 14 |
| 6.3.2 Sensing .....   | 14 |
| 6.3.3 Mobility .....  | 14 |
| 6.3.4 Manipulation .....  | 15 |
| 6.3.5 Local and remote control .....  | 15 |
| 6.3.6 Human-Machine Interfaces (HMI) .....  | 15 |
| 6.3.7 Communications .....  | 16 |
| 6.3.8 Power supply .....  | 16 |
| 6.4 Operational requirements .....  | 16 |
| 6.4.1 Operational requirements of MRCS .....  | 16 |
| 6.4.2 Mission planning and simulation .....   | 17 |
| 6.5 Test requirements .....   | 18 |
| 7 Verification and validation .....   | 18 |
| 7.1 General description .....   | 18 |
| 7.2 Verification and validation methods .....   | 18 |
| 7.3 Required verification and validation .....  | 18 |
| Annex A (informative) Main objective of MRCS .....                                      | 19 |
| A.1 General .....   | 19 |
| A.2 MRCS missions .....   | 19 |
| A.2.1 General .....   | 19 |
| A.2.2 Physical and visual inspection .....  | 19 |
| A.2.3 Monitoring of facility status .....   | 19 |
| A.2.4 Repairing of components .....   | 20 |
| A.2.5 Handling of radioactive materials .....   | 20 |

|  |   |    |
|--|---|----|
| A.2.6  | Accident mitigation and recovery .....              | 20 |
| A.2.7  | Dismantling and decommissioning of facilities ..... | 20 |
| Annex B (informative) Verification and validation methods of safety requirements and countermeasures ..... |   | 21 |
| Bibliography .....   |   | 25 |
| Figure 1 – MRCS structure .....  |   | 10 |
| Figure 2 – MRCS functions .....  |   | 11 |
| Table B.1 – Verification and validation methods of safety requirements and countermeasures .....           |   | 22 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MOBILE REMOTELY CONTROLLED SYSTEMS FOR NUCLEAR AND  
RADIOLOGICAL APPLICATIONS – GENERAL REQUIREMENTS****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 63048 has been prepared by IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation. The text of this International Standard is based on the following documents:

| Draft       | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 45/904/FDIS | 45/907/RVD       |

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/standardsdev/publications](http://www.iec.ch/standardsdev/publications).

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

Mobile remotely controlled systems are used in areas that are difficult to access by human workers, such as high-radiation, high-temperature, high-pressure, and submerged environments.

International standards for applications other than nuclear applications, such as individual protective equipment and industrial, service-related, and medical applications, are developed within ISO TC 299.

There are a variety of mobile remotely controlled systems [14]<sup>1</sup> intended for application in various environmental conditions, namely: multifunctional mobile robot systems for the inspection and maintenance of the primary cooling water system of a nuclear power plant; shape-changing robots that serve as a remotely controlled inspection system in the primary containment vessel of a nuclear power plant; robots that inspect the reactor head and floor, underwater mobile robots that detect and remove loose parts within the reactor vessel; underwater crawling and swimming robots that serve as a remotely controlled system for feeder pipe inspection and maintenance of steam generators in an underwater environment; operation control systems for non-destructive inspections, mobile robots intended for radiation and chemicals reconnaissance and monitoring, as well as local distribution of gamma-radiation sources located in inaccessible areas; and double-arm or heavy duty robots that are used to dismantle nuclear power plants.

In this regard, it is necessary to develop technical standards that govern the design, manufacturing, interoperability, and use of mobile remotely controlled systems for nuclear applications that are suitable for various works such as the integrity inspection of nuclear components, repair of nuclear components, on-site monitoring when any abnormality or accident occurs in a nuclear facility, and nuclear decontamination and dismantling.

These technical standards concern the design, establishment, and performance of mobile remotely controlled systems and can be used to implement various important tasks and follow-up measures, such as monitoring nuclear-related activities.

To this end, general requirements for mobile remotely controlled systems have been provided for nuclear and radiological applications.

Detailed specifications of these general requirements need to be designated by manufacturers to provide support to the users of their products.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

# MOBILE REMOTELY CONTROLLED SYSTEMS FOR NUCLEAR AND RADIOLOGICAL APPLICATIONS – GENERAL REQUIREMENTS

## 1 Scope

This document defines the general requirements for Mobile Remotely Controlled Systems (MRCSs) for nuclear and radiological applications such as integrity inspections, repair of components, handling of radioactive materials, and monitoring of physical conditions and radiation dose intensity in specific areas. (Refer to Annex A for more information regarding the main purposes of the MRCS.)

MRCS is used in the concerned area where human access is difficult or impossible during normal operation, transient and accidents, and recovery from an accident in nuclear facilities.

This document applies to MRCSs that are used to support nuclear and radiological facilities.

These general requirements encompass high-level performance requirements regarding sensors, monitoring devices, control devices, interfacing mechanisms, simulation methods, and verification methods thereof in a normal environment or extreme environmental conditions, such as high radiation, high temperature, and high humidity environments.

In this document, the term “MRCS” used hereinafter refers to a mobile remotely controlled system used for nuclear and radiological applications.

## 2 Normative references

There are no normative references in this document.

## 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions are applied.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

### 3.1

#### **built-in control/diagnostics system**

##### **BCDS**

specialized circuit of the on-board control system intended to check the state of MRCS permanently

### 3.2

#### **hazard**

event having the potential to cause injury to plant personnel, damage to components, equipment, structures or MRCSs. Hazards are divided into internal hazards and external hazards

Note 1 to entry: Internal hazards are, for example, controller fail or power loss.

Note 2 to entry: External hazards are, for example, fire, flooding, earthquake and lightning.

Note 3 to entry: Damage to MRCSs is added to the source.

[SOURCE: IEC 61513:2011, 3.25, modified, – Note 3 to entry has been added.]

### 3.3

#### **mission**

objective description of the fundamental task performed by a system

### 3.4

#### **mobile remotely controlled system**

##### **MRCS**

robotics in nuclear instrumentation that are mobile, remotely controlled by an operator, and consisting of sub-systems, modules or assemblies

EXAMPLE 1 Subsystems, modules or assemblies are, for example, mechanical and electrical/electronic controls, communications (between the operator and the robotic, and some robotic subsystems, modules or assemblies), lighting and possibly audio subsystems, modules or assemblies, sampling and monitoring subsystems, modules or assemblies, used for photographing the environment with video or still photos, sampling or monitoring the contacted air or surfaces for radioactive materials, noxious gases and particulates such as asbestos, and performing other designed activities, all controlled by the operator.

### 3.5

#### **operator**

person designated to start, monitor, and stop the intended operation of the MRCS

[SOURCE: ISO 8373:2012, 2.17, modified, – Robotic system has been replaced with MRCS.]

### 3.6

#### **remote control**

control of a device from a distant point

### 3.7

#### **risk**

potential that a given threat will exploit vulnerabilities of an asset or group of assets and thereby cause harm to the organization

Note 1 to entry: It is measured in terms of a combination of the severity of impact from the environment, probability of the exposure time to the radiation and the controllability for MRCS.

[SOURCE: IAEA Nuclear Security Series No. 17:2011, modified, – The second sentence in the definition has been removed, and Note 1 to entry has been added.]

### 3.8

#### **risk assessment**

overall process of systematically identifying, estimating, analysing and evaluating risk

[SOURCE: IAEA Nuclear Security Series No. 17:2011]

### 3.9

#### **robot**

actuated mechanism programmable in two or more axes with a degree of autonomy, moving within its environment, to perform intended tasks

[SOURCE: ISO 8373:2012, 2.6, modified – The notes have been removed.]

### 3.10

#### **safety**

protection of people and the environment against radiation risks, and the safety of facilities and activities that give rise to radiation risks

Note 1 to entry: 'Safety' as used in the IAEA glossary and safety standards includes the safety of nuclear installations, radiation safety, the safety of radioactive waste management and safety in the transport of radioactive material; it does not include non-radiation-related aspects of safety.



[SOURCE: IAEA Safety Glossary: 2018, 3.1, modified, – The second sentence in the definition has been removed, and Note 1 to entry has been added.]

### **3.11**

#### **scenario**

possible sequence of interactions

[SOURCE: SG-CG/M490/E:2012-12, 3.10]

## **4 Abbreviated terms**

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| BCDS | Built-in Control/Diagnostics System |
| HMI  | Human-Machine Interface             |
| MRCS | Mobile Remotely Controlled System   |

## **5 General descriptions**

### **5.1 Working environment**

#### **5.1.1 General**

MRCSs shall be used to implement tasks in nuclear facilities where human access is difficult or impossible. Working environments in nuclear facilities are identified according to operating conditions and working areas, including, but not limited to, the following factors.

#### **5.1.2 Atmospheric environment**

- Radiation and radioactivity
- High temperature and high humidity
- Toxic and explosive gases
- Underwater or submerged environment

#### **5.1.3 Structural environment**

- Narrow and confine spaces limited to human access
- Areas of high altitude with a risk of falling
- Presence of obstacles with a risk of collision
- Sloped areas such as stairs
- Uneven paths, including gratings
- Areas where humanlike manipulations are needed, such as operations of doors and valves

These environmental factors should be applied to the mission of the MRCS, as described in Annex A.

MRCSs shall perform given missions in various working environments with or without human intervention.

The safety of the human operators, nuclear facilities and MRCSs should be confirmed for their working environment.

### **5.2 Structure of MRCS**

The MRCS or a human operator is a subject who conducts a given task, while a nuclear facility is an object on which the task is performed.

As a subject, the MRCS performs a given task related to an object either autonomously or in cooperation with a human operator.

Any problems that may occur while performing the task should be addressed by the MRCS and the human operator, and the final decision shall be made by the human operator.

Accordingly, when planning given tasks, a human operator should minimize the occurrence of any unexpected problems, including by simulations.

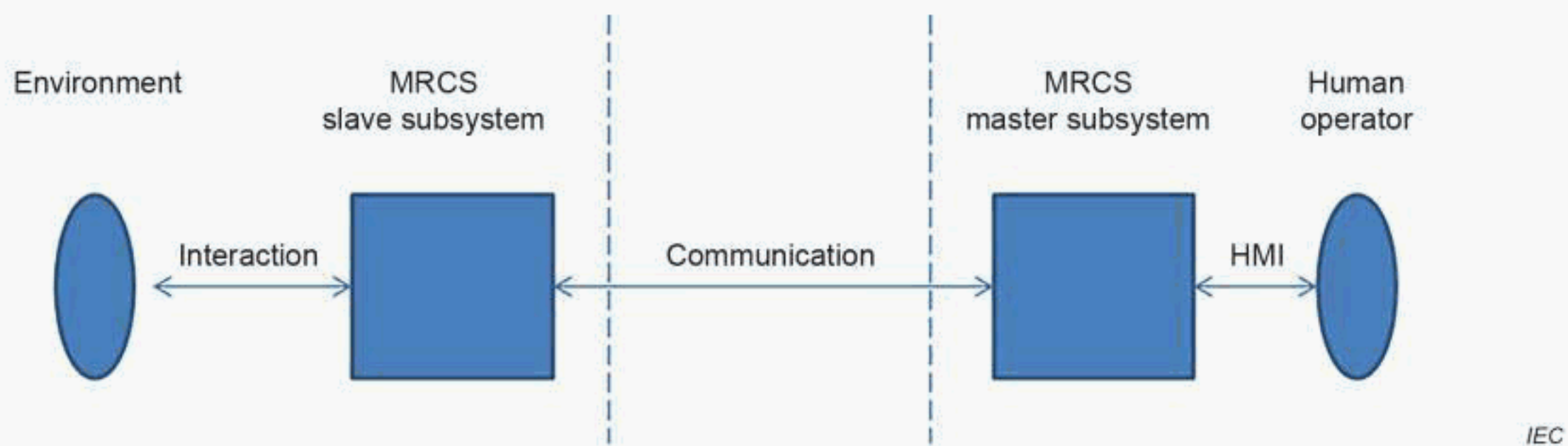
The MRCS, as a subject which performs a given task, is structured as follows.

The MRCS is composed of two subsystems, as shown in Figure 1, the slave subsystem and the master subsystem.

The slave subsystem is intended to operate in an area inaccessible to a human operator, or a dangerous area, as shown in Figure 1.

The master subsystem is located in a safe area and used to supervise the slave subsystem by human operator.

The two subsystems are located away from each other, and thus necessary information needs to be exchanged between them through communications.



**Figure 1 – MRCS structure**

The functions of the slave subsystem, as shown in Figure 2, are as follows.

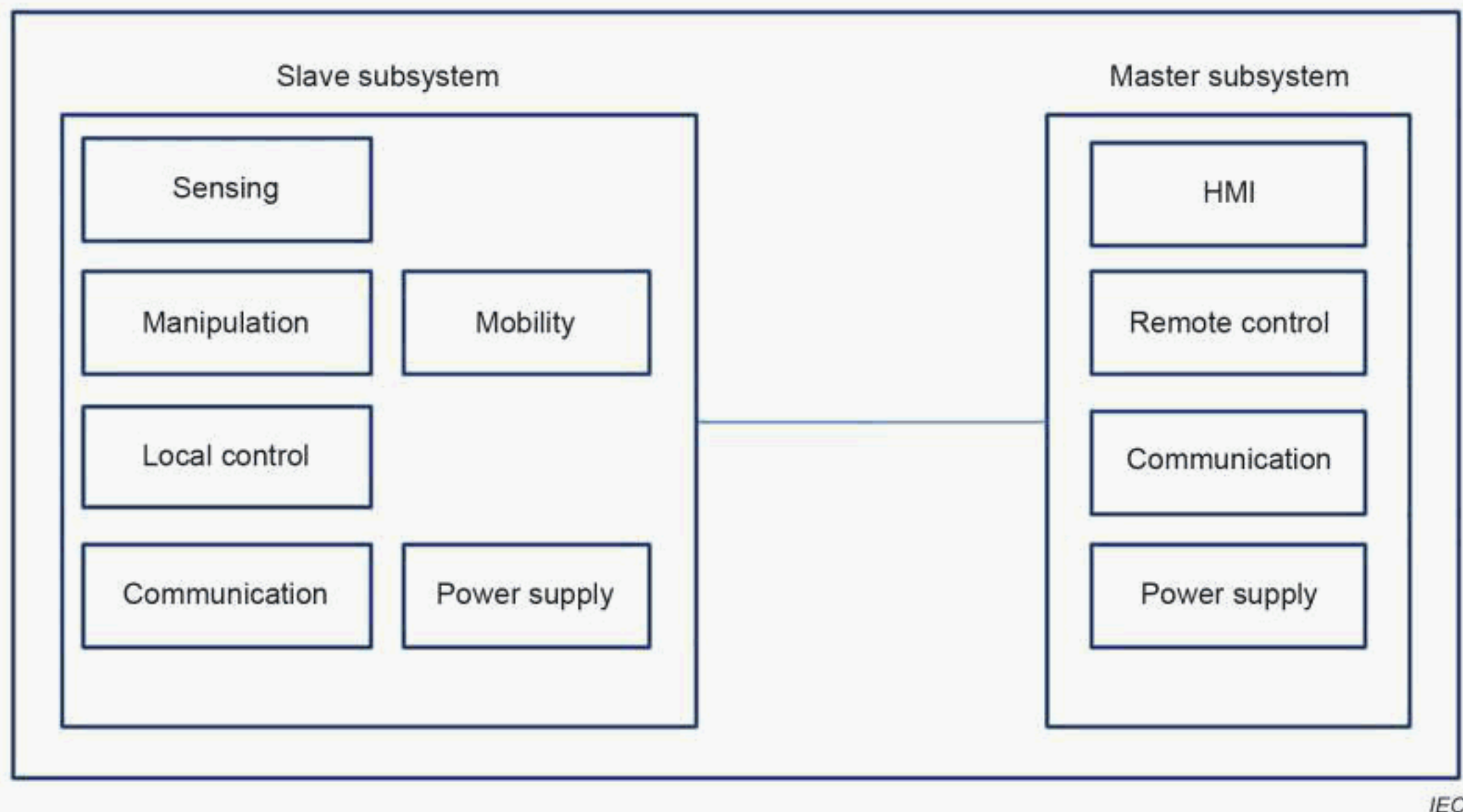
- The sensing function is to collect information necessary to perform a given task.
- The mobility function is to place the slave subsystem in the target area where the given task is located.
- The manipulation function is to move a tool to the target position and place it in the desired pose so as to handle the object.
- The local control function is to control the sensing, manipulation, and mobility functions and exchange information with the master subsystem.
- The slave communication function is to receive control commands from the master subsystem and transmit sensor information and the status of the slave subsystem to the master subsystem.
- The slave power supply function is to provide power or energy sources to the slave subsystem.

The functions of the master subsystem, as shown in Figure 2, are as follows.

- The human-machine interface (HMI) is to receive command inputs from the human operator and provide the human operator with multimodal information regarding the environmental conditions and status of the slave subsystem.



- The remote control function is to convert a command input from the human operator to an appropriate form of control command suitable for the slave subsystem.
- The communication function is to transmit control commands to the slave subsystem and receive data from the slave subsystem.
- The master power supply function is to provide power or energy sources to the master subsystem.



**Figure 2 – MRCS functions**

### 5.3 Risk analysis and safety measures

To prevent or mitigate risks, necessary safety measures shall be prepared.

These risks may occur due to various factors, including but not limited to:

- Atmospheric environment, as mentioned in 5.1.2
- Structural environment, as mentioned in 5.1.3 (e.g., falling or rollover)
- Incorrect manipulation by the operator
- Defects or damaged electronic equipment that may cause an electric shock or fire
- Defects or malfunction of a control circuit that may cause machine malfunction
- Defects or failure of an electric circuit that may cause machine malfunction and power disturbances
- Loss of circuit continuity due to a sliding contact or rolling contact that may cause a failure of safety function or mechanical defects
- Electrical disturbances, such as interferences by electromagnetic fields, static electricity, and radio frequencies, which may occur externally or internally causing equipment malfunction

Here, safety measures refer to a combination of measures taken to address those risks, as well as protection measures that need to be taken by the user.

These safety measures are considered in the system design and development phases to mitigate the risks.

Appropriate safety measures shall be prepared based on the results of risk assessment.



Safety protection and working procedures also need to be considered.

Safety protection includes the use of safety devices and recognition measures.

## **6 General requirements**

### **6.1 General**

The MRCS shall be designed and manufactured to meet the requirements for given missions taking into consideration the environmental factors specified in 5.1.

These requirements consist of the safety, functional, operational and test requirements;

- Safety requirements (6.2)
- Functional requirements (6.3)
- Operational requirements (6.4)
- Test requirements (6.5)

### **6.2 Safety requirements**

#### **6.2.1 General**

The MRCS shall be designed to safely complete the mission in the working environment mentioned in 5.1. The safety of MRCS should be verified in three different aspects.

- MRCS should be designed to limit the level of risk that may cause health damage to humans while all the time using MRCS, including the pre-processes (e.g., preparation, installing, master and setting up the master station), the main processes (e.g., remote operation of mobile base, remote controlling of manipulator), and the post-processes (e.g., retrieving, decontaminating, maintaining, and repairing the MRCS).
- MRCS should be designed to limit the level of risk to cause damage to the external environment. MRCS should be safely returned without causing damage to the environment during the mission.
- MRCS should be designed to protect itself from the dangers of the external environment. MRCS should be safely returned without failure during the mission.

Depending on the working environment, the specific safety requirements should be considered. Annex B provides a safety verification tool to ensure that the MRCS concerned can be applied in a specific mission environment. The manufacturer shall provide performance specifications and relevant information.

#### **6.2.2 Requirements for preventing damage to humans**

The MRCS shall be designed in such a way as to guarantee safety of humans all the time while utilizing it. The level of risk imposed on humans while working on the MRCS shall be reduced to a level below the allowable limit. If applicable, it is necessary to consider issues that include, but are not limited to, the following items.

- MRCS should be designed to mitigate all possible risks, as identified in 5.1, to a level below the allowable limit, if they have reached the level where humans could be harmed.
- MRCS should be designed to warn of the risks to humans, while preparing, installing, operating, retrieving, decontaminating, inspecting, maintaining, repairing, or utilizing the MRCS for other purposes.
- MRCS operating procedures should be clearly defined and documented. The possible risks in each procedure and the way to mitigate those should be described.

- MRCS should be designed not to harm humans in case of collision or contact with it, due to its physical properties (speed and force) or electrical properties.
- MRCSs should be designed to guarantee the safety in repairing or maintenance. A modular design that allows the user to simply replace the failed module is desirable to reduce the risk.
- MRCSs should be designed in such a way that they are not easily contaminated.
- The MRCS should be decontaminated after finishing a mission so that humans can access the MRCS in order to maintain or repair it after the decontamination.
- MRCS should be designed to firmly fix all parts to prevent the separated parts which harm humans.

### 6.2.3 Requirements for preventing damage to the nuclear and radiological facility

The level of potential risk to the nuclear and radiological facility while working on the MRCS shall be reduced to a level below the allowable limit. If applicable, issues should be considered, including but not limited to the following.

- The entire task should be performed so as not to damage the structures in case of unexpected falling or rollover of the MRCS.
- The entire task should be performed so as not to damage the structures in case of unexpected collision with the structures. The operating speed shall be limited enough to reduce the possible risk.
- The entire task should be performed so as not to damage the structures in case of intended contact. The contact stress exerted on the structure should be kept below the allowable stress limit.
  - The entire task should be performed so as not to generate foreign substance in order to prevent damage to the structure or disturbing normal operation of nuclear facility. Manipulation should be carefully done not to drop the handling object.
  - Inspection should be conducted to find foreign objects.
  - The foreign objects may be removed, if detected.

### 6.2.4 Requirements for preventing damage of MRCSs

The MRCS should complete the given mission safely without causing any damage until returning to a pre-defined position. Its mission should be terminated if a failure occurs. The MRCS should return to a pre-defined position for repairing, or it should halt safely at the position in case it is impossible to return. The MRCS should be designed so as to provide appropriate safety measures and to minimize degradation of performance, in consideration of the working environment as specified in 5.1.

The level of risk to MRCS shall be reduced to a level below the allowable limit. The MRCS shall be designed, manufactured, and operated while taking into consideration, but not limited to, the following requirements.

- MRCS should be designed so as to provide redundancy and diversity to reduce the risk in case of malfunction, performance degradation, and failure of the device.
- MRCS should be radiation tolerant or hardened, if necessary.
- Subsystem, module or assembly in MRCS should be waterproofed, if necessary.
- Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to prevent the degradation due to dust, if necessary.
- Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to minimize inducing vibration, and anti-vibration measures should be applied, if necessary.
- Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to guarantee the mechanical strength and to reduce friction, if necessary.

- Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to have suitable size and shape for the given mission.
- The center of mass in MRCS should be well balanced not to flip over. Shape or center of mass should be adjusted, if necessary.
- MRCS should be equipped with monitoring devices to detect possible risks.

### **6.3 Functional requirements**

#### **6.3.1 General**

MRCS should implement appropriate functions to a given mission.

Accordingly, even though the functional requirements defined in this subclause are not necessarily related to all types of MRCSs, each of the requirements may selectively apply to the corresponding type of MRCS. This means that one may add phrases, such as “if applicable” or “if necessary” to each of the requirements defined in this subclause.

#### **6.3.2 Sensing**

Sensing function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- MRCS should obtain proper sensing information required for moving and manipulating.
  - Visual and acoustic information
  - Distance from the object
  - Self-position
  - Direction and posture
  - Contact or force
- MRCS should obtain proper sensing information required for identifying the characteristics of the working environment
  - Radiation dose rate, distribution of radioactive substances and energy spectrum
  - Temperature, humidity, and pressure
  - Gas leakage
  - Fluid and water vapor leakage
  - Sensing for non-destructive testing

#### **6.3.3 Mobility**

Mobility function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The speed control function should be provided to minimize the risks caused by collisions.
- The emergency stop function should be provided to halt the mobile base in dangerous situations.
- The safety stop function should be provided to halt the mobile base in abnormal situations.
- When the power supply is suddenly cut off, the system should safely hold the current pose.
- The obstacle avoidance function should be provided to detour or pass over the obstacle.
- The stabilizing function should be provided not to be flipped over in rough terrain such as stair, slopes, or hump.
- The rolling function should be provided to restore itself from flipping pose.
- The rotation function should be provided so that it can move ahead the intended direction.



- The all-terrain function and suitable driving force should be provided not to be affected by the ground conditions.

#### **6.3.4 Manipulation**

Manipulation function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The emergency stop function should be provided to halt the manipulator in dangerous situations.
- The safety stop function should be provided to halt the manipulator in abnormal situations.
- When the power supply is suddenly cut off, the system should safely hold the last pose.
- The restoring function should be provided to move to home position after resolving abnormal situation.
- The motion control function should be provided to control the position and the speed precisely.
- The collision avoidance function should be provided not to collide the obstacle.
- The shock absorbing function should be provided to minimize damage due to the impact.
- Suitable degree of freedom should be provided to perform a given mission.
- Appropriate handling payload should be provided to handle a target object.

#### **6.3.5 Local and remote control**

Local and remote control function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The local control should provide the function to halt the slave subsystem in emergency situations.
- The local control should provide the function to control the position or speed of the MRCS.
- The local control should provide the function to actuate the sensors and to process the collected information.
- The local control should provide the function to suspend operation when the communication between the master subsystem and the slave subsystem are disrupted for a specific period of time.
- The local control should provide a BCDS to monitor the status of the MRCS and to transmit an error message to the master subsystem when an error occurs.
- The local control should provide the function to inform the status of the slave subsystem to the master subsystem.
- The local control and/or the remote control should provide the function to store the moving/manipulation trajectory and/or the operation history of the MRCS.
- The remote control should provide the function to immediately stop the MRCS. The remote control should provide the function to input user command and to output the collected information from the slave subsystem.
- The remote control should provide the function to load the predefined mission plans.
- The remote control should provide the function to configure parameters.

#### **6.3.6 Human-Machine Interfaces (HMI)**

Human-Machine Interface (HMI) function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The HMI should provide multimodal information so that the human operator can easily recognize the status of the MRCS and the working environment.

- The HMI should provide the function to input the command easy and intuitively.
- The HMI should provide the function to inform the error message to the human operator.
- The HMI should provide the function to warn of the danger in working environment or to alarm on the abnormal status of the slave subsystem.
- The HMI should provide the function to show the moving/manipulation trajectory and/or the operation history of the MRCS.
- The HMI should provide the function to display the guide trajectory of the slave subsystem to the target position.
- The HMI should provide the function to display the power consumption, the battery level or the remaining fuel.
- The HMI should provide the function to display the power consumption and the remaining power capacity.

### 6.3.7 Communications

Communications function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The communication period should be defined as frequently as to immediately be aware of the changes in the working environment.
- The communication period should be defined as frequently as to immediately apply the user command to the slave subsystem.
- The communication bandwidth should be ensured so as to send all the communication data at each communication period, in the consideration of the control commands, the sensor information, and audio/video data.
- The communication security should be ensured to minimize the effect of jamming and cyber-attacks.
- The communication redundancy should be provided to ensure the diversity of the emergency stops in preparation of the complete or partial loss of communication. The communication should be stably continued during operation without loss of communication. If loss of communication occurred, the MRCS shall detect it and stop its motion immediately.
- The communication may be considered for multiple connections to plural MRCSs, such as 1-to-n communication or n-to-n communication.
- The communication media may be connected in wireless or wired means.

### 6.3.8 Power supply

Power supply function may be selected depending on its mission among the following functions, but not limited to them.

- The power consumption and the remaining power capacity should be measured and reported to the human operator. If the remaining power capacity is below the allowable level, the MRCS shall return to a pre-defined position or stop its motion.
- The power supply should provide the energy sustainably during operation. If main power source is disconnected, the MRCS shall detect it and stop its motion immediately.

An auxiliary power source may be prepared in MRCS for unexpected disconnection of power.

## 6.4 Operational requirements

### 6.4.1 Operational requirements of MRCS

The operation should be ensured to minimize the impact of potential risks before, during, and after mission.

- Prior to performing the operation, the MRCS should be safely delivered and unloaded in the starting position.
- Prior to performing the operation, all functions of MRCS should be pretested to check it is working normally.
- Prior to performing the operation of MRCS, the given mission and the related working environment should be clearly observed. The human operator should recognize the overview of the mission and which function of MRCS is required in each stage.
- In the previous working test, it should be explicitly displayed to the human operator which controller is connected. Teach pendant, local controller, or remote controller may be used in the previous working test.
- Prior to performing the operation, utility resources should be properly connected to the MRCS. The utility resources may be supplied from the facility or MRCS's own resources. The required utility resources in a task are listed as follows, but not limited to them.
  - Power supply
  - Lighting
  - Communications
  - Pneumatic sources
- All tasks should be performed in clearly observable situations without uncertainty.
- Operation should be performed conditioned to properly obtaining information about the working environment. If the information is not properly obtained, the operation should be paused.
- Operation should be performed conditioned to properly recording all working history. If an abnormal situation occurred, the operation should be paused. After recovering the abnormal situation, the last status from the working history may be restored. The abnormal situations are listed as follows, but not limited to them.
  - Loss of power
  - Loss of communication
  - System halt
- Operation should be performed by a proper number of human operators to reduce human error.
- If the MRCS fails to operate during the mission, the MRCS should be removed or retrieved so as not to interfere with other work.
- After the mission, decontamination should be carried out to check, store and reuse the MRCS.
- After finishing the mission, MRCS should be stored in a suitable environment to prevent degradation caused by environmental factors.
- During long-term storage, the operation of the MRCS should be checked and maintained periodically.

#### **6.4.2 Mission planning and simulation**

A mission planning, a simulation, and a training of operators should be conducted before performing an actual mission.

- A mission planning should consider the functions of the MRCS, working environment, and scenarios.
- Simulations should be performed in a virtual environment to prevent human errors and to increase operational proficiency. The estimated working time may be analysed from the simulation.
- A training of operators should be conducted with a training plan which is prepared from the mission scenarios.



## 6.5 Test requirements

Test of MRCS should be conducted before performing an actual mission.

For the test of MRCS, a test plan should be prepared considering the following matters, but not limited to them.

- Structural environments of the facility
- Atmospheric environments of the facility (temperature, humidity, levels of radioactivity, chemicals, gasses, etc.)
- Completion time
- Retrieval of the MRCS from the facility when it breaks down.

MRCSs should be tested in accordance with the test plan. The test methods defined in [2] to [12] should also be considered in the test of MRCS.

## 7 Verification and validation

### 7.1 General description

The manufacturer of the MRCSs shall provide verification and validation of the design and manufacturing of the MRCSs, including appropriate protection devices in accordance with the principles described in Clause 0 and Clause 0.

Also, risk assessments should be conducted, to be able to identify risks that can be reasonably predicted and to check whether appropriate countermeasures to address such risks have been taken.

Given that the risk factors specified in 5.3 may not necessarily apply to all types of MRCSs, the level of risk in a given risk situation for each MRCS varies. Thus, a risk assessment is carried out to determine appropriate protection measures suitable to the given MRCS.

### 7.2 Verification and validation methods

Verification and validation methods include but are not limited to:

- Visual inspection;
- Actual testing;
- Measurement;
- Observation during the operation;
- Review of application-specific circuit diagrams, as well as circuit diagram and design data;
- Review of work-based risk assessment;
- Review of specifications and usage information.

### 7.3 Required verification and validation

In Annex B, the specific requirements that have been identified as critical to the safety of the MRCSs, and thus need to be verified or validated, are listed. These requirements shall be tested using appropriate measures to check whether the design and configuration of the MRCSs properly comply with the requirements.

## **Annex A** (informative)

### **Main objective of MRCS**

#### **A.1 General**

The main objective of the MRCSs is to protect human operators from hazards by replacing them to perform dangerous tasks, for example, in a nuclear or radiological environment. To this end, MRCSs should be capable of monitoring the level of radioactivity and the status of equipment and structural conditions of nuclear facilities, performing maintenance and repair activities, and handling radioactive materials in specific application fields, including radiological and nuclear terrorism [1], if applicable.

#### **A.2 MRCS missions**

##### **A.2.1 General**

The main missions of MRCS are as follows:

- Inspection
- Monitoring of facility status, including the dose rate/radioactivity
- Repair of components
- Handling of radioactive materials
- Accident mitigation and recovery
- Dismantling and decommissioning of facilities

##### **A.2.2 Physical and visual inspection**

To perform this mission, MRCSs may be equipped with special-purpose inspection modules for specific tasks, such as ultrasonic sensors, infrared sensors, radiation sensors and high-definition cameras.

To perform this mission, MRCSs may perform the following tasks:

- Inspection of the integrity of welded structures
- Inspection of corrosion or leakage
- Inspection of sludge accumulation
- Inspection of tube bundles
- Inspection of leakage of a water pool
- Inspection of the inside of pipelines
- Inspection of leakage and distribution of radioactive substances

##### **A.2.3 Monitoring of facility status**

To perform this mission, MRCSs may perform the following tasks:

- Examination of the integrity of facilities
- Measurement of environmental parameters, such as temperature, humidity, dose rate, radioactivity, and distribution of radioactive substances
- Facility mapping

#### **A.2.4 Repairing of components**

To perform this mission, MRCSSs may perform the following tasks:

- Detection and removal of foreign substances in the coolant loop
- Welding and cutting of components and pipelines
- Leakage fixing
- Sludge cleaning
- Tube cleaning or plugging

#### **A.2.5 Handling of radioactive materials**

To perform this mission, MRCSSs may perform the following tasks:

- Retrieval and disposal of radioactive debris
- Cleaning and removal of radioactive sludge in a tank or sump
- Retrieval of radioactive sources

#### **A.2.6 Accident mitigation and recovery**

To perform this mission, MRCSSs may perform the following tasks:

- Sampling, characterization, and measurement of environmental parameters (radiation dose rate, radioisotope energy spectrum, explosive gas, etc.)
- Detection and mitigation of contamination
- Control of contaminated leaks
- Removal of debris, including fuel debris
- Accident area mapping
- Checking on the operation of valves, actuators, control switches, or buttons
- Transportation of heavy-load required for restoration
- Monitoring of indicators, gauges, and instrument
- Sampling of soil, liquids, and dust
- Installation of warning signs to mark dangerous areas and shielding
- Localization of radioactive sources.

#### **A.2.7 Dismantling and decommissioning of facilities**

To perform this mission, MRCSSs may perform the following tasks:

- Mapping of structures and the level of radioactive contamination
- Removal and cutting of pipes, machines, components, and facilities
- Transportation of cut materials



## **Annex B** (informative)

### **Verification and validation methods of safety requirements and countermeasures**

The specific requirements that have been identified as critical to the safety of MRCSs, and thus need to be verified or validated, are listed in Table B.1.

**Table B.1 – Verification and validation methods of safety requirements and countermeasures**

| Subclause | Applicable safety requirements and countermeasures   | Verification and (or) validation methods |                     |                  |                                       |   |   |   |
|-----------|--|--|---------------------|------------------|---------------------------------------|---|---|---|
|           |  | A<br>Visual inspection                   | B<br>Actual testing | C<br>Measurement | D<br>Observation during the operation | E<br>Review of circuit diagrams and design data | F<br>Review of work-based risk assessment | G<br>Review of specifications and usage information |
| 6.2.2     | Requirements for preventing damage to humans   |  |                     |                  |                                       |   |   |   |
|           | MRCS should be designed to mitigate all possible risks, as identified in 5.1, to a level below the allowable limit, if they have reached the level where humans could be harmed.                           |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS should be designed to warn of the risks to humans, while preparing, installing, operating, retrieving, decontaminating, inspecting, maintaining, repairing, or utilizing the MRCS for other purposes. |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS operating procedures should be clearly defined and documented. The possible risks in each procedure and the way to mitigate those should be described.  |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS should be designed not to harm humans in case of collision or contact with it, due to its physical properties (speed and force) or electrical properties.   |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCSs should be designed to guarantee the safety in repairing or maintenance. A modular design that allows the user to simply replace the failed module is desirable to reduce the risk.                   |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCSs should be designed in such a way that they are not easily contaminated.  |  |                     |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | The MRCS should be decontaminated after finishing a mission so that humans can access the MRCS in order to maintain or repair it after the decontamination.  |  |                     | ✓                |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS should be designed to firmly fix all parts to prevent the separated parts from harming humans.  | ✓  |                     |                  | ✓                                     |   | ✓   | ✓   |

| Subclause | Applicable safety requirements and countermeasures  | Verification and (or) validation methods |                     |                  |                                       |   |   |   |
|-----------|---|--|---------------------|------------------|---------------------------------------|---|---|---|
|           |   | A<br>Visual inspection                   | B<br>Actual testing | C<br>Measurement | D<br>Observation during the operation | E<br>Review of circuit diagrams and design data | F<br>Review of work-based risk assessment | G<br>Review of specifications and usage information |
| 6.2.3     | Requirements for preventing damage to the nuclear and radiological facility   |  |                     |                  |                                       |   |   |   |
|           | The entire task should be performed so as not to damage to the structures in case of unexpected falling or rollover of the MRCS.  | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | The entire task should be performed so as not to damage to the structures in case of unexpected collision with the structures. The operating speed shall be limited to reduce the possible risk.  | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | <p>The entire task should be performed so as not to damage to the structures in case of intended contact. The contact stress exerted on the structure should be kept below the allowable stress limit.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– The entire task should be performed so as not to generate foreign substance in order to prevent damage to the structure or disturbing normal operation of nuclear facility. Manipulation should be carefully done not to drop the handling objects.</li> <li>– Inspection should be conducted to find foreign objects.</li> <li>– The foreign objects may be removed, if detected.</li> </ul> | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |



| Subclause | Applicable safety requirements and countermeasures   | Verification and (or) validation methods |                     |                  |                                       |   |   |   |
|-----------|--|--|---------------------|------------------|---------------------------------------|---|---|---|
|           |  | A<br>Visual inspection                   | B<br>Actual testing | C<br>Measurement | D<br>Observation during the operation | E<br>Review of circuit diagrams and design data | F<br>Review of work-based risk assessment | G<br>Review of specifications and usage information |
| 6.2.4     | Requirements for preventing damage of MRCSs  |  |                     |                  |                                       |   |   |   |
|           | MRCS should be designed so as to provide redundancy and diversity to reduce the risk in case of malfunction, performance degradation, and failure of the device. |  |                     |                  |                                       | ✓   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS should be radiation tolerant or hardened, if necessary.   |  | ✓                   |                  |                                       | ✓   | ✓   | ✓   |
|           | Subsystem, module or assembly in MRCS should be waterproofed, if necessary.  | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to prevent the degradation due to dust, if necessary.   | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed so as to minimize inducing vibration and anti-vibration measures should be applied, if necessary.       | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed to guarantee the mechanical strength and to reduce friction, if necessary.                              | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | Subsystem, module or assembly in MRCS should be designed to have suitable size and shape for the given mission.  | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | The center of mass in MRCS should be well balanced not to flip over. Shape or center of mass should be adjusted, if necessary.                                   | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |
|           | MRCS should equip monitoring devices to detect possible risks.   | ✓  | ✓                   |                  |                                       |   | ✓   | ✓   |

**NOTE 1** Not all the items listed in Table B.1 necessarily apply to all MRCSs. On some occasions, it may be impossible to verify and/or confirm specific MRCS items.

**NOTE 2** Table B.1 is not inclusive or limiting. Additional verification requirements may be available for MRCSs with specific designs.

**NOTE 3** Manufacturers are responsible for verifying or confirming all applicable items.

**NOTE 4** In the case where Table B.1 is used as a checklist, its contents are required to be reviewed or limited to determine the actual configuration of the MRCS under evaluation, and the appropriate evaluation methods.

## Bibliography

- [1] <https://www.interpol.int/Crimes/Terrorism/Radiological-and-Nuclear-terrorism>
  - [2] ASTM E2566-17a, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Sensing: Visual Acuity*
  - [3] ASTM E2826-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Continuous Pitch/Roll Ramps*
  - [4] ASTM E2827-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Crossing Pitch/Roll Ramps*
  - [5] ASTM E2828-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Symmetric Stepfields*
  - [6] ASTM E2991/E2991M-17, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Mobility: Traverse Gravel Terrain*
  - [7] ASTM E2992/E2992M-17, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Mobility: Traverse Sand Terrain*
  - [8] ASTM E2801-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Gaps*
  - [9] ASTM E2802-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Hurdles*
  - [10] ASTM E2804-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Stairs/Landings*
  - [11] ASTM E2829-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Maneuvering Tasks Sustained Speed*
  - [12] ASTM E2803-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Inclined Planes*
  - [13] ASTM E2853-12, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Human-System Interaction (HSI): Search Tasks: Random Mazes with Complex Terrain*
  - [14] Tsitsimpelisa I., Taylora C.J., Lennox B., Joycea M.J., "A review of ground-based robotic systems for the characterization of nuclear environments", *Progress in Nuclear Energy*, 2019, pp. 102-124
  - [15] IEC 61513:2011, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems*
  - [16] ISO 8373:2012, *Robots and robotic devices – Vocabulary*
  - [17] IAEA Nuclear Security Series No. 17:2011
  - [18] IAEA Safety Glossary: 2018
  - [19] SG-CG/M490/E:2012-12, *CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group – Sustainable Processes*
-

## SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| AVANT-PROPOS .....   | 28 |
| INTRODUCTION .....   | 30 |
| 1 Domaine d'application .....  | 31 |
| 2 Références normatives .....  | 31 |
| 3 Termes et définitions .....  | 31 |
| 4 Termes abrégés .....   | 33 |
| 5 Descriptions générales .....   | 33 |
| 5.1 Environnement de travail .....   | 33 |
| 5.1.1 Généralités .....  | 33 |
| 5.1.2 Environnement atmosphérique.....   | 33 |
| 5.1.3 Environnement structurel .....   | 33 |
| 5.2 Structure du MRCS .....  | 34 |
| 5.3 Analyse du risque et mesures de sûreté .....   | 35 |
| 6 Exigences générales .....  | 36 |
| 6.1 Généralités .....  | 36 |
| 6.2 Exigences de sûreté .....  | 36 |
| 6.2.1 Généralités .....  | 36 |
| 6.2.2 Exigences relatives à la prévention des dommages aux opérateurs humains .....                    | 37 |
| 6.2.3 Exigences relatives à la prévention des dommages à l'installation nucléaire et radiologique..... | 37 |
| 6.2.4 Exigences relatives à la prévention des dommages aux MRCS .....                                  | 38 |
| 6.3 Exigences fonctionnelles .....   | 39 |
| 6.3.1 Généralités .....  | 39 |
| 6.3.2 Détection .....  | 39 |
| 6.3.3 Mobilité .....   | 39 |
| 6.3.4 Manipulation .....   | 40 |
| 6.3.5 Commandes locales et à distance .....  | 40 |
| 6.3.6 Interfaces homme-machine (IHM) .....   | 41 |
| 6.3.7 Communication .....  | 41 |
| 6.3.8 Alimentation .....   | 42 |
| 6.4 Exigences opérationnelles .....  | 42 |
| 6.4.1 Exigences opérationnelles relatives au MRCS .....  | 42 |
| 6.4.2 Planification des missions et simulations .....  | 43 |
| 6.5 Exigences d'essai .....  | 43 |
| 7 Vérification et validation .....   | 43 |
| 7.1 Description générale .....   | 43 |
| 7.2 Méthodes de vérification et de validation .....  | 44 |
| 7.3 Vérification et validation exigées .....   | 44 |
| Annexe A (informative) Objectif principal des MRCS .....   | 45 |
| A.1 Généralités .....  | 45 |
| A.2 Missions des MRCS .....  | 45 |
| A.2.1 Généralités .....  | 45 |
| A.2.2 Inspection physique et visuelle .....  | 45 |
| A.2.3 Surveillance de l'état de l'installation .....   | 45 |
| A.2.4 Réparation des composants.....   | 46 |



|   |  |    |
|---|--|----|
| A.2.5   | Manutention des matières radioactives .....                      | 46 |
| A.2.6   | Atténuation des accidents et rétablissement après accident ..... | 46 |
| A.2.7   | Démantèlement et déclasséement des installations .....           | 46 |
| Annexe B (informative) Méthodes de vérification et de validation des exigences de<br>sûreté et contre-mesures ..... |  | 47 |
| Bibliographie .....   |  | 51 |
| Figure 1 — Structure du MRCS .....  |  | 34 |
| Figure 2 — Fonctionnalités du MRCS .....  |  | 35 |
| Tableau B.1 — Méthodes de vérification et de validation des exigences de sûreté et<br>contre-mesures .....          |  | 48 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**SYSTÈMES TÉLÉCOMMANDÉS MOBILES POUR APPLICATIONS  
NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES – EXIGENCES GÉNÉRALES**

## 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 63048 a été établie par le comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire. Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

| Projet      | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 45/904/FDIS | 45/907/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.

La langue utilisée pour l'élaboration de la présente Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, et élaboré conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 1 et Supplément IEC, qui sont disponibles à l'adresse [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents élaborés par l'IEC sont décrits de manière plus détaillée à l'adresse [www.iec.ch/standardsdev/publications](http://www.iec.ch/standardsdev/publications).

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<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

Les systèmes télécommandés mobiles sont utilisés dans les zones difficiles d'accès pour les travailleurs humains, notamment dans les environnements soumis à des niveaux élevés de rayonnement, de température et de pression, ainsi que dans les environnements immergés.

Le Comité technique ISO/TC 299 a élaboré des Normes internationales destinées à d'autres applications que les applications nucléaires, notamment les équipements de protection individuelle et les applications industrielles, médicales et liées aux services.

Plusieurs types de systèmes télécommandés mobiles [14]<sup>1</sup> ont été développés pour une utilisation dans différentes conditions environnementales, notamment: les systèmes robots multifonctionnels mobiles destinés à l'inspection et à la maintenance des systèmes d'eau de refroidissement principaux des centrales nucléaires; les robots polymorphes utilisés comme systèmes de téléinspection dans les cuves de confinement principales des centrales nucléaires; les robots qui inspectent la tête et le fond des réacteurs; les robots mobiles sous-marins qui détectent et démontent les pièces desserrées à l'intérieur des cuves des réacteurs; les robots sous-marins capables de ramper et de marcher, utilisés comme systèmes d'inspection à distance pour l'examen des conduites d'alimentation et la maintenance des générateurs de vapeur en milieu sous-marin; les systèmes de contrôle opérationnel destinés aux examens non destructifs; les robots mobiles destinés à la reconnaissance et à la surveillance radioactive et chimique, ainsi qu'à la distribution locale des sources de rayonnement gamma dans les zones inaccessibles; et enfin les robots à deux bras ou les robots lourds qui sont utilisés pour le démantèlement des centrales nucléaires.

Par conséquent, il est nécessaire d'élaborer des normes techniques encadrant la conception, la fabrication, l'interopérabilité et l'utilisation des systèmes télécommandés mobiles pour applications nucléaires qui conviennent à différentes opérations, comme le contrôle de l'intégrité des composants nucléaires, la réparation des composants nucléaires, la surveillance sur site lorsque des anomalies ou des accidents se produisent au sein d'une installation nucléaire, ainsi que la décontamination et le démantèlement nucléaires.

Ces normes techniques concernent la conception, la mise en œuvre et l'exploitation des systèmes télécommandés mobiles; elles peuvent être utilisées pour mettre en œuvre les tâches importantes et les mesures de suivi, comme la surveillance des activités nucléaires.

A cette fin, les exigences générales relatives aux systèmes télécommandés mobiles sont spécifiées pour les applications nucléaires et radiologiques.

Il est donc nécessaire que les fabricants établissent des spécifications précises pour ces exigences générales afin d'apporter un appui aux utilisateurs de leurs produits.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

# SYSTÈMES TÉLÉCOMMANDÉS MOBILES POUR APPLICATIONS NUCLÉAIRES ET RADIOLOGIQUES — EXIGENCES GÉNÉRALES

## 1 Domaine d'application

Le présent document définit les exigences générales relatives aux systèmes télécommandés mobiles (MRCS) pour applications nucléaires et radiologiques telles que les contrôles d'intégrité, la réparation des composants, la manutention des matières radioactives, ainsi que la surveillance des conditions physiques et de l'intensité des doses de rayonnement dans les zones particulières. (Pour plus d'informations sur les principaux objectifs du MRCS, se référer à l'Annexe A.)

Les MRCS sont utilisés dans les zones concernées où l'accès est difficile ou impossible pour les opérateurs humains durant le fonctionnement normal, les transitoires et les accidents, ou lors de la reprise de l'exploitation après un accident survenu au sein de l'installation nucléaire.

Le présent document s'applique aux MRCS utilisés pour fournir un appui aux installations nucléaires et radiologiques.

Ces exigences générales couvrent les exigences de hautes performances concernant les capteurs, les dispositifs de surveillance, les dispositifs de commande, les mécanismes d'interface, les méthodes de simulation, ainsi que les méthodes de vérification associées dans des conditions environnementales normales ou extrêmes, comme les environnements soumis à des niveaux élevés de rayonnement, de température et d'humidité.

Dans le présent document, le terme "MRCS" employé ci-après désigne un système télécommandé mobile utilisé dans le cadre des applications nucléaires et radiologiques.

## 2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

### 3.1

#### **système de commande/diagnostic intégré BCDS**

circuit spécialisé du système de commande embarqué destiné à contrôler l'état du MRCS en permanence

Note 1 à l'article: L'abréviation "BCDS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "built-in control/diagnostics system".

### 3.2

#### **événement dangereux**

événement ayant le potentiel de provoquer des dommages pour le personnel, les composants, les équipements, les structures ou les MRCS. Les événements dangereux sont répartis en événements internes et externes

Note 1 à l'article: Les événements dangereux internes sont, par exemple, une panne de l'automate ou une perte d'alimentation.

Note 2 à l'article: Les événements dangereux externes sont, par exemple, les incendies, les inondations, les tremblements de terre et la foudre.

Note 3 à l'article: Les dommages causés aux MRCS sont ajoutés à la source.

[SOURCE: IEC 61513:2011, 3.25, modifiée – la Note 3 à l'article a été ajoutée.]

### 3.3

#### **mission**

fonction principale du système

### 3.4

#### **système télécommandé mobile**

##### **MRCS**

dans le domaine de l'instrumentation nucléaire, robots mobiles télécommandés par un opérateur et constitués de sous-systèmes, de modules ou d'assemblages

EXEMPLE 1 Les sous-systèmes, modules ou assemblages remplissent par exemple des fonctions de commandes mécaniques et électriques/électroniques, de communication (entre l'opérateur et le robot ou certains sous-systèmes, modules ou assemblages de ce robot), d'éclairage et éventuellement d'enregistrements audio, d'échantillonnages et de surveillance, et sont utilisés pour filmer ou photographier l'environnement, effectuer un échantillonnage ou une évaluation de l'air ou de surfaces entrées en contact avec des matières radioactives, des gaz nocifs et des particules telles que l'amiante, ou réaliser d'autres activités prévues qui sont toutes commandées par l'opérateur.

Note 1 à l'article: L'abréviation "MRCS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "mobile remotely controlled system".

### 3.5

#### **opérateur**

personne désignée pour démarrer, contrôler et arrêter le fonctionnement prévu du MRCS

[SOURCE: ISO 8373:2012, 2.17, modifiée – "système robot" a été remplacé par "MRCS".]

### 3.6

#### **commande à distance**

commande d'un dispositif depuis un point distant

### 3.7

#### **risque**

potentiel qu'une menace donnée exploite les vulnérabilités d'un actif ou d'un groupe d'actifs et cause ainsi un préjudice à l'organisation

Note 1 à l'article: Il est mesuré par rapport à une combinaison associant la sévérité de l'impact environnemental, la probabilité du temps d'exposition au rayonnement et la contrôlabilité vis-à-vis des MRCS

[SOURCE: Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 17:2011, modifiée – la seconde phrase de la définition a été supprimée et la Note 1 à l'article a été ajoutée.]

### 3.8

#### **appréciation du risque**

processus global systématique d'identification, d'estimation, d'analyse et d'évaluation du risque



[SOURCE: Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 17:2011]

### 3.9

#### **robot**

mécanisme programmable actionné sur au moins deux axes avec un degré d'autonomie, se déplaçant dans son environnement, pour exécuter des tâches prévues

[SOURCE: ISO 8373:2012, 2.6, modifiée – les notes ont été supprimées.]

### 3.10

#### **sûreté**

protection des personnes et de l'environnement contre les risques radiologiques, et sûreté des installations et des activités donnant lieu à des risques radiologiques

Note 1 à l'article: Le terme "sûreté" tel qu'employé dans le glossaire et dans les normes de sûreté de l'AIEA comprend la sûreté des installations nucléaires, la sûreté radiologique, la sûreté de la gestion des déchets radioactifs et la sûreté du transport des matières radioactives, mais exclut les aspects non radiologiques de la sûreté.

[SOURCE: Glossaire de sûreté de l'AIEA: 2018, 3.1, modifiée – la seconde phrase de la définition a été supprimée et la Note 1 à l'article a été ajoutée.]

### 3.11

#### **scénario**

séquence possible d'interactions

[SOURCE: SG-CG/M490/E:2012-12, 3.10]

## 4 Termes abrégés

|      |  |
|------|--|
| BCDS | Built-in Control/Diagnostics System (système de commande/diagnostic intégré) |
| IHM  | interface homme-machine  |
| MRCS | Mobile Remotely Controlled System (système télécommandé mobile)              |

## 5 Descriptions générales

### 5.1 Environnement de travail

#### 5.1.1 Généralités

Les MRCS doivent être utilisés pour réaliser des tâches au sein des installations nucléaires, où l'accès est difficile ou impossible pour les opérateurs humains. Les environnements de travail rencontrés dans les installations nucléaires sont classés en fonction des conditions d'exploitation et des zones de travail présentes, notamment les facteurs répertoriés ci-après.

#### 5.1.2 Environnement atmosphérique

- Rayonnement et radioactivité
- Température et humidité élevées
- Gaz toxiques et explosifs
- Environnement sous-marin ou immergé

#### 5.1.3 Environnement structurel

- Espaces clos et étroits dont l'accès aux opérateurs humains est limité
- Zones de haute altitude comportant un risque de chute
- Présence d'obstacles comportant un risque de collision

- Zones en pente, comme les escaliers
- Sols inégaux, y compris les grilles
- Zones dans lesquelles il est nécessaire de réaliser des manipulations humaines, comme l'actionnement de portes et de vannes

Il convient que ces facteurs environnementaux s'appliquent à la mission d'un MRCS (voir Annexe A).

Les MRCS doivent accomplir des missions définies au sein de différents environnements de travail, avec ou sans intervention humaine.

Il convient de confirmer la sûreté des opérateurs humains, des installations nucléaires et des MRCS dans leur environnement de travail.

## 5.2 Structure du MRCS

Le MRCS ou l'opérateur humain désigne le sujet qui réalise une tâche donnée, tandis que l'installation nucléaire désigne l'objet sur lequel la tâche est réalisée.

En tant que sujet, le MRCS réalise une tâche donnée liée à un objet, soit de manière autonome, soit en collaboration avec un opérateur humain.

Il convient que les problèmes qui peuvent survenir pendant la réalisation de la tâche soient gérés par le MRCS et l'opérateur humain, la décision finale devant revenir à l'opérateur humain.

Par conséquent, lors de la planification de tâches données, il convient que l'opérateur humain réduise le plus possible l'occurrence de problèmes imprévus, en procédant notamment à des simulations.

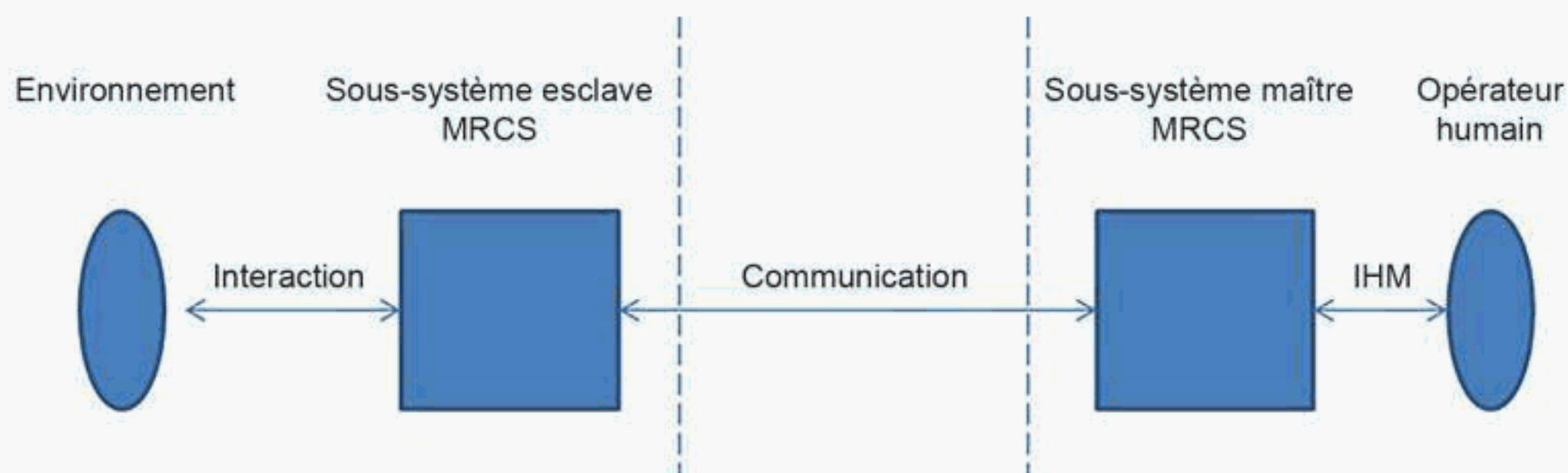
En tant que sujet qui réalise une tâche donnée, le MRCS est structuré de la manière décrite ci-après.

Le MRCS se compose de deux sous-systèmes: le sous-système esclave et le sous-système maître (voir Figure 1).

Le sous-système esclave est destiné à évoluer dans une zone inaccessible à un opérateur humain ou dans une zone dangereuse (voir Figure 1).

Le sous-système maître est situé dans une zone sûre et est utilisé par un opérateur humain pour superviser le sous-système esclave.

Les deux sous-systèmes sont éloignés l'un de l'autre; il est donc nécessaire qu'ils communiquent pour échanger les informations exigées.



IEC

Figure 1 – Structure du MRCS

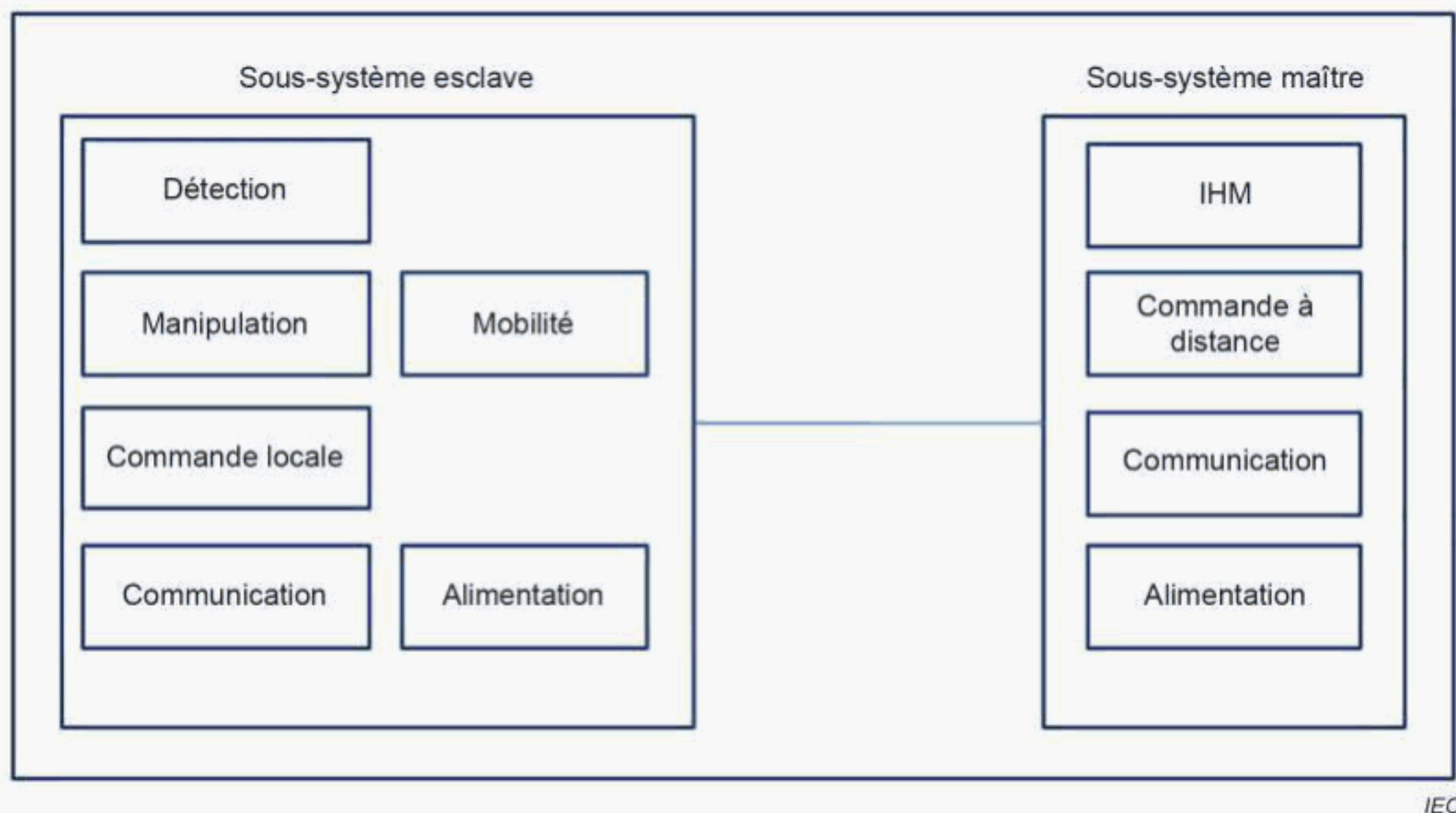


Le sous-système esclave remplit les fonctions suivantes (voir Figure 2):

- la fonction de détection qui consiste à recueillir les informations nécessaires pour réaliser une tâche donnée;
- la fonction de mobilité qui consiste à placer le sous-système esclave dans la zone cible, où la tâche donnée est réalisée;
- la fonction de manipulation qui consiste à déplacer un outil jusqu'à la position cible et à le placer dans la position souhaitée afin d'intervenir sur l'objet;
- la fonction de commande locale qui consiste à piloter les fonctions de détection, de manipulation et de mobilité, et à échanger des informations avec le sous-système maître;
- la fonction de communication esclave qui consiste à réceptionner les commandes de contrôle du sous-système maître et à transmettre les informations de capteur, ainsi que l'état du sous-système esclave au sous-système maître;
- la fonction d'alimentation esclave qui consiste à fournir des sources d'alimentation ou d'énergie au sous-système esclave.

Le sous-système maître remplit les fonctions suivantes (voir Figure 2):

- l'interface homme-machine (IHM) dont le rôle est de réceptionner les entrées de commande provenant de l'opérateur humain et de fournir à cet opérateur humain des informations multimodales concernant les conditions environnementales et l'état du sous-système esclave;
- la fonction de commande à distance qui consiste à convertir les entrées de commande provenant de l'opérateur humain en commandes compatibles avec le sous-système esclave;
- la fonction de communication qui consiste à transmettre les commandes de contrôle au sous-système esclave et à réceptionner les données provenant du sous-système esclave;
- la fonction d'alimentation maître qui consiste à fournir des sources d'alimentation ou d'énergie au sous-système maître.



**Figure 2 – Fonctionnalités du MRCS**

### 5.3 Analyse du risque et mesures de sûreté

Pour prévenir ou atténuer les risques, les mesures de sûreté nécessaires doivent être élaborées.



Ces risques peuvent être le résultat de différents facteurs, dont voici une liste non exhaustive:

- environnement atmosphérique, voir 5.1.2;
- environnement structurel, voir 5.1.3 (chute ou retournement, par exemple);
- mauvaise manipulation de la part de l'opérateur;
- défauts ou endommagement d'un équipement électronique pouvant provoquer un choc électrique ou un incendie;
- défauts ou dysfonctionnement d'un circuit de commande pouvant entraîner un dysfonctionnement de la machine;
- défauts ou défaillance d'un circuit électrique pouvant entraîner un dysfonctionnement de la machine et des perturbations électriques;
- perte de continuité d'un circuit causée par un contact glissant ou un contact roulant pouvant entraîner des défauts mécaniques ou une défaillance de la fonction de sûreté;
- perturbations électriques, telles que les interférences causées par les champs électromagnétiques, l'électricité statique et les radiofréquences, pouvant occasionner des dysfonctionnements internes ou externes de l'équipement.

Dans la présente norme, les mesures de sûreté regroupent une combinaison de mesures prises afin de régler ces risques et de mesures de protection qu'il est nécessaire de mettre en œuvre par l'utilisateur.

Ces mesures de sûreté sont prises en compte durant les phases de conception et de développement du système dans le but d'atténuer les risques.

Des mesures de sûreté adéquates doivent être élaborées à partir des résultats de l'appréciation du risque.

Il est également nécessaire de prendre en compte la protection de sûreté et les procédures de travail.

La protection de sûreté concerne l'utilisation de dispositifs de sûreté et de mesures de reconnaissance.

## **6 Exigences générales**

### **6.1 Généralités**

Le MRCS doit être conçu et fabriqué de manière à satisfaire aux exigences des missions données en tenant compte des facteurs environnementaux spécifiés en 5.1.

Parmi ces exigences figurent:

- les exigences de sûreté (voir 6.2);
- les exigences fonctionnelles (voir 6.3);
- les exigences opérationnelles (voir 6.4);
- les exigences d'essai (voir 6.5).

### **6.2 Exigences de sûreté**

#### **6.2.1 Généralités**

Le MRSC doit être conçu de manière à mener à bien la mission en toute sécurité dans l'environnement de travail mentionné en 5.1. Il convient de vérifier la sûreté du MRCS selon trois aspects distincts:

- il convient de concevoir le MRCS de manière à limiter le niveau des risques pouvant nuire à la santé des humains dans toutes les phases de son utilisation, notamment lors des procédures qui précèdent l'intervention (par exemple préparation, installation du maître et configuration du poste maître), lors des procédures principales (par exemple commande à distance de la base mobile et du manipulateur) et lors des procédures qui suivent l'intervention (par exemple récupération, décontamination, maintenance et réparation du MRCS);
- il convient de concevoir le MRCS de manière à limiter le niveau des risques pouvant endommager l'environnement extérieur. Il convient de récupérer le MRCS en toute sécurité sans endommager l'environnement au cours de la mission;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à ce qu'il se protège lui-même contre les dangers de l'environnement extérieur. Il convient de récupérer le MRCS en toute sécurité sans subir de défaillance au cours de la mission.

Il convient d'envisager des exigences de sûreté spécifiques à chaque environnement de travail. Un outil de vérification de la sûreté permettant de s'assurer que le MRCS concerné peut être utilisé dans un environnement de mission spécifique est fourni à l'Annexe B. Le fabricant doit communiquer les spécifications de performance, ainsi que les informations pertinentes.

### **6.2.2 Exigences relatives à la prévention des dommages aux opérateurs humains**

Le MRCS doit être conçu de sorte à assurer la sûreté permanente des opérateurs humains qui l'utilisent. Le niveau de risque auquel s'exposent les opérateurs humains qui interviennent sur le MRCS doit être réduit à un niveau inférieur à la limite admissible. S'il y a lieu, il est nécessaire d'examiner les points suivants (liste non exhaustive):

- il convient de concevoir le MRCS de manière à atténuer tous les risques potentiels (définis en 5.1) à un niveau inférieur à la limite admissible lorsqu'ils atteignent un niveau auquel les opérateurs humains peuvent être blessés;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à avertir les opérateurs humains des risques qu'ils encourent lorsqu'ils le préparent, l'installent, le commandent, le récupèrent, le décontaminent, l'entretiennent, le réparent ou l'utilisent à d'autres fins;
- il convient de définir clairement et de documenter les procédures d'utilisation du MRCS; il convient de décrire les risques potentiels que comporte chaque procédure ainsi que la manière de les atténuer;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à ne provoquer aucune blessure causée par ses propriétés physiques (vitesse et force) ou électriques chez les opérateurs humains en cas de collision ou de contact;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à assurer la sûreté lors des opérations de réparation ou de maintenance. Une conception modulaire qui permet à l'utilisateur de facilement remplacer le module défaillant est souhaitable afin de réduire les risques;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à ce qu'il ne soit pas facilement contaminé;
- il convient de décontaminer le MRCS à la fin de chaque mission pour que les opérateurs humains puissent y accéder et l'entretenir ou le réparer après la décontamination;
- il convient de concevoir le MRCS de manière à ce que toutes ses pièces soient solidement fixées pour éviter que des pièces libres ne blessent des opérateurs humains.

### **6.2.3 Exigences relatives à la prévention des dommages à l'installation nucléaire et radiologique**

Le niveau de risque potentiel pour l'installation nucléaire et radiologique lorsque des travailleurs interviennent sur le MRCS doit être réduit à un niveau inférieur à la limite admissible. S'il y a lieu, il convient d'examiner les points suivants (liste non exhaustive):

- il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de chute ou de retournement imprévu du MRCS;

- il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de collision imprévue avec celles-ci. La vitesse de manœuvre doit être suffisamment limitée pour réduire tout risque potentiel;
- il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de contact délibéré. Il convient de maintenir la contrainte de contact exercée sur la structure au-dessous de la limite de contrainte admissible:
  - il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à n'émettre aucune substance étrangère afin d'éviter d'endommager la structure ou de perturber le fonctionnement normal de l'installation nucléaire. Il convient de manipuler tout objet avec précaution de manière à ne pas le faire tomber;
  - il convient de rechercher tout objet étranger;
  - tout objet étranger détecté peut être retiré.

#### **6.2.4 Exigences relatives à la prévention des dommages aux MRCS**

Il convient que le MRCS termine la mission donnée en toute sécurité sans provoquer de dommages avant de revenir à une position prédéfinie. Il convient de mettre fin à sa mission en cas de défaillance. Il convient que le MRCS revienne à une position prédéfinie en vue de sa réparation ou qu'il maintienne sa position en toute sécurité s'il est dans l'impossibilité de revenir. Il convient de concevoir le MRCS de manière à assurer des mesures de sécurité appropriées et de réduire le plus possible la dégradation des performances en tenant compte de l'environnement de travail (voir 5.1).

Le niveau de risque pour le MRCS doit être réduit à un niveau inférieur à la limite admissible. Le MRCS doit être conçu, fabriqué et exploité en tenant compte des exigences suivantes (liste non exhaustive):

- il convient de concevoir le MRCS de manière à réduire les risques, par la redondance et la diversité qu'il fournit, en cas de dysfonctionnement, de dégradation des performances et de défaillance du dispositif;
- il convient de rendre le MRCS tolérant aux rayonnements ou de le renforcer, si nécessaire;
- il convient de rendre le sous-système, le module ou l'assemblage du MRCS étanche, si nécessaire;
- il convient de concevoir le sous-système, le module ou l'assemblage du MRCS de manière à empêcher toute dégradation causée par la poussière, si nécessaire;
- il convient de concevoir le sous-système, le module ou l'assemblage du MRCS de manière à réduire le plus possible les vibrations induites. Il convient également de mettre en œuvre des mesures antivibrations, si nécessaire;
- il convient de concevoir le sous-système, le module ou l'assemblage du MRCS de manière à assurer sa résistance mécanique et à réduire les frottements, si nécessaire;
- il convient de concevoir le sous-système, le module ou l'assemblage du MRCS de manière à ce que sa taille et sa forme soient appropriées pour la mission donnée;
- il convient d'équilibrer convenablement le centre de gravité du MRCS de manière à ce qu'il ne se retourne pas. Il convient d'adapter sa forme ou son centre de gravité, si nécessaire;
- il convient d'équiper le MRCS de dispositifs de surveillance afin de détecter les risques potentiels.



## **6.3 Exigences fonctionnelles**

### **6.3.1 Généralités**

Il convient que le MRCS utilise les fonctions appropriées à une mission donnée.

Par conséquent, même si les exigences fonctionnelles définies dans le présent paragraphe ne concernent pas nécessairement tous les types de MRCS, chacune de ces exigences peut néanmoins s'appliquer de façon sélective au type de MRCS correspondant. Autrement dit, il est admis d'ajouter des locutions, comme "si applicable" ou "si nécessaire", à chacune des exigences définies dans le présent paragraphe.

### **6.3.2 Détection**

La fonction de détection peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient que le MRCS recueille les informations de détection adéquates pour effectuer des déplacements et des manipulations:
  - informations visuelles et acoustiques;
  - distance de l'objet;
  - sa propre position;
  - direction et posture;
  - contact ou force;
- il convient que le MRCS recueille les informations de détection adéquates pour identifier les caractéristiques de l'environnement de travail:
  - débit de dose de rayonnement, répartition des substances radioactives et spectre d'énergie;
  - température, humidité et pression;
  - fuites de gaz;
  - fuites de fluide et de vapeur d'eau;
  - détection pour des essais non destructifs.

### **6.3.3 Mobilité**

La fonction de mobilité peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient de prévoir une fonction de contrôle de la vitesse afin de réduire le plus possible les risques provoqués par des collisions;
- il convient de prévoir une fonction d'arrêt d'urgence afin d'immobiliser la base mobile lors de situations dangereuses;
- il convient de prévoir une fonction d'arrêt de sécurité afin d'immobiliser la base mobile lors de situations anormales;
- si l'alimentation est brusquement coupée, il convient que le système maintienne sa posture actuelle en toute sécurité;
- il convient de prévoir une fonction d'évitement d'obstacles afin de contourner ou de passer par-dessus un obstacle;
- il convient de prévoir une fonction de stabilisation afin d'éviter tout retournement sur des terrains difficiles (escaliers, pentes ou bosses);
- il convient de prévoir une fonction de roulement afin que le dispositif reprenne une position normale après s'être retourné;

- il convient de prévoir une fonction de rotation afin que le dispositif puisse se déplacer dans la direction prévue;
- il convient de doter le dispositif d'une fonction tout-terrain et d'une force motrice adéquates afin que l'état du terrain ne l'empêche pas de progresser.

#### **6.3.4 Manipulation**

La fonction de manipulation peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient de prévoir une fonction d'arrêt d'urgence afin d'immobiliser le manipulateur lors de situations dangereuses;
- il convient de prévoir une fonction d'arrêt de sécurité afin d'immobiliser le manipulateur lors de situations anormales;
- si l'alimentation est brusquement coupée, il convient que le système maintienne sa dernière posture en toute sécurité;
- il convient de prévoir une fonction de rétablissement afin que le dispositif reprenne sa position initiale lorsqu'une situation anormale est résolue;
- il convient de prévoir une fonction de commande des mouvements afin de contrôler la position et la vitesse du dispositif avec précision;
- il convient de prévoir une fonction d'évitement des collisions afin de ne pas entrer en collision avec un obstacle;
- il convient de prévoir une fonction d'amortissement des chocs afin de réduire le plus possible les dommages causés par un impact;
- il convient d'accorder un degré de liberté adéquat pour la réalisation d'une mission donnée;
- il convient de prévoir une charge utile adéquate pour manipuler un objet cible.

#### **6.3.5 Commandes locales et à distance**

La fonction de commandes locales et à distance peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient que les commandes locales fournissent une fonction d'arrêt du sous-système esclave lors de situations d'urgence;
- il convient que les commandes locales fournissent une fonction permettant de contrôler la position ou la vitesse du MRCS;
- il convient que les commandes locales fournissent une fonction permettant d'actionner les détecteurs et de traiter les informations collectées;
- il convient que les commandes locales fournissent une fonction permettant de suspendre l'opération lorsque la communication entre le sous-système maître et le sous-système esclave est interrompue pendant une période déterminée;
- il convient que les commandes locales fournissent un BCDS afin de surveiller l'état du MRCS et de transmettre un message d'erreur au sous-système maître lorsqu'une erreur se produit;
- il convient que les commandes locales fournissent une fonction permettant d'indiquer l'état du sous-système esclave au sous-système maître;
- il convient que les commandes locales et/ou à distance fournissent une fonction permettant d'enregistrer la trajectoire de déplacement/manœuvre et/ou l'historique des opérations du MRCS;
- il convient que les commandes à distance fournissent une fonction permettant d'arrêter immédiatement le MRCS; il convient que les commandes à distance fournissent une fonction permettant d'entrer une commande utilisateur et d'obtenir les informations collectées sur le sous-système esclave;

- il convient que les commandes à distance fournissent une fonction permettant de charger les plans de mission prédéfinis;
- il convient que les commandes à distance fournissent une fonction permettant de configurer les paramètres.

### 6.3.6 Interfaces homme-machine (IHM)

La fonction d'interface homme-machine (IHM) peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient que l'IHM fournisse des informations multimodales afin que l'opérateur humain puisse reconnaître facilement l'état du MRCS et l'environnement de travail;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'entrer une commande de manière simple et intuitive;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'informer l'opérateur humain d'un message d'erreur;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'avertir des dangers que comporte l'environnement de travail ou de signaler l'état anormal du sous-système esclave;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'afficher la trajectoire de déplacement/manœuvre et/ou l'historique des opérations du MRCS;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'afficher la trajectoire de guidage du sous-système esclave vers une position cible;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'afficher la consommation d'énergie, le niveau de la batterie ou la réserve de carburant;
- il convient que l'IHM fournisse une fonction permettant d'afficher la consommation ou les réserves d'énergie.

### 6.3.7 Communication

La fonction de communication peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient d'établir des périodes de communication aussi fréquemment que nécessaire pour prendre immédiatement connaissance des modifications de l'environnement de travail;
- il convient d'établir des périodes de communication aussi fréquemment que nécessaire pour appliquer immédiatement la commande utilisateur au sous-système esclave;
- il convient de fournir une bande passante permettant de transmettre l'ensemble des données à chaque période de communication, en tenant compte des commandes de contrôle, des informations des capteurs et des données audio/vidéo;
- il convient d'assurer la sûreté des communications de manière à réduire le plus possible les effets du brouillage intentionnel et des cyberattaques;
- il convient de prévoir une redondance de la communication de manière à fournir plusieurs options d'arrêt d'urgence en prévision de la perte partielle ou totale des communications. Il convient d'assurer une communication stable et sans interruption lors de l'intervention. Si la communication est interrompue, le MRCS doit s'en apercevoir et s'immobiliser immédiatement;
- une communication impliquant plusieurs connexions vers plusieurs MRCS peut être envisagée, par exemple une communication de type 1:N ou N:N;
- les supports de communication peuvent être reliés par fil ou sans fil.



### 6.3.8 Alimentation

La fonction d'alimentation peut être choisie selon la mission parmi les fonctions suivantes (liste non exhaustive):

- il convient de mesurer la consommation et les réserves d'énergie et de les indiquer à l'opérateur humain. Si les réserves d'énergie sont inférieures au niveau admissible, le MRCS doit revenir à une position prédéfinie ou s'immobiliser;
- il convient que l'alimentation fournisse l'énergie de manière durable pendant le fonctionnement. Si la source d'alimentation principale est coupée, le MRCS doit s'en apercevoir et s'immobiliser immédiatement.

Il est admis de munir le MRCS d'une source d'alimentation auxiliaire pour faire face aux coupures d'alimentation imprévues.

## 6.4 Exigences opérationnelles

### 6.4.1 Exigences opérationnelles relatives au MRCS

Il convient d'exploiter le MRCS de manière à réduire le plus possible l'incidence de risques potentiels avant, pendant et après la mission.

- Avant d'exploiter le MRCS, il convient de le livrer et de le décharger en toute sécurité en le maintenant dans sa position initiale.
- Avant d'exploiter le MRCS, il convient de soumettre l'ensemble de ses fonctions à un essai afin de vérifier qu'il fonctionne normalement.
- Avant d'exploiter le MRCS, il convient d'examiner formellement la mission donnée et l'environnement de travail associé. Il convient que l'opérateur humain prenne connaissance des grandes lignes de la mission et des fonctions du MRCS exigées à chaque étape de celle-ci.
- Lors de l'essai de fonctionnement préalable, il convient d'indiquer par un affichage à l'opérateur humain quel contrôleur est connecté. Le boîtier de commande, le contrôleur local ou le contrôleur à distance peut être utilisé lors de l'essai de fonctionnement préalable.
- Avant d'exploiter le MRCS, il convient de brancher correctement les ressources réseau à celui-ci. Les ressources réseau peuvent être fournies par l'installation ou par les ressources propres au MRCS. Les ressources réseau nécessaires pour une tâche sont répertoriées ci-après (liste non exhaustive):
  - alimentation;
  - éclairage;
  - communication;
  - sources pneumatiques.
- Il convient de réaliser l'ensemble des tâches dans des conditions clairement observables ne laissant place à aucune incertitude.
- Il convient que toute intervention soit conditionnée à l'obtention d'informations suffisantes sur l'environnement de travail. Si les informations obtenues sont insuffisantes, il convient de suspendre l'intervention.
- Il convient que toute intervention soit conditionnée à l'enregistrement correct de l'historique de travail complet. Si une situation anormale se produit, il convient de suspendre l'intervention. A la suite d'une reprise après une situation anormale, l'état le plus récent figurant dans l'historique de travail peut être restauré. Les situations anormales sont répertoriées ci-après (liste non exhaustive):
  - coupure d'alimentation;
  - interruption de la communication;
  - arrêt du système.

- Il convient de réaliser l'intervention par un nombre adéquat d'opérateurs humains afin de réduire les erreurs humaines.
- Si le MRCS tombe en panne au cours de la mission, il convient de le retirer ou de le récupérer de manière à ne pas perturber d'autres travaux.
- Après la mission, il convient d'effectuer une décontamination du MRCS en vue de l'examiner, de le stocker et de le réutiliser.
- A l'issue de la mission, il convient de stocker le MRCS dans un environnement approprié afin d'éviter toute dégradation provoquée par des facteurs environnementaux.
- Lors d'un stockage à long terme, il convient de vérifier périodiquement le fonctionnement du MRCS et de l'entretenir.

#### **6.4.2 Planification des missions et simulations**

Il convient de planifier une mission, de réaliser des simulations et de former les opérateurs avant d'effectuer une mission réelle.

- Il convient que la planification d'une mission tienne compte des fonctions du MRCS, de l'environnement de travail et de différents scénarios.
- Il convient de réaliser des simulations dans un environnement virtuel afin de parer aux erreurs humaines et d'améliorer les compétences opérationnelles. La durée d'intervention estimée peut être analysée en se basant sur les simulations.
- Il convient de former les opérateurs au moyen d'un plan de formation élaboré à partir des scénarios de la mission.

#### **6.5 Exigences d'essai**

Il convient de soumettre le MRCS à un essai avant de réaliser une mission réelle.

Il convient d'élaborer un plan d'essai du MRCS en tenant compte des points suivants (liste non exhaustive):

- environnements structurels de l'installation;
- environnements atmosphériques de l'installation (température, humidité, niveaux de radioactivité, substances chimiques, gaz, etc.);
- temps de réalisation;
- extraction du MRCS de l'installation lorsqu'il tombe en panne.

Il convient de soumettre le MRCS à l'essai conformément au plan d'essai. Il convient également de tenir compte des méthodes d'essai définies de [2] à [12].

### **7 Vérification et validation**

#### **7.1 Description générale**

Le fabricant des MRCS doit assurer la vérification et la validation de la conception et de la fabrication des MRCS, notamment les dispositifs de protection adéquats, conformément aux principes décrits aux Articles 0 et 0.

De plus, il convient de procéder à des appréciations du risque afin de pouvoir déterminer les risques qui peuvent être raisonnablement prévus et de vérifier si des contre-mesures adéquates ont été prises afin de contrer ces risques.

Comme les facteurs de risque spécifiés en 5.3 peuvent ne pas s'appliquer forcément à tous les types de MRCS, le niveau de risque dans une situation de risque donnée varie donc d'un MRCS à l'autre. Une appréciation du risque est donc effectuée afin de déterminer les mesures de protection adéquates pour le MRCS considéré.

## **7.2 Méthodes de vérification et de validation**

Voici une liste non exhaustive des méthodes de vérification et de validation:

- Examen visuel;
- essais en conditions réelles;
- mesurage;
- observation en service;
- revue des schémas de circuits spécifiques à l'application, ainsi que des données de conception;
- revue de l'appréciation du risque lié au travail;
- revue des spécifications et des informations d'utilisation.

## **7.3 Vérification et validation exigées**

Les exigences spécifiques qui ont été identifiées comme importantes pour la sûreté des MRCS et qu'il est donc nécessaire de vérifier ou de confirmer sont répertoriées à l'Annexe B. Ces exigences doivent être soumises à l'essai en procédant à des mesurages appropriés afin de vérifier si la conception et la configuration des MRCS satisfont aux exigences établies.



## **Annexe A** (informative)

### **Objectif principal des MRCS**

#### **A.1 Généralités**

L'objectif principal des MRCS est de protéger les opérateurs humains des dangers en les suppléant lors de l'exécution des tâches dangereuses (environnement nucléaire ou radiologique, par exemple). A cette fin, il convient que les MRCS soient en mesure de surveiller le niveau de radioactivité et l'état de l'équipement et des conditions structurelles au sein des installations nucléaires, de réaliser les activités de maintenance et de réparation, mais également de manipuler des matières radioactives dans des zones d'application spécifiques, notamment concernées par le terrorisme radiologique et nucléaire [1], le cas échéant.

#### **A.2 Missions des MRCS**

##### **A.2.1 Généralités**

Les principales missions des MRCS sont les suivantes:

- inspection;
- surveillance de l'état de l'installation, notamment le débit de dose/la radioactivité;
- réparation des composants;
- manutention des matières radioactives;
- atténuation des accidents et rétablissement après accident;
- démantèlement et déclassement des installations.

##### **A.2.2 Inspection physique et visuelle**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent être équipés de modules d'inspection spéciaux pour des tâches spécifiques, comme des capteurs à ultrasons, des capteurs infrarouges, des capteurs de rayonnement et des caméras haute définition.

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- contrôle de l'intégrité des structures soudées;
- inspection de la corrosion ou des fuites;
- inspection de l'accumulation de boues;
- inspection des faisceaux de tubes;
- inspection des fuites d'un bassin d'eau;
- inspection de l'intérieur des canalisations;
- inspection des fuites et de la répartition des substances radioactives.

##### **A.2.3 Surveillance de l'état de l'installation**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- contrôle de l'intégrité des installations;
- mesurage des paramètres environnementaux tels que la température, l'humidité, le débit de dose, la radioactivité et la répartition des substances radioactives;
- cartographie de l'installation.

#### **A.2.4 Réparation des composants**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- détection et élimination des substances étrangères dans le circuit de refroidissement;
- soudure et découpe des composants et canalisations;
- colmatage des fuites;
- nettoyage des boues;
- nettoyage ou obturation des tubes.

#### **A.2.5 Manutention des matières radioactives**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- récupération et élimination des débris radioactifs;
- nettoyage et élimination des boues radioactives contenues dans une cuve ou une fosse;
- récupération des sources radioactives.

#### **A.2.6 Atténuation des accidents et rétablissement après accident**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- échantillonnage, caractérisation et mesurage des paramètres environnementaux (débit de dose de rayonnement, spectre d'énergie du radio-isotope, gaz explosif, etc.);
- détection et atténuation de la contamination;
- maîtrise des fuites contaminées;
- élimination des débris, y compris les débris de combustible;
- cartographie des zones d'accidents;
- vérification du fonctionnement des vannes, actionneurs, interrupteurs de commande ou boutons;
- transport de charges lourdes nécessaires au rétablissement;
- surveillance des indicateurs, jauges et instruments;
- échantillonnage du sol, des liquides et de la poussière;
- pose de panneaux d'avertissement pour identifier les zones dangereuses et blindage;
- localisation des sources radioactives.

#### **A.2.7 Démantèlement et déclasséement des installations**

Pour accomplir cette mission, les MRCS peuvent effectuer les tâches ci-dessous:

- cartographie des structures et du niveau de contamination radioactive;
- retrait et découpe de tuyaux, machines, composants et installations;
- transport des découpes réalisées.

## **Annexe B** (informative)

### **Méthodes de vérification et de validation des exigences de sûreté et contre-mesures**

Les exigences spécifiques qui ont été identifiées comme importantes pour la sûreté des MRCS et qu'il est donc nécessaire de vérifier ou de valider sont répertoriées dans le Tableau B.1.



**Tableau B.1 — Méthodes de vérification et de validation des exigences de sûreté et contre-mesures**

| Paragraphe | Exigences de sûreté et contre-mesures applicables  | Méthodes de vérification et/ou de validation |                                  |               |                             |   |   |   |
|------------|--|--|----------------------------------|---------------|-----------------------------|---|---|---|
|            |  | A<br>Examen visuel                           | B<br>Essai en conditions réelles | C<br>Mesurage | D<br>Observation en service | E<br>Revue des schémas de circuits et des données de conception | F<br>Revue de l'appréciation du risque lié au travail | G<br>Revue des spécifications et des informations d'utilisation |
| 6.2.2      | Exigences relatives à la prévention des dommages aux opérateurs humains  |  |                                  |               |                             |   |   |   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à atténuer tous les risques potentiels (définis en 5.1) à un niveau inférieur à la limite admissible lorsqu'ils atteignent un niveau auquel les opérateurs humains peuvent être blessés.                               |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à avertir les opérateurs humains des risques qu'ils encourrent lorsqu'ils le préparent, l'installent, le commandent, le récupèrent, le décontaminent, l'entretiennent, le réparent ou l'utilisent à d'autres fins.     |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de définir clairement et de documenter les procédures d'utilisation du MRCS; il convient de décrire les risques potentiels que comporte chaque procédure ainsi que la manière de les atténuer.   |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à ne provoquer aucune blessure causée par ses propriétés physiques (vitesse et force) ou électriques chez les opérateurs humains en cas de collision ou de contact.  |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à assurer la sûreté lors des opérations de réparation ou de maintenance. Une conception modulaire qui permet à l'utilisateur de facilement remplacer le module défaillant est souhaitable afin de réduire les risques. |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à ce qu'il ne soit pas facilement contaminé.   |  |                                  |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de décontaminer le MRCS à la fin de chaque mission pour que les opérateurs humains puissent y accéder et l'entretenir ou le réparer après la décontamination.  |  |                                  | ✓             |                             |   | ✓   | ✓   |

| Paragraphe | Exigences de sûreté et contre-mesures applicables  | Méthodes de vérification et/ou de validation |                                  |               |                             |   |   |   |
|------------|--|--|----------------------------------|---------------|-----------------------------|---|---|---|
|            |  | A<br>Examen visuel                           | B<br>Essai en conditions réelles | C<br>Mesurage | D<br>Observation en service | E<br>Revue des schémas de circuits et des données de conception | F<br>Revue de l'appréciation du risque lié au travail | G<br>Revue des spécifications et des informations d'utilisation |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à ce que toutes ses pièces soient solidement fixées pour éviter que des pièces libres ne blessent des opérateurs humains.  | ✓  |                                  |               | ✓                           |   | ✓   | ✓   |
| 6.2.3      | Exigences relatives à la prévention des dommages à l'installation nucléaire et radiologique  |  |                                  |               |                             |   |   |   |
|            | Il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de chute ou de retournement imprévu du MRCS.   | ✓  | ✓                                |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de collision imprévue avec celles-ci. La vitesse de manœuvre doit être limitée pour réduire tout risque potentiel.   | ✓  | ✓                                |               |                             |   | ✓   | ✓   |
|            | Il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à ne pas endommager les structures en cas de contact délibéré. Il convient de maintenir la contrainte de contact exercée sur la structure au-dessous de la limite de contrainte admissible: <ul style="list-style-type: none"> <li>– il convient de réaliser l'ensemble de la tâche de manière à n'émettre aucune substance étrangère afin d'éviter d'endommager la structure ou de perturber le fonctionnement normal de l'installation nucléaire. Il convient de manipuler tout objet avec précaution de manière à ne pas le faire tomber;</li> <li>– il convient de rechercher tout objet étranger;</li> <li>– tout objet étranger détecté peut être retiré.</li> </ul> | ✓  | ✓                                |               |                             |   | ✓   | ✓   |
| 6.2.4      | Exigences relatives à la prévention des dommages aux MRCS  |  |                                  |               |                             |   |   |   |
|            | Il convient de concevoir le MRCS de manière à réduire les risques, par la redondance et la diversité qu'il fournit, en cas de dysfonctionnement, de dégradation des performances et de défaillance du dispositif.  |  |                                  |               |                             | ✓   | ✓   | ✓   |





## Bibliographie

- [1] <https://www.interpol.int/fr/Infractions/Terrorisme/Terrorisme-radiologique-et-nucleaire>
- [2] ASTM E2566-17a, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Sensing: Visual Acuity* (disponible en anglais seulement)
- [3] ASTM E2826-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Continuous Pitch/Roll Ramps* (disponible en anglais seulement)
- [4] ASTM E2827-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Crossing Pitch/Roll Ramps* (disponible en anglais seulement)
- [5] ASTM E2828-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Terrains: Symmetric Stepfields* (disponible en anglais seulement)
- [6] ASTM E2991/E2991M-17, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Mobility: Traverse Gravel Terrain* (disponible en anglais seulement)
- [7] ASTM E2992/E2992M-17, *Standard Test Method for Evaluating Response Robot Mobility: Traverse Sand Terrain* (disponible en anglais seulement)
- [8] ASTM E2801-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Gaps* (disponible en anglais seulement)
- [9] ASTM E2802-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Hurdles* (disponible en anglais seulement)
- [10] ASTM E2804-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Stairs/Landings* (disponible en anglais seulement)
- [11] ASTM E2829-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Maneuvering Tasks Sustained Speed* (disponible en anglais seulement)
- [12] ASTM E2803-11, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Mobility: Confined Area Obstacles: Inclined Planes* (disponible en anglais seulement)
- [13] ASTM E2853-12, *Standard Test Method for Evaluating Emergency Response Robot Capabilities: Human-System Interaction (HSI): Search Tasks: Random Mazes with Complex Terrain* (disponible en anglais seulement)
- [14] Tsitsimpelisa I., Taylora C.J., Lennox B., Joycea M.J., "A review of ground-based robotic systems for the characterization of nuclear environments", *Progress in Nuclear Energy*, 2019, p 102-124 (disponible en anglais seulement)
- [15] IEC 61513:2011, *Centrales nucléaires de puissance — Instrumentation et contrôle-commande importants pour la sûreté — Exigences générales pour les systèmes*
- [16] ISO 8373:2012, *Robots et composants robotiques — Vocabulaire*
- [17] Collection Sécurité nucléaire de l'AIEA n° 17:2011
- [18] Glossaire de sûreté de l'AIEA: 2018
- [19] SG-CG/M490/E:2012-12, *CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group – Sustainable Processes* (disponible en anglais seulement)









