



IEC 63339

Edition 1.0 2024-10

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Unified reference model for smart manufacturing

Modèle de référence unifié pour la fabrication intelligente

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 25.040

ISBN 978-2-8322-9683-7

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.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms, definitions, abbreviated terms, acronyms and conventions.....	12
3.1 Terms and definitions.....	12
3.2 Abbreviated terms and acronyms	17
3.3 Conventions.....	18
4 Conformance.....	18
4.1 Intended usage	18
4.2 Full conformance	18
4.3 Partial conformance	18
4.3.1 Conformance to purpose and context requirements	18
4.3.2 Conformance to dimensions and coherence.....	18
4.3.3 Conformance to semantic modelling of aspects	19
4.3.4 Conformance to facets and frameworks	19
5 The URMSM in smart manufacturing concepts.....	19
6 Reference model concepts	20
6.1 SM modelling	20
6.2 Modelling purpose.....	21
6.3 Modelling dimensions.....	22
6.4 Dimension coherence	23
6.5 Stakeholders.....	24
6.6 Concerns	24
6.7 Use case.....	24
6.8 Viewpoints and views.....	25
6.9 Perspectives	25
6.9.1 Use of perspective	25
6.9.2 Stakeholder perspectives.....	26
6.9.3 Analytical framework.....	26
6.10 Aspects.....	26
6.11 Life cycle modelling	27
6.12 SM semantic modelling	28
6.12.1 Semantic modelling overview.....	28
6.12.2 Forms of semantic representation.....	30
6.12.3 Granularity of semantic models.....	31
7 Dimensions of URMSM.....	31
7.1 Identifying aspect interactions of smart manufacturing	31
7.2 Specifying modelling dimensions	32
7.2.1 Collections of aspects as dimensions of smart manufacturing	32
7.2.2 Collections of dimensions as an analytical framework for smart manufacturing.....	33
7.2.3 Collections of life cycle phases as dimensions of smart manufacturing	34
7.3 Using a semantic model for analytical reasoning in smart manufacturing	34
7.4 Selecting facet dimensions based upon concerns	35
7.5 Identify meaningful dimension interactions.....	37

7.6	Frameworks as visualizations of interactions.....	38
8	Using the URMSM	41
8.1	Utility of a reference model for smart manufacturing	41
8.2	Industry specific application of the URMSM	41
8.3	Specializing URMSM	42
8.3.1	Specific utilization of the URMSM and rules for derivatives of SMRMs.....	42
8.3.2	Manipulating reference models to match purpose	43
9	Use cases of the URMSM.....	44
9.1	Analysis use case	44
9.1.1	Examining interactions at intersections of aspects	44
9.1.2	Examining interactions near intersections of aspects	45
9.1.3	Inserting new capabilities to analyse.....	45
9.2	Synthesis use case	45
9.2.1	Identifying necessary coverage of aspect interactions	45
9.2.2	Sequencing activities based upon dependencies	46
9.3	Simulation in SMRM.....	46
9.4	Implementation use case	47
10	Family of reference models based upon the URMSM	48
10.1	A base of essential SM modelling dimensions	48
10.2	Re-arranging framework dimensions	50
10.3	Complementary frameworks for same situation	50
10.4	Using multiple SMRMs to achieve purpose.....	51
Annex A (informative)	Concept areas of SM.....	52
A.1	Aspects of production and products	52
A.2	Perspectives of production and products stakeholders	52
A.3	Lifecycle considerations	53
A.4	Modelling of products and production using semantic models	53
A.5	Semantic models	55
Annex B (informative)	Formal Foundation for URMSM	57
B.1	Modelling framework for URMSM	57
B.1.1	Formalism caveat	57
B.1.2	Modelling framework formalism.....	57
B.1.3	Using a URMSM framework	60
B.1.4	Semantic models of dimensions composed of aspects	62
Annex C (informative)	Positioning URMSM among reference models	65
C.1	Positioning URMSM among reference models.....	65
Annex D (informative)	Meta-model for reference model analysis	66
D.1	Meta-model analysis	66
D.2	Using a meta-model.....	66
D.2.1	General	66
D.2.2	Assumptions, constraints and guidance	66
D.2.3	Concepts	67
Annex E (informative)	Principles of semantic modelling	73
E.1	Top level conceptual model.....	73
E.2	Semiotic conceptual model	75
E.3	Top level model domains	78
Annex F (informative)	Practitioner's modelling activity in a systematic usage of URMSM	80

F.1	Use case derivation of concerns, aspects, and perspectives	80
F.2	Relationship between aspects on a dimension and model contents	82
F.2.1	General	82
F.2.2	Implication of the dimension of lifecycle	83
F.2.3	Implication of the dimension of smart technology	83
F.2.4	Implication of the dimension of enterprise hierarchy	84
F.2.5	Implication of the dimension of capability level	84
F.3	Concept of step-by-step approach.....	84
F.3.1	Formalism caveat	84
F.3.2	Practical procedure.....	85
Annex G (informative)	Use case: Value stream	87
G.1	Overview.....	87
G.2	Conveyor system project.....	87
G.3	SM use case	88
G.4	Dimensions	90
G.4.1	Information in context	90
G.4.2	Dimension coherence using semantic models	90
G.4.3	Interactions between dimensions	90
G.4.4	Dimension S – The supply chain.....	91
G.4.5	Dimension C – Product/production system design.....	91
G.4.6	Dimension D – Production system	91
G.4.7	Dimension H – Operations management (shown within the production systems dimension D).....	91
G.4.8	Dimension I – Control/process level 1 (shown within Dimension D).....	92
G.5	Project flow and interaction	93
G.5.1	Product concept (Ctx) quotation.....	93
G.5.2	Product order process	94
G.5.3	New product concept(Ctx) quotation	95
G.5.4	Interaction matrix.....	95
Bibliography		96
Figure 1	– Using URMSM	9
Figure 2	– SM standard developer perspective of facet reuse	36
Figure 3	– Projection steps for standards developers	37
Figure 4	– A one dimensional framework representation	39
Figure 5	– A two dimensional framework representation	39
Figure 6	– Nested processes (centre oval) and user members (right).....	40
Figure 7	– URMSM abstraction stack	42
Figure 8	– Example of a model for use case #1.....	47
Figure 9	– Diversified smart manufacturing systems expected from different stakeholders	48
Figure 10	– Basic structure for a family of SMRM with alternative 3D representations.....	51
Figure A.1	– SM contextual relationships	54
Figure A.2	– Semiotic Triangle with 3 semiotic domains and 3 morphisms (relations between pairs of semiotic domain artefacts)	55
Figure A.3	– Product standards catalogue concept model	56
Figure B.1	– Semantic model scenario dimensions	62

Figure B.2 – Semantic model scenario as relationship graph	63
Figure C.1 – Example of cascading reference models	65
Figure D.1 – Meta-model for SMRM	72
Figure E.1 – Top level conceptual model "The Semiotic Triangle"	73
Figure E.2 – Knowledge Ontology (K-Pyramid) explained by the three coloured corners of the Semiotic Triangle (Concept Symbol Phenomenon)	74
Figure E.3 – I4.0 Methodology / Theory of Data: Flattening the knowledge/data pyramid.....	75
Figure E.4 – Cyclic semiotic relationships (morphisms).....	76
Figure E.5 – A first high level consolidation of interactions (I) – including IIoT Control Structure.....	76
Figure E.6 – Composition of SM knowledge from different SM domains	77
Figure E.7 – Top level concept model for model domain	78
Figure E.8 – Natural aspect concept model – dynamics	79
Figure F.1 – Utilization of the URMSM through a modelling activity of SM practitioners.....	80
Figure F.2 – Projection steps for SM practitioners.....	81
Figure F.3 – Relationship between aspects on a dimension and model contents	83
Figure F.4 – Potential problem of the modelling activity by SM practitioners	84
Figure F.5 – Step-by-step approach.....	86
Figure G.1 – Product model interactions	89
Figure G.2 – Production System Dimension D.....	92
 Table B.1 – Semantic model scenario	 62
Table B.2 – Semantic model scenario as N-squared diagram.....	63
Table B.3 – Semantic model scenario Direct Intersections	64
Table B.4 – Semantic model scenario Indirect Interactions	64
Table G.1 – Interaction matrix.....	95

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

UNIFIED REFERENCE MODEL FOR SMART MANUFACTURING

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 63339 has been prepared by IEC technical committee 65: Industrial-process measurement, control and automation in cooperation with ISO technical committee 184: Automation systems and integration. It is an International Standard.

It is published as a double logo standard.

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

Draft	Report on voting
65/1020/FDIS	65/1094/RVD

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

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

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

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document 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

“Manufacturing” refers to a range of human activities, from handicraft to high tech, and is commonly applied to industrial production, where raw materials and parts are transformed into finished goods on small to large scale by a series of interconnected processes. Smart manufacturing (SM) is an emergent characteristic of manufacturing achieved by digital technologies, gradually built up through digital transformation, combining diversity and uniformity, demonstrating continuous value delivery by a highly complicated collection of processes interacting on different time scales. In today’s manufacturing landscape, manufacturing is no longer characterized as a set of serial processes, but instead as a highly interconnected set of distributed processes that are able to cooperate on different time scales. A set of supervisory processes achieve coordination of these distributed processes using links that enable dynamic response to changing conditions in demands, supply, environment, energy and, other human or naturally caused probabilistic events. Since these probabilistic events are not known before occurrence, they often are disruptive and result in changing conditions.

The purpose of smart manufacturing is to accommodate those disruptive events, while supporting the introduction of new technologies and methods in a coordinated manner across the variety of customers, suppliers and stakeholders at various stages in the value chain.

Building upon the common knowledge and results found in IEC TR 63319 [9]¹ – A meta-modelling analysis approach to smart manufacturing reference models, as depicted in Figure 1 – this document specifies the unified reference model for smart manufacturing (URMSM) to create purpose-specific domain and application reference models for smart manufacturing initiatives by specifying the necessary structure and terminology for expressing such models. The URMSM is applicable across the many domains and applications found within a manufacturing enterprise.

Smart manufacturing reference models (SMRM), which conform to the requirements of this document, provide SM standards developers and SM practitioners with better opportunities for implementing models of production systems and products that take full advantage of technological innovations. These innovations occur during:

- analysis and synthesis using models of manufacturing,
- application of new materials, processes and facilities for manufacturing,
- understanding the emergence of digital twin concepts and other smart manufacturing technologies.

The URMSM is not one model or one model visualization. The URMSM is the specification for a family of reference models that share structural and behavioural properties intended to promote interoperability.

NOTE Subclause 8.2 provides more information regarding relationships among models and derivation relations.

The URMSM brings together concepts from existing works, both standards and practice, to support the variety of existing reference models, the adaptation of existing reference models for new uses, and the emergence of new reference models, all of which take advantage of the evolution in manufacturing technologies.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

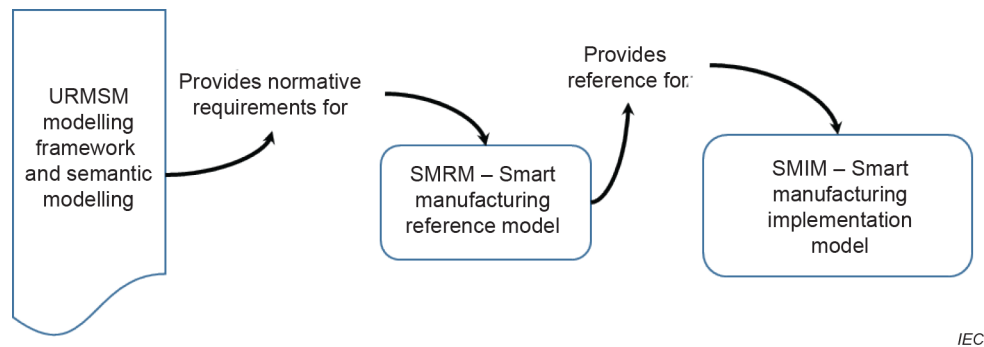


Figure 1 – Using URMSM

The model-based approach of the URMSM has two major structural components. The first is a modelling framework to support various arrangements of manufacturing elements into conceptual configurations deemed pertinent to domains of manufacturing enterprises. The second is the conceptualization of semantic models that reside within the modelling framework. A concise URMSM terminology supports both the modelling framework and the conceptual semantic models.

Since smart manufacturing is essentially a human conception of improved manufacturing technologies and practices, differences in interpretation of that concept can lead some practitioners to over-simplify the complicated nature of perspective and property interactions in today's manufacturing systems. Objectifying the notion of 'smart' for manufacturing is a challenge since developers and practitioners have been getting smarter about manufacturing for over 200 years already.

For IEC work in a domain of similar complexity, the author of [48] summarizes "smartness" in the domain of Smart Cities as follows:

Smartness is an emergent characteristic of a system

- achieved by digital technologies,
- explicitly architected and engineered to reduce complexity,
- gradually built up through digital transformation,
- permanently demonstrating value delivery,
- combining diversity and uniformity,
- coordinating and cooperating between all the stakeholders.

Considering this characterization, the URMSM provides the means for creating reference models for smart manufacturing that enable emergence of more digitally oriented, engineered solutions for delivering additional value from manufacturing operations. The result is improved performance aspects with integrated and intelligent use of processes and resources in cyber, physical and human spheres to create and deliver products and services, which also collaborate with other domains within enterprises' value chains [16].

This document identifies a collection of criteria for arranging aspects of the smart manufacturing domain as reference models. The important relationships among manufacturing elements enable useful examination and derivation of practical designs in order to fulfil a defined purpose, and to maintain and improve the resulting system through methods for analysis and synthesis.

The URMSM provides insight into the modelling of aspects of manufacturing elements to consider when developing new elements. Smart support methods for conducting that development or modification can require an evolution from existing practice to a more unified model-based approach.

This document can be used to support the development processes of smart manufacturing, and to assure coherence and compatibility during the development of standards.

This document identifies ways to apply those aspects of manufacturing and the acumen essential to developing a smart manufacturing model for a particular industrial enterprise.

The URMSM goes beyond the representational features of manufacturing elements to enable examination of interactions among those elements through the use of models to address issues arising in the course of smart manufacturing initiatives.

Expectations regarding the outcome of a satisfactory URMSM are:

- enabling the examination of value within a value creation network;
- enabling a range of appropriate libraries such as use cases, interface definitions, models for semantics, information and data, and international standards as modelled views relative to modelling purposes for particular smart manufacturing situations;
- enabling representation as a multi-dimensional space composed from various collections of aspects to accommodate particular modelling purposes, such as aspects of production, aspects of product, aspects of smart technology, and their relationships over their respective life cycles;
- enabling assurance that information is consistently structured using standards for information, data and modelling languages, without ambiguous meaning, by applying semantic models and techniques;
- enabling efficient usability for the creation of tailored smart manufacturing models that address a stakeholder's particular concerns.

The URMSM supports all three modalities of interoperation (unified, integrated, and federated) that can co-exist within a modelling framework, albeit with varying extents of effectiveness and efficiency (see ISO 11354 [17]). Having a formal understanding of modelling frameworks enables more effective and efficient utilization of frameworks.

Clause 4 specifies extents of conformance to URMSM based upon meeting the requirements and recommendations in their entirety, as full conformance, or for particular subclauses, as partial conformance.

Clause 5 presents aspects of manufacturing commonly associated with 'smart manufacturing'.

Clause 6 presents modelling concepts essential for constructing suitable reference models in the domain of smart manufacturing.

Clause 7 establishes examination and derivation criteria for interoperation of aspects in manufacturing.

Clause 8 presents ways to use the URMSM to create purpose-specific reference models.

Clause 9 presents use cases for the URMSM and a progression of capability markers that indicate maturity in the application of the URMSM.

Clause 10 discusses ways to manipulate and use reference frameworks for extended analysis and synthesis for systems used in smart manufacturing.

Annex A presents concept areas of smart manufacturing.

Annex B provides a formal foundation for the URMSM approach including a modelling framework for URMSM.

Annex C provides an example figure of cascading reference models.

Annex D provides a summary of the meta-model for reference model analysis from IEC TR 63319 [9].

Annex E provides an introduction to the principles underlying semantic modelling.

Annex F provides a practitioner's modelling activity in a systematic usage of URMSM.

Annex G provides an extended example of the URMSM applied to a multi-dimensional manufacturing scenario.

UNIFIED REFERENCE MODEL FOR SMART MANUFACTURING

1 Scope

This international standard specifies the unified reference model for smart manufacturing (URMSM) using a terminology and structure, and establishes criteria for creating reference models, as specializations, that support smart manufacturing. The terminology and structure comprise a set of common modelling elements, their associations, and conformance criteria. These common modelling elements address aspects and perspectives of products and production and their lifecycle considerations.

The URMSM enables an approach for creating multiple models based upon a reference model that is sufficient for understanding significant relationships among entities involved in smart manufacturing (SM) and for the development of standards and other specifications.

The URMSM specifications in this document accommodate consistent, coherent, compatible specializations for relevant aspects of manufacturing systems consisting of equipment, products, and services within the domain of manufacturing. Provisions of this document are applicable for a new smart manufacturing reference model (SMRM) or elaboration of existing SMRM capabilities, for example, improving capabilities for analysis of opportunities and synthesis of technological advances, and improving interoperability of new and existing systems.

This document is not intended to prescribe interoperability considerations or data schemas of models. Standardization of content relative to models will be the subject of other standards and texts specific to those model domains.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	104
INTRODUCTION.....	106
1 Domaine d'application	110
2 Références normatives	110
3 Termes, définitions, abréviations, acronymes et conventions	110
3.1 Termes et définitions	110
3.2 Abréviations et acronymes	115
3.3 Conventions.....	116
4 Conformité.....	117
4.1 Utilisation prévue	117
4.2 Conformité totale	117
4.3 Conformité partielle.....	117
4.3.1 Conformité aux exigences d'objet et de contexte	117
4.3.2 Conformité aux dimensions et à la cohérence	117
4.3.3 Conformité à la modélisation sémantique des aspects	117
4.3.4 Conformité aux facettes et aux cadres	117
5 L'URMSM dans les concepts de fabrication intelligente	118
6 Concepts de modèle de référence	119
6.1 Modélisation SM	119
6.2 Objectif de modélisation.....	120
6.3 Dimensions de modélisation	121
6.4 Cohérence des dimensions	122
6.5 Parties prenantes.....	123
6.6 Préoccupations	124
6.7 Cas d'utilisation	124
6.8 Points de vue et vues.....	125
6.9 Perspectives	125
6.9.1 Utilisation d'une perspective	125
6.9.2 Perspectives des parties prenantes	126
6.9.3 Cadre analytique	126
6.10 Aspects.....	126
6.11 Modélisation du cycle de vie	127
6.12 Modélisation sémantique de la SM.....	128
6.12.1 Vue d'ensemble de la modélisation sémantique	128
6.12.2 Formes de représentation sémantique	130
6.12.3 Granularité des modèles sémantiques	131
7 Dimensions de l'URMSM	132
7.1 Identification des interactions entre les aspects de la fabrication intelligente	132
7.2 Spécification des dimensions de modélisation.....	133
7.2.1 Ensembles d'aspects servant de dimensions de fabrication intelligente	133
7.2.2 Ensembles de dimensions servant de cadre analytique pour la fabrication intelligente.....	134
7.2.3 Ensembles de phases de cycle de vie servant de dimensions de fabrication intelligente.....	135
7.3 Utilisation d'un modèle sémantique pour le raisonnement analytique dans le cadre de la fabrication intelligente.....	136
7.4 Sélection des dimensions de facette en fonction des préoccupations	136

7.5	Identification des interactions de dimensions qui ont du sens.....	138
7.6	Cadres servant de visualisations d'interactions	139
8	Utilisation de l'URMSM	142
8.1	Utilité d'un modèle de référence pour la fabrication intelligente.....	142
8.2	Application de l'URMSM pour l'industrie.....	143
8.3	URMSM spécialisé.....	144
8.3.1	Utilisation spécifique de l'URMSM et règles pour les dérivés des SMRM	144
8.3.2	Manipulation de modèles de référence pour les adapter à un objectif	145
9	Cas d'utilisation de l'URMSM.....	147
9.1	Cas d'utilisation "analyse".....	147
9.1.1	Examen des interactions aux intersections d'aspects.....	147
9.1.2	Examen des interactions près des intersections d'aspects	147
9.1.3	Insertion de nouvelles capacités d'analyse	147
9.2	Cas d'utilisation "synthèse".....	148
9.2.1	Identification de la couverture nécessaire des interactions d'aspect	148
9.2.2	Activités de séquençement basées sur des dépendances	148
9.3	Simulation dans un SMRM	149
9.4	Cas d'utilisation "mise en œuvre".....	149
10	Famille de modèles de référence basée sur l'URMSM	151
10.1	Une base de dimensions essentielles de modélisation SM	151
10.2	Réorganisation des dimensions d'un cadre	152
10.3	Cadres complémentaires pour la même situation	153
10.4	Utilisation de plusieurs SMRM pour atteindre l'objectif	154
Annexe A (informative)	Domaines conceptuels de SM	155
A.1	Aspects de la production et des produits.....	155
A.2	Perspectives des parties prenantes concernant la production et les produits	155
A.3	Considérations relatives au cycle de vie	156
A.4	Modélisation de produits et de production à l'aide de modèles sémantiques	157
A.5	Modèles sémantiques	158
Annexe B (informative)	Base formelle de l'URMSM.....	160
B.1	Cadre de modélisation pour l'URMSM.....	160
B.1.1	Mise en garde contre le formalisme	160
B.1.2	Formalisme du cadre de modélisation.....	161
B.1.3	Utilisation d'un cadre URMSM	164
B.1.4	Modèles sémantiques de dimensions composées d'aspects	165
Annexe C (informative)	Positionnement de l'URMSM parmi les modèles de référence	168
C.1	Positionnement de l'URMSM parmi les modèles de référence	168
Annexe D (informative)	Métamodèle pour l'analyse du modèle de référence	169
D.1	Analyse du métamodèle	169
D.2	Utilisation d'un métamodèle	169
D.2.1	Généralités	169
D.2.2	Hypothèses, contraintes et recommandations	169
D.2.3	Concepts	170
Annexe E (informative)	Principes de modélisation sémantique.....	175
E.1	Modèle conceptuel de premier niveau	175
E.2	Modèle conceptuel sémiotique	178
E.3	Domaines d'un modèle de haut niveau.....	181

Annexe F (informative) Activité de modélisation d'un professionnel dans une utilisation systématique d'URMSM	183
F.1 Dérivation des cas d'utilisation de préoccupations, d'aspects et de perspectives	183
F.2 Relation entre les aspects sur une dimension et des contenus de modèle.....	186
F.2.1 Généralités	186
F.2.2 Implication de la dimension "cycle de vie"	186
F.2.3 Implication de la dimension "technologie intelligente"	187
F.2.4 Implication de la dimension "hiérarchie d'entreprise"	187
F.2.5 Implication de la dimension "niveau de capacité"	187
F.3 Concept d'approche par étape	188
F.3.1 Mise en garde contre le formalisme	188
F.3.2 Procédure pratique	188
Annexe G (informative) Cas d'utilisation: flux de valeurs.....	191
G.1 Vue d'ensemble	191
G.2 Projet d'un système de convoyeur	191
G.3 Cas d'utilisation de la SM.....	192
G.4 Dimensions	194
G.4.1 Informations en contexte	194
G.4.2 Cohérence des dimensions grâce aux modèles sémantiques	194
G.4.3 Interactions entre dimensions	195
G.4.4 Dimension S – Chaîne logistique	195
G.4.5 Dimension C – Conception de systèmes de production/produit	195
G.4.6 Dimension D – Système de production	195
G.4.7 Dimension H – Gestion des opérations (représentée dans la Dimension D des systèmes de production).....	195
G.4.8 Dimension I – Niveau 1 Contrôle/processus (présenté à l'intérieur de la Dimension D).....	196
G.5 Flux de projet et interaction.....	197
G.5.1 Offre de concept de produit (Ctx).....	197
G.5.2 Processus de commande de produit	198
G.5.3 Offre de nouveau concept de produit (Ctx)	199
G.5.4 Matrice d'interaction	199
Bibliographie.....	200
Figure 1 – Utilisation de l'URMSM.....	107
Figure 2 – Perspective des développeurs de normes de SM concernant la réutilisation d'une facette.....	137
Figure 3 – Étapes de projection pour les développeurs de normes.....	138
Figure 4 – Représentation d'un cadre unidimensionnel	140
Figure 5 – Représentation d'un cadre bidimensionnel	141
Figure 6 – Processus imbriqués (ovale central) et membres de l'utilisateur (à droite).....	141
Figure 7 – Pile d'abstraction de l'URMSM	144
Figure 8 – Exemple de modèle pour le cas d'utilisation 1	150
Figure 9 – Systèmes de fabrication intelligente diversifiés attendus des différentes parties prenantes	151
Figure 10 – Structure de base pour une famille de SMRM avec d'autres représentations 3D	154

Figure A.1 – Relations contextuelles de la SM	157
Figure A.2 – Triangle sémiotique avec 3 domaines sémiotiques et 3 morphismes (relations entre paires d'artefacts de domaine sémiotique).....	158
Figure A.3 – Modèle de concept de catalogue de normes de produits	159
Figure B.1 – Dimensions d'un scénario de modèle sémantique	166
Figure B.2 – Scénario de modèle sémantique sous forme de graphe de relations	166
Figure C.1 – Exemple de modèles de référence en cascade	168
Figure D.1 – Métamodèle pour un SMRM.....	174
Figure E.1 – Modèle conceptuel de haut niveau sous forme de triangle sémiotique.....	175
Figure E.2 – Ontologie des connaissances (pyramide de la connaissance) expliquée par les trois angles de couleur du triangle sémiotique (Concept Symbole Phénomène)	176
Figure E.3 – Méthodologie/théorie de données I4.0: aplatissement de la pyramide de la connaissance/de données.....	177
Figure E.4 – Relations sémiotiques cycliques (morphismes)	178
Figure E.5 – Consolidation de premier niveau des interactions (I), structure de contrôle de l'Internet industriel des objets (IIoT, Industrial Internet of Things) incluse	179
Figure E.6 – Composition des connaissances sur la SM provenant de différents domaines de SM	180
Figure E.7 – Modèle de concept de premier niveau pour un domaine de modèle.....	181
Figure E.8 – Modèle de concept d'aspect naturel – dynamique	181
Figure F.1 – Utilisation de l'URMSM pour une activité de modélisation des professionnels de la SM.....	183
Figure F.2 – Étapes de projection pour les professionnels de la SM.....	185
Figure F.3 – Relation entre les aspects sur une dimension et des contenus de modèle.....	186
Figure F.4 – Problème potentiel de l'activité de modélisation par les professionnels de la SM	188
Figure F.5 – Approche par étape.....	190
Figure G.1 – Interactions au sein d'un modèle de produit.....	193
Figure G.2 – Dimension D: système de production.....	196
 Tableau B.1 – Scénario de modèle sémantique.....	 165
Tableau B.2 – Scénario de modèle sémantique sous forme de schéma à N-carrés	166
Tableau B.3 – Scénario du modèle sémantique Intersections Directes	167
Tableau B.4 – Scénario du modèle sémantique Interactions Indirectes	167
Tableau G.1 – Matrice d'interaction	199

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MODÈLE DE RÉFÉRENCE UNIFIÉ POUR LA FABRICATION INTELLIGENTE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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. À 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 63339 a été établie par le comité d'études 65 de l'IEC: Mesure, commande et automation dans les processus industriels, en coopération avec le comité technique ISO/TC 184: Systèmes d'automatisation et intégration. Il s'agit d'une Norme internationale.

Elle est publiée comme norme double logo.

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

Projet	Rapport de vote
65/1020/FDIS	65/1094/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

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

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site Web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

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

INTRODUCTION

Le terme "fabrication" fait référence à un éventail d'activités humaines, de l'artisanat à la haute technologie, et s'applique généralement à la production industrielle, où les matières premières et les pièces sont transformées en produits finis à petite ou grande échelle par une série de processus interconnectés. La fabrication intelligente (SM) est une caractéristique émergente de la fabrication, obtenue par les technologies numériques et qui a été progressivement mise en place durant la transformation numérique, combinant diversité et uniformité et offrant une valeur ajoutée continue permise par un ensemble très compliqué de processus interagissant sur différentes échelles de temps. Dans le paysage manufacturier actuel, la fabrication n'est plus définie comme un ensemble de processus en série, mais plutôt comme un ensemble hautement interconnecté de processus distribués qui sont capables de coopérer sur différentes échelles de temps. Un ensemble de processus de surveillance assure la coordination de ces processus distribués en utilisant des liens qui permettent une réponse dynamique à l'évolution des conditions de la demande, de l'offre, de l'environnement, de l'énergie et d'autres événements probabilistes d'origine humaine ou naturelle. Comme ces événements probabilistes ne sont pas connus avant de se produire, ils sont souvent disruptifs et entraînent l'évolution des conditions.

L'objectif de la fabrication intelligente est de s'adapter à ces événements disruptifs, tout en soutenant l'introduction de nouvelles technologies et méthodes de manière coordonnée entre les différents clients, fournisseurs et parties prenantes, à différents stades de la chaîne de valeur.

S'appuyant sur les connaissances et résultats communs identifiés dans l'IEC TR 63319 [9]¹ intitulée "A meta-modelling analysis approach to smart manufacturing reference models", comme décrit à la Figure 1, le présent document spécifie le modèle de référence unifié pour la fabrication intelligente (URMSM) en vue de créer des modèles de référence de domaine et d'application spécifiques aux initiatives de fabrication intelligente, en précisant la structure et la terminologie nécessaires pour exprimer de tels modèles. L'URMSM s'applique aux nombreux domaines et applications qui existent au sein d'une entreprise de fabrication.

Les modèles de référence pour la fabrication intelligente (SMRM), qui sont conformes aux exigences du présent document, offrent aux développeurs de normes et aux professionnels de la fabrication intelligente de meilleures possibilités de mettre en œuvre des modèles de systèmes de production et de produits qui tirent pleinement parti des innovations technologiques. Ces innovations se produisent pendant:

- l'analyse et la synthèse à l'aide de modèles de fabrication;
- l'application de nouveaux matériaux, processus et installations pour la fabrication;
- la compréhension de l'émergence de concepts de jumeaux numériques et d'autres technologies de fabrication intelligente.

L'URMSM n'est pas un modèle ou une visualisation de modèle. Il s'agit de la spécification pour une famille de modèles de référence qui partagent des propriétés structurelles et comportementales destinées à promouvoir l'interopérabilité.

NOTE Le paragraphe 8.2 fournit plus d'informations concernant les relations entre les modèles et les relations de dérivation.

L'URMSM rassemble des concepts issus de travaux existants, aussi bien des normes que des pratiques, afin de couvrir la diversité des modèles de référence existants, l'adaptation des modèles de référence existants à de nouvelles utilisations et l'émergence de nouveaux modèles de référence, qui tirent tous parti de l'évolution des technologies de fabrication.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

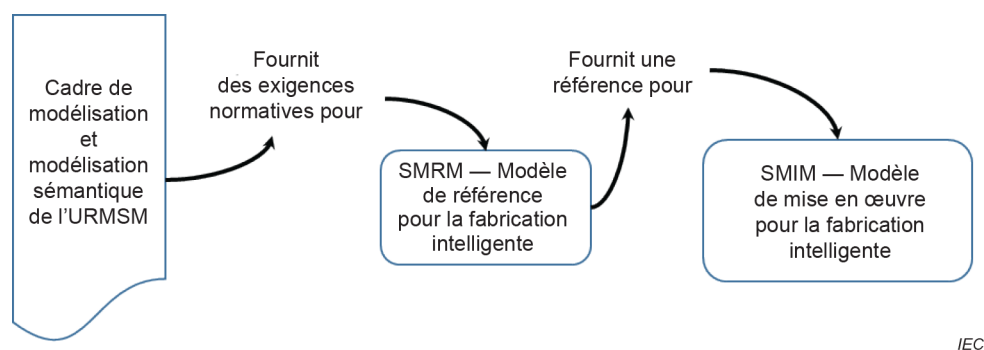


Figure 1 – Utilisation de l'URMSM

L'approche basée sur un modèle telle qu'adoptée par l'URMSM comporte deux composantes structurelles majeures. La première est un cadre de modélisation permettant de prendre en charge divers assemblages d'éléments de fabrication dans des configurations conceptuelles jugées pertinentes pour les domaines des entreprises de fabrication. La seconde est la conceptualisation de modèles sémantiques qui se trouvent dans le cadre de modélisation. Une terminologie URMSM concise couvre à la fois le cadre de modélisation et les modèles sémantiques conceptuels.

Étant donné que la fabrication intelligente est essentiellement une conception humaine de technologies et de pratiques de fabrication améliorées, les différences d'interprétation de ce concept peuvent conduire certains professionnels à simplifier à l'extrême la nature compliquée des interactions entre les perspectives et les propriétés dans les systèmes de fabrication actuels. Il est difficile de concrétiser la notion d'"intelligence" pour la fabrication, car depuis plus de 200 ans les développeurs et les professionnels utilisent la fabrication de plus en plus intelligemment.

En ce qui concerne les travaux de l'IEC dans un domaine de complexité similaire, l'auteur de la Référence [48] résume l'"intelligence" dans le domaine des villes intelligentes comme suit:

L'intelligence est une caractéristique émergente d'un système

- obtenue par des technologies numériques;
- dont l'architecture et la conception permettent explicitement de réduire la complexité;
- progressivement mise en place durant la transformation numérique;
- offrant une valeur ajoutée continue;
- combinant diversité et uniformité;
- coordonnant toutes les parties prenantes et assurant leur coopération.

Compte tenu de cette caractérisation, l'URMSM fournit les moyens de créer des modèles de référence pour la fabrication intelligente qui permettent l'émergence de solutions techniques davantage orientées vers le numérique afin de dégager de la valeur ajoutée des opérations de fabrication. Il en résulte une amélioration des performances du fait de l'utilisation intégrée et intelligente des processus et des ressources dans les sphères cybernétique, physique et humaine pour créer et fournir des produits et des services qui collaborent également avec d'autres domaines au sein des chaînes de valeur des entreprises [16].

Le présent document identifie un ensemble de critères permettant d'organiser les aspects du domaine de la fabrication intelligente en tant que modèles de référence. Les relations importantes entre les éléments de fabrication permettent un examen utile et la dérivation de conceptions pratiques afin de remplir un objectif défini, mais aussi de maintenir et d'améliorer le système qui en résulte au moyen de méthodes d'analyse et de synthèse.

L'URMSM donne un aperçu de la modélisation des aspects des éléments de fabrication à prendre en compte lors du développement de nouveaux éléments. Les méthodes de soutien intelligent pour mener à bien ce développement ou cette modification peuvent exiger une évolution de la pratique existante vers une approche plus unifiée basée sur un modèle.

Le présent document peut être utilisé pour appuyer les processus de développement de la fabrication intelligente et pour assurer la cohérence et la compatibilité pendant le développement des normes.

Le présent document identifie les moyens d'appliquer les aspects de la fabrication et la perspicacité essentielle au développement d'un modèle de fabrication intelligente pour une entreprise industrielle particulière.

L'URMSM va au-delà des fonctionnalités de représentation des éléments de fabrication. L'idée est de permettre l'examen des interactions entre ces éléments en utilisant des modèles afin de traiter les difficultés qui surviennent au cours des initiatives de fabrication intelligente.

Les attentes concernant le résultat d'un URMSM satisfaisant sont les suivantes:

- permettre l'examen de valeur dans un réseau de création de valeur;
- permettre l'utilisation d'un ensemble de bibliothèques appropriées (par exemple, de cas d'utilisation, de définitions d'interface, de modèles pour la sémantique, d'informations et de données, et de Normes internationales) en tant que vues modélisées à des fins de modélisation pour des situations particulières de fabrication intelligente;
- permettre la représentation sous la forme d'un espace multidimensionnel composé de divers ensembles d'aspects pour répondre à des objectifs de modélisation particuliers (par exemple, les aspects de la production, les aspects d'un produit, les aspects de la technologie intelligente et leurs relations au cours de leurs cycles de vie respectifs);
- assurer que les informations sont structurées de manière cohérente en utilisant des normes pour les informations, les données et les langages de modélisation, sans ambiguïté de sens, et en appliquant des modèles et des techniques sémantiques;
- permettre une utilisation efficace pour la création de modèles de fabrication intelligente personnalisés qui répondent aux préoccupations particulières d'une partie prenante.

L'URMSM prend en charge les trois modalités d'interopération (unifiée, intégrée et fédérée) qui peuvent coexister dans un cadre de modélisation, malgré des degrés variables d'efficacité et d'efficience (voir ISO 11354 [17]). Une compréhension formelle des cadres de modélisation permet une utilisation plus efficace et efficiente de ces cadres.

L'Article 4 spécifie les degrés de conformité à l'URMSM en fonction du respect des exigences et des recommandations dans leur intégralité (conformité totale) ou pour des paragraphes particuliers (conformité partielle).

L'Article 5 présente les aspects de la fabrication généralement associés à la fabrication intelligente.

L'Article 6 présente les concepts de modélisation essentiels à la construction de modèles de référence appropriés dans le domaine de la fabrication intelligente.

L'Article 7 établit les critères d'examen et de dérivation pour l'interopération des aspects de la fabrication.

L'Article 8 présente les moyens d'utiliser l'URMSM pour créer des modèles de référence spécifiques à un objectif.

L'Article 9 présente des cas d'utilisation pour l'URMSM et une progression des marqueurs de capacité qui indiquent la maturité de l'application de l'URMSM.

L'Article 10 traite des moyens de manipuler et d'utiliser les cadres de référence pour une analyse et une synthèse étendues des systèmes utilisés dans la fabrication intelligente.

L'Annexe A présente les domaines conceptuels de la fabrication intelligente.

L'Annexe B fournit une base formelle pour l'approche URMSM, y compris un cadre de modélisation pour l'URMSM.

L'Annexe C fournit un exemple de figure de modèles de référence en cascade.

L'Annexe D fournit un résumé du métamodèle destiné à l'analyse des modèles de référence, issu de l'IEC TR 63319 [9].

L'Annexe E fournit une introduction aux principes qui sous-tendent la modélisation sémantique.

L'Annexe F fournit l'activité de modélisation d'un professionnel dans une utilisation systématique d'URMSM.

L'Annexe G fournit un exemple étendu d'URMSM appliqué à un scénario de fabrication multidimensionnel.

MODÈLE DE RÉFÉRENCE UNIFIÉ POUR LA FABRICATION INTELLIGENTE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie le modèle de référence unifié pour la fabrication intelligente (URMSM) à l'aide d'une terminologie et d'une structure données, et établit des critères pour la création de modèles de référence, en tant que spécialisations, qui prennent en charge la fabrication intelligente. La terminologie et la structure comprennent un ensemble d'éléments de modélisation communs, leurs associations et des critères de conformité. Ces éléments de modélisation communs traitent des aspects et des perspectives des produits et de la production, ainsi que des considérations relatives à leur cycle de vie.

L'URMSM permet de créer de multiples modèles en partant d'un modèle de référence qui est suffisamment développé pour comprendre les relations significatives entre les entités impliquées dans la fabrication intelligente (SM) et pour développer des normes et d'autres spécifications.

Les spécifications relatives à l'URMSM dans le présent document permettent des spécialisations cohérentes et compatibles pour les aspects pertinents des systèmes de fabrication composés d'équipements, de produits et de services dans le domaine de la fabrication. Les dispositions du présent document s'appliquent à la création d'un nouveau modèle de référence pour la fabrication intelligente (SMRM) ou à l'affinement des capacités d'un SMRM existant (par exemple, l'amélioration des capacités d'analyse des opportunités et de synthèse des avancées technologiques, et l'amélioration de l'interopérabilité des systèmes nouveaux et existants).

Le présent document n'a pas pour but de prescrire des considérations d'interopérabilité ou des schémas de données de modèles. La normalisation du contenu relatif aux modèles fera l'objet d'autres normes et textes spécifiques à ces domaines de modèles.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.