

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Industrial facility energy management system (FEMS) – Functions and information flows

Système de gestion d'énergie des installations industrielles (FEMS) – Fonctions et flux d'informations

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 Secretariat
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - 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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - 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.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Industrial facility energy management system (FEMS) – Functions and information flows

Système de gestion d'énergie des installations industrielles (FEMS) – Fonctions et flux d'informations

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 03.100.70

ISBN 978-2-8322-7112-4

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.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions, and abbreviated terms	10
3.1 Terms and definitions.....	11
3.2 Abbreviated terms.....	12
4 General	13
4.1 Energy management activities in Industrial Facilities.....	13
4.2 Hierarchical structure of enterprise manufacturing system	14
4.2.1 Levels of manufacturing enterprises and the activities	14
4.3 Energy management system in a manufacturing enterprise.....	15
4.4 Role of FEMS and its expansion	16
4.4.1 Role of FEMS	16
4.4.2 Expansion of the role of FEMS	16
4.4.3 International standardization.....	17
4.5 Relation between FEMS and other systems	18
4.5.1 Relation between FEMS and other systems	18
4.5.2 FEMS and production system	18
4.5.3 Management and optimization	21
4.6 Information exchange.....	21
4.6.1 System boundary.....	21
4.6.2 Inside and outside of the facility.....	22
4.7 Data confidentiality	23
4.7.1 General	23
4.7.2 Information security	24
5 Description of functions of FEMS.....	24
5.1 Category of functions of FEMS.....	24
5.2 Monitoring Data Flows	27
5.2.1 General.....	27
5.2.2 Collection of actual and reference data.....	28
5.2.3 Collection of manufacturing planning information and facility status.....	29
5.3 Analysis Data Flows.....	30
5.3.1 General	30
5.3.2 Assumption for unmeasured parameters.....	31
5.3.3 Change detection in energy performance.....	32
5.3.4 Estimation of causality.....	32
5.3.5 Analysis of potential energy saving.....	33
5.4 Optimization Data Flows	34
5.4.1 General	34
5.4.2 Validation of operation strategy and constraints.....	35
5.4.3 Derivation of operation strategy	36
5.5 Instruction Data Flows	36
5.5.1 General	36
5.5.2 Report optimisation results to operator/energy manager	37
5.5.3 Output operation strategies to other systems.....	38

6	Classification of FEMS	38
7	FEMS Demand Response.....	43
7.1	Demand Response.....	43
7.2	FEMS and Incentive-based Demand Response.....	44
7.3	FEMS and Price-based Demand Response.....	44
Annex A	(informative) FEMS Use Cases	47
A.1	FEMS Actors.....	47
A.2	Use cases of FEMS	49
A.2.1	General	49
A.2.2	Selection of Use cases	49
A.2.3	Measurement and analysis of energy data (Visualization).....	50
A.2.4	Optimization of each unit	51
A.2.5	Optimization of each facility	53
A.2.6	Optimization of energy supply facility.....	55
A.2.7	Overall optimization	58
A.2.8	Energy Source optimization – Economics/renewables.....	60
A.2.9	Energy Profile.....	63
Annex B	(informative) Interface to exchange information for FEMS	66
B.1	Energy Storage System (ESS)	66
B.2	Peak shift.....	67
B.3	Peak shaving	68
B.4	Other Functions	69
B.4.1	General	69
B.4.2	Battery operating time forecast.....	69
B.4.3	Battery life monitoring.....	69
B.4.4	Function update.....	69
Bibliography		70
Figure 1	– Characteristic feature of HEMS, BEMS, and FEMS	13
Figure 2	– Functional hierarchy.....	14
Figure 3	– Extension to the role-based equipment hierarchy model.....	15
Figure 4	– System configuration of integration of multiple FEMS.....	16
Figure 5	– Expansion of role of FEMS.....	17
Figure 6	– Relationship between FEMS and other systems	18
Figure 7	– Hierarchical model of production system	20
Figure 8	– Multiple-input, Multiple-output controller	20
Figure 9	– Hierarchical structure of integrated enterprise-production system.....	22
Figure 10	– Example of Information exchange with inside and outside of the facility	23
Figure 11	– IEC 62443 Security for industrial automation and control systems standards.....	24
Figure 12	– Categories of FEMS functions and improvement cycle of energy performance	25
Figure 13	– Relationship among functions of FEMS and other systems.....	27
Figure 14	– Functions categorized under “Monitoring” and FEMS related data flow.....	28
Figure 15	– Functions categorized under “Analysis” and FEMS related data flow	31
Figure 16	– Functions categorized under “Optimization” and FEMS related data flow.....	35

Figure 17 – Functions categorized under “Instruction” and FEMS related data flow	37
Figure 18 – Three-dimensional map of FEMS	40
Figure 19 – General approach common today for grid management of demand response.....	44
Figure 20 – Correspondence relationship among these seven FCs and FEMS functions	45
Figure A.1 – Generic communication diagram between the smart grid and the FEMS	47
Figure A.2 – Use Case representation on three-dimensional FEMS model	49
Figure A.3 – Relationship between IEC 62264 (ISA 95) model and FEMS use-cases	50
Figure A.4 – Measurement and analysis of energy data	50
Figure A.5 – Sequence diagram of measurement and analysis of energy data	51
Figure A.6 – Optimization of each unit (inverter control of compressor).....	52
Figure A.7 – Sequence diagram of Optimization of each unit (inverter control of compressor).....	53
Figure A.8 – Optimization of each facility (quantity control of compressor).....	54
Figure A.9 – Sequence diagram of optimization of each facility (quantity control of compressor).....	55
Figure A.10 – Optimization of energy supply facility (supply-side RENKEI)	56
Figure A.11 – Sequence diagram of optimization of energy supply facility (supply-side RENKEI)	57
Figure A.12 – Overall optimization (demand and supply RENKEI)	58
Figure A.13 – Sequence diagram of overall optimization (demand and supply RENKEI).....	59
Figure A.14 – Alternative energy sources.....	61
Figure A.15 – Sequence diagram for energy source optimization	62
Figure A.16 – Alternative energy profiles	64
Figure A.17 – Sequence diagram for energy profile optimization	65
Figure B.1 – Signal exchange diagram of the ESS and FEMS	67
Figure B.2 – Energy flow during peak shift	68
Figure B.3 – Peak shaving energy flow	68
Table 1 – Description for FEMS function categories	25
Table 2 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Monitoring”	27
Table 3 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Analysis”	30
Table 4 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Optimization”	34
Table 5 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Instruction”	36
Table 6 – Description of “Automation levels”	39
Table 7 – Relation between the level of automation and function	41
Table 8 – Relationship between the FCs in IEC 62872-2 [2] and the functions of FEMS.....	46
Table A.1 – Actors and roles	47
Table A.2 – Functions included in a Process (Measurement and analysis of energy data).....	51
Table A.3 – Functions included in a Process (optimization of each unit (inverter control of compressor)	53
Table A.4 – Functions included in a process (optimization of each facility (quantity control of compressor)	55
Table A.5 – Functions included in a process (optimization of energy supply facility (Supply-side RENKEI)) Function	57

Table A.6 – Functions included in a process (overall optimization (demand and supply RENKEI))	60
Table A.7 – Functions included in an energy optimization process	62
Table A.8 – Functions included in an Energy Profiles Optimization Process	65

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INDUSTRIAL FACILITY ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (FEMS) –
FUNCTIONS AND INFORMATION FLOWS**

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 63376 has been prepared by IEC technical committee TC 65: Industrial-process measurement, control and automation.

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

Draft	Report on voting
65/995/FDIS	65/1014/RVD

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

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

This document has been drafted in accordance with the 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,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

INTRODUCTION

The world's energy use has been increasing along with economic growth. Energy use by Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) countries is no longer increasing. According to World Energy Outlook 2020 [3], energy demand in OECD countries has been on a declining trend since 2007 with continued increase of their gross domestic product. On the other hand, energy use in developing countries has been increasing in both growth rate and value. Energy use by the industry sector is more than 50 % of the total consumption and it is forecast to increase by about 10% between 2018 and 2030. Although the rate of increasing energy demand is lower than the rate in the report published in 2012, this increase causes serious concerns for environmental impact and presents opportunities for energy management. To control global warming, the energy from renewable resources will be increasing globally. It is expected that the share of renewable energy to total demand will increase from about 30 % in 2019 to about 40 % in 2030. Outputs of renewable energy resources such as solar photovoltaics and wind etc. require power regulation to manage integration with the overall grid. Industrial facilities are major energy consumers and, also major energy generators. Therefore, the industrial sector is expected to play a significant role to satisfy the power regulations for the smart grid using renewable energy for decarbonization. Consequently, it is quite urgent for the industrial sector to deploy energy management systems to improve the energy efficiency to support the decarbonization of society.

Energy management in the manufacturing industries is linked to production and depending on the industry it can have a very wide range of requirements. To date, energy management systems have been custom developed for/by each company and then enhanced based on practical experiences thus further customizing them. Therefore, there are many different EMS for each organization. As coordination between related organizations becomes necessary for the optimal operation of each facility, the functions of an industrial Facility Energy Management System (FEMS) are required to be standardized to realize the benefits of making better use of the available energy within and across enterprises and organizations.

Production systems have a hierarchical layered structure such as Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Operations Management (MOM) / Manufacturing Execution Systems (MES) and Control. FEMS may have been installed parallel to each layer of the production system to communicate with them. As the production system is integrated for overall optimization, expanding the boundary of FEMS for the horizontal and/or vertical integration of FEMS is also required to have an input to that integrated production system structure.

For overall optimization, the production system executes under the multiple constraints such as safety, cost, quality of products, production schedule, market requirement, energy, and others particular to the industry and application. These multiple constraints are prioritized according to the business situation and used as the objective functions for optimization. Due to the complexity and continuous variability of practical operation conditions, the objective functions for optimization, in most cases, are set to the production system manually by an experienced engineer or operator who has deep knowledge of the operation. FEMS have been supporting those people by providing necessary information for their decision-making processes during the operation.

As a FEMS needs to collect energy related information from many kinds of production systems, MOM/MES and ERP, the volume of information has been increasing extensively. It is necessary to clarify the necessary information and functions for energy management. It is also necessary to automate the execution processes of functions of FEMS including the decision-making processes for optimization as possible.

Automation technologies including modelling, simulation, Artificial Intelligence (AI), and others enable automating the process for optimization thus reducing manual operation / intervention. FEMS provide necessary functions and information for the above-mentioned optimization.

FEMS functions need to be defined as an international standard to improve interconnectivity between the FEMS and other related systems. This document proposes to define the functions, information flows and classification of FEMS based on the level of achievement of FEMS capabilities. The level of automation of FEMS functions will be one factor to define the classification. The level will provide management with a motivation and path for a stepwise progression through the classification. The resulting FEMS standard increases the sophistication of control in industrial complexes and processes so that improved optimization of facility operations can be obtained. Furthermore, the information exchange among FEMS and other systems such as MOM/MES and ERP will be defined for the integration.

International standardization will benefit both end users and suppliers of FEMS.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

INDUSTRIAL FACILITY ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (FEMS) – FUNCTIONS AND INFORMATION FLOWS

1 Scope

This International Standard specifies the functions and the information flows of industrial Facility Energy Management System (FEMS). Generic functions are defined for the FEMS, to enable upgrading traditional Energy Management System (EMS) from visualization of the status of energy consumption to automation of energy management defining a closer relation with other management and control systems. A generic method to classify the FEMS functions will be explained. The information exchange between the FEMS and other systems such as Manufacturing Operations Management (MOM), Manufacturing Execution System (MES) and Enterprise Resource Planning (ERP) will be outlined.

2 Normative references

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

IEC 62264 (all parts), *Enterprise-control system integration*

IEC/TS 62872-1:2019, *Industrial-process measurement, control and automation – Part 1: System interface between industrial facilities and the smart grid*

IEC/TR 62837:2013, *Energy efficiency through automation systems*

ISO 22400-1:2014, *Automation systems and integration – Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management – Part 1: Overview, concepts and terminology*

ISO 22400-2:2014/AMD1:2017, *Automation systems and integration – Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management – Part 2: Definitions and descriptions – Amendment 1: Key performance indicators for energy management*

3 Terms, definitions, and abbreviated terms

For the purposes of this document, the following terms, definitions, and abbreviated terms apply.

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 Terms and definitions

3.1.1 device

independent physical entity capable of performing one or more specified functions in a particular context and delimited by its interfaces

Note 1 to entry: A device can form part of a larger device.

[SOURCE: IEC 61804-2:2017, 3.1.18, modified – addition of note from IEC 80004-9:2017, 3.1.1]

3.1.2 equipment

component or arrangement of components, built for specific function(s)

[SOURCE: ISO 19901-5:2016 (en), 3.17, modified – deletion of: Notes 1 & 2]

3.1.3 enterprise

one or more organizations sharing a definite mission, goals and objectives which provides an output such as product or service

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.10]

3.1.4 facility

site, or area within a site, that includes the resources within the site or area and includes the activities associated with the use of the resources

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.20]

3.1.5 operator

entity responsible for the minute-by-minute execution and safe functioning of a facility

3.1.6 organization

company, corporation, firm, authority or institution, or part or combination thereof, whether incorporated or not, public, or private, that has its own functions and administration

Note 1 to entry: For organizations with more than one operating unit, a single operating unit may be defined as an organization.

[SOURCE: ISO 14001:2004, 3.16, modified – reference to enterprise removed.]

3.1.7 plant

physical unit for a comprehensive process including the dedicated functional unit(s) for control

EXAMPLE: Heating plant, ventilating plant, air conditioning plant, chiller plant, sanitary installation, or electrical installation.

Note 1 to entry: A plant can consist of several partial plants that are assembled from equipment, units, or aggregates (e.g., boiler), devices, modules, components, and elements.

[SOURCE: ISO 16484-2:2004, 3.149, modified – Note 2 deleted, addition of (s) to "unit"]

3.1.8

site

identified physical, geographical, and/or logical component grouping of a manufacturing enterprise under a single management

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.39, modified – addition of “under a single management” after “enterprise”]

3.1.9

unit

lowest level of equipment typically scheduled by the Level 4 or Level 3 functions for continuous manufacturing processes

3.2 Abbreviated terms

APO	Advanced Planning and Optimization
BEMS	Building Energy Management System
CMM	Capability Maturity Model
DER	Distributed Energy Resource
EMS	Energy Management System
ERP	Enterprise Resource Planning
FC	Functional Component
FDREM	Facility Demand Response Energy Management
FEMS	Facility Energy Management System
HEMS	Home Energy Management System
IP	Intellectual Property
KPI	Key Performance Indicator
LIMS	Laboratory Information Management System
MES	Manufacturing Execution System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MOM	Manufacturing Operations Management
MPC	Model Predictive Control
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
MV	Manipulated Variable
PV	Process Variable
PCS	Process Control System
PID	Proportional Integral Derivative
SISO	Single Input Single Output
SV	Setpoint Value
WMS	Warehouse Management System

4 General

4.1 Energy management activities in Industrial Facilities

In the customer domains of energy such as Home, Building/Commercial and Industry, energy management systems: Home Energy Management System (HEMS), Building Energy Management System (BEMS) and FEMS respectively have been deployed depending on the characteristics of energy consumption. Figure 1 depicts the characteristic features of FEMS, BEMS, and HEMS. Key factors are the energy usage and number of entities in each domain. Arrows show energy distribution. Up-down-double arrows show energy trading between Home, building and Industry through the energy distribution.

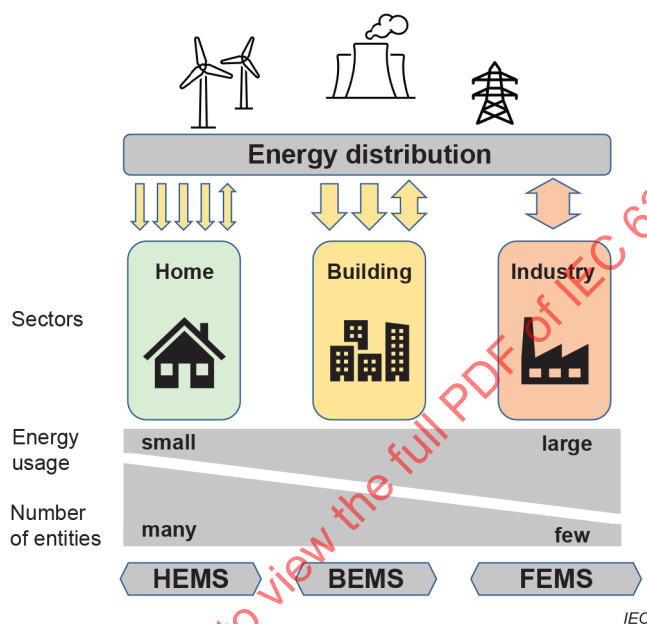


Figure 1 – Characteristic feature of HEMS, BEMS, and FEMS

The energy consumption of users of FEMS is generally larger than that of BEMS and HEMS, the effect of a single industrial entity's energy efficiency improvement is significant. The profile of energy demand varies among entities as a function of the different types of energy sources in a manufacturing facility. Typical energy sources are electricity, fuel, steam, hydro, and distributed energy resources (DER) such as renewable energy, combined heating and power stations, and storage systems to provide useful energy in the form of power, heat, steam, heating or cooling water, compressed air and similar. FEMS is usually provided as a made-to-order product. BEMS has a larger number of target entities and is readily available as a ready-made product. HEMS, which deals with a larger number of smaller entities, is a readily available mass product. Each system and associated complexity / degree of customization has a corresponding price.

Energy management in a manufacturing enterprise is performed with consideration for harmonizing many conflicting requirements such as productivity, quality, delivery, production scheduling, manufacturing cost, profit, safety, environmental and related requirements. Those requirements are prioritized depending on the corporate objectives and regulations at the time the energy management decisions are made.

In industrial facilities, the energy supply facility supplies and manages energy by managing electricity, heat, steam, hot or cooling water and compressed air to demand facilities such as production lines. The energy supply facility may be designed independently to have the capacity to meet the maximum energy demands. When the energy demand decreases, the mismatch between energy supply and demand can cause significant energy loss and decrease of energy efficiency. It is necessary to provide an optimum load balance between equipment of an energy supply facility given the energy demand. Facility energy supply can be controlled and operated based on the energy demand forecast incorporating factors such as production schedule and ambient conditions such as changes in weather.

A FEMS collects data from each level of the production system for the optimization of energy performance compared to the energy demands of the full production system. Collected data are analysed for an optimum operation of the facility to improve energy performance. There are many kinds of decision-making processes such as changing set points of equipment, changing the operating conditions of devices, selecting a manufacturing process depending on the operating situation, and others. Operating decisions are made automatically by the system or manually by operators. Guidance systems are used to support manual operation. It is expected that energy performance of an industrial facility will be improved further by making FEMS processes highly automated.

4.2 Hierarchical structure of enterprise manufacturing system

4.2.1 Levels of manufacturing enterprises and the activities

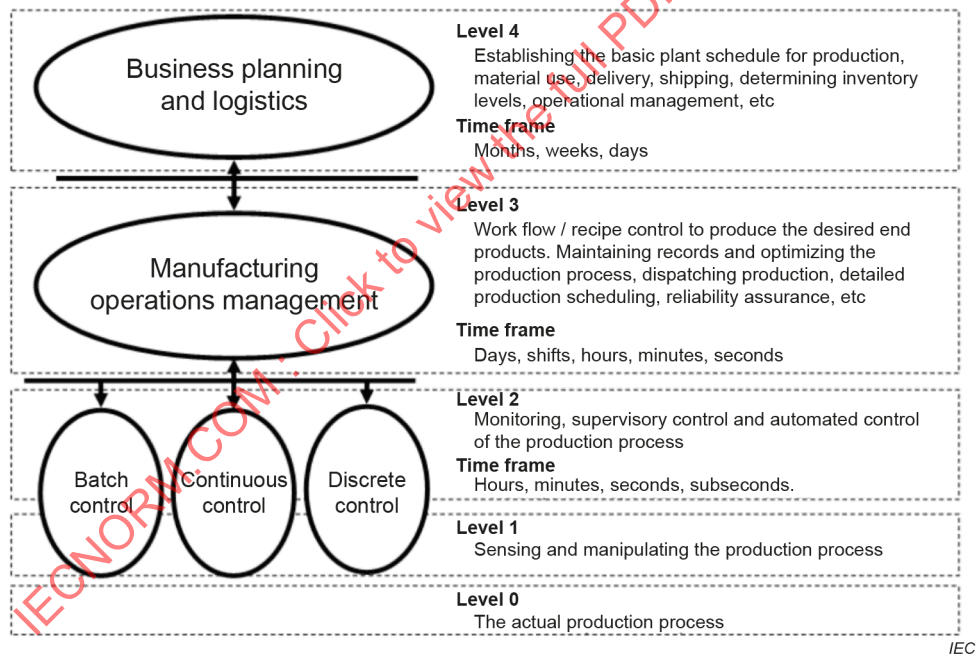


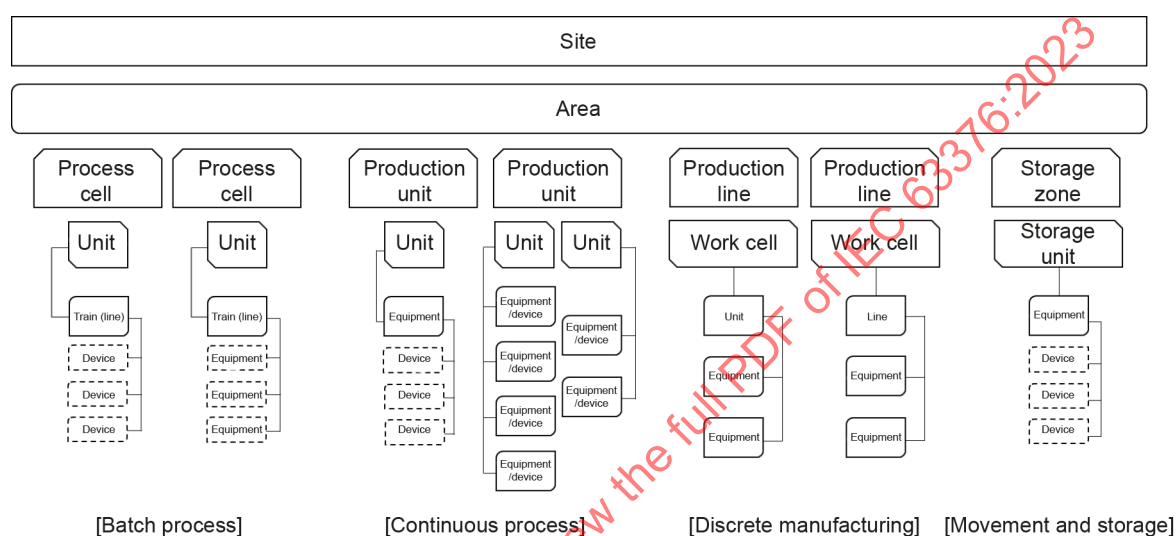
Figure 2 – Functional hierarchy

As shown in Figure 2, IEC/ISO 62264-1 (ISA-95) defines the levels for the structure of manufacturing enterprise.

FEMS is positioned on the level 3 as a part of MOM/MES. Manufacturing operations management (MOM) is a term used in IEC 62264 to specify a portion of the functional hierarchy model of a manufacturing enterprise.

FEMS exchanges information between MES, Laboratory Information Management System (LIMS), Warehouse Management System (WMS), Capability Maturity Model (CMM) systems. these level 3 systems exchange information with ERP, Advanced Planning and Optimization (APO), logistic management system in level 4 and across facilities, controllers, and sensors in level 2, 1 and 0. FEMS receives the information through MES. FEMS also exchanges information between other energy management systems and smart grid gateways which exchange information with the smart grid.

Figure 3 shows an extension to the role-based equipment hierarchy model for a variety of processes. For manufacturing operations management there are specific terms for work centres and work units that apply to continuous production, batch production, discrete or repetitive production, and for storage.



IEC

Figure 3 – Extension to the role-based equipment hierarchy model

4.3 Energy management system in a manufacturing enterprise

Manufacturing enterprises have made continuing efforts to save energy. A better understanding of how to improve the overall energy performance will lead to improving energy efficiency, minimizing waste, reducing CO₂ emissions, securing of supply and reducing overall cost. The energy management system is becoming increasingly important for further improvements of energy saving and the management of the enterprise.

In a manufacturing enterprise, an energy management system may have been installed for a production facility every time it was needed. As an enterprise has multiple production facilities, there could also exist multiple energy management systems in the enterprise. This form of FEMS works for the individual optimization of energy performance of the single production facility.

It is expected that EMS integration will improve the overall energy performance of an enterprise to manage the operation of production systems for the changing business environment. For that, it is necessary to clarify the functions and information that are exchanged between implemented FEMS.

Figure 4 shows a general system configuration of integration of multiple FEMS in a site of an enterprise. FEMS_i covers the energy management of the Plant_i that includes energy supply facility (SF_i) and production facility (PF_i). Energy supply facility supplies energy to production plants in the necessary forms such as electricity, steam, compressed air, etc. Production facility produces products using the energy that is supplied by the energy supply facility. The energy performance of each plant is individually optimized by FEMS_i. Plant₁ shows a case in which the plant does not necessarily have a production facility. Plant₂ shows a case in which the plant does not necessarily have an energy supply facility. In such cases, the energy necessary for production in Plant₂ is supplied by Plant₁ based on the information exchanged over the Inter-FEMS communication. Necessary energy-related information exchange between FEMS is done over the inter-FEMS communication.

MOM/MES receives a total operation plan for the enterprise that optimizes the energy performance for the entire enterprise objectives such as cost and profit from the enterprise system. The total production plan is subdivided for each Plant into operation plans that is sent to each FEMS_i. FEMS_i executes the operation plan delivered from MOM/MES for the efficient energy use in Plant_i.

To exchange energy related information across multiple systems, it is necessary to standardize FEMS functions and information.

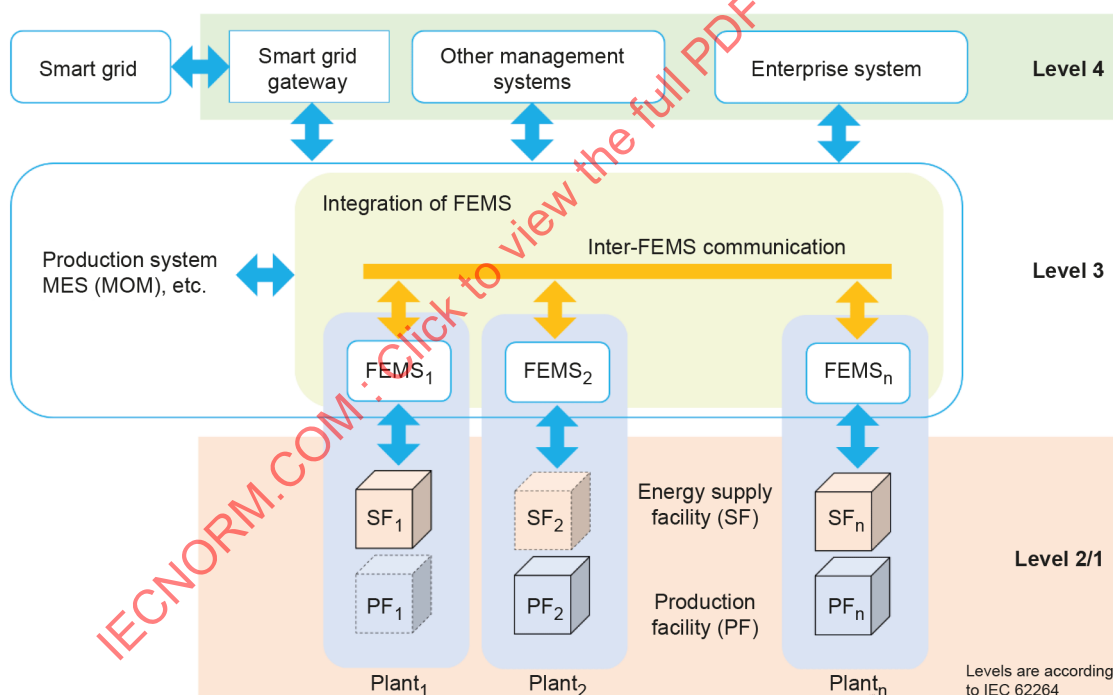


Figure 4 – System configuration of integration of multiple FEMS

4.4 Role of FEMS and its expansion

4.4.1 Role of FEMS

The role of FEMS is to improve energy performance by optimizing energy use under conditions and constraints by managing all activities within a manufacturing enterprise.

4.4.2 Expansion of the role of FEMS

Figure 5 shows the expansion of the role of FEMS.

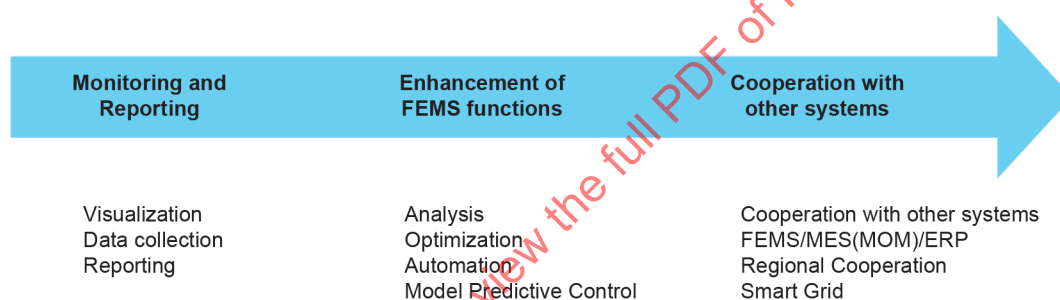
Introduction of energy management starts by monitoring and reporting the current energy consumption status. Collected data are visualised for the energy managing activities. Collected data are also analysed and necessary manual actions are taken by operators.

During the operation of FEMS, there are some decision-making processes that are done manually by operators, engineers or maybe by managers depending on the operating situation.

To increase energy performance, FEMS has been enhanced over time by providing advanced functions such as data analysis and optimization in addition to the necessary functions of monitoring and recording.

As advanced functions are practical for FEMS, some of the decision-making processes have been automated. In Clause 5, functions of FEMS are classified by the degree of automation.

For the overall optimization of the energy performance, the system boundary for energy management should be set as wide as possible. So, it is necessary for FEMS to operate in cooperation with other systems such as other FEMS, MOM/MES, ERP, etc. Regional cooperation over the smart grid will be also necessary. In 4.5, the relations between FEMS and other systems are explained.



IEC

Figure 5 – Expansion of role of FEMS

4.4.3 International standardization

For greater achievement of energy savings, it is effective to have closer cooperation between related systems that exchange information. In manufacturing industries, enterprises have been pursuing productivity improvements closely related to energy savings. As supply chains have been globalized, it is necessary for enterprises in the same supply chain to exchange information on energy management with related organizations.

For a corporation, international standardization is desired for functions of FEMS and information flows in FEMS. Standardization enhances the interconnectivity with external systems, which enables advancement in optimization of energy performance across various manufacturers and enterprise boundaries that would otherwise be more difficult.

Standardizing FEMS functions and information flows will enable efficient exchange of energy related information in a facility to accelerate the upgrade and optimization of control activities in industrial facilities. FEMS can be classified depending on the level of achievement of functions so that related organizations are motivated to reach the improvement goals.

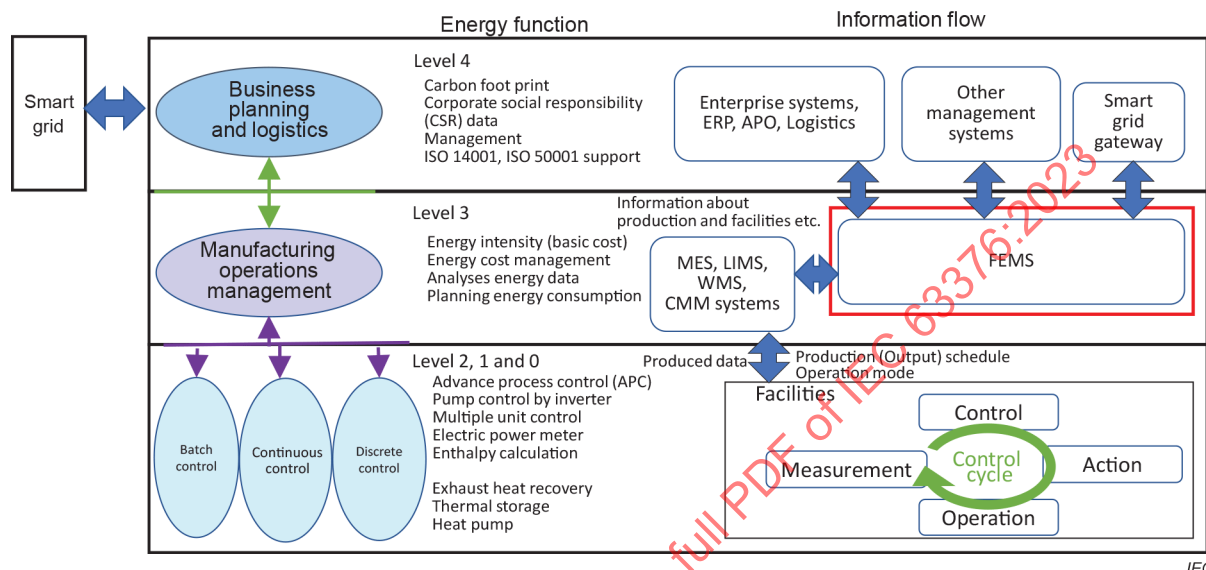
In this standard, data on energy use by facilities in factories and plants is modelled, and the exchange of data is specified to enable the distribution of information on energy used in processes in factories and plants. In addition to optimizing energy efficiency as a single facility, FEMS also enable coordinated control between multiple facilities in different locations.

4.5 Relation between FEMS and other systems

4.5.1 Relation between FEMS and other systems

Figure 6 is an expansion of Figure 2 to show the relation between FEMS and other systems such as Enterprise systems, Production systems and the Smart Grid.

FEMS can get information through other systems in Level 3 such as MES, LIMS, etc.



NOTE The red box in reflects the scope of IEC 63376.

Figure 6 – Relationship between FEMS and other systems

In factories, there are energy supply facilities such as power generator, boiler, battery, etc., and energy demand facilities such as production systems, air conditioner, heater, etc., and controllers for the facilities. Moreover, there are many systems to manage and control business planning, logistics, production operations and so on. The hierarchy model facilities are defined in IEC 62264. On the other hand, the functional hierarchy model with “Energy Function” is described in IEC TR 62837.

4.5.2 FEMS and production system

As described previously, FEMS should communicate with production systems. In the communication, FEMS receives information such as energy consumption, relevant variables, production plan, material information, etc. from many control systems, and returns an optimized scheduling plan, PV values, KPIs, etc. to them.

The production system shown in Figure 7 is a hierarchical model as defined by IEC 62264-1:2013 Enterprise-control system integration – Part 1: Models and terminology. The five production levels described in IEC 62264-1 are described on the right-hand side of Figure 7.

An enterprise is operated with management indicators such as production plan, productivity, quality, delivery, energy price, production cost, profit, environmental requirements and so on. KPI_{L4} represents Key Performance Indicators for Level 4 corresponding to these management indicators. These indicators may often include conflicting requirements. To find an optimum condition for operation, it is necessary to set priorities for those conflicting requirements depending on the business situation at that time.

KPI_{L3} represents key performance indicators for Level 3. ISO 22400 defines 35 KPIs for MES categorized by the following factors: Efficiency indicators, quality indicators, capacity index, environmental indicators, inventory management indicators and maintenance indicators.

KPI_{L2} represents Key Performance Indicators for Level 2. Process variables of the physical processes such as temperature, pressure, level, and flow, etc.

Figure 7 shows the information flow between subsystems using the notation of PV_{Li} and MV_{Lj} . PV (process variable) and MV (manipulated variable) are commonly used terminologies of process control to describe inputs and outputs of a control function.

PV_{Li} represents process variables in Level_i that are sent to the upper level (Level_{i+1}).

MV_{Lj} represents manipulated variables in Level_j that are sent to the lower level (Level_{i-1}).

To accomplish KPI_{L4} , ERP system calculates MV_{L4} that are sent to MES. Operation status of entire MES is monitored over PV_{L3} by ERP. For example, when the production volume of the enterprise is changed, ERP system changes the production schedule and sends the production schedule to MES over MV_{L4} .

To accomplish KPI_{L3} , MES calculates MV_{L3} that are sent to process control systems. After receiving the production schedule, MES generates an equipment operation plan including necessary Setpoint value (SV) of process controllers and sends the equipment operation plan to process control systems over MV_{L3} . Operation status of process control systems is monitored over PV_{L2} by MES.

To accomplish KPI_{L2} , process control systems execute control to process equipment and devices in Level 1 and Level 0.

As explained in 5.4, FEMS executes the optimization cycle through the following four categories of processes:

Monitoring → Analysis → Optimization → Instruction.

The cycle can be interpreted as a control loop with multiple variables that FEMS collects from the production system and transmits calculated data back to the production system to perform the optimization.

A Proportional Integral Derivative (PID) controller is shown in Figure 7. It is used for wide range of Level 2 process control applications. The PID controller is a Single Input Single Output (SISO) controller that calculates Manipulated Variable (MV) to achieve Process Variable (PV) equal to SV.

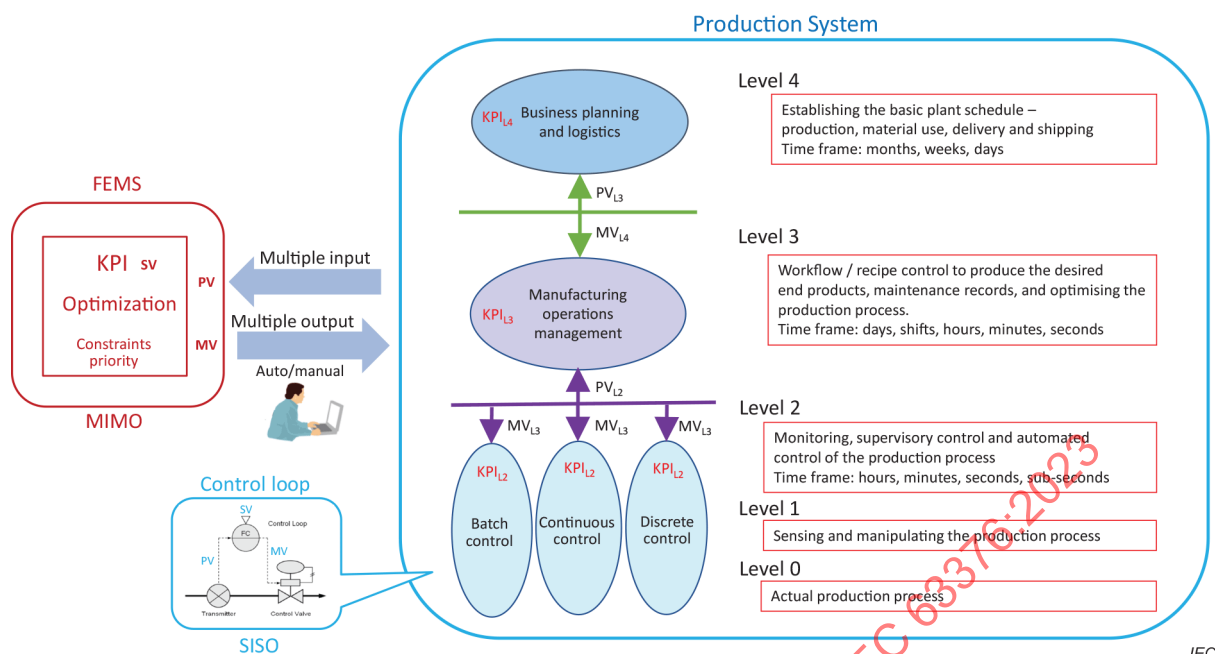


Figure 7 – Hierarchical model of production system

FEMS can be interpreted in a broad sense as a Multiple Input Multiple Output (MIMO) controller that collects multiple inputs PV ($PV_1, PV_2, \dots, PV_m$) from the production system and calculates multiple outputs MV ($MV_1, MV_2, \dots, MV_n$) that are sent to the production system to perform an optimized operation for targeted KPIs. SV ($SV_1, SV_2, \dots, SV_k$) are the set (target) values of KPIs to be optimized under the given constraints.

The optimization process is done through several decision-making processes such as determining the target values of KPIs and related process operations. Practically, some of the decisions are made manually by the operator or engineer who are responsible for the process operation. These decision-making processes are expected to eventually be automated by FEMS with the enhanced functions including control.

Model Predictive Control (MPC) is one example of MIMO control with constraints [5].

MPC-based FEMSS have been documented for practical energy management applications.

Figure 8 shows a block diagram of Multiple-input, Multiple-output Controller.

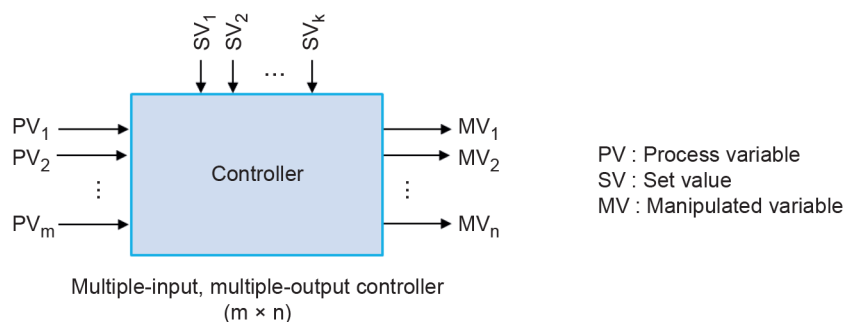


Figure 8 – Multiple-input, Multiple-output controller

4.5.3 Management and optimization

For process operation, set values of controllers are set by a process operator manually or by the MOM/MES automatically. It can be said that process control is keeping the process on the set value, process management is keeping the set value of the process at an optimum (profitable) point. A process control system has several controllers with their own set points that are set to obtain optimum operation.

Process operation is executed in accordance with the operating procedures. There are decision making processes such as selecting an optimum operation procedure and setting optimum setpoints for controllers. These decision-making processes have been done by process operators and/or engineers manually with the information supported by the process management system such as MOM/MES including FEMS. However, the advancement of processing power of management systems has enabled the automation of the decision-making processes in the management systems. For example, MPC-based EMS has been put into practical use. FEMS as a MIMO optimization controller for production systems is explained in 4.5.2.

The level of automation of FEMS is introduced based on the level of automation in Clause 6.

4.6 Information exchange

4.6.1 System boundary

In order to evaluate the energy performance of a system, it is necessary to define boundaries for evaluating the energy performance. Depending on the energy management requirements, the boundary could be a device, machines/equipment, a production line, or the entire enterprise.

Figure 9 depicts the hierarchical structure of integrated enterprise-production system and examples of system boundaries based on the functional hierarchy defined by IEC 62264.

Information exchange between upper and lower levels of the hierarchy is done through PV and MV. PV (Process Variable) represents the information as a report to the upper level from the lower level. MV (Manipulated Variable) presents the information to the lower level from the upper level as an order to the lower level.

B4 is the boundary for an entire enterprise system. In B4, there are MESs on Level 3 that are connected to ERP on level 4. B3.1 is the boundary that is covered by MES1 on Level 3. There are Process Control Systems on Level 2 that are managed by MES1 within B3.1. B2.1.1 is the boundary that is covered by PCS2.1.1 in B2.1.1. PCS2.1.1 performs control function communicating with units of field devices such as sensors/actuators. B2.1.1.1 is the boundary that is defined for a process controller. The process controller receives PV1.1.1 from a transmitter and calculate MV2.1.1 that is sent to the control valve to keep $PV1.1.1 = SV2.1.1$. SV is the set value of the controller.

SV2.1.1 can be changed to managed for overall optimisation by the MES.

There are KPIs for the operation of each level. KPI4 represent a set of KPIs in the ERP system in the boundary B4. KPI 3.1 represent a set of KPIs in the MES1 in the boundary B3.1. KPI2.1.1 represent a set of KPIs in the process control systems in the boundary B2.1.1.

For normal operation, systems on each level are operated to achieve the KPIs individually.

Optimization theory says that the local minima do not necessarily lead to a global minimum.

For overall optimization, these KPIs are related to each other and together must be managed by a FEMS or similar system.

FEMS calculates KPIs for each boundary to understand energy efficiency and evaluate energy utilization in each boundary. Some FEMS predict future energy consumption based on historical data of energy and relevant variables. Depending on the prediction results, certain FEMS calculate and suggest optimised production plans, energy consumption under the optimised production plans, future energy savings using the received production plan from MES and predicted relevant variables (e.g., humidity, temperature, weather, etc.) to fulfil constraints from top management and of facilities. This optimized production plan is sent to other management systems in level 4 and level 3 through MES. The FEMS can also calculate setting values for facilities. These setting values are sent to the controller and facilities in level 2, 1 and 0 through MES.

When some of KPI4 such as the total energy consumption of the enterprise is changed, related KPIs of KPI3.1 such as the production plan can be changed by ERP via MV4.3.1. Followed by the change of production plan, related KPIs of KPI2.1.1 such as set value SV2.1.1 can be changed by MES1 via MV3.2.1. The process is controlled on the new set value. This is an example of overall optimization. For overall optimization, it is effective to define the boundary wider as necessary.

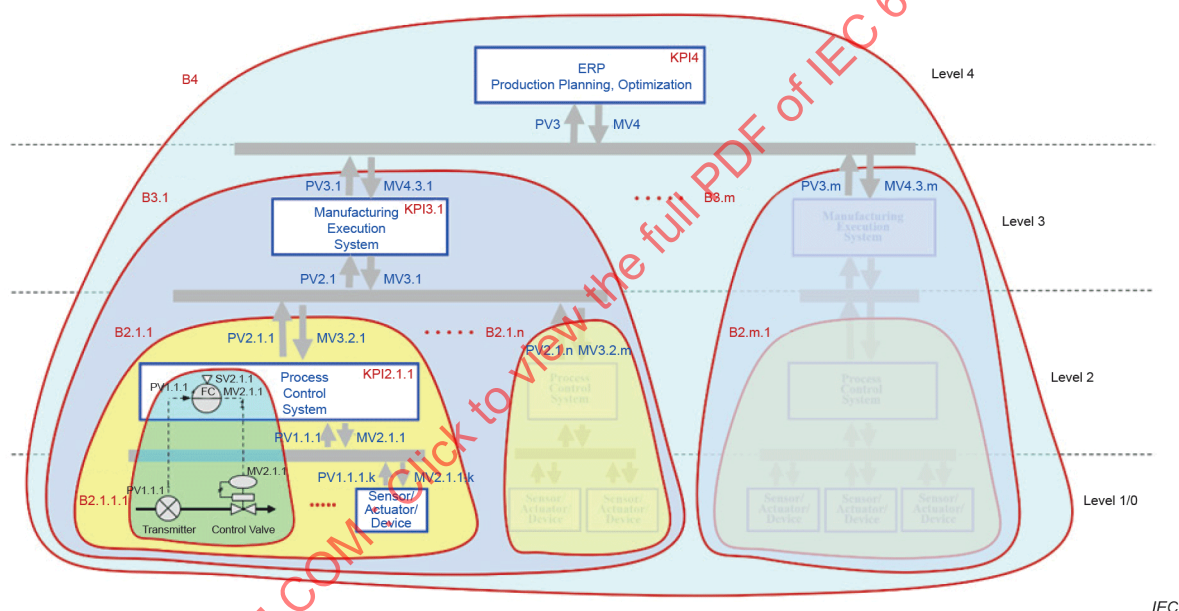


Figure 9 – Hierarchical structure of integrated enterprise-production system

4.6.2 Inside and outside of the facility

Figure 10 depicts an example of multiple FEMS in a site of an enterprise. FEMS-A works for the energy management of Plant-A and optimizes energy performance of Plant-A. FEMS-B works for the energy management of Plant-B and optimizes energy performance of Plant-B. FEMS-E works for the energy management of Energy Supply Facility that supplies energy to Plant-A and B. When the Energy Supply Facility generates surplus power to the total demand of Plant-A and B, the surplus power is sold to the power company by Demand Response. FEMS-D, by exchanging information with FEMS-A, B and E, works for the Demand Response management to the outside power company. Information exchange with inside/outside of the facility enables to achieve overall optimization of energy performance of the enterprise.

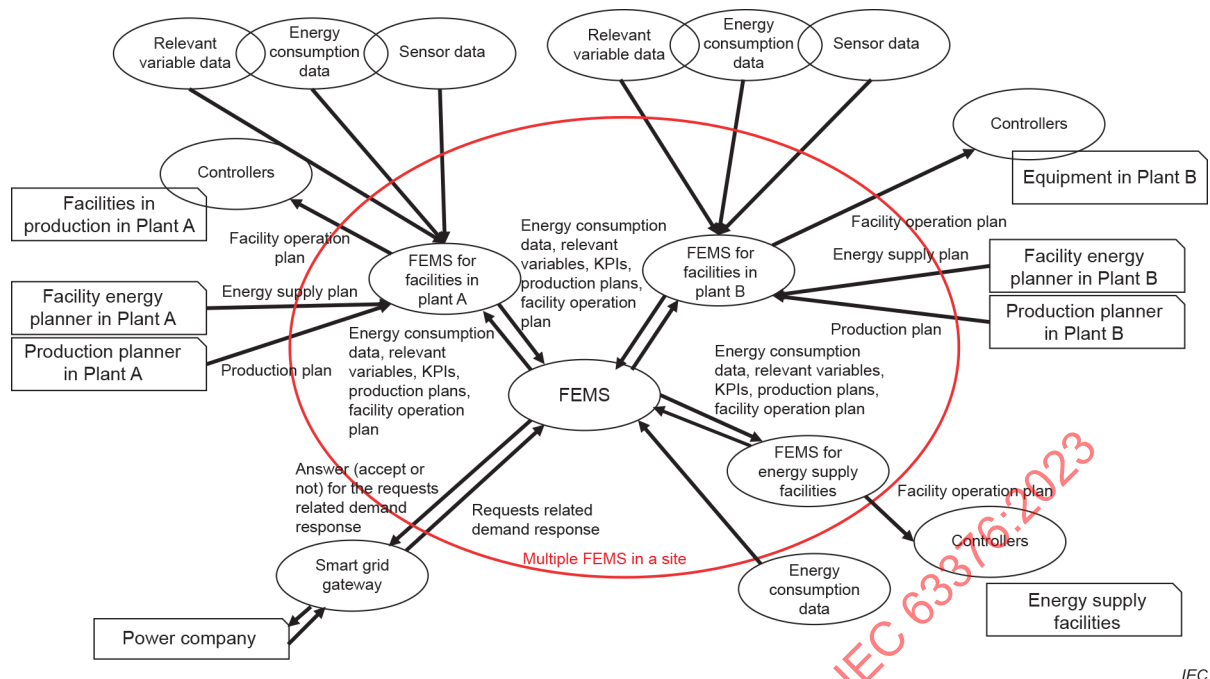


Figure 10 – Example of Information exchange with inside and outside of the facility

Figure 10 shows representative FEMS data exchanges between systems inside and outside of facilities.

4.7 Data confidentiality

4.7.1 General

Data confidentiality includes a wide range of data types that can be considered as intellectual property (IP). The forms of IP are patents, copyrights, and trademarks, which are all placed in the public domain as such. However, in many cases other forms of IP such as industrial designs, trade secrets as well as geographical information and by association personal information, also need to be protected. It is the last two elements of geographical and personal information that are most difficult to protect in a fully integrated system such as FEMS.

Because for some organizations, energy cost account for a substantial portion of their operating cost, FEMS should consider their energy consumption is confidential data. Each KPI should be confirmed to be able to disclose to the third parties based on the calculation data and method. Moreover, FEMS should also incorporate information security. IEC and ISO standards related to information security are identified in 4.7.2.

When an organization is required to disclose KPIs calculated with energy consumption data, normalized index values, percent changes from the stated reference year, etc. are listed, and single or multiple relevant variables for showing results of their energy efficiency improvement, the data confidentiality needs to be maintained while still representing the necessary trends. Normalized index values of energy consumption are one commonly used technique for keeping the confidentiality. This normalized index value is predicted energy consumption divided by energy consumption in a reference condition. When using this index, the actual value of energy consumption can be kept secret by having only those parties (i.e., between energy supply and consuming companies) share the reference conditions.

Percent changes from the criterial year also used for disclosing results of energy efficiency improvement of facilities, site, producing process and so on. To compare multiple data of the percent change, the criterial year should be determined and updated if their energy use is changed.

4.7.2 Information security

Data confidentiality is one aspect of the overall cybersecurity structure required of any computer based or digital system. Because FEMS will be integrated with broader business systems, they will need to be aware of and compliant with cybersecurity standards including ISO 27001, ISO 27002, ISO 22301, and ISO 27032. (Information security management systems), and the IEC 62443 series.

Figure 11 shows the IEC 62443 series and where the parts are applied in practice. These documents should be used for FEMS cybersecurity.

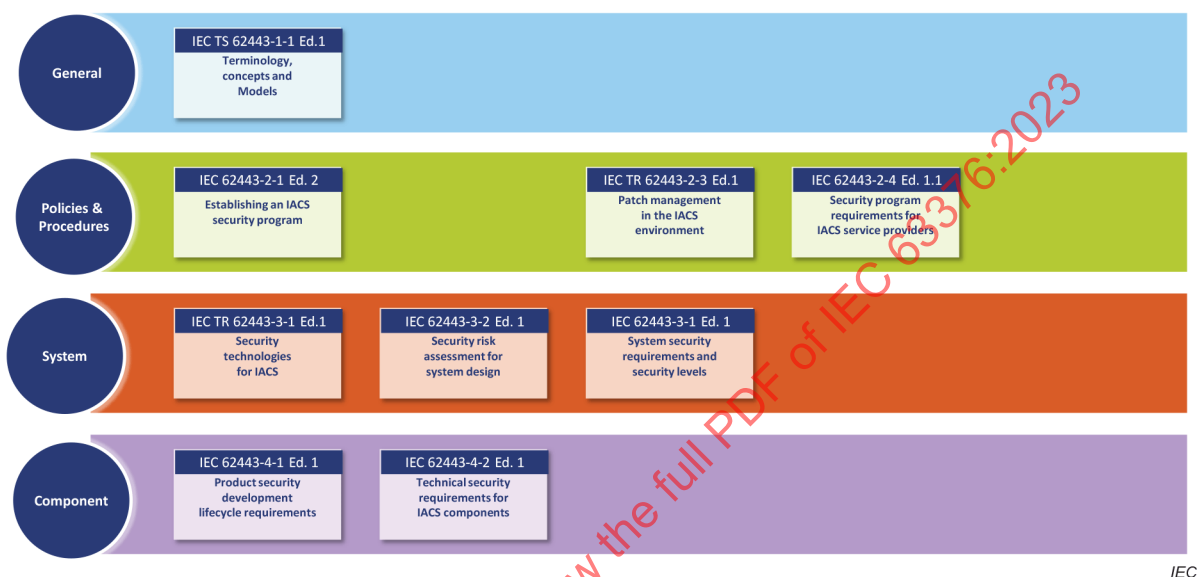


Figure 11 – IEC 62443 Security for industrial automation and control systems standards

5 Description of functions of FEMS

5.1 Category of functions of FEMS

Figure 12 depicts the categories of FEMS functions and improvement cycle of energy performance.

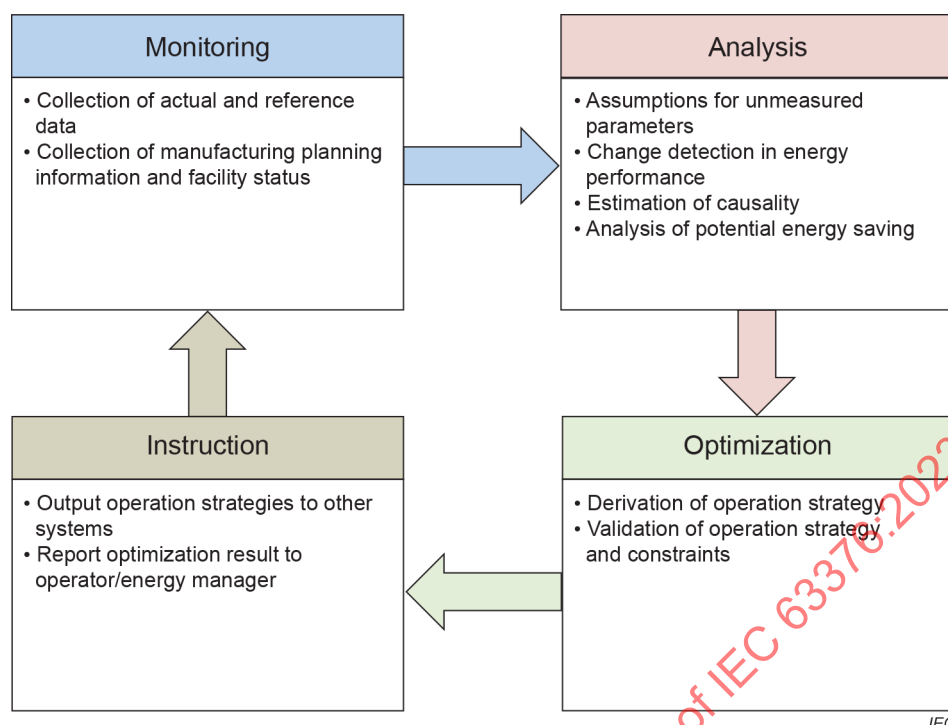


Figure 12 – Categories of FEMS functions and improvement cycle of energy performance

The role of FEMS is to improve energy performance by optimizing energy use under conditions by managing activities within a manufacturing enterprise. In order to carry out the role, FEMS has necessary functions that are summarised in 10 functions specified in the bulleted lists in each FEMS category in Figure 12. These functions are classified into four categories, which are Monitoring, Analysis, Optimization and Instruction. Table 1 describes each FEMS function category.

Table 1 – Description for FEMS function categories

FEMS Category	Description
Monitoring	Functions for collecting actual and reference data for energy consumption and relevant values following facilities operation from other systems and storing the data in the FEMS database.
Analysis	Functions for analysing energy performance of facilities, estimating causality between the energy consumption and the relevant variables, and exploring potential for energy saving.
Optimization	Functions for deriving optimal operation strategies based on operation plan made by other system according to constraints from top management and validating the operation strategy with simulation if it is required.
Instruction	Functions for transmitting and reporting setting parameters and operation for each facility based on the deviated operation strategy and reporting the results of the analysis.

Details of each function in the categories are as follows:

1) Monitoring:

- Collection of actual and reference data

FEMS collects actual and reference data such as the amount of energy supply from energy supply equipment, energy consumption of production equipment for the production quantity, process, and machine data and related information as from ISO 20140-5 for the classification of environmental performance evaluation (EPE) data. These data are collected through MES.

- Collection of manufacturing planning information and facility status

FEMS collects operational status and scheduling information such as energy price, production plan, production equipment and related information for energy management and target and goals inputted from top management. This information is collected from LIMS, WMS, CMM and other FEMS's.

Collected data are time-stamped and stored in the FEMS database. Stored data in the database can be accessed by the functions of FEMS and used for the generation of calculated data that are also stored in the database.

2) Analysis:

- Assumptions for unmeasured parameters

Based on the data collected by the functions of "Monitoring", FEMS estimates values of unmeasured parameters using the data stored in the database.

- Change detection in energy performance

Based on the data collected by the functions of "Monitoring", FEMS calculates KPI for each boundary and energy baseline for the reference of energy management. FEMS detects the change in energy performance using the KPIs and baseline.

- Estimation of causality

When change is detected, FEMS estimates the causal relation between the change and the operation status of energy supply equipment and production equipment and actual production.

- Analysis of potential energy savings

Based on the estimation, FEMS analyses the potential of energy savings to be optimised.

3) Optimization:

- Derivation of operation strategy

Based on the results analysed by the functions of "Analysis", FEMS derives operation strategies. Prior to the actual production, FEMS estimates the energy consumption and CO₂ emission for the production plan. If the energy consumption estimated by FEMS is not optimum within the constraint conditions that are set by the organization, the production plan will be re-examined. Cost reduction, productivity, CO₂ emission reduction, etc. are included in the constraint conditions that are prioritized for operations.

- Validation of operation strategy and constraints

The FEMS validates the effectiveness of the production plan re-examined by individual FEMSs to meet the constraints of equipment.

4) Instruction:

- Output operation strategies to other systems

The FEMS outputs the validated production plan that specifies operating conditions of energy supply equipment and production equipment to other systems through MES.

- Report optimization results to operator/energy manager

The FEMS sends reports about KPIs of boundary and related information to energy manager and equipment operators.

Figure 13 shows an example of relationships among the functions of the FEMS and other systems.

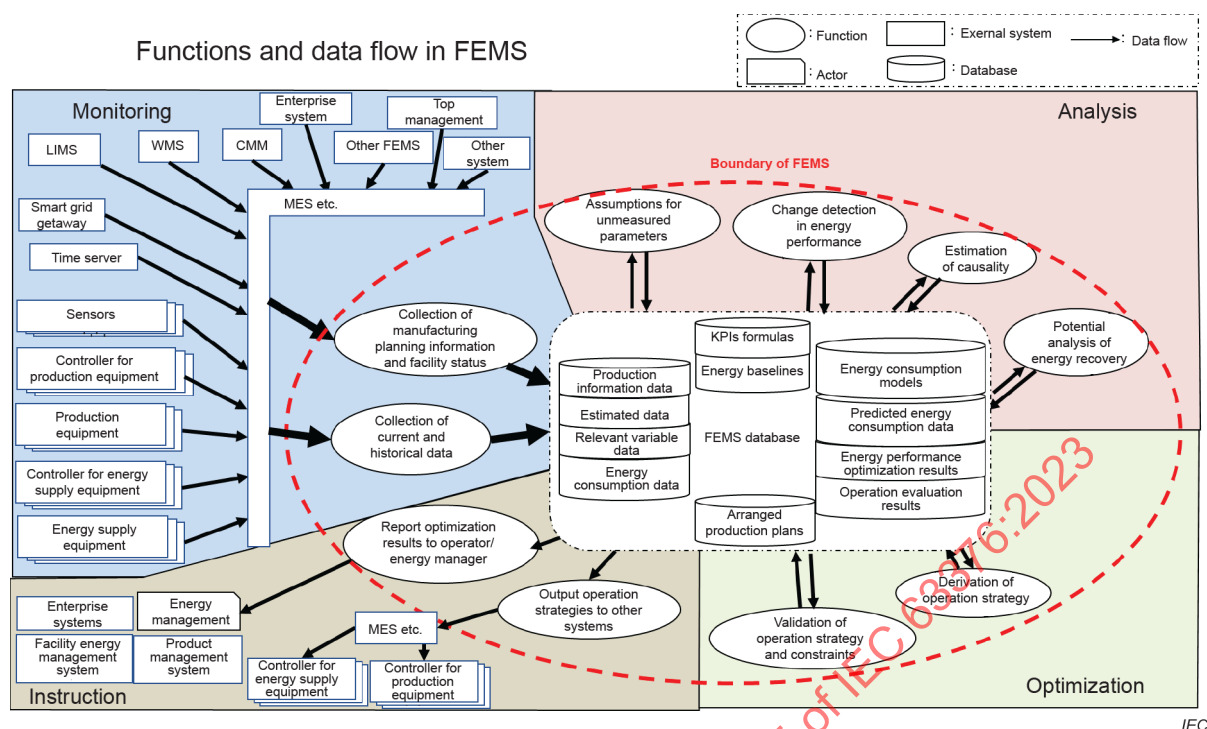


Figure 13 – Relationship among functions of FEMS and other systems

The following functions in the category of “Monitoring” collect data from energy supply equipment, production equipment, sensors, Smart grid, LIMS, WMS, CMM, Enterprise system, other FEMS, etc. These data are collected through MES and stored in the FEMS database.

- Collection of actual and reference data

Collection of manufacturing planning information and facility status Functions in other categories calculate output data using the data in the FEMS database and store the output in the FEMS database.

5.2 Monitoring Data Flows

5.2.1 General

Table 2 and Figure 44 show examples of data input to and output from FEMS functions categorized in “Monitoring”.

Table 2 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Monitoring”

Functions	Data Input to the functions	Data output from the functions
Collection of actual and reference data	Energy consumption Related data Sensor data	Time-stamped data
Collection of manufacturing planning information and facility status	Production plan, Operation status Scheduling information Energy management information Weather forecast Organizations targets and goals	Production information

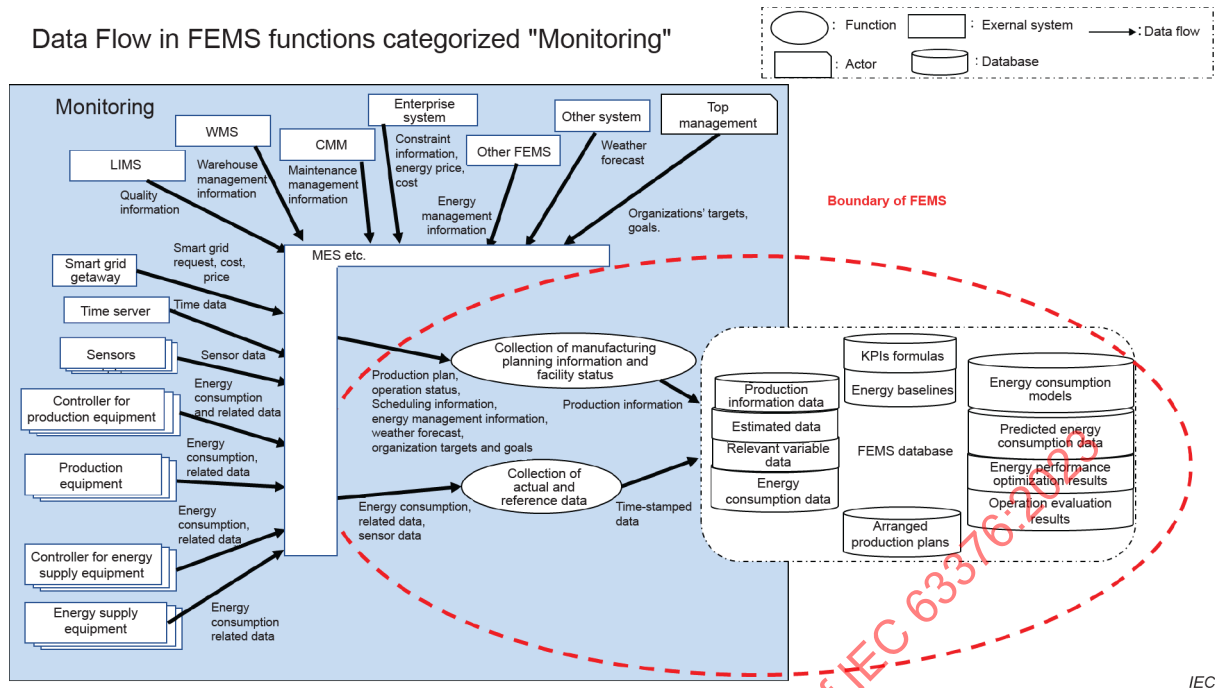


Figure 14 – Functions categorized under “Monitoring” and FEMS related data flow

5.2.2 Collection of actual and reference data

5.2.2.1 Requirements

This function shall collect energy-related data such as energy consumption, plus relevant data and variables, from control equipment and sensors via the MES.

NOTE 1 Relevant variables include environmental information such as atmospheric temperature, humidity, etc. during the production. The unit of collected data is converted into predefined engineering unit and timing data.

EXAMPLE: Conversion into timing data might be executed every hour by aggregating the data per minute.

The formats of collected data are converted into the FEMS data format.

NOTE 2 Each data element is timestamped for the format conversion. Aggregated data are stored in the specified FEMS database.

5.2.2.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Energy consumption: Energy supply and consumption of energy supply equipment, and Energy consumption of energy demanding equipment such as production equipment
- Related data: Relevant variables that affect energy demand and supply (production volume)
- Sensor data: Relevant variables from sensors that affect energy demand and supply (atmospheric temperature, humidity, etc.)

Output (into the FEMS database):

- Time-stamped data

5.2.2.3 Processing

Collecting energy and relevant information, conversion of data format and storing the data in the FEMS database.

5.2.3 Collection of manufacturing planning information and facility status

5.2.3.1 Requirements

This function shall obtain the related information such as production plan (target and constraints), equipment and operating information, etc. by collecting data from other systems.

NOTE 1 Equipment information contains production volume, result values (e.g. processing speed, operation mode, pre-set temperature) of equipment from which the FEMS can get information.

NOTE 2 Production plan information contains production schedule that the FEMS can get from other systems.

NOTE 3 Related energy management information including purchase cost of fuel, CO₂ emission, results of composition analysis of raw material and fuel, etc.

The following information is obtained:

- Information to define boundary (equipment and devices, etc), maintenance plan and records
- Information about constraints in daily manufacturing and energy procurement from outside of the organization
- Information about production plan, equipment operation plan and predicted relevant variables (weather forecast, atmospheric temperature, etc.) for the execution of these plans are obtained

Totalised data are stored in a specified database.

5.2.3.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Production plan
- Operation status: Operating conditions of production equipment (planned production volume at a given time, results of composition analysis of raw material and fuel (e.g., moisture content, etc.)
- Scheduling information: operation plan of production equipment and maintenance plan
- Energy management information: Boundary configuration, parameters records of equipment, constraints (cost, CO₂ emission, energy consumption, etc.), and predicted value of relevant variables
- Weather forecast
- Organization targets and goals: Information about external procurement of energy

Output (stored in the FEMS database):

- Production information collected from other systems: Operation and status

5.2.3.3 Processing

Operation conditions of equipment, results of production are stored in the FEMS database.

5.3 Analysis Data Flows

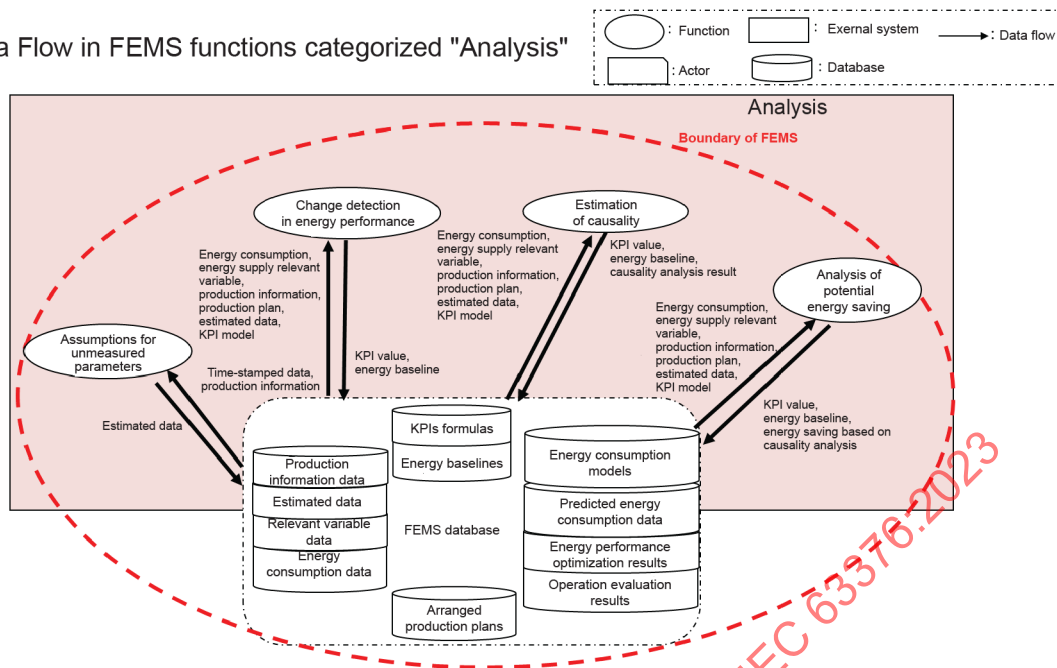
5.3.1 General

Table 3 and Figure 15 show examples of data input to and output from FEMS functions categorized in “Analysis”.

Table 3 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Analysis”

Functions	Data Input to the functions	Data output from the functions
Assumptions for unmeasured parameters	Time-stamped data, Production information	Estimated data
Change detection in energy performance	Energy consumption Energy supply relevant variables Production information Production plan Estimated data KPI definition	KPI value, Energy baseline
Estimation of causality	Energy consumption Energy supply relevant variables Production information Production plan Estimated data KPI definition	KPI value Energy baseline Causality analysis result
Analysis of potential energy saving	Energy consumption Energy supply relevant variables Production information Production plan Estimated data KPI definition	KPI value, Energy baseline, Energy saving based on causality analysis

Data Flow in FEMS functions categorized "Analysis"



IEC

Figure 15 – Functions categorized under “Analysis” and FEMS related data flow

5.3.2 Assumption for unmeasured parameters

5.3.2.1 Requirements

This function shall estimate unmeasured data and parameters due to the lack of direct measurement means based on other measured data.

EXAMPLE 1: A case where unit energy cost is calculated using fuel cost, energy efficiency and energy output of energy supplying equipment.

EXAMPLE 2: A case where input power consumption of the whole facility is measured and allocated to multiple production equipment units proportionally to each individual production status. Energy disaggregation decomposes the measured total consumption into the individual contribution of each equipment/device by statistical approaches.

EXAMPLE 3: A case where coal consumption is calculated by the inventory before and after production.

EXAMPLE 4: Estimation of the energy consumption of a production equipment based on the operation status of equipment every 10 minutes and accumulated hourly energy consumption.

5.3.2.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Time-stamped data: Energy consumption and supply of energy from supplying equipment
- Production information: Operating conditions of production equipment (e.g. processing speed, operation mode, pre-set temperature), KPI definition

Output (stored in the FEMS database):

- Estimated data: Estimated unmeasured data

5.3.2.3 Processing

Calculation results for unmeasured parameter are stored in the FEMS databases.

5.3.3 Change detection in energy performance

5.3.3.1 Requirements

This function shall detect changes in energy performance of boundary using the data in the FEMS

EXAMPLE: To calculate KPIs values of boundary. To generate alarms when the deviation between current value of KPI and the baseline exceeds the allowance.

NOTE KPIs include energy consumption, energy consumption intensity, statistical model, etc.

5.3.3.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Energy consumption: Energy consumption of energy consuming equipment such as production equipment
- Energy supply relevant variables: parameters, operating conditions of production equipment and actual values
- Production information: Boundary configuration
- Production plan
- Estimated data: result of Estimation results for unmeasured data such as composition analysis of raw material and fuel (e.g. moisture content),
- KPI definition: Model equation of KPI, Baseline, Calculated result of KPI value

Output: (stored in the FEMS database):

- KPI values
- Energy baseline

5.3.3.3 Processing

Energy baseline shall be calculated using historical data.

Deviation between KPI value and energy baseline shall be calculated.

5.3.4 Estimation of causality

5.3.4.1 Requirements

This function shall estimate the causal relationship between operating status of boundary, energy consumption and relevant variables.

EXAMPLE: Causality is estimated based on the change before and after the abnormal data detected by the check of KPI results and the baseline.

5.3.4.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Energy consumption: Energy consumption and supply of energy supplying equipment, and energy consumption of energy consuming equipment such as production equipment
- Energy supply relevant variables: Relevant variables that affect to energy demand and supply (e.g. production volume, atmospheric temperature, humidity, etc.), estimation results for unmeasured data
- Production information: Result of composition analysis of raw material and fuel (e.g. moisture content), and boundary configuration
- Production plan: parameters
- Estimated data:
- KPI definition: Historical data of baseline, model equation of KPI, baseline, calculated result of KPI, confirmed effectiveness of KPI and baseline

Output: (stored in the FEMS database):

- KPI values
- Energy baseline
- Causality analysis results

5.3.4.3 Processing

The causal relationship between operating status of boundary, energy consumption and relevant variables shall be estimated.

Relational expressions based on the causality analysis of energy information and relevant variables shall be generated.

5.3.5 Analysis of potential energy saving

5.3.5.1 Requirements

This function shall estimate possible energy saving after eliminating the cause of change based on the causality analysis.

EXAMPLE: When results of KPI exceed the allowable range of the deviation from baseline, possible energy saving is estimated by setting optimum operating conditions of equipment and activating cooperative operation of multiple equipment units based on the past operation data.

- Energy consumption and supply of energy supplying equipment
- Energy consumption of energy consuming equipment such as production equipment
- Relevant variables that affect energy demand and supply (e.g. production volume, atmospheric temperature, humidity, etc.) Operating conditions of production equipment (e.g. processing speed, operation mode, pre-set temperature), Production plan, Estimation results for unmeasured data
- Historical data of baseline, Model equation of KPI

5.3.5.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Energy consumption
- Energy supply relevant variables
- Production information
- Production plan
- Estimated data
- KPI definition

Output (stored in the FEMS database):

- KPI value
- Energy baseline
- Energy saving based on causality analysis

5.3.5.3 Processing

To estimate possible amount of energy saving based on the following calculations.

- To compare the latest data and baselines
- To estimate possible operating conditions of equipment such as set values and constraints on the operation based on the equipment maintenance information and relation between operation results and the past value of KPI
- To estimate current energy consumption from the energy consumption and the latest data that are estimated under the above conditions

5.4 Optimization Data Flows

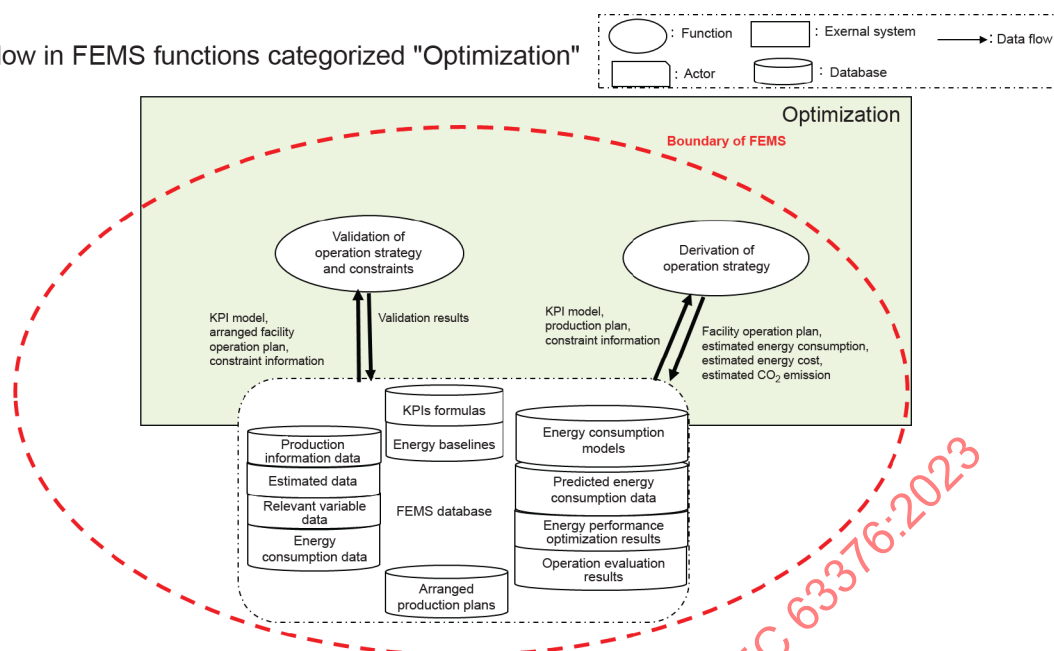
5.4.1 General

Table 4 and Figure 16 show examples of data input to and output from FEMS functions categorized in “Optimization”.

Table 4 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Optimization”

Functions	Data Input to the functions	Data output from the functions
Validation of operation strategy and constraints	KPI definition Arranged facility operation plan Constraint information	Validation results
Derivation of operation strategy	KPI definition Production plan Constraint information	Facility operation plan Estimated energy consumption Estimated energy cost Estimated CO ₂ emission

Data Flow in FEMS functions categorized "Optimization"



IEC

Figure 16 – Functions categorized under “Optimization” and FEMS related data flow

Derivation of operation strategy:

5.4.2 Validation of operation strategy and constraints

5.4.2.1 Requirements

This function shall validate equipment operation plan to meet the requirements of constraints on equipment, cost, CO₂ emission, etc.

5.4.2.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- KPI definition: Model equation of KPI
- Arranged facility operation plan: equipment operation plan
- Constraint information: predicted values of equipment operation under the constraints on the equipment operation

Output (into the FEMS database):

- Validation results: Results of the validation of equipment operation plan with the following data, Energy consumption of each equipment, production cost, calculated values of CO₂ emission, constraints on equipment operation

5.4.2.3 Processing

Validation of the operation strategy under the constraints by comparing planned values and actual results of equipment operation, after the equipment operation plan has been carried out under the constraint conditions.

5.4.3 Derivation of operation strategy

5.4.3.1 Requirements

This function shall derive an equipment operation plan that optimizes energy consumption under the constraints of production plan such as safety, quality, etc.

5.4.3.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- KPI definition: Model equation of KPI
- Production plans: production plan
- Constraint information: predicted relevant variables such as production volume, temperature, humidity, etc., constraints on equipment operation, information about external procurement of energy

Output (into the FEMS database):

- Facility operation plan: Results of the investigation on the equipment operation plan
- Estimated energy consumption: calculation results of energy consumption under the equipment operation plan
- Estimated energy cost: calculation results of energy cost under the equipment operation plan
- Estimated CO₂ emission: calculation results of CO₂ emission under the equipment operation plan

5.4.3.3 Processing

To estimate energy consumption of the entire facility by totalizing the predicted quantity of energy consumption based on the given production plan.

To review the changes of the production plan, operation plan, external energy supply, when operating conditions of boundary are inconsistent with the constraints on equipment operation.

5.5 Instruction Data Flows

5.5.1 General

Table 5 and Figure 17 show examples of data input to and output from FEMS functions categorized in “Instruction”.

Table 5 – Data input and output of FEMS functions categorized into “Instruction”

Functions	Data Input to the functions	Data output from the functions
Report optimization results to operator/energy manager	KPIs Baselines Verification results Arranged facility operation plan etc.	Reports
Output operation strategies to other systems	Arranged facility operation plan	Translated facility operation plan, Setting parameters

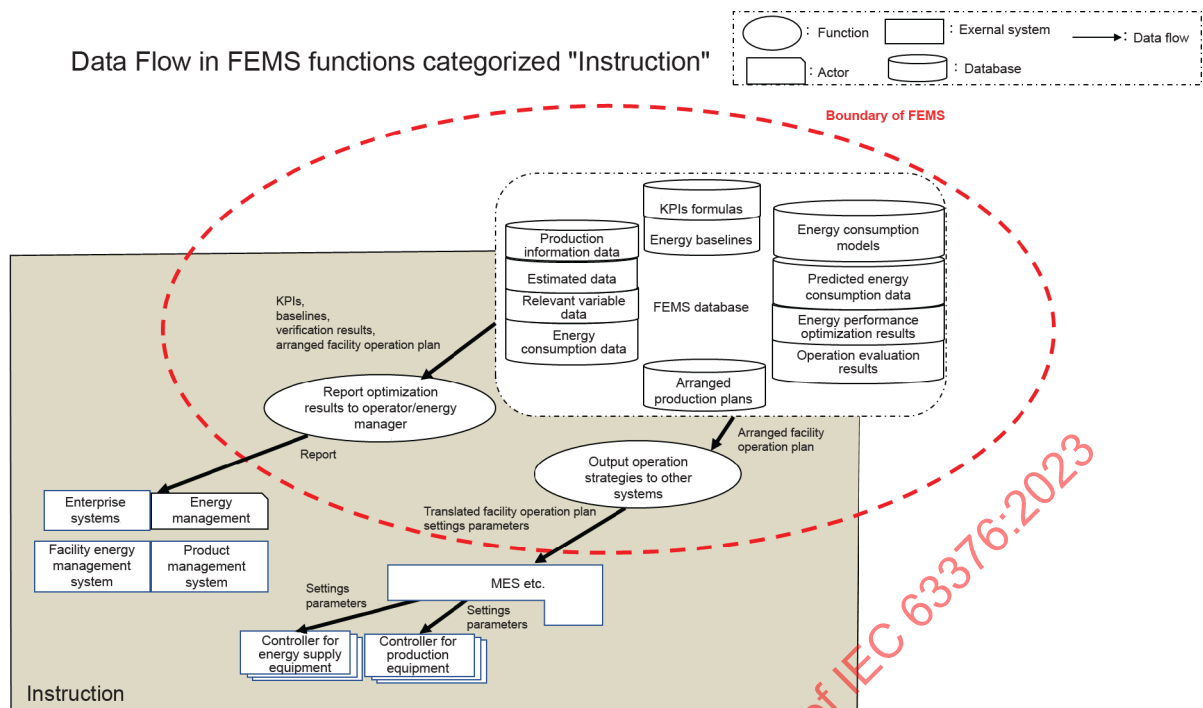


Figure 17 – Functions categorized under “Instruction” and FEMS related data flow

5.5.2 Report optimisation results to operator/energy manager

5.5.2.1 Requirements

This function shall provide persons concerned (operator, manager, etc.) with a report of KPI results such as energy consumption, energy consumption intensity, etc.

5.5.2.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- KPIs
- Baselines
- Verification results
- Arranged facility operation plan: Changed set point data for equipment operation to carry out the production plan and equipment operation plan that are optimized in the FEMS

Output:

- Reports: Set values at the execution timing of production equipment and energy supply equipment for carrying out the production plan and the equipment operation plan, energy related information, relevant variables, KPIs, baselines, optimized production plan, alarm of non-achievement of production plan, and information for equipment maintenance

5.5.2.3 Processing

This function shall output the report of totalized calculation results of energy related information and relevant information.

5.5.3 Output operation strategies to other systems

5.5.3.1 Requirements

This function shall output set values for equipment operation based on the production plan to other systems.

5.5.3.2 Data flow

Considerations on inputs and outputs:

Input:

- Arranged facility operation plan: Equipment operation plan that is optimized in the FEMS, setting values of equipment for the optimised operation of equipment

Output

- Arranged facility operation plan
- Setting parameter: Set values at the execution timing of production equipment and energy supply equipment for carrying out the equipment operation plan

5.5.3.3 Processing

To derive set values of production and energy supply equipment at a given time to carry out the equipment operation plan that is optimized in the FEMS.

6 Classification of FEMS

Classification of FEMS is based on three aspects which are function, automation level and boundary. The items in the function axis are the same as FEMS function categories described in Table 1. The items in automation axis are the “automation levels” in the FEMS process. Table 6 describes the “Automation levels”. The items in the boundary axis are defined in 3.1.

Table 6 – Description of “Automation levels”

Autom ation level	Management mode	Narrative definition	Monitoring	Analysis	Optimization	Instruction
Human manager mainly performs four of the fundamental functions of FEMS.						
0	Manual mode	Energy-manager performs all aspects of the energy management task	Manager	Manager	Manager	Manager
1	FEMS assisted mode	System collects actual data and visualizes it to assist energy manager	Partially done by system	Manager	Manager	Partially done by system
2	Partial automation mode	System monitors and estimates unmeasured data/parameters. System visualizes KPI and actual/reference data	System	Partially done by system	Manager	Partially done by system
System perceives the facility state by monitoring and analysis and derives operation strategies by optimization to instruct other systems						
3	Conditional automation mode	System can perform all management tasks, including collaborative optimization with multiple systems in the steady-state operation or certain batch phases. Manager still needs to respond appropriately to the system's requests, etc.	System	Partially done by manager	Partially done by manager	Partially done by manager
4	High automation mode	System performs all managing tasks within certain boundaries If constraints are not satisfied under the production plans, the equipment operation plan are adjusted by manual	System	Normally done by system	Normally done by system	System
5	Full automation mode	System performs all managing tasks	System	System	System	System

Figure 18 shows a three-dimensional map of FEMS that is a representation of a three-dimensional cartesian coordinate system with the X-axis pointing towards the functions, Y-axis for automation level and Z-axis for boundary.

The representation provides a holistic perspective of an overall architecture of FEMS.

Function axis:

- Monitoring
- Analysis
- Optimization
- Instruction

Automation axis:

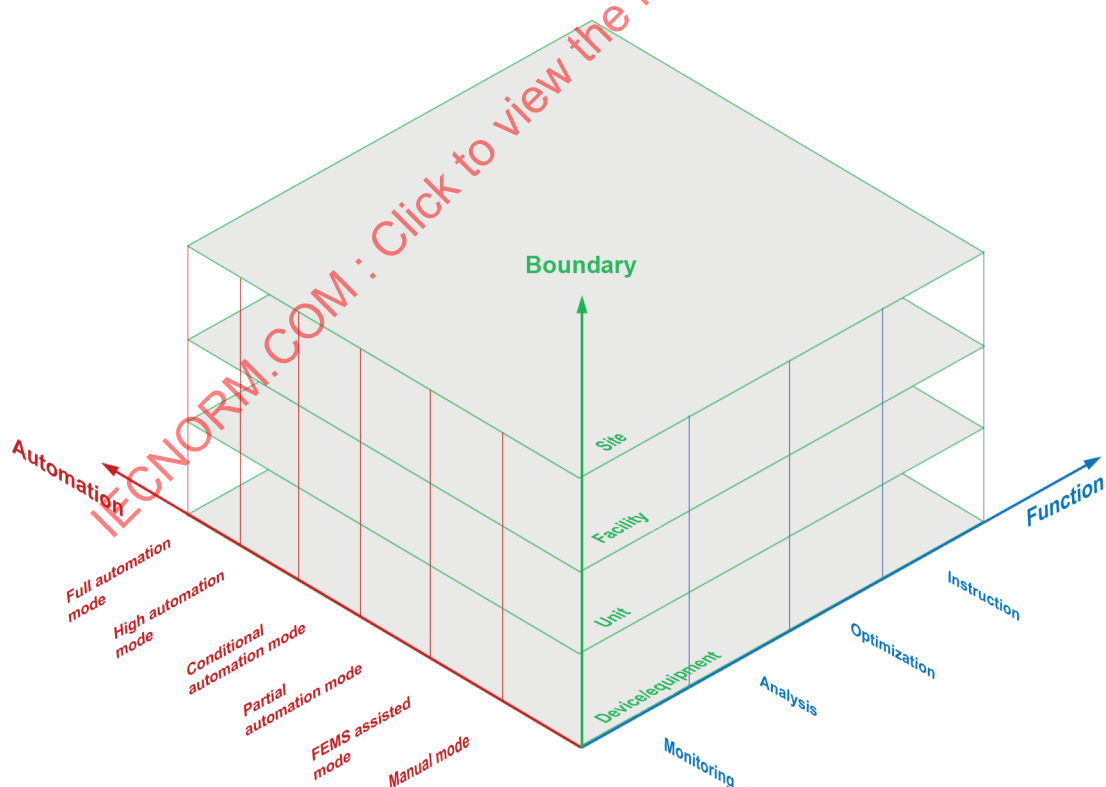
- Automation level 0: Manual mode (No Automation)
- Automation level 1: FEMS assisted mode
- Automation level 2: Partial automation mode
- Automation level 3: Conditional automation mode
- Automation level 4: High automation mode
- Automation level 5: Full automation mode

Boundary axis:

- Device/Equipment
- Unit
- Facility
- Site.

As an example, the classification of FEMS in use cases for information exchange among FEMS, production facilities, and energy supply facilities is described Annex A and illustrated in Figure A.2.

Table 7 depicts details of the FEMS functions on the two-dimensional plane of function axis and automation axis as examples. The FEMS can be classified into 6 automation levels from 0 to 5 by the level of automation.



IEC

Figure 18 – Three-dimensional map of FEMS

Table 7 – Relation between the level of automation and function

Automation level	Narrative definition	Monitoring	Analysis	Optimization	Instruction
Manual Energy Management System					
0	Manual mode	Energy-manager performs all aspects of the energy management task.	Collecting actual/reference data (e.g., monthly date for bill) manually.	KPIs are provided by management. KPIs are monitored manually. KPI values are calculated manually.	Manually provided based on knowledge and experience. Updated KPIs reported manually. Setting values for facilities are manually input.
1	FEMS assisted mode	System collects actual data and visualizes it to assist energy manager.	System collects some actual/reference data.	KPIs are manually defined. KPI values are calculated based on formula containing system suggested values.	Provided based on system suggested KPI values. Energy consumption and updated KPIs are reported and visualized by the system. Setting values for facilities are manually input.
2	Partial automation mode	System monitors and estimates unmeasured data/parameters. System visualizes KPIs and actual/reference data.	System collects actual/reference data.	KPIs are manually defined. KPI values are calculated by the system. Unmeasured parameters are assumed by the system. Change in energy performance is detected manually. Causality is estimated manually. Potential of energy saving is analysed manually.	Provided based on system suggested KPI values. Energy consumption and updated KPI are reported and visualized by the system. Setting values for facilities are manually input.

Automation level	Narrative definition	Monitoring	Analysis	Optimization	Instruction
Automated Energy Management System					
3	Conditional automation mode	System can perform all management tasks, including collaborative optimization with multiple systems in the steady-state operation or certain batch phases. Manager still needs to respond appropriately to the system's requests, etc.	System collects actual/reference data. KPIs are manually defined. KPI values are calculated by the system. Unmeasured parameters are assumed by the system. Change in energy performance is detected by the system. Causality is estimated manually. Potential of energy saving is analysed manually.	Some facilities are optimized based on the KPI values done manually.	Energy consumption and updated KPIs are reported and visualized by the system. Setting values for some facilities are input by the system.
4	High automation mode	- System performs all managing tasks within certain boundaries. - If constraints are not satisfied under the production plans, the equipment operation plan are adjusted by manual.	System collects actual/reference data. KPIs are defined by the system under normal operating condition. KPI values are calculated by the system under normal operating condition. Unmeasured parameters are assumed by the system. Change in energy performance is detected by the system. Causality is estimated by the system under normal operating condition. Potential of energy saving is analysed by the system under normal operating condition.	All facilities are optimized based on the KPI values done by the system under normal operating condition.	Energy consumption and updated KPIs are reported and visualized by the system. Setting values for all facilities are input by the system.

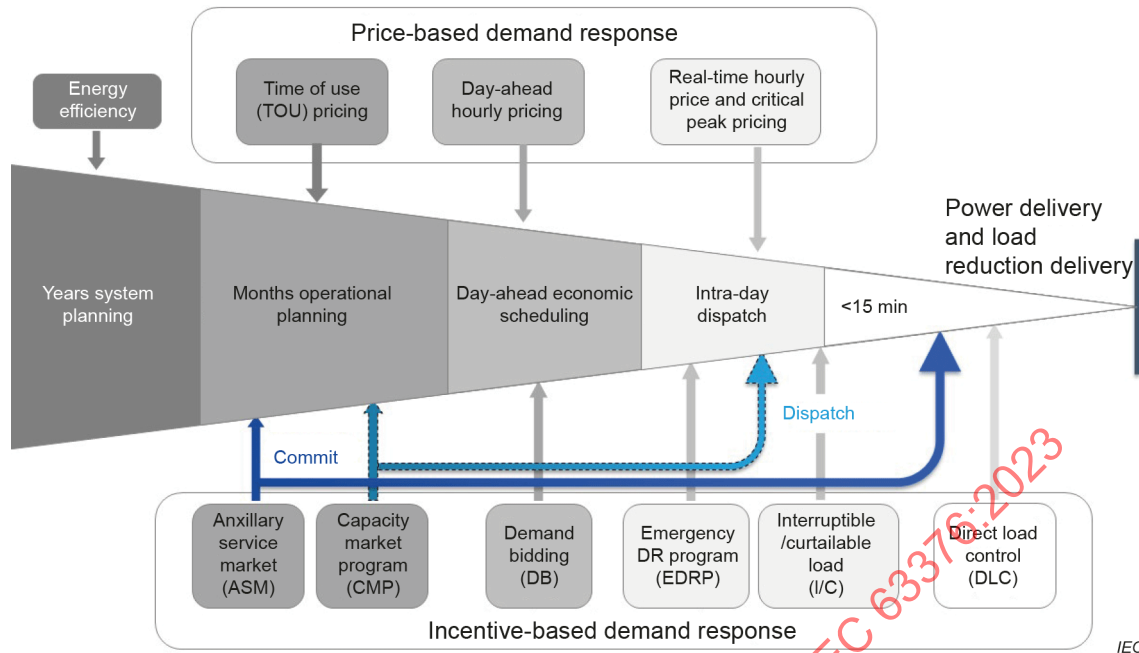
Automation level		Narrative definition	Monitoring	Analysis	Optimization	Instruction
5	Full automation mode	System performs all managing tasks.	System collects actual/reference data.	KPIs are defined by the system under all known conditions. KPI values are calculated by the system under all known conditions. Unmeasured parameters are assumed by the system under all known conditions. Change in energy performance is detected by the system under all known conditions. Causality is estimated by the system under all known conditions. Potential of energy saving is analysed by the system under all known conditions.	All facilities are optimized based on the KPI values done by the system under all known conditions.	Energy consumption and updated KPIs are reported and visualized by the system. Setting values for all facilities are input by the system.

7 FEMS Demand Response

7.1 Demand Response

Plants can adjust their energy demand with changing production plans and facility operation plan and utilize energy storage system such as batteries based on the status of energy balancing in the Smart Grid. Incentive-based demand response and price-based demand response are two kinds of programs applied by the Smart Grid to maintain grid energy balance through managing customer load demand in response to supply conditions, such as prices or availability signals. Some typical demand response programs for grid management are illustrated in Figure 19. The information exchanges between the industrial facilities and the smart grid in the demand response execution process are described in IEC TS 62872-1 and IEC 62872-2 [2]. FEMS is expected to play big roles in adjusting energy demand in industrial facilities and energy supply from them.

Using FEMS, industrial facilities can predict the energy demand under their future production plans and the facility operation plans for the production facilities. They can make facilities operation plans for energy supply facilities, including energy storage systems and power generation systems, corresponding to the predicted energy demands. Receiving requests to change energy supply or demand plans from the smart grid, the industrial facilities consider whether the request will be accepted or not by changing their production plans and facility operation plans.



Source: IEC TS 62872-1:2019

Figure 19 – General approach common today for grid management of demand response

7.2 FEMS and Incentive-based Demand Response

In the Incentive-based Demand Response, a varying amount of adjusted electric power is traded. When the Smart Grid requests to increase / decrease energy supply to the industrial facilities, the FEMS considers whether the industrial facilities can reduce / increase their energy consumption by the same amount of the request by simulating cases under changed production plans and facility operation plans. Based on the results and the predetermined processes, the facility energy planner and the production planner decide whether the industrial facilities accept the requests from the smart grid, propose an alternative, or decline the request. This judgement can be exercised by the enterprise systems.

Annex B supplies use cases of exchange information between FEMS and battery systems.

7.3 FEMS and Price-based Demand Response

This subclause will describe FEMS and use cases for the Price-based Demand Response scenario.

In the Price-based Demand Response, the price of electricity is changed overtime. So, the FEMS estimates future energy cost of the industrial facilities with price information from the utility gateway and estimated energy demands. Based on the energy cost and prioritised information from the enterprise systems, FEMS considers suggestions of the changed production plans and the changed facility operation plans. Considering the suggestion, the facility energy planner and the production planners decide whether the plans are changed or not. This judgement can be exercised with the enterprise systems.

Figure 20 is extracted from IEC 62872-2 [2], and shows the interrelationship between the seven Functional Components (FC) further described below:

- 1) Functional component 1 (FC 1): Determine energy/demand price information.

The Utility Power Station shall provide the dynamic pricing to the EMS, then the EMS shall manage facilities' current energy consumption.

2) Functional component 2 (FC 2): Determine DR parameters.

The EMS shall prepare the parameters of the DR algorithm and shall make the DR decision.

3) Functional component 3 (FC 3): Manage the operation point of each time interval to minimize energy consumptions.

The EMS shall assign each task to the EMA, then the EMA shall assign operating levels for each task to the MCS, finally the MCS shall control the equipment.

4) Functional component 4 (FC 4): Determine the utilization of ESS.

The EMS shall specify the ESS operating mode and the operating duration of that mode.

5) Functional component 5 (FC 5): Determine the utilization of EGS.

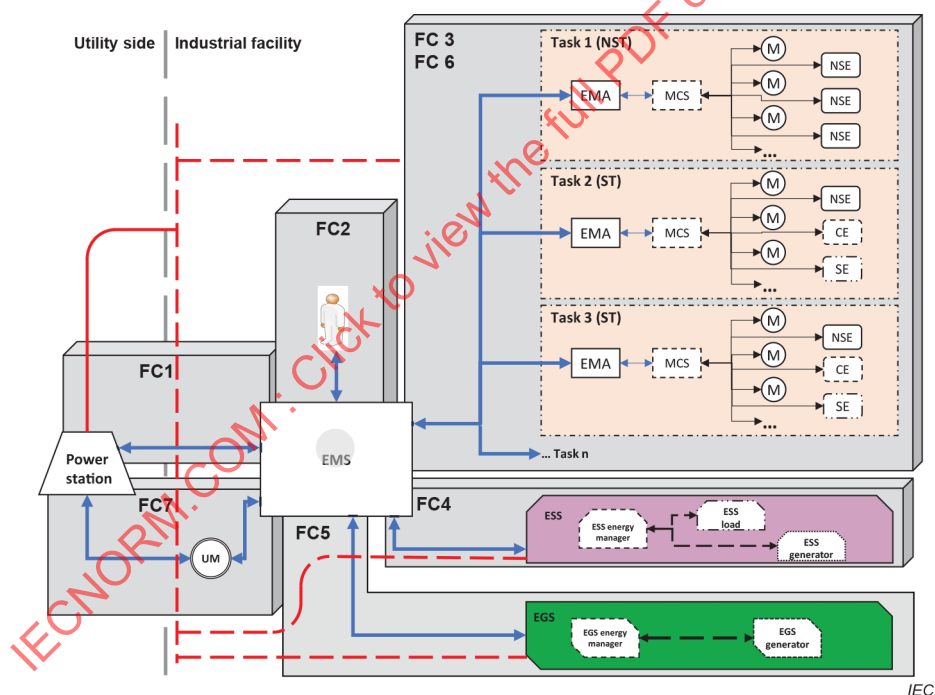
The EMS shall specify the EGS operating mode and the operating duration of that mode.

6) Functional component 6 (FC 6): Measure equipment power consumption.

The SM shall measure and send an energy consumption message to the MCS, and the MCS shall send it to the EMA, then the EMA shall send it to the EMS, finally the EMS shall send it to the FEP.

7) Functional component 7 (FC 7): Measure the whole energy consumption in a facility.

The USM shall measure all energy consumption in a factory and send it to the Utility Power Station.



Source: IEC TS 62872-2 [2]

Figure 20 – Correspondence relationship among these seven FCs and FEMS functions

Table 8 shows the relation between each FC and the functions of FEMS. In the FCs, it is described that EMS, energy storage systems, energy generator systems, and utility power station exchange information including energy consumption, price information and facility operation plan. To calculate the facility plan in FEMS, FEMS may use current and historical energy consumption and relevant variables.

Table 8 – Relationship between the FCs in IEC 62872-2 [2] and the functions of FEMS

	Description	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7
1	Collection of actual and reference data	○	○	○	○	○	○	○
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○	○	○	○	○	○	○
3	Assumptions for unmeasured parameters		○					
4	Change detection in energy performance		○	○			○	○
5	Estimation of causality			○	○	○	○	○
6	Analysis of potential energy saving			△	△	△	△	△
7	Derivation of operation strategy		○	○	○	○		
8	Validation of operation strategy and constraints		○	○	○	○		
9	Output operation strategies to other systems		○	○	○	○		
10	Report optimization result to operator/energy manager	○					○	○

NOTE While there is a relation between "Analysis of potential energy saving" and the FCs in IEC 62872-2 [2], the relation was not considered in IEC 62872-2 [2].

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

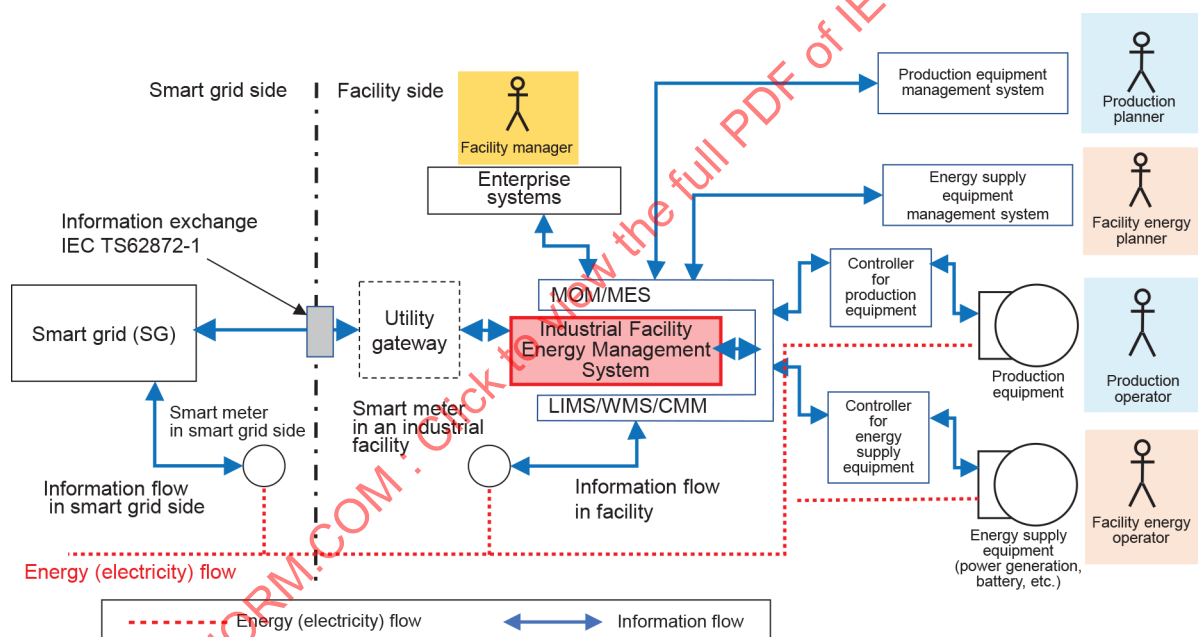
Annex A (informative)

FEMS Use Cases

A.1 FEMS Actors

Figure A.1 and Table A.1 describe the actors/stakeholders and their relationship. In Figure A.1 the red framed rectangle represents FEMS which is the focused scope of this document. In the diagram the flow of energy (power) is represented as dotted red lines and information as blue lines.

In the dialog, the FEMS exchanges information with other systems in the industrial facility via MOM/MESs. Each system has each human function represented. For example, the Facility Manager manages the enterprise system, and the Production Planner manages the Product Management System. If the automation level of the information exchanged between the system is at a higher and hence more integrated / automated level, the normal operations and decision makings can be directly operated by the systems and the FEMS.



IEC

Figure A.1 – Generic communication diagram between the smart grid and the FEMS

Table A.1 – Actors and roles

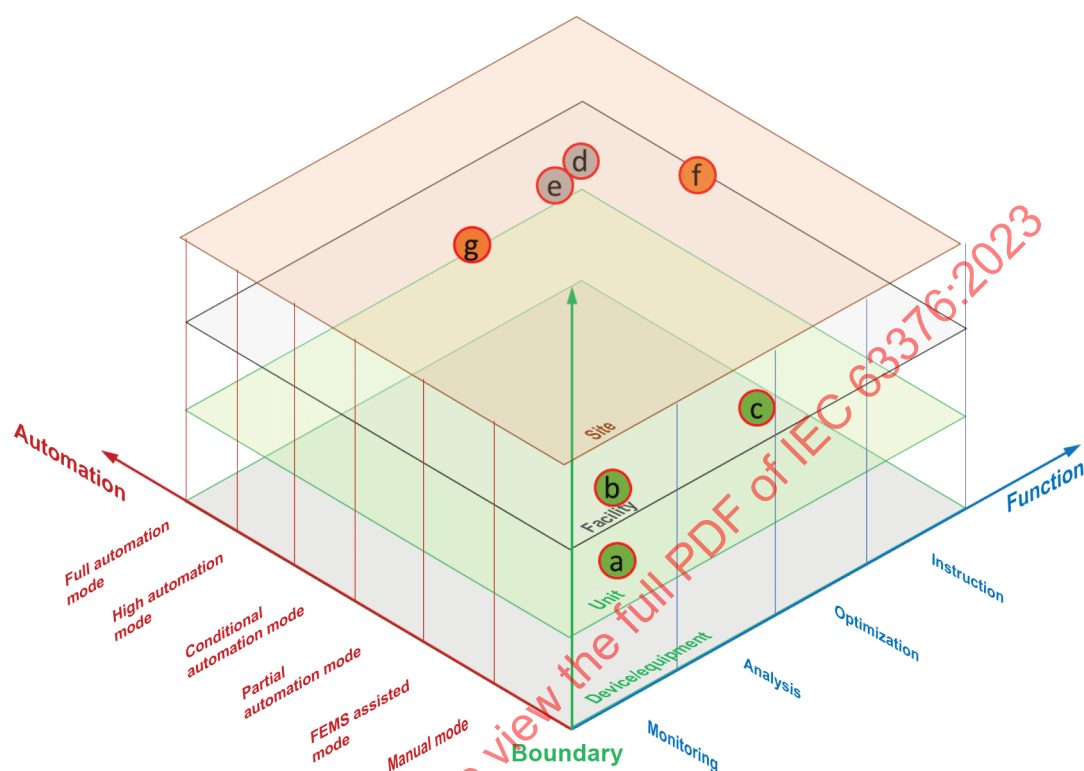
Actor	Role
Industrial Facility Energy Management System (FEMS)	FEMS is any device/software or group of devices/software installed in the industrial facility which provides the functions of energy management, control, and planning in conjunction with responsible facility management. The FEMS functions which are defined in clause 5, accomplished by one or more parts of an integrated facility automation control and enterprise system which is modelled in this document according to the IEC 62264 series. This actor can communicate with all systems managed by other actors.
Facility manager	A responsible entity for all operation of the entire facilities including cost, environmental, energy managements and responsible for deciding priority of KPI factors.
Enterprise system	This system sends the prioritized factors about for the operation plan of the facilities to the FEMS based on the decision of the facility manager and receives report(s) about energy consumption from FEMS.

Actor	Role
Facility energy planner	This is an entity responsible for the advanced planning of facility energy use, storage, and generation, considering the requirements of future production and the overall operation of the facility. NOTE 1 The facility energy planner is responsible for defining the overall future energy plan for the facility, to include both the energy requirements of production and the overall needs and capabilities of the facility to generate, store, and consume energy. NOTE 2 Plans developed by the facility energy planner will typically be made at least a day prior to intended use. NOTE 3 The facility energy planner will assemble the overall energy plan based on the individual plans developed by production planners and the non-production requirements and capabilities of the facility. *Cited from IEC TS 62872-1
Energy supply equipment management system	This system sends energy consumption and driving parameters of Energy supply equipment and information of maintenance of energy supply equipment to FEMS, receives operation plans from FEMS.
Production planner	This is an entity responsible for developing, monitoring, and modifying the production plan based on facility requirements and the availability of inputs. NOTE Example production constraints are the availability of input materials, production equipment, labour, energy, etc. The production planner designs the plan to minimize the costs of production. *Cited from IEC TS 62872-1
Production equipment management system	This actor is an entity responsible for sending energy consumption and driving parameters of Production equipment and information of maintenance of production equipment to FEMS and deciding production plans suggested from FEMS.
Controller for Energy supply equipment	This actor is an entity responsible for controlling the energy supply equipment according in accordance with the energy supply equipment operation plan and sending energy consumption data of energy supply equipment to FEMS. NOTE When the facility energy operator operates energy supply equipment, the guidance system for indicating next operation to the Facility operators can be included to the controller foreEnergy supply equipment.
Energy supply equipment	This actor represents all the energy generation and storage resources in the facility. These resources may be used to supply loads in the facility or might be used to supply power to the smart grid. Energy supply equipment includes combined heat and power (CHP) systems. These resources are managed by the FEMS from an energy perspective. *Cited from IEC TS 62872-1
Production operator	Entity responsible for the minute-by-minute use of energy to achieve production plans and authorized to respond to real-time changes based on feed-back from the process and other internal or external events. NOTE The production plan is provided by the production planner. *Cited from IEC TS 62872-1
Production equipment	This actor represents all the energy consumers in the facility. It consists of all the loads managed by the FEMS from an energy perspective. This actor communicates with FEMS for the purpose of optimizing its operation thorough the product facilities controllers and product planners. *Cited from and added to IEC TS 62872-1
Controller for production equipment	Entity responsible for controlling the Product equipment according in accordance with the product plan and sending energy consumption data of production equipment to FEMS. NOTE When the facility production operator operates production facilities, the guidance system for indicating next operation to the production operators can be the controller for energy supply equipment.
Smart grid (SG)	External-to-facility electrical grid actor (smart grid market role) which interacts with FEMS. This actor is used to represent a range of potential external entities, including an electrical grid operator, independent (electrical) system operator, energy aggregator, etc. This actor is shown interacting with the FEMS and the smart grid owned smart meter. *Cited from IEC TS 62872-1

A.2 Use cases of FEMS

A.2.1 General

Each of the following Use Cases in this Annex are placed for reference on Figure A.2 based on the original Figure 18.



IEC

Figure A.2 – Use Case representation on three-dimensional FEMS model

A.2.2 Selection of Use cases

The following 7 use cases are selected according to the coverage of FEMS functions.

- a) Measurement and analysis of energy data (Visualization)
- b) Optimization of each unit (Inverter control of compressor)
- c) Optimization of each facility (Quantity control of compressor)
- d) Optimization of energy supply facility (Supply-side RENKEI)
- e) Overall optimization (Demand and supply RENKEI)
- f) Energy source optimization (energy supply and demand)
- g) Energy Profile

Figure A.3 shows the relationship between the IEC 62264 (ISA 95) model and the use-cases of FEMS. The height of each use case (orange coloured bar) corresponds to the target system with which the use case exchanges information.

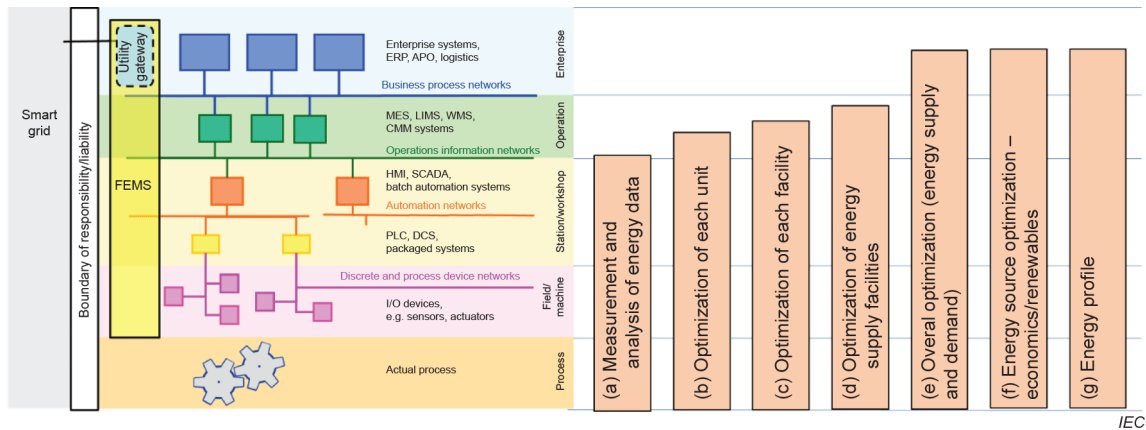


Figure A.3 – Relationship between IEC 62264 (ISA 95) model and FEMS use-cases

A.2.3 Measurement and analysis of energy data (Visualization)

This is a use case for “Measurement and analysis of energy data”. FEMS receives and stores information about energy consumption, relevant variables and operation status and report them to the production planner, the facility energy planner and top management via MES. Figure A.4 depicts the energy and data flow in the use case.

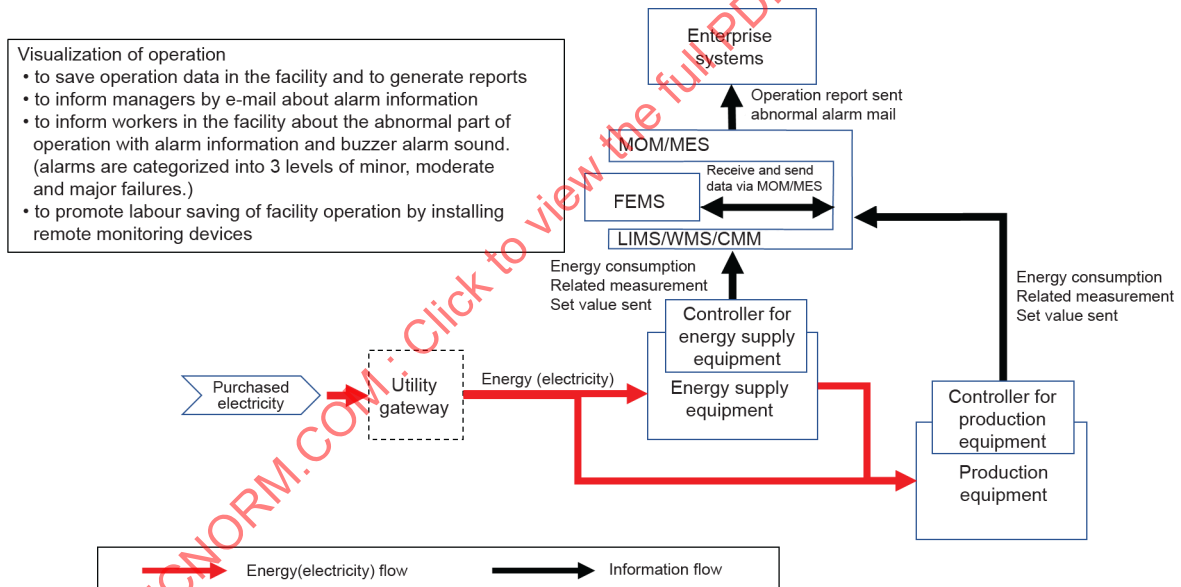


Figure A.4 – Measurement and analysis of energy data

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.5. FEMS performs the functions through the following three processes P2-1, P2-2, and P2-3.

P2-1:

Energy consumption from outside of facility is collected from outside of the facility through utility gateway. Energy consumption, related measurement and set value of equipment are collected from energy supply equipment and production equipment.

Collected data are stored in the FEMS database.

P2-2:

Report is generated.

P2-3:

Report is sent to energy supply equipment management system, enterprise systems and production equipment management systems.

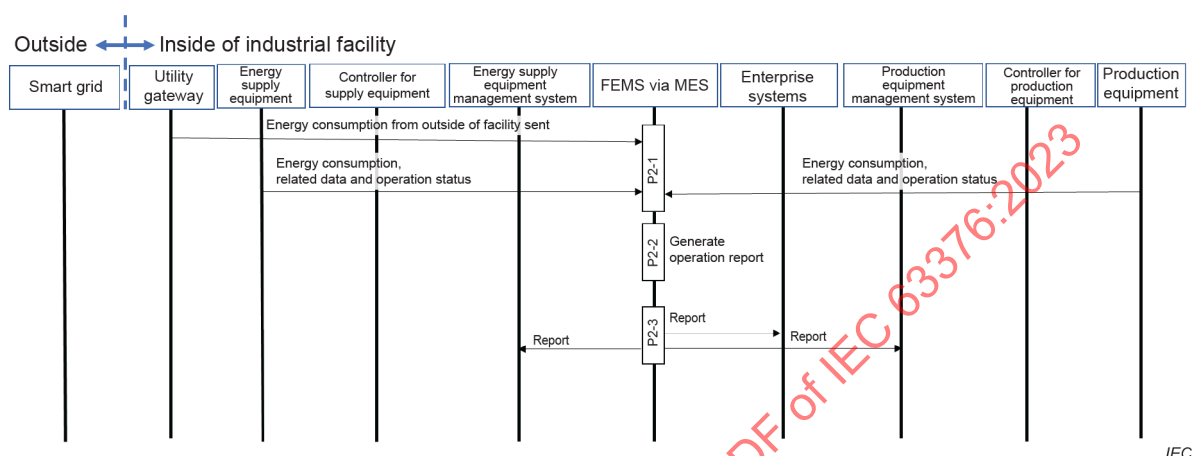


Figure A.5 – Sequence diagram of measurement and analysis of energy data

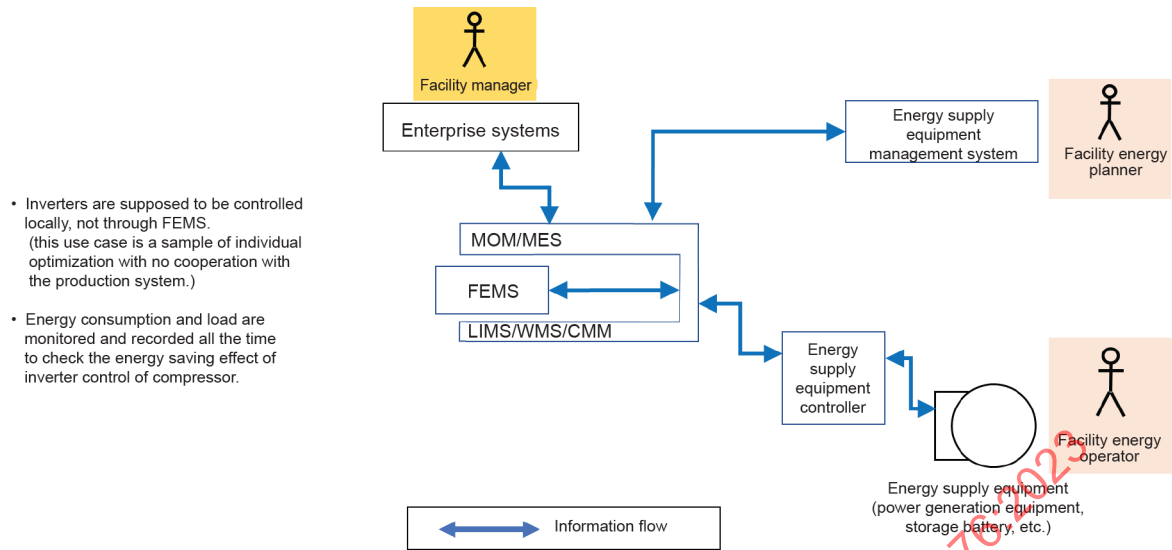
Table A.2 shows the functions included in each process.

Table A.2 – Functions included in a Process (Measurement and analysis of energy data)

Function		P2-1	P2-2	P2-3
1	Collection of actual and reference data	○		
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○		
3	Assumptions for unmeasured parameters	○		
4	Change detection in energy performance		○	
5	Estimation of causality			
6	Analysis of potential energy saving			
7	Derivation of operation strategy			
8	Validation of operation strategy and constraints			
9	Output operation strategies to other systems			
10	Report optimization result to operator/energy manager			○

A.2.4 Optimization of each unit

This is a use case for “Optimization of each unit (inverter control of compressor)”. FEMS receives information about energy consumption, relevant variables, and outputs of compressor through the controller. From results of the data from FEMS, facility managers suggest installing inverter control system to the compressor as action to improve energy efficiency of the compressor. Figure A.6 depicts the energy and data flow in the use case.



IEC

Figure A.6 – Optimization of each unit (inverter control of compressor)

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.7. FEMS performs the functions through the following four processes P3-1, P3-2, P3-3, and P3-4.

P3-1:

Energy consumption and related information such as discharge pressure, motor speed, etc. are collected from energy supply equipment. Collected data are stored in the FEMS database as time-stamped data.

P3-2:

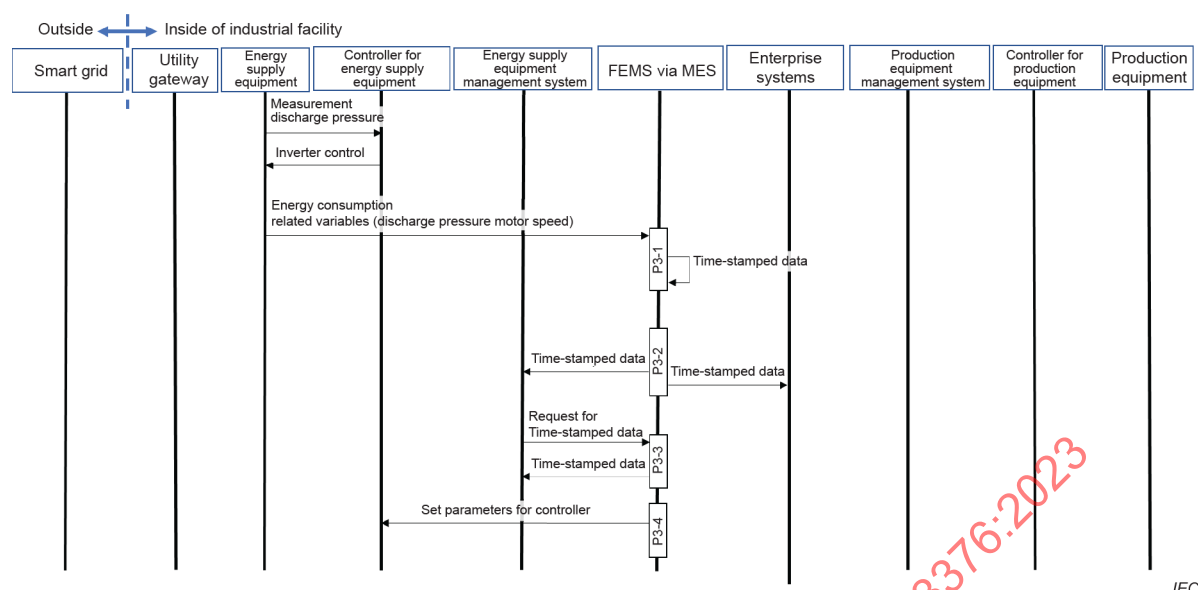
Time-stamped data are sent to energy supply management system and enterprise system.

P3-3:

Request for time-stamped data is sent to FEMS from energy supply equipment management system. Time-stamped data are sent back to energy supply equipment management system.

P3-4:

Set parameters are sent to controllers.



IEC

Figure A.7 – Sequence diagram of Optimization of each unit (inverter control of compressor)

Table A.3 shows the functions included in each process.

Table A.3 – Functions included in a Process (optimization of each unit (inverter control of compressor))

Function		P3-1	P3-2	P3-3	P3-4
1	Collection of actual and reference data	○			
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○			
3	Assumptions for unmeasured parameters	○			
4	Change detection in energy performance		○		
5	Estimation of causality		○		
6	Analysis of potential energy saving				
7	Derivation of operation strategy				○
8	Validation of operation strategy and constraints				
9	Output operation strategies to other systems				○
10	Report optimization result to operator/energy manager			○	

A.2.5 Optimization of each facility

This is a use case for “optimization of each facility (quantity control of compressor)”. FEMS receive energy consumption, relevant variables, and output of the compressor and pressured air demands of production systems as load. FEMS calculate and send setting parameter to make highest energy efficiency of the compressor corresponding the load change. Figure A.8 depicts the energy and data flow in the use case.

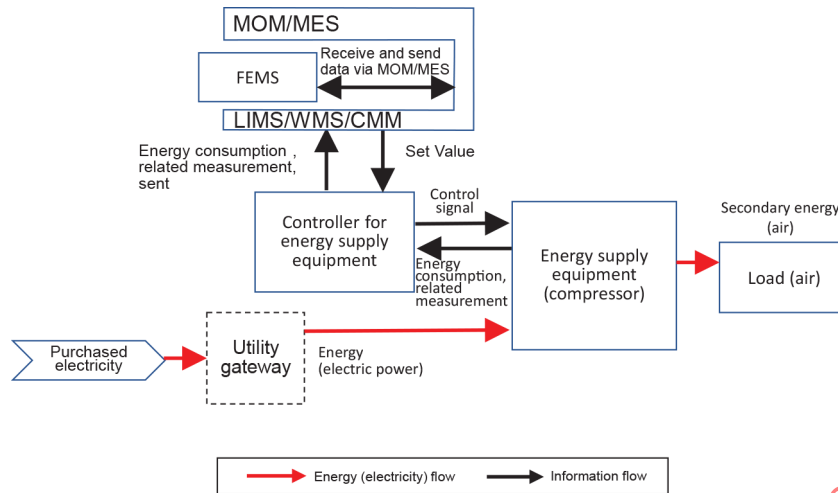


Figure A.8 – Optimization of each facility (quantity control of compressor)

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.9. FEMS performs the functions through the following three processes P4-1, P4-2, and P4-3.

P4-0: (In controller for energy supply equipment)

Production equipment sends the demand of compressed air to the controller of energy supply equipment. To meet the demand, necessary quantities of compressors are calculated by the controller and sent to the energy supply equipment as a control signal of quantity control of compressor.

P4-1:

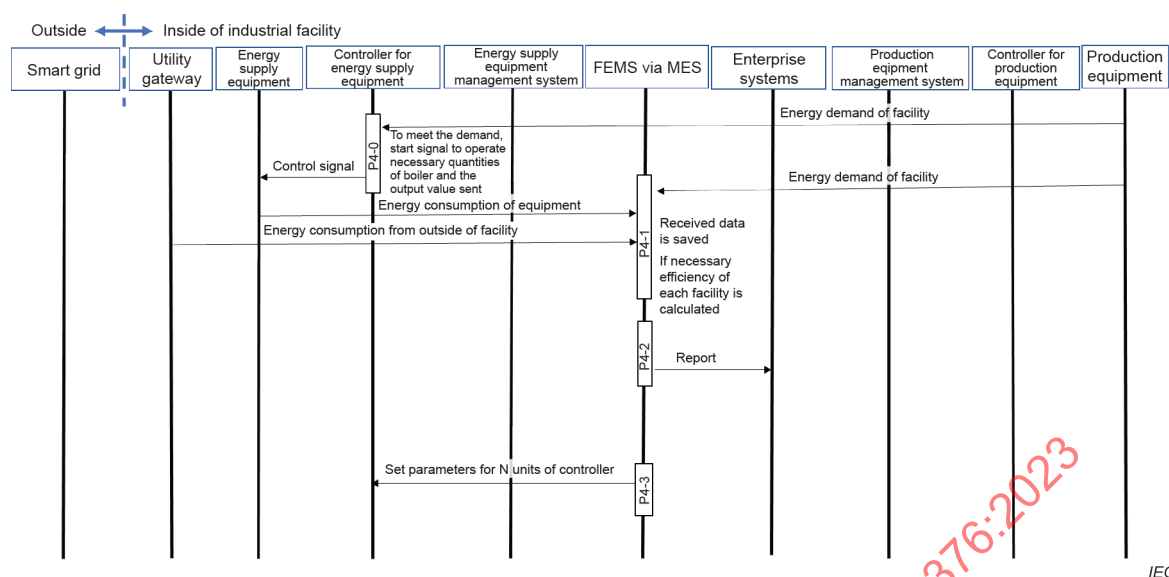
Energy consumption is collected from energy supply equipment. Consumption of energy from outside of facility is collected through utility gateway. Energy demand of facility is sent to the FEMS from Production equipment. Collected data are stored in the FEMS database. Energy efficiency is calculated if necessary.

P4-2:

Controlled data are reported to enterprise system for visualization of energy related information.

P4-3:

Set value for number of compressors to be driven out of N units are sent to controllers of energy supply equipment.



IEC

Figure A.9 – Sequence diagram of optimization of each facility (quantity control of compressor)

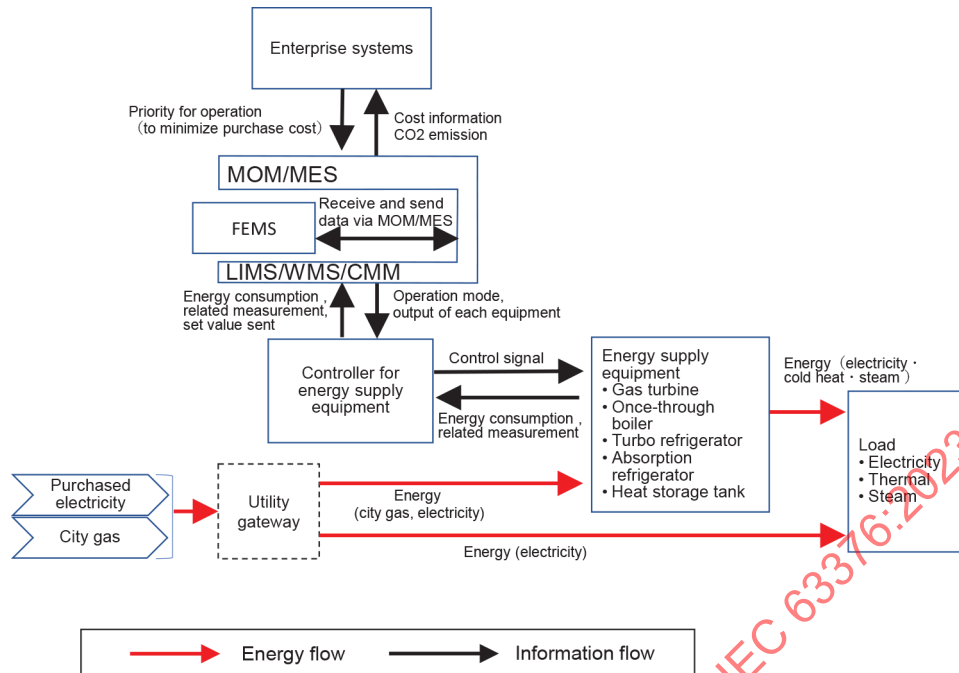
Table A.4 shows the functions included in each process.

Table A.4 – Functions included in a process (optimization of each facility (quantity control of compressor))

Function		P4-1	P4-2	P4-3
1	Collection of actual and reference data	○		
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○		
3	Assumptions for unmeasured parameters	○		
4	Change detection in energy performance	○		
5	Estimation of causality	○		
6	Analysis of potential energy saving			
7	Derivation of operation strategy			○
8	Validation of operation strategy and constraints			
9	Output operation strategies to other systems			○
10	Report optimization result to operator/energy manager		○	

A.2.6 Optimization of energy supply facility

This is a use case for “optimization of energy supply facility (supply-side RENKEI)”. FEMS receives information about energy consumption, relevant variables, and outputs of multiple energy supply equipment through each controller. FEMS calculate each energy performance of energy supply equipment and facility operation plan in which each load of them is changed appropriately in order to make total energy efficiency of the multiple equipment. Figure A.10 depicts the energy and data flow in the use case.



IEC

Figure A.10 – Optimization of energy supply facility (supply-side RENKEI)

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.11. FEMS performs the functions through the following five processes P5-1, P5-2, P5-3, P5-4, and P5-5.

P5-1:

FEMS receives energy consumption data outside of facility through utility gateway and MES. FEMS receives energy consumption data and related measurement data from energy supply equipment. Received data are stored in the FEMS database.

P5-2:

FEMS creates energy use models for each equipment (boundary).

P5-3:

Enterprise systems send the priority for energy use to FEMS.

FEMS creates facility operation plan based on the priority and energy use model.

FEMS sends the facility operation plan for getting the approval from energy supply equipment management system.

P5-4:

FEMS arranges the equipment operation plan for optimum operation based on the priority.

Arranged facility operation plan is sent to energy supply equipment management system.

FEMS sends setting parameters based on the arranged facility operation plan to controller for energy supply equipment. Controller for energy supply equipment sends control signals for supply equipment.

P5-5:

FEMS collects energy consumption data from energy supply equipment.

Energy consumption data outside of facility is collected through utility gateway.

FEMS makes report.

The report is sent to energy supply equipment management system and enterprise systems.

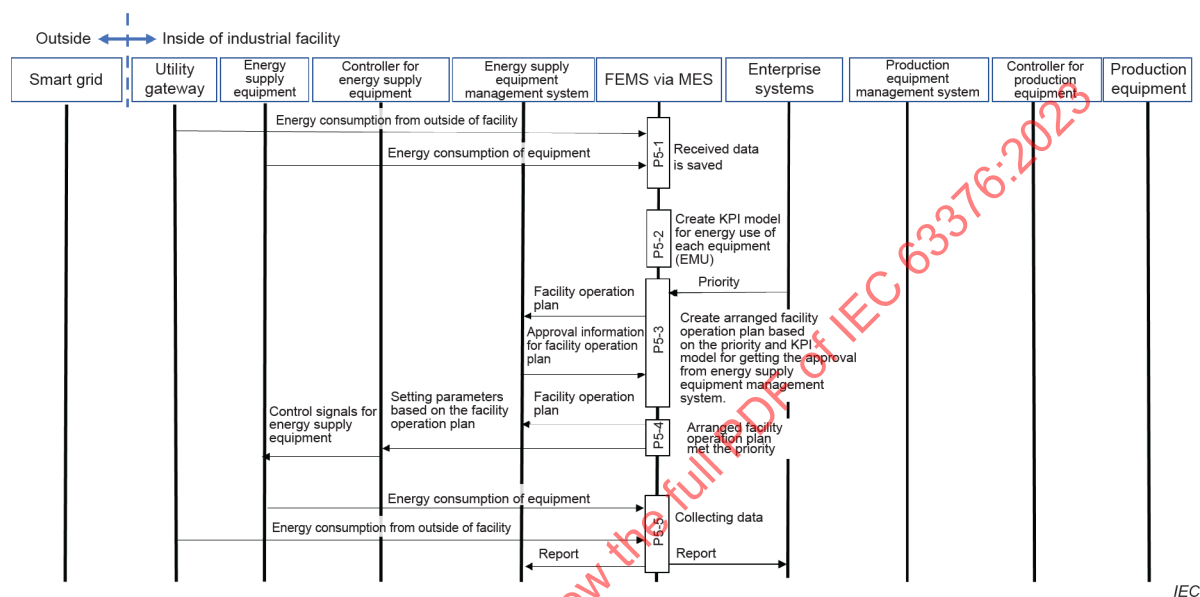


Figure A.11 – Sequence diagram of optimization of energy supply facility (supply-side RENKEI)

Table A.5 shows the functions included in each process.

Table A.5 - Functions included in a process (optimization of energy supply facility (Supply-side RENKEI)) Function

Functions		P5-1	P5-2	P5-3	P5-4	P5-5
1	Collection of actual and reference data	○				○
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○				○
3	Assumptions for unmeasured parameters	○				○
4	Change detection in energy performance		○			
5	Estimation of causality		○			
6	Analysis of potential energy saving			△		
7	Derivation of operation strategy				○	
8	Validation of operation strategy and constraints				○	
9	Output operation strategies to other systems				○	
10	Report optimization result to operator/energy manager			○		○

A.2.7 Overall optimization

Figure A.12 depicts the energy and data flow in the use case of “Overall optimization (demand and supply RENKEI)”.

This is a use case of demand and supply RENKEI applied for a VCM (Vinyl Chloride Monomer) plant.

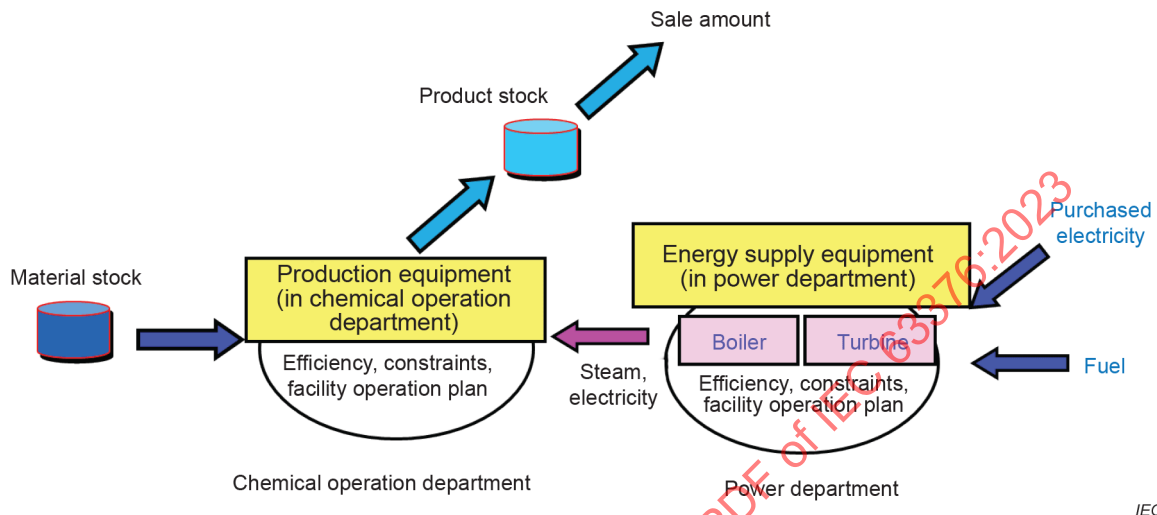


Figure A.12 – Overall optimization (demand and supply RENKEI)

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.13. FEMS performs the functions through the following nine processes P6-1 through P6-9.

P6-1:

FEMS collects predicted sales volume for the next month from enterprise system (ERP).

P6-2:

FEMS collects predicted stock volume for beginning of the month from enterprise system (ERP).

P6-3:

FEMS collects energy consumption of production process, production speed and related data from controllers for production equipment.

KPIs of boundary such as specific energy consumption of products, energy efficiency of production, etc. are calculated based on the collected data.

P6-4:

In order to generate a production plan, FEMS receives constraints and equipment operation schedule from production management system.

P6-5:

FEMS receives unit price of electricity and fuel expenses from energy supply equipment management system.

P6-6:

FEMS calculates the cost and efficiency of produced energy using the process data that are sent from controllers for supply equipment.

P6-7:

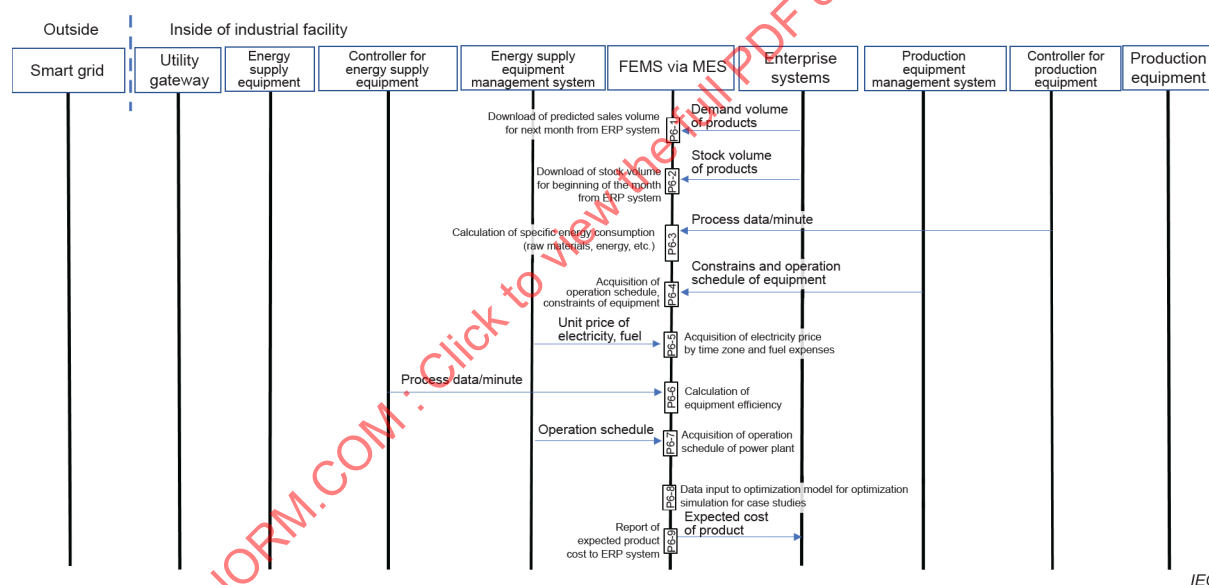
FEMS receives operation schedule from energy supply equipment management system and generates an appropriate facility operation plan for the production.

P6-8:

The simulation model for optimization is calculated using the data collected in the FEMS. The simulation model is used for other similar use cases.

P6-9:

FEMS sends a report about the results of cost of products and amount of raw materials to enterprise system (ERP).



IEC

Figure A.13 – Sequence diagram of overall optimization (demand and supply RENKEI)

Table A.6 shows the functions included in each process.

Table A.6 – Functions included in a process (overall optimization (demand and supply RENKEI))

Function		P6-1	P6-2	P6-3	P6-4	P6-5	P6-6	P6-7	P6-8	P6-9
1	Collection of actual and reference data	○	○	○		○	○			
2	Collection of manufacturing planning information and facility status	○	○	○		○	○			
3	Assumptions for unmeasured parameters	○	○	○		○	○			
4	Change detection in energy performance			○				○		
5	Estimation of causality				○					
6	Analysis of potential energy saving				△					
7	Derivation of operation strategy				○					
8	Validation of operation strategy and constraints								○	
9	Output operation strategies to other systems								○	
10	Report optimization result to operator/energy manager									○

A.2.8 Energy Source optimization – Economics/renewables

This is a use case for managing the variability associated with alternative / renewable energy supplies with overall system balancing to align the tools for matching supply and demand in this variable supply scenario by increasing the frequency at which demand, and supply information is exchanged.

A shift towards increased use of alternative energy sources which tend towards greater variation in supply as well as being regionally distributed from the demand introduces additional stress on overall system reliability. One consequence of these factors is a growth in the price volatility.

As shown in Figure A.14 spatial separation puts stress on the existing grid infrastructure, which was originally designed in and for a world in which power plants were located close to consumption centres. This impacts supply and losses.

Future energy systems require new sources of temporal and spatial flexibility. Temporal flexibility will better align electricity demand to supply, spatial flexibility is needed to transport electricity from locations where energy is supplied to locations where energy is consumed.

Research for example by Heffron et al, knows several options to increase the flexibility of a system, for example: (1) supply-side flexibility; (2) storage flexibility; (3) transmission flexibility, i.e., grid expansion; (4) demand side flexibility; and (5) inter-sectoral flexibility.

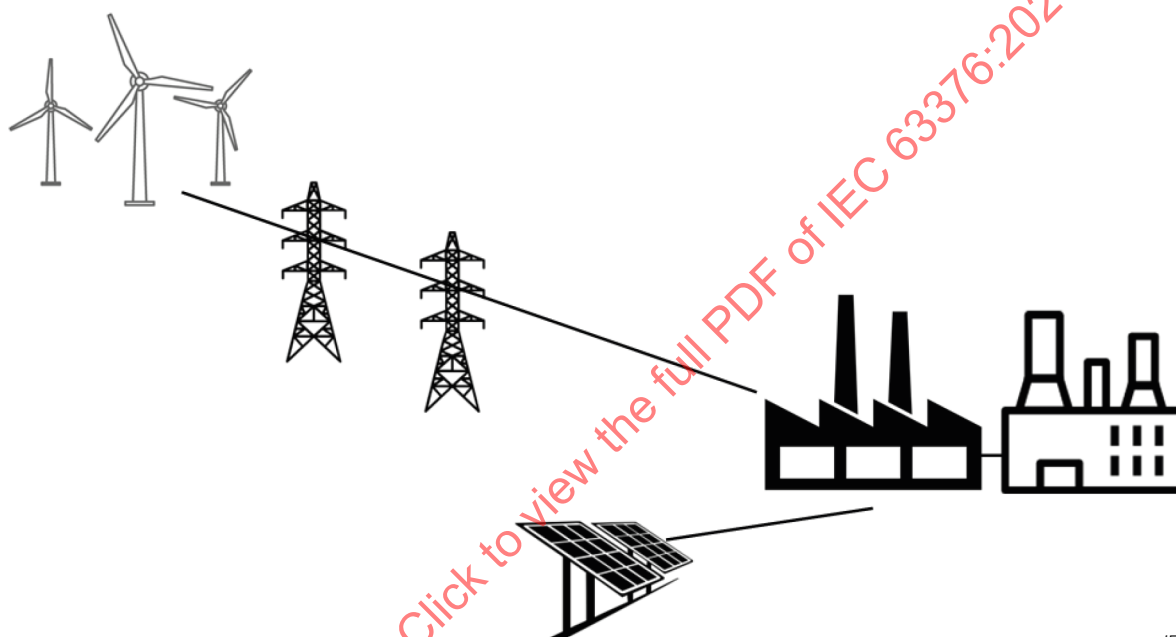
The spatial flexibility problem (options 2 and 3) is one of geography and cannot be addressed through automation / FEMS. The remaining options can be at least partially addressed with FEMS technology.

Changes in the supply/demand times to include increased frequency of updates by for instance reducing the update period by 4 from 1 hour to 15 minutes will compensate for intra-hour volatility due to for instance changes in environmental conditions (wind speed, solar radiation, etc.).

This requires changes to communication infrastructure and security. To be able to verify whether the contractually defined power profile was supplied or consumed, it will be essential to measure the average power amount more accurately in the contracted trading period, but also better measure the realized power values within the trading period.

With supply being increasingly less flexible, the demand side must somehow increase its flexibility to ensure a balance of demand and supply at all locations and times. FEMS can provide certain industries the flexibility to align with the supply side as a function of their process and /or incremental investments to store and release energy thus reducing the effects of this variability in supply.

Companies with greater flexibility will be at a potential competitive advantage at least with respect to their energy supply.



IEC

Figure A.14 – Alternative energy sources

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.15. FEMS performs the functions through the following eight processes P7-1 through P7-8.

P7-1: FEMS downloads predicted sales volume for the next period (this can be the daily as well as hourly and higher frequency from energy retailers by enterprise system (ERP)).

NOTE 1 Separate transactions/download will likely be required for each time period.

P7-2: FEMS downloads predicted shift production profile during period(s) from enterprise system (ERP).

P7-3: FEMS calculates the cost and efficiency of required production energy using the process data that are sent from controllers for supply equipment.

P7-4: FEMS calculates available flexibility in production against constraints and equipment operating schedule.

P7-5: FEMS receives updated real time energy prices

P7-6: Using developed simulation model, FEMS calculates arranged facility operation plan within operations steady state constraints.

NOTE 2 Steady state considerations include impact(s) on equipment life, process efficiency due to any induced stop/start or cycling.

P7-7: FEMS sends a report about the results of cost of products and amount of raw materials to enterprise system (ERP).

P7-8: Repeat steps P7-5 through P7-7 until next period update (P7-1).

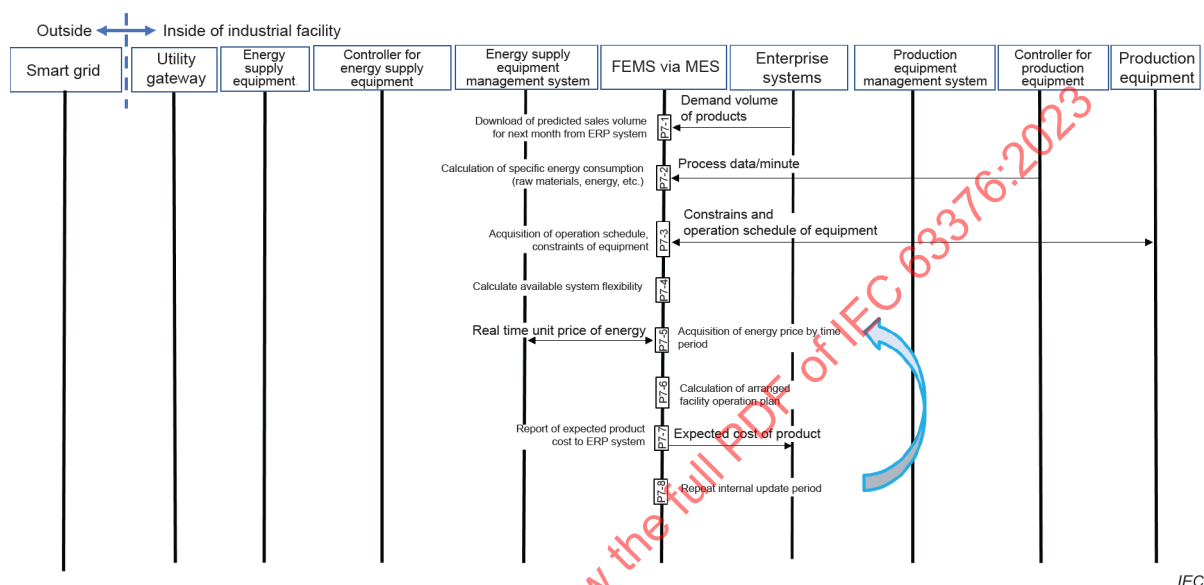


Figure A.15 – Sequence diagram for energy source optimization

Table A.7 shows the functions included in each process.

Table A.7 – Functions included in an energy optimization process

Function		P7-1	P7-2	P7-3	P7-4	P7-5	P7-6	P7-7	P7-8
1	Collection of actual and reference data	○	○			○			○
2	Collection of manufacturing planning information and facility status		○	○			○	○	○
3	Assumptions for unmeasured parameters			○	○		○		
4	Change detection in energy performance			○	○			○	○
5	Estimation of causality			○	○		○	○	○
6	Analysis of potential energy saving			△	△		△	△	△
7	Derivation of operation strategy			○	○		○	○	○
8	Validation of operation strategy and constraints			○	○		○	○	○
9	Output operation strategies to other systems			○	○		○	○	○
10	Report optimization result to operator/energy manager			○	○		○	○	○

A.2.9 Energy Profile

Figure A.16 depicts different energy profiles for the supply (a to f) and demand (a to e) of an average unit of time for the “energy profile” use case. Historically and as shown in the figures the unit of time has been one hour, however as suggested in this and other use cases due to the variable nature of alternative energy sources and the capability of networked FEMS, this time period can now be any period agreed upon by the data exchange participants.

Because the grid is rapidly affected by changes in supply which needs to be matched to demand, trade should no longer be exclusively based on the average energy quantity, but that an additional inclusion of the power profile p_t within a given trading period $[t, t + \Delta]$ may be incorporated for dealing with increased fluctuations in the future power system.

Sample exchange power profiles based on work by Fridgen et al [4], are shown in Figure A.16 and are all ‘equivalent’ to the average power as shown by the dashed line profile. The individual profiles presented are:

- a) Constant – steady power rate through the complete time period
- b) Constantly increasing – rate of power increases linearly through the period
- c) Constantly decreasing – rate of power decreases linearly through the period
- d) Short term peak – Short high-power peak during a portion of the time period t , shown at the start of the period but can be at any point during the time period.
- e) Exponential – this is typical of wind turbines which vary as the wind speed cubed, when wind changes between the minimum and maximum operating range. This curve can be increasing and decreasing.
- f) Fluctuating – representative of changes over an aggregate such as a wind farm or solar array with changing cloud cover which to the grid appears as ‘ripples’ against the selected time period.

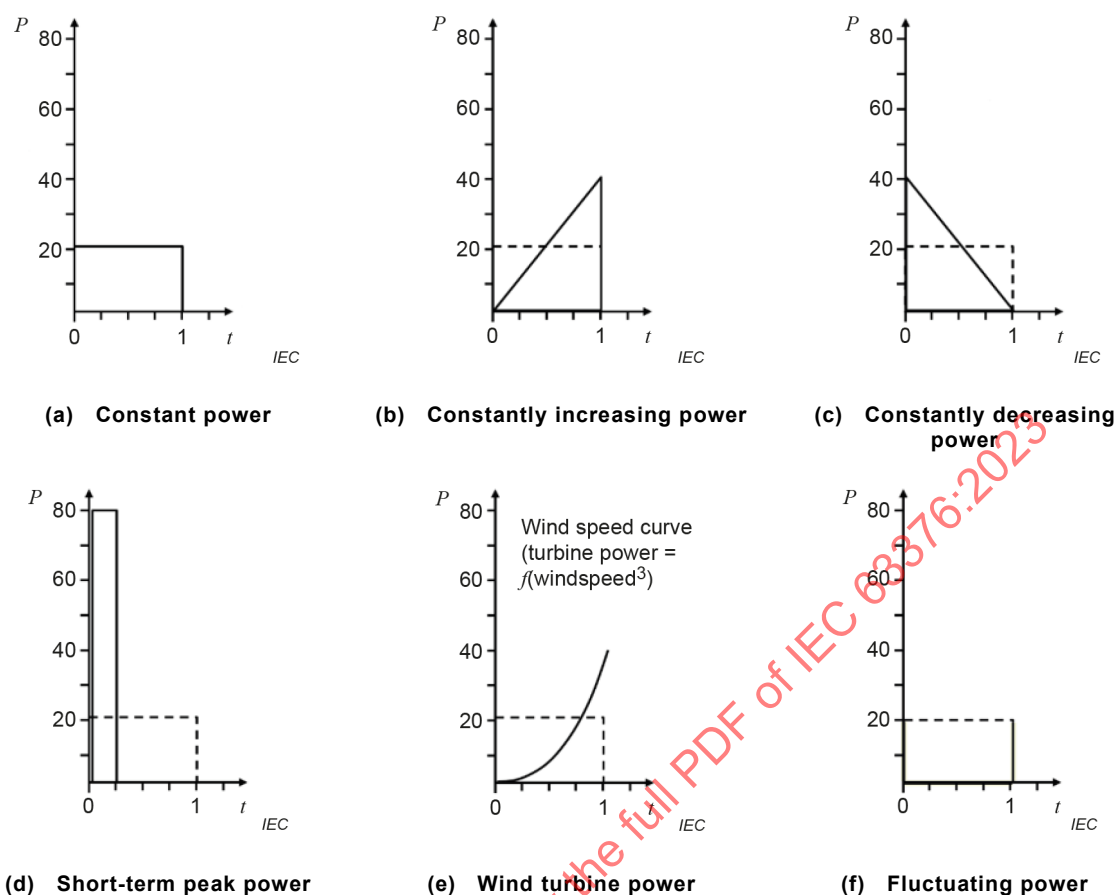


Figure A.16 – Alternative energy profiles

The sequence diagram of this use case is shown in Figure A.17.

FEMS performs the functions through the following nine processes P8-1 through P8-8.

P8-1: FEMS downloads predicted sales volume for the next period (this can be the daily as well as hourly and higher frequency from energy retailers by enterprise system (ERP).

NOTE 1 Separate transactions/download will likely be required for each time period.

P8-2 FEMS downloads predicted shift production profile during period(s) from enterprise system (ERP).

P8-3: FEMS calculates KPI definitions such as the cost and efficiency of required production energy using the process data that are sent from controllers for supply equipment.

P8-4: FEMS calculates arranged facility operation plan against constraints and equipment operating schedule.

P8-5: FEMS receives updated real time energy availability / profile

P8-6: Using KPI definition, FEMS calculates arranged facility operation plan within operations steady state constraints.

NOTE 2 Steady state considerations include impact(s) on equipment life, process efficiency due to any induced stop/start or cycling.

P8-7: FEMS sends a report about the results of cost of products and amount of raw materials to enterprise system (ERP).

P8-8: Repeat steps P8-5 through P8-7 until next period update (P8-1).

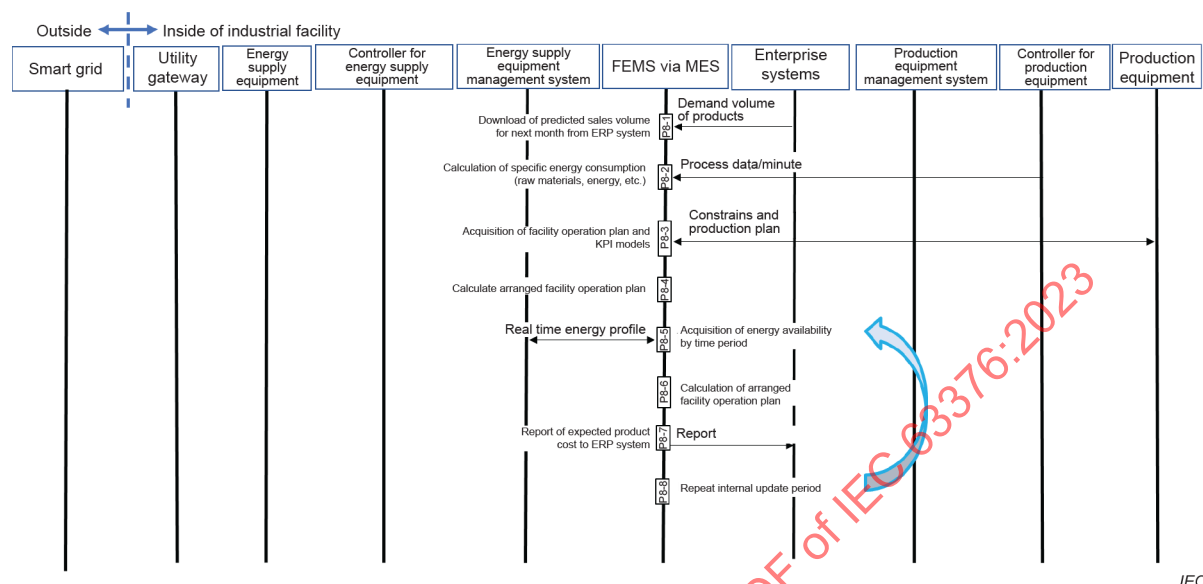


Figure A.17 – Sequence diagram for energy profile optimization

Table A.8 shows the functions included in each process.

Table A.8 – Functions included in an Energy Profiles Optimization Process

Function		P8-1	P8-2	P8-3	P8-4	P8-5	P8-6	P8-7	P8-8
1	Collection of actual and reference data	○	○			○			○
2	Collection of manufacturing planning information and facility status		○	○			○	○	○
3	Assumptions for unmeasured parameters			○	○		○		
4	Change detection in energy performance			○	○			○	○
5	Estimation of causality			○	○		○	○	○
6	Analysis of potential energy saving			△	△		△	△	△
7	Derivation of operation strategy			○	○		○	○	○
8	Validation of operation strategy and constraints			○	○		○	○	○
9	Output operation strategies to other systems			○	○		○	○	○
10	Report optimization result to operator/energy manager			○	○		○	○	○

Annex B (informative)

Interface to exchange information for FEMS

B.1 Energy Storage System (ESS)

As a business continuity plan (BCP) for risk management in the event of an emergency, there are cases where energy storage systems are introduced in addition to emergency power supplies. There are cases where energy storage systems are installed as a countermeasure against power outages caused by natural disasters, momentary power outages during lightning strikes, and momentary power outages.

In the past, storage battery systems were installed for the purpose of BCP, but with the spread of lithium-ion battery energy storage systems with excellent install ability and charge / discharge cycle life, ESS is aimed at improving the energy self-sufficiency rate and reducing energy costs. The number of factories that install the system is increasing.

Electricity charges include contracted electricity charges, which are determined based on the highest electricity demand, and metered electricity charges, which are charged for the amount of electricity used. As for the contracted electricity rate, the contracted electricity rate (\$ / kW / month) is often determined by the maximum electricity based on the highest electricity of the year. The metered electricity charge (\$ / kWh) may change depending on the time of day or the amount of electricity used during a fixed period. Recently, the liberalization of electricity trading has caused electricity prices to fluctuate in real time.

The reasons for introducing ESS to the factory are as follows:

- Business Continuous Plan Measures against power outages, momentary power outages, and momentary lows,
- Reduction of metered electricity charges due to peak shift,
- Smoothing energy by utilizing renewable energy, etc.
- Improvement of self-sufficiency rate,
- Reduction of contract electricity charges by peak cut,
- Correspondence to DR.

Figure B.1 shows the signal exchange diagram of the ESS and FEMS.

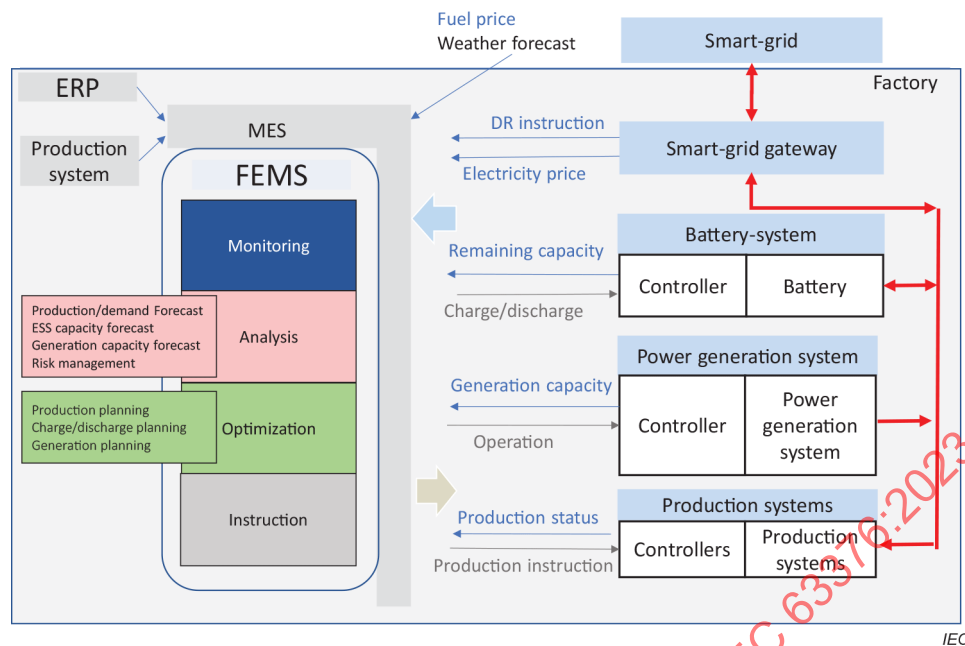


Figure B.1 – Signal exchange diagram of the ESS and FEMS

B.2 Peak shift

The electricity price has a metered electricity rate that is proportional to the amount of electricity used. The metered electricity rate is set high when demand is high and low when demand is low, from the viewpoint of power system management, which is the purpose of levelling grid power. As a result, the peak is suppressed. Shifting the peak of demand during the person's time zone to a time when the charge is cheap by shifting the usage time of electricity using a storage battery is called a peak shift. In addition, when a photovoltaic power generation system is installed in a factory, the energy self-sufficiency rate can be improved, and the peak can be suppressed by storing the surplus power in the daytime in a storage battery and using it at night. Recently, due to the liberalization of electricity trading, fluctuations in electricity prices fluctuate in real time, so a real-time monitor of electricity prices is required.

Figure B.2 shows the flow during peak shift execution.

In this example, the unit price of electric power is monitored, the storage battery is charged at a time when the price is low, and the storage battery is discharged at a time when the price is high. Energy storage systems have a finite charge / discharge capacity, and it is important to manage the time required for charging / discharging. FEMS requires functions that link demand forecasting with charge / discharge planning, control, and instructions.

Peak shift

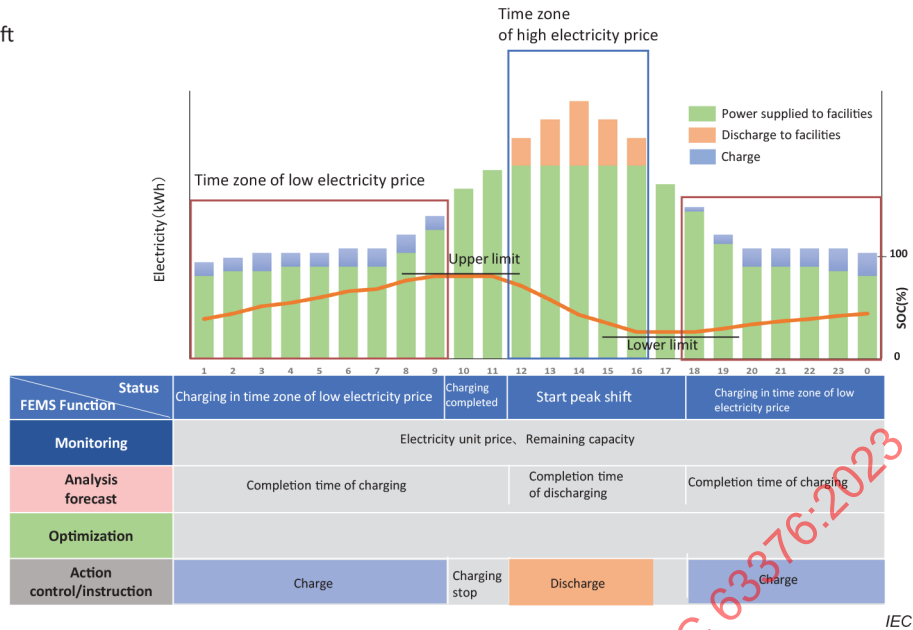


Figure B.2 – Energy flow during peak shift

B.3 Peak shaving

The electricity price has a contract electricity rate that is determined by the peak value of the electricity demand of the factory. Lowering the contracted electricity rate by cutting the peak demand is called peak Shaving. In this case, it is important for FEMS to have a function of grasping the charge / discharge plan of the storage battery, the remaining capacity of the ESS, the charge / discharge possible time, etc., and linking the production plan with the demand forecast / plan. Figure B.3 shows the flow when peak Shaving is executed. If ESS is not introduced, it has been realized by shifting the production plan so that FEMS predicts demand and reduces peaks, but with the introduction of ESS, a significant reduction effect can be obtained, or the production plan can be obtained. It becomes possible to reduce the influence on.

Peak shaving

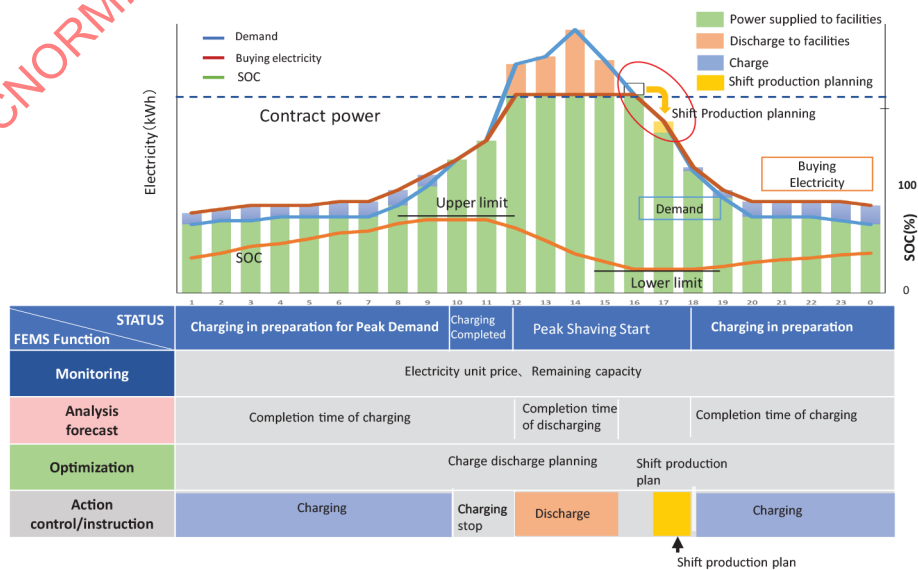


Figure B.3 – Peak shaving energy flow

B.4 Other Functions

B.4.1 General

Current energy storage systems are expensive. It is necessary to maximize the effect with a small installation capacity. FEMS will need functions to understand environmental conditions, production plans, cooperation with batteries, and characteristics of energy storage systems to maximize their effects.

B.4.2 Battery operating time forecast

To make effective use of the storage battery system, it is necessary to know the exact remaining capacity and operating time. The remaining capacity that can be used differs depending on whether the battery is operated at a high rate or at a low rate. It may be necessary to have more accurate operating time as a function of FEMS according to the operating conditions.

B.4.3 Battery life monitoring

The characteristics of energy storage systems deteriorate depending on the number of charge / discharge cycles and operating time. Conditions that are prone to deterioration differ depending on the type of battery. For example, lead-acid batteries are supposed to be used when fully charged, but lithium-ion batteries deteriorate when left fully charged. It is a problem to keep the battery fully charged for BCP purposes at all times. In this way, FEMS may also be required for the function of grasping the characteristics of the battery and operating it.

B.4.4 Function update

It is necessary to upgrade the FEMS function according to the electricity demand trend and the review of the electricity price system.

Bibliography

- [1] IEC 61850:2021, *Communication networks and systems for power utility automation* (all parts)
- [2] IEC 62872-2:2022, *Industrial-process measurement, control and automation – Part 2: Internet of Things (IoT) – Application framework for industrial facility demand response energy management*
- [3] World Energy Outlook 2020, International Energy Agency, 2020
- [4] The search for the perfect match: Aligning power-trading products to the energy transition, Gilbert Fridgen et al, Energy Policy 144 (2020) 111523
- [5] Model predictive control for energy management of a plug-in hybrid electric bus, Hongwen He, Jieli Zhang, Gaopeng Li, CUE2015-Applied Energy Symposium and Summit 2015

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	76
INTRODUCTION.....	78
1 Domaine d'application	80
2 Références normatives	80
3 Termes et définitions et abréviations	80
3.1 Termes et définitions	81
3.2 Abréviations.....	82
4 Généralités.....	83
4.1 Activités de gestion d'énergie dans les installations industrielles	83
4.2 Structure hiérarchique d'un système de fabrication d'entreprise.....	84
4.2.1 Niveaux des entreprises manufacturières et des activités	84
4.3 Système de gestion d'énergie dans une entreprise manufacturière	85
4.4 Rôle du FEMS et son extension	86
4.4.1 Rôle du FEMS	86
4.4.2 Extension du rôle du FEMS	87
4.4.3 Normalisation internationale	87
4.5 Relation entre le FEMS et les autres systèmes	88
4.5.1 Relation entre le FEMS et les autres systèmes	88
4.5.2 FEMS et système de production	89
4.5.3 Gestion et optimisation	91
4.6 Échange d'informations.....	91
4.6.1 Frontière du système	91
4.6.2 À l'intérieur et à l'extérieur de l'installation	93
4.7 Confidentialité des données.....	94
4.7.1 Généralités.....	94
4.7.2 Sécurité de l'information	95
5 Description des fonctions du FEMS	96
5.1 Catégories de fonctions du FEMS	96
5.2 Flux de données de la catégorie "Surveillance"	98
5.2.1 Généralités.....	98
5.2.2 Collecte des données actuelles et de référence	99
5.2.3 Collecte d'informations relatives à la planification de la fabrication et de l'état de l'installation	100
5.3 Flux de données de la catégorie "Analyse"	101
5.3.1 Généralités.....	101
5.3.2 Hypothèse concernant les paramètres non mesurés	103
5.3.3 Détection d'une variation de la performance énergétique.....	103
5.3.4 Estimation de la causalité	104
5.3.5 Analyse de l'économie d'énergie potentielle	105
5.4 Flux de données de la catégorie "Optimisation"	106
5.4.1 Généralités.....	106
5.4.2 Validation de la stratégie d'exploitation et des contraintes	107
5.4.3 Élaboration de la stratégie d'exploitation	108
5.5 Flux de données de la catégorie "Instruction".....	108
5.5.1 Généralités.....	108
5.5.2 Transmission des résultats de l'optimisation à l'opérateur/au responsable énergie	109

5.5.3	Communication des stratégies d'exploitation à d'autres systèmes	110
6	Classification du FEMS.....	111
7	Réponse à la demande du FEMS.....	116
7.1	Réponse à la demande	116
7.2	FEMS et réponse à la demande fondée sur les incitations	117
7.3	FEMS et réponse à la demande fondée sur le prix	117
Annexe A	(informative) Cas d'utilisation du FEMS	120
A.1	Acteurs du FEMS	120
A.2	Cas d'utilisation du FEMS	122
A.2.1	Généralités	122
A.2.2	Sélection des cas d'utilisation.....	123
A.2.3	Mesure et analyse des données énergétiques (visualisation).....	124
A.2.4	Optimisation de chaque unité.....	126
A.2.5	Optimisation de chaque installation	127
A.2.6	Optimisation de l'installation d'approvisionnement énergétique.....	129
A.2.7	Optimisation globale	132
A.2.8	Optimisation des sources d'énergie – économie/sources renouvelables.....	135
A.2.9	Profil énergétique	138
Annexe B	(informative) Interface d'échange d'informations pour le FEMS	141
B.1	Système de stockage de l'énergie (ESS)	141
B.2	Décalage de pic	142
B.3	Écrêtage de pic.....	143
B.4	Autres fonctions	144
B.4.1	Généralités	144
B.4.2	Prévision de l'autonomie des batteries.....	144
B.4.3	Surveillance de la durée de vie des batteries	144
B.4.4	Mise à jour de fonction	144
Bibliographie		145
Figure 1	– Caractéristiques des systèmes HEMS, BEMS et FEMS	83
Figure 2	– Hiérarchie fonctionnelle.....	84
Figure 3	– Extension du modèle hiérarchique du matériel à base de rôles	85
Figure 4	– Configuration d'intégration de plusieurs FEMS	86
Figure 5	– Extension du rôle du FEMS	87
Figure 6	– Relations entre le FEMS et les autres systèmes.....	88
Figure 7	– Modèle hiérarchique d'un système de production	90
Figure 8	– Régulateur à entrées multiples, sorties multiples.....	91
Figure 9	– Structure hiérarchique du système intégré de production d'entreprise	93
Figure 10	– Exemple d'échange d'informations avec l'intérieur et l'extérieur de l'installation	94
Figure 11	– Normes relatives à la sécurité des systèmes d'automatisation et de commande industrielles (IACS) de l'IEC 62443	95
Figure 12	– Catégories de fonctions du FEMS et cycle d'amélioration de la performance énergétique	96
Figure 13	– Relations entre les fonctions du FEMS et les autres systèmes	98
Figure 14	– Fonctions classées dans la catégorie "Surveillance" et flux de données associés du FEMS	99

Figure 15 – Fonctions classées dans la catégorie "Analyse" et flux de données liées au FEMS.....	102
Figure 16 – Fonctions classées dans la catégorie "Optimisation" et flux de données associés du FEMS	107
Figure 17 – Fonctions classées dans la catégorie "Instruction" et flux de données liés au FEMS.....	109
Figure 18 – Carte tridimensionnelle du FEMS	113
Figure 19 – Approche générale commune à ce jour pour la gestion de la réponse à la demande du réseau	117
Figure 20 – Relation de correspondance entre ces sept FC et les fonctions du FEMS	119
Figure A.1 – Diagramme de communication générique entre le réseau intelligent et le FEMS	120
Figure A.2 – Représentation des cas d'utilisation sur le modèle tridimensionnel du FEMS	123
Figure A.3 – Relations entre le modèle de l'IEC 62264 (ISA 95) et les cas d'utilisation du FEMS.....	124
Figure A.4 – Mesure et analyse des données énergétiques.....	124
Figure A.5 – Diagramme de séquence de mesure et d'analyse des données énergétiques.....	125
Figure A.6 – Optimisation de chaque unité (commande de compresseur par onduleur)	126
Figure A.7 – Diagramme de séquence d'optimisation de chaque unité (commande de compresseur par onduleur)	127
Figure A.8 – Optimisation de chaque installation (commande de compresseur par quantité)	128
Figure A.9 – Diagramme de séquence d'optimisation de chaque installation (commande de compresseur par quantité)	129
Figure A.10 – Optimisation de l'installation d'approvisionnement énergétique (RENKEI côté offre)	130
Figure A.11 – Diagramme de séquence d'optimisation de l'installation d'approvisionnement énergétique (RENKEI côté offre)	131
Figure A.12 – Optimisation globale (RENKEI de l'offre et de la demande).....	132
Figure A.13 – Diagramme de séquence d'optimisation globale (RENKEI de l'offre et de la demande).....	134
Figure A.14 – Sources d'énergie alternatives	136
Figure A.15 – Diagramme de séquence d'optimisation des sources d'énergie	137
Figure A.16 – Profils d'énergies alternatives	139
Figure A.17 – Diagramme de séquence d'optimisation du profil énergétique	140
Figure B.1 – Diagramme d'échange de signaux de l'ESS et du FEMS.....	142
Figure B.2 – Flux d'énergie pendant un décalage de pic	143
Figure B.3 – Flux d'énergie pendant un écrêtage de pic.....	143
Tableau 1 – Description des catégories de fonctions du FEMS	96
Tableau 2 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Surveillance"	99
Tableau 3 – Entrée et sortie de données des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Analyse".....	102
Tableau 4 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Optimisation"	106

Tableau 5 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Instruction"	109
Tableau 6 – Description des "niveaux d'automatisation"	111
Tableau 7 – Relation entre le niveau d'automatisation et la fonction	113
Tableau 8 – Relations entre les FC de l'IEC 62872-2 [2] et les fonctions du FEMS	119
Tableau A.1 – Acteurs et rôles	121
Tableau A.2 – Fonctions incluses dans un processus (Mesure et analyse des données énergétiques)	125
Tableau A.3 – Fonctions incluses dans un processus (Optimisation de chaque unité (commande de compresseur par onduleur))	127
Tableau A.4 – Fonctions incluses dans un processus (Optimisation de chaque installation (commande de compresseur par quantité))	129
Tableau A.5 – Fonctions incluses dans un processus (Optimisation de l'installation d'approvisionnement énergétique (RENKEI côté offre))	132
Tableau A.6 – Fonctions incluses dans un processus (Optimisation globale (RENKEI de l'offre et de la demande))	134
Tableau A.7 – Fonctions incluses dans un processus d'optimisation de l'énergie	137
Tableau A.8 – Fonctions incluses dans un processus d'optimisation des profils énergétiques	140

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈME DE GESTION D'ÉNERGIE DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES (FEMS) – FONCTIONS ET FLUX D'INFORMATIONS

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'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.

La Norme internationale IEC 63376 a été établie par le comité d'études CE 65 de l'IEC: Mesure, commande et automation dans les processus industriels.

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

Projet	Rapport de vote
65/995/FDIS	65/1014/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 internationale.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, et 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,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

INTRODUCTION

La croissance économique s'accompagne d'une hausse de la consommation d'énergie dans le monde. En revanche, la consommation d'énergie des pays de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) n'augmente plus. D'après le Panorama 2020 de l'énergie mondiale [3], la demande énergétique dans les pays de l'OCDE décline depuis 2007 avec une augmentation continue de leur produit intérieur brut. D'autre part, la consommation d'énergie dans les pays en développement a progressé à la fois en matière de taux de croissance et de valeur. L'énergie consommée par le secteur industriel représente plus de 50 % de la consommation totale et elle devrait augmenter d'environ 10 % entre 2018 et 2030. Bien que le taux de croissance de la demande énergétique soit inférieur à celui indiqué dans le rapport publié en 2012, cette augmentation suscite de vives inquiétudes quant à l'impact environnemental et présente des opportunités en matière de gestion de l'énergie. Pour maîtriser le réchauffement climatique, les énergies issues de ressources renouvelables augmenteront à l'échelle mondiale. La part des énergies renouvelables par rapport à la demande totale passera d'environ 30 % en 2019 à près de 40 % en 2030. Les extrants des sources d'énergie renouvelables telles que le photovoltaïque solaire, l'éolien, etc., exigent une régulation de puissance afin de gérer l'intégration dans le réseau global. Les installations industrielles sont les principaux consommateurs d'énergie, mais aussi les principaux producteurs d'énergie. Il est donc attendu du secteur industriel qu'il joue un rôle prépondérant pour satisfaire aux réglementations de puissance du réseau intelligent en utilisant des énergies renouvelables pour la décarbonation. Par conséquent, il est très urgent que le secteur industriel déploie des systèmes de gestion d'énergie visant à améliorer le rendement énergétique pour soutenir la décarbonation de la société.

La gestion de l'énergie dans les industries manufacturières est liée à la production et, selon l'industrie, l'éventail des exigences à satisfaire peut être très large. À ce jour, des systèmes de gestion d'énergie ont été développés sur mesure pour/par chaque entreprise, puis améliorés sur la base d'expériences pratiques, ce qui a permis de les personnaliser davantage. Il existe donc de nombreux EMS différents pour chaque organisme. Comme la coordination entre organismes apparentés devient nécessaire pour le fonctionnement optimal de chaque installation, les fonctions d'un système de gestion d'énergie de l'installation industrielle (FEMS) doivent être normalisées afin d'exploiter les bénéfices d'une meilleure utilisation des énergies disponibles au sein des entreprises et entre les organismes.

Les systèmes de production ont une structure hiérarchique organisée en plusieurs couches telles que Planification des ressources de l'entreprise (ERP), Gestion des opérations de fabrication (MOM) / Systèmes d'exécution de la fabrication (MES) et Contrôle. Un FEMS peut avoir été installé parallèlement à chaque couche du système de production à des fins de communication. Comme le système de production est intégré pour une optimisation globale, une extension de la frontière du FEMS pour l'intégration horizontale et/ou verticale du FEMS est également exigée afin d'accéder à cette structure de système de production intégrée.

Pour l'optimisation globale, l'exécution du système de production est soumise à des contraintes multiples telles que la sécurité, le coût, la qualité des produits, le calendrier de production, les exigences du marché, l'énergie et d'autres aspects spécifiques à l'industrie et à l'application. Ces multiples contraintes sont hiérarchisées en fonction de la situation commerciale et utilisées comme fonctions objectifs pour l'optimisation. Étant donné la complexité et la variabilité continue des conditions de fonctionnement pratiques, les fonctions objectifs pour l'optimisation, dans la plupart des cas, sont manuellement définies dans le système de production par un ingénieur ou un opérateur expérimenté qui a une connaissance approfondie de l'opération concernée. Les FEMS assistent ces personnes en leur fournissant les informations nécessaires à leurs processus décisionnels pendant l'opération.

Comme un FEMS a besoin de collecter des informations liées à l'énergie dans de nombreux types de systèmes de production, MOM/MES et ERP, le volume d'informations a considérablement augmenté. Il est nécessaire de clarifier les informations et les fonctions nécessaires à la gestion de l'énergie. Il est également nécessaire d'automatiser les processus d'exécution des fonctions du FEMS, y compris les processus décisionnels, si possible en vue d'une optimisation.

Les technologies d'automatisation qui incluent la modélisation, la simulation, l'Intelligence Artificielle (IA) et autres, permettent d'automatiser le processus d'optimisation, en réduisant ainsi les opérations/interventions manuelles. Les FEMS fournissent les fonctions et informations nécessaires à l'optimisation susmentionnée.

Il est nécessaire de définir les fonctions des FEMS dans le cadre d'une Norme internationale afin d'améliorer l'interconnectivité entre les FEMS et les autres systèmes associés. Le présent document propose de définir les fonctions, les flux d'informations et la classification des FEMS en fonction du niveau de réalisation des capacités des FEMS. Le niveau d'automatisation des fonctions des FEMS sera un facteur permettant de définir la classification. Le niveau fournira à la direction une motivation et une voie de progression échelonnée à travers la classification. La norme résultante relative aux FEMS accroît la complexité du contrôle dans les processus et les complexes industriels de manière à pouvoir améliorer l'optimisation de l'exploitation des installations. De plus, l'échange d'informations entre le FEMS et d'autres systèmes tels que MOM/MES et ERP sera défini en vue de l'intégration.

La normalisation internationale bénéficiera à la fois aux utilisateurs finaux et aux fournisseurs de FEMS.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63376:2023

SYSTÈME DE GESTION D'ÉNERGIE DES INSTALLATIONS INDUSTRIELLES (FEMS) – FONCTIONS ET FLUX D'INFORMATIONS

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les fonctions et les flux d'informations d'un système de gestion d'énergie d'une installation industrielle (FEMS). Des fonctions génériques sont définies pour le FEMS, afin de permettre la mise à niveau du traditionnel système de gestion d'énergie (SME) depuis la visualisation de l'état de la consommation d'énergie jusqu'à l'automatisation de la gestion d'énergie, en définissant une relation plus étroite avec d'autres systèmes de gestion et de commande. Une méthode générique sera expliquée pour classer les fonctions du FEMS. L'échange d'informations entre le FEMS et d'autres systèmes tels que la gestion des opérations de fabrication (MOM), les systèmes d'exécution de fabrication (MES) et la planification des ressources de l'entreprise (ERP), sera décrit.

2 Références normatives

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

IEC 62264 (toutes les parties), *Intégration des systèmes entreprise-contrôle*

IEC/TS 62872-1:2019, *Industrial-process measurement, control and automation – Part 1: System interface between industrial facilities and the smart grid (disponible en anglais seulement)*

IEC/TR 62837:2013, *Energy efficiency through automation systems (disponible en anglais seulement)*

ISO 22400-1:2014, *Systèmes d'automatisation et intégration – Indicateurs de la performance clé pour le management des opérations de fabrication – Partie 1: Aperçu, concepts et terminologie*

ISO 22400-2:2014/AMD1:2017, *Systèmes d'automatisation et intégration – Indicateurs de la performance clé pour le management des opérations de fabrication – Partie 2: Définitions et descriptions – Amendement 1: Indicateurs de la performance clé pour le management de l'énergie*

3 Termes et définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et abréviations 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 Termes et définitions

3.1.1

équipement

entité physique indépendante capable d'accomplir une ou plusieurs fonctions spécifiées dans un contexte particulier et délimitée par ses interfaces

Note 1 à l'article: Un équipement peut faire partie d'un équipement de plus grande envergure.

[SOURCE: IEC 61804-2:2017, 3.1.18, modifié – La Note de l'IEC 80004-9:2017, 3.1.1, a été ajoutée]

3.1.2

matériel

composant ou agencement de composants construit pour une ou des fonctions spécifiques

[SOURCE: ISO 19901-5:2016, 3.17, modifié – Les Notes 1 et 2 ont été supprimées]

3.1.3

entreprise

une ou plusieurs organisations partageant des missions, des buts et des objectifs définis qui fournissent des produits ou des services

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.10]

3.1.4

installation

site ou zone dans un site, qui inclut les ressources dans le site ou la zone et les activités associées à l'utilisation des ressources

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.20]

3.1.5

opérateur

entité responsable de l'exécution minute par minute et du fonctionnement sûr d'une installation

3.1.6

organisme

compagnie, société, firme, autorité ou institution, ou partie ou combinaison de celles-ci, à responsabilité limitée ou d'un autre statut, de droit public ou privé, qui a sa propre structure fonctionnelle et administrative

Note 1 à l'article: Dans les organismes constitués de plusieurs unités opérationnelles, une unité isolée peut être définie comme un organisme.

[SOURCE: ISO 14001:2004, 3.16, modifié – Le terme "entreprise" a été supprimé]

3.1.7

usine

unité physique associée à un processus complet, comprenant l'unité ou les unités fonctionnelles dédiées au contrôle

EXEMPLE: Installation de chauffage, de ventilation, de climatisation, frigorifique, sanitaire ou électrique.

Note 1 à l'article: Une usine peut être constituée de plusieurs installations partielles qui sont assemblées à partir de matériel, d'unités ou d'agréats (chaudière, par exemple), d'équipements, de modules, de composants et d'éléments.

[SOURCE: ISO 16484-2:2004, 3.149, modifié – La Note 2 a été supprimée et le pluriel d'"unité" a été ajouté]

3.1.8

site

groupement de composants identifiés physiques, géographiques, et/ou logiques d'une entreprise manufacturière relevant d'une seule direction

[SOURCE: IEC 62264-1:2013, 3.1.39, modifié – "relevant d'une seule direction" a été ajouté après "entreprise manufacturière"]

3.1.9

unité

le plus bas niveau du matériel, généralement programmé par les fonctions de niveau 4 ou 3 pour les procédés de fabrication en continu

3.2 Abréviations

APO	Advanced Planning and Optimization (planification avancée et optimisation)
BEMS	Building Energy Management System (système de gestion d'énergie des bâtiments)
CMM	Capability Maturity Model (modèle d'évolution des capacités)
DER	Distributed Energy Resource (ressource énergétique distribuée)
EMS	Energy Management System (système de gestion d'énergie)
ERP	Enterprise Resource Planning (planification des ressources de l'entreprise)
FC	Functional Component (composant fonctionnel)
FDREM	Facility Demand Response Energy Management (gestion d'énergie en réponse à la demande des installations)
FEMS	Facility Energy Management System (système de gestion d'énergie de l'installation)
HEMS	Home Energy Management System (système de gestion d'énergie au domicile)
PI	Propriété Intellectuelle
KPI	Key Performance Indicator (indicateur clé de performance)
LIMS	Laboratory Information Management System (système de gestion des informations de laboratoire)
MES	Manufacturing Execution System (système d'exécution de la fabrication)
MIMO	Multiple Input Multiple Output (entrées multiples, sorties multiples)
MOM	Manufacturing Operations Management (gestion des opérations de fabrication)
MPC	Model Predictive Control (contrôle de modèle prédictif)
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
MV	Manipulated Variable (variable de commande)
PV	Process Variable (variable de procédé)
PCS	Process Control System (système de commande de processus)
PID	Proportional Integral Derivative (commande proportionnelle, intégrale et dérivée)
SISO	Single Input Single Output (entrée unique, sortie unique)
SV	Setpoint Value (valeur de consigne)
WMS	Warehouse Management System (système de gestion d'entrepôt)

4 Généralités

4.1 Activités de gestion d'énergie dans les installations industrielles

Dans les domaines énergétiques des clients, tels que le résidentiel, le bâtiment/commerce et l'industrie, des systèmes de gestion d'énergie: HEMS (système de gestion d'énergie au domicile), BEMS (système de gestion d'énergie des bâtiments) et FEMS (système de gestion de l'énergie des installations) respectivement, ont été déployés en fonction des caractéristiques de consommation de l'énergie. La Figure 1 représente les caractéristiques des systèmes FEMS, BEMS et HEMS. Les facteurs clés sont l'utilisation de l'énergie et le nombre d'entités dans chaque domaine. Les flèches indiquent le sens de distribution de l'énergie. Une double flèche orientée vers le haut-bas représente un échange d'énergie entre les différents secteurs (Domicile, Bâtiment et Industrie) par le biais de la distribution d'énergie.

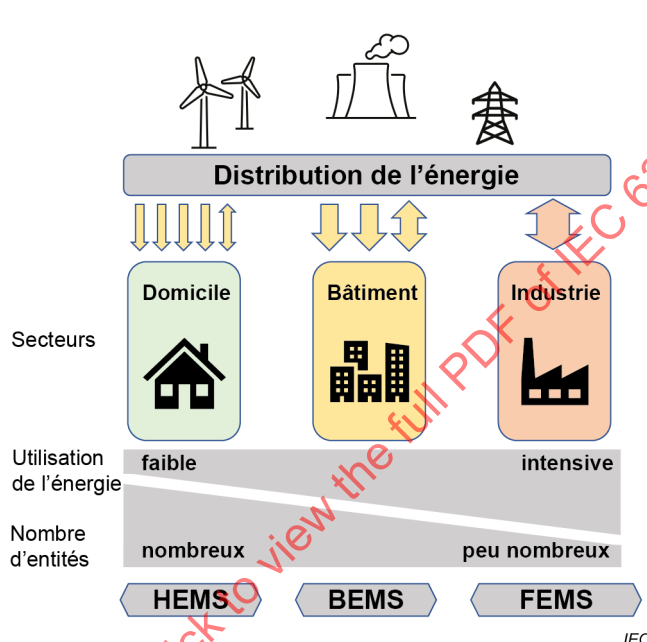


Figure 1 – Caractéristiques des systèmes HEMS, BEMS et FEMS

La consommation d'énergie des utilisateurs de FEMS est généralement plus élevée que celle des utilisateurs de BEMS et HEMS, l'effet d'amélioration du rendement énergétique d'une seule entité industrielle étant significatif. Le profil de la demande énergétique varie d'une entité à l'autre en fonction des différents types de sources d'énergie dans une installation de fabrication. Les sources d'énergie types sont l'électricité, le combustible, la vapeur, l'eau et les ressources énergétiques distribuées (DER) telles que les énergies renouvelables, les centrales de cogénération, ainsi que les systèmes de stockage destinés à fournir de l'énergie utile sous forme de courant, de chaleur, de vapeur, d'eau de chauffage ou de refroidissement, d'air comprimé et analogue. Un FEMS est généralement fourni sous forme de produit fabriqué sur commande. Un BEMS a un plus grand nombre d'entités ciblées et est facilement disponible sous forme de produit prêt à l'emploi. Un HEMS, qui couvre un plus grand nombre de petites entités, est un produit de masse facilement disponible. Chaque système a un coût, de même que la complexité/le degré de configuration associé.

La gestion de l'énergie dans une entreprise manufacturière est assurée en veillant à concilier de nombreuses exigences contradictoires telles que la productivité, la qualité, la livraison, le calendrier de production, le coût de fabrication, le profit, la sécurité, les exigences environnementales et les exigences associées. L'ordre de priorité de ces exigences est fixé en fonction des objectifs de l'entreprise et de la réglementation applicable au moment où les décisions sont prises en matière de gestion d'énergie.

Dans les installations industrielles, l'installation d'approvisionnement énergétique fournit et gère l'énergie en gérant l'électricité, la chaleur, la vapeur, l'eau chaude ou l'eau de refroidissement et l'air comprimé pour les installations consommatrices telles que les lignes de production. L'installation d'approvisionnement énergétique peut être conçue de manière indépendante pour avoir la capacité de faire face aux demandes énergétiques maximales. Lorsque la demande énergétique diminue, la différence entre l'offre et la demande énergétique peut entraîner d'importantes pertes d'énergie et une baisse du rendement énergétique. Il est nécessaire d'assurer un équilibre des charges optimal entre le matériel d'une installation d'approvisionnement énergétique, en tenant compte de la demande énergétique. L'approvisionnement énergétique d'une installation peut être contrôlé et piloté sur la base de la demande énergétique prévisionnelle, en intégrant des facteurs tels que le calendrier de production et les conditions ambiantes telles que les variations des conditions climatiques.

Un FEMS collecte les données de chaque niveau du système de production pour optimiser la performance énergétique par rapport aux demandes énergétiques de l'ensemble du système de production. Les données collectées sont analysées pour optimiser le fonctionnement de l'installation afin d'améliorer la performance énergétique. Il existe de nombreux types de processus décisionnels tels que la modification des points de consigne du matériel, la modification des conditions de fonctionnement du matériel, la sélection d'un processus de fabrication en fonction de la situation opérationnelle, etc. Les décisions opérationnelles sont prises automatiquement par le système ou manuellement par les opérateurs. Des systèmes de guidage sont utilisés pour prendre en charge le fonctionnement manuel. La performance énergétique attendue d'une installation industrielle sera améliorée en augmentant le niveau d'automatisation des processus FEMS.

4.2 Structure hiérarchique d'un système de fabrication d'entreprise

4.2.1 Niveaux des entreprises manufacturières et des activités

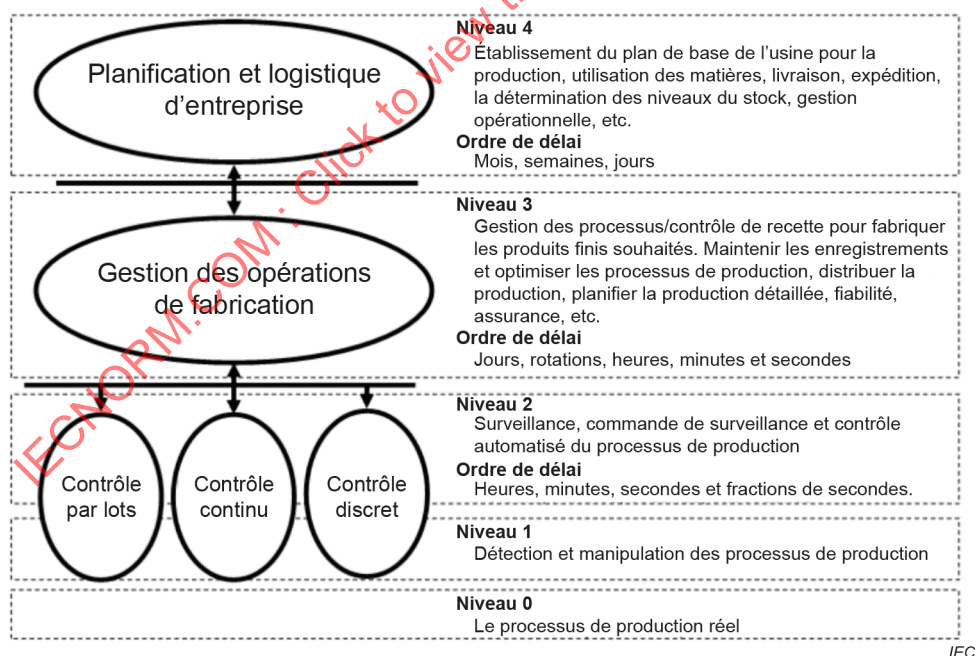


Figure 2 – Hiérarchie fonctionnelle

Comme le montre la Figure 2, l'IEC/ISO 62264-1 (ISA-95) définit les niveaux pour la structure de l'entreprise manufacturière.

Le FEMS est positionné au niveau 3 en tant que partie intégrante du MOM/MES. La gestion des opérations de fabrication (MOM) est un terme utilisé dans l'IEC 62264 pour spécifier une partie du modèle de hiérarchie fonctionnelle d'une entreprise manufacturière.

Le FEMS échange des informations entre le système d'exécution de la fabrication (MES), le système de gestion de l'information des laboratoires (LIMS), le système de gestion d'entrepôt (WMS), le modèle d'évolution des capacités (CMM) etc. Ces systèmes de niveau 3 échangent des informations avec l'ERP, la planification avancée et l'optimisation (APO), le système de gestion logistique de niveau 4 et entre les installations, les régulateurs et les capteurs des niveaux 2, 1 et 0. Le FEMS reçoit les informations par l'intermédiaire du MES. Le FEMS échange également des informations entre d'autres systèmes de gestion d'énergie et des passerelles de réseau intelligent qui échangent des informations avec le réseau intelligent.

La Figure 3 montre une extension du modèle de hiérarchie du matériel basée sur des rôles pour une diversité de processus. Pour la gestion des opérations de fabrication, il existe des termes spécifiques pour les centres de travail et les unités de travail qui s'appliquent à la production continue, à la production par lots, à la production discrète ou répétitive et au stockage.

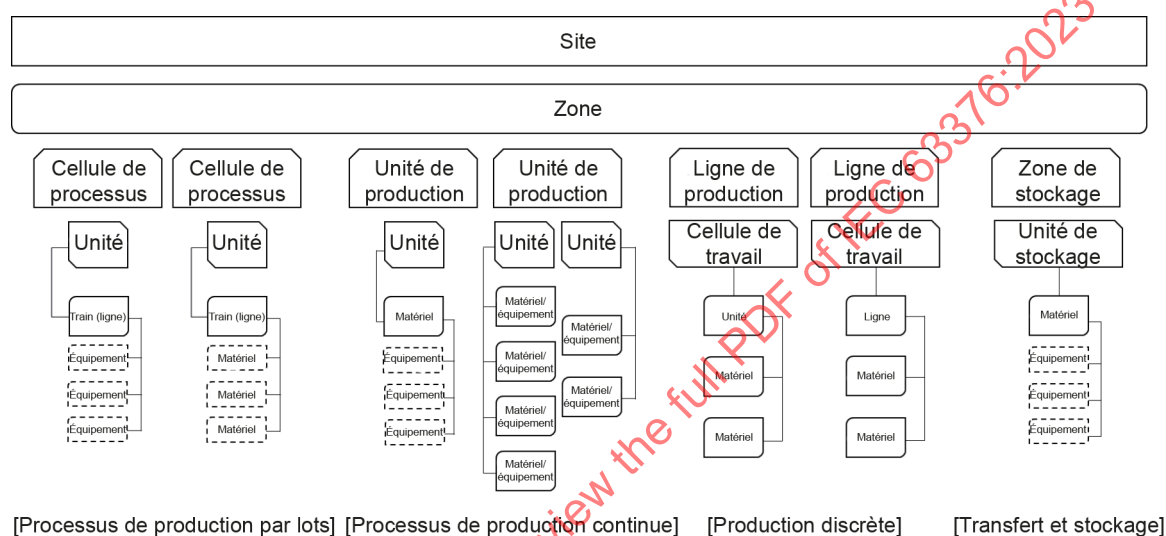


Figure 3 – Extension du modèle hiérarchique du matériel à base de rôles

4.3 Système de gestion d'énergie dans une entreprise manufacturière

Les entreprises manufacturières ont fait des efforts continus pour économiser l'énergie. Une meilleure compréhension de la façon d'améliorer la performance énergétique globale permettra d'améliorer le rendement énergétique, de limiter le gaspillage, de réduire les émissions de CO₂, de garantir l'approvisionnement et de réduire le coût global. Le système de gestion d'énergie devient de plus en plus important pour d'autres améliorations en matière d'économies d'énergie et la gestion de l'entreprise.

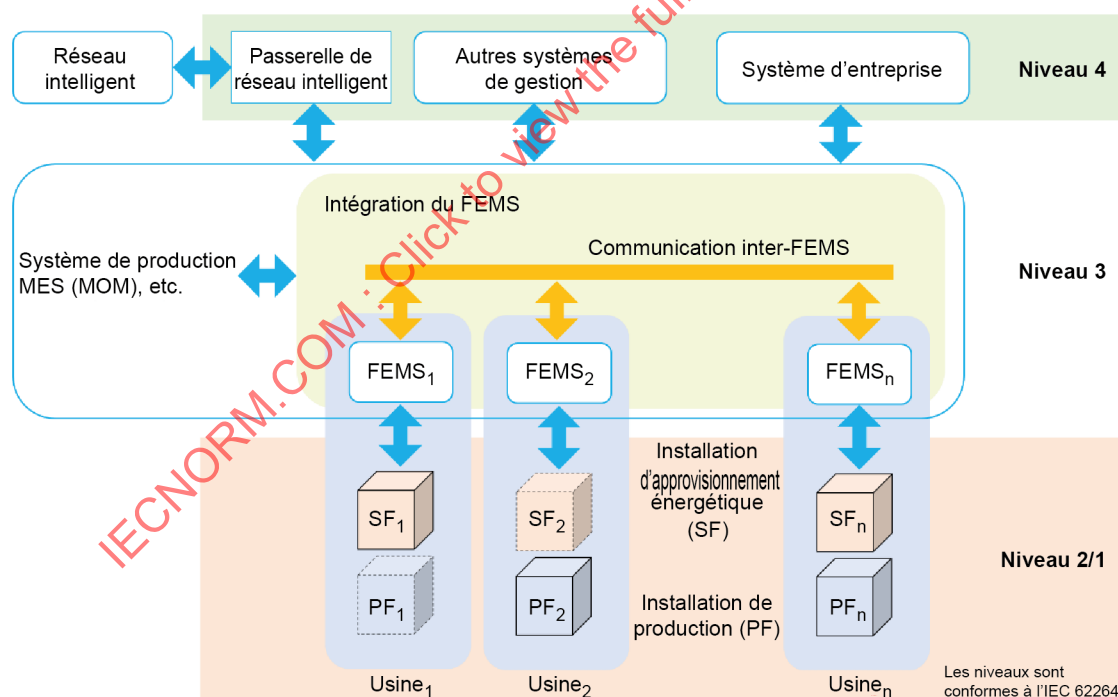
Dans une entreprise manufacturière, un système de gestion d'énergie peut avoir été installé pour une installation de production chaque fois qu'il était nécessaire. Comme une entreprise a plusieurs installations de production, il peut également y avoir plusieurs systèmes de gestion d'énergie dans l'entreprise. Cette forme de FEMS permet d'optimiser individuellement la performance énergétique de l'installation de production concernée.

Il est attendu que l'intégration de l'EMS améliore la performance énergétique globale d'une entreprise afin de gérer l'exploitation des systèmes de production pour l'environnement d'entreprise en constante évolution. À cet effet, il est nécessaire de clarifier les fonctions et les informations échangées entre les FEMS mis en œuvre.

La Figure 4 représente une configuration générale d'intégration de plusieurs FEMS dans un site d'une entreprise. Le FEMS_i couvre la gestion de l'énergie de l'Usine_i qui inclut l'installation d'approvisionnement énergétique (SF_i) et l'installation de production (PF_i). L'installation d'approvisionnement énergétique fournit de l'énergie aux installations de production sous les formes nécessaires telles que l'électricité, la vapeur, l'air comprimé, etc. L'installation de production fabrique des produits en utilisant l'énergie fournie par l'installation d'approvisionnement énergétique. La performance énergétique de chaque installation est optimisée individuellement par le FEMS_i. L'Usine₁ représente un cas où l'usine ne dispose pas nécessairement d'une installation de production. L'Usine₂ représente un cas où l'usine n'a pas nécessairement d'installation d'approvisionnement énergétique. Dans ces cas, l'énergie nécessaire à la production dans l'Usine₂ est fournie par l'Usine₁ sur la base des informations échangées par communication inter-FEMS. L'échange nécessaire d'informations liées à l'énergie entre les FEMS s'effectue par communication inter-FEMS.

Le système MOM/MES reçoit un plan d'exploitation total pour l'entreprise qui optimise la performance énergétique pour l'ensemble des objectifs de l'entreprise, tels que le coût et le profit du système d'entreprise. Le plan de production total est subdivisé pour chaque Usine en plans d'exploitation qui sont envoyés à chaque FEMS_i. Le FEMS_i exécute le plan d'exploitation délivré à partir du système MOM/MES pour l'utilisation efficace de l'énergie dans l'Usine_i.

Pour échanger des informations liées à l'énergie entre plusieurs systèmes, il est nécessaire de normaliser les fonctions et les informations du FEMS.



IEC

Figure 4 – Configuration d'intégration de plusieurs FEMS

4.4 Rôle du FEMS et son extension

4.4.1 Rôle du FEMS

Le rôle du FEMS est d'améliorer la performance énergétique en optimisant l'utilisation de l'énergie dans les conditions et les contraintes liées à la gestion de toutes les activités au sein d'une entreprise manufacturière.

4.4.2 Extension du rôle du FEMS

La Figure 5 représente l'extension du rôle du FEMS.

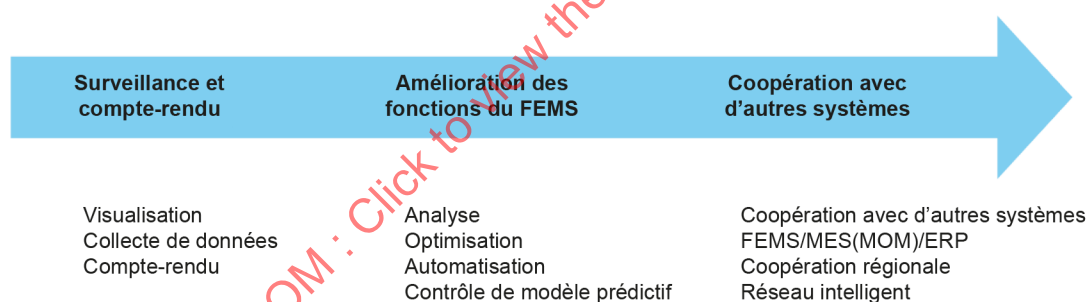
L'introduction de la gestion de l'énergie débute par la surveillance et le compte-rendu de l'état actuel de la consommation d'énergie. Les données collectées sont visualisées pour les activités de gestion de l'énergie. Elles sont également analysées et les actions manuelles nécessaires sont menées par les opérateurs.

Au cours du fonctionnement du FEMS, certains processus décisionnels sont exécutés manuellement par des opérateurs, des ingénieurs, voire des responsables, en fonction de la situation opérationnelle.

Pour accroître la performance énergétique, le FEMS a été amélioré au fil du temps en fournissant des fonctions avancées telles que l'analyse et l'optimisation des données, en plus des nécessaires fonctions de surveillance et d'enregistrement.

Comme les fonctions avancées sont pratiques pour le FEMS, certains processus décisionnels ont été automatisés. Dans l'Article 5, les fonctions du FEMS sont classées par degré d'automatisation.

Pour l'optimisation globale de la performance énergétique, il convient de définir un périmètre aussi large que possible pour la gestion de l'énergie du système. Il est donc nécessaire que le FEMS fonctionne en coopération avec d'autres systèmes tels que d'autres FEMS, MOM/MES, ERP, etc. Une coopération régionale est également nécessaire par l'intermédiaire du réseau intelligent. Les relations entre le FEMS et les autres systèmes sont expliquées en 4.5.



IEC

Figure 5 – Extension du rôle du FEMS

4.4.3 Normalisation internationale

Pour réaliser des économies d'énergie plus importantes, il est utile de renforcer la coopération entre les systèmes associés qui échangent des informations. Dans les industries manufacturières, les entreprises ont obtenu des améliorations de productivité étroitement liées aux économies d'énergie. Comme les chaînes logistiques ont été mondialisées, il est nécessaire que les entreprises d'une même chaîne logistique échangent des informations sur la gestion d'énergie avec les organismes associés.

Pour une société, une normalisation internationale est souhaitée pour les fonctions du FEMS et les flux d'informations échangés dans le FEMS. La normalisation améliore l'interconnectivité avec les systèmes externes, ce qui permet des avancées dans l'optimisation de la performance énergétique entre les différents fabricants et les frontières de l'entreprise, ce qui serait sinon plus difficile à obtenir.

La normalisation des fonctions et des flux d'informations du FEMS permettra un échange efficace d'informations liées à l'énergie dans une installation afin d'accélérer la mise à niveau et l'optimisation des activités de contrôle dans les installations industrielles. Les FEMS peuvent être classés en fonction du niveau de réalisation des fonctions afin que les organismes associés soient encouragés à atteindre les objectifs d'amélioration.

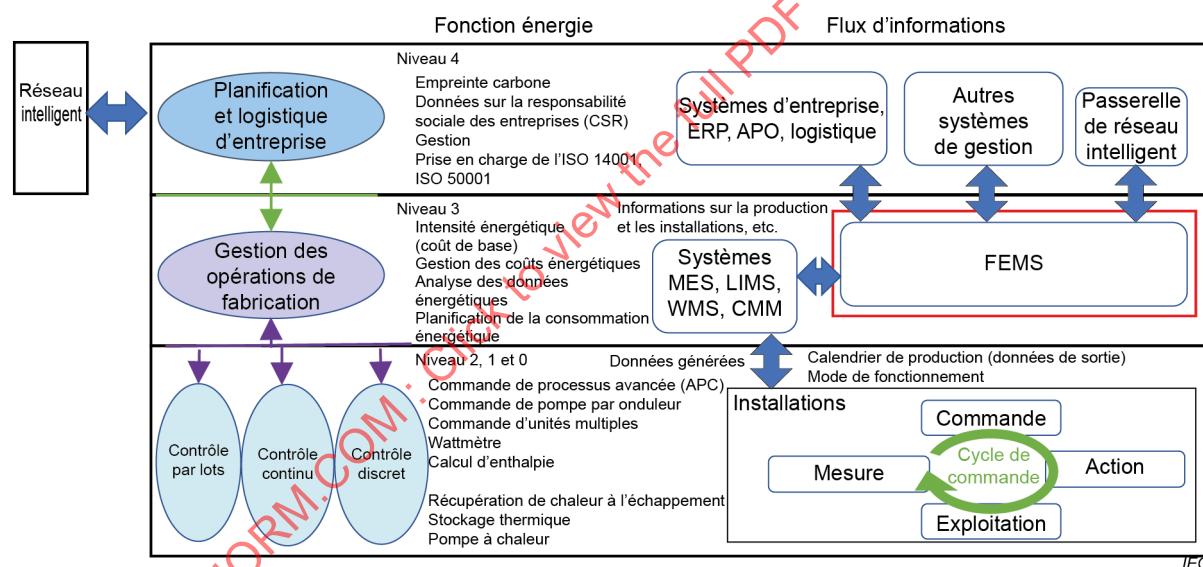
Dans la présente norme, les données sur l'utilisation de l'énergie par les installations de fabrication des usines et les installations sont modélisées, et l'échange de données est spécifié pour permettre la diffusion d'informations sur l'énergie utilisée dans les processus des usines et des installations. En plus de l'optimisation du rendement énergétique pour une seule installation, les FEMS permettent également un contrôle coordonné entre plusieurs installations situées à différents endroits.

4.5 Relation entre le FEMS et les autres systèmes

4.5.1 Relation entre le FEMS et les autres systèmes

La Figure 6 est une extension de la Figure 2 et montre les relations entre le FEMS et d'autres systèmes tels que les systèmes d'entreprise, les systèmes de production et le réseau intelligent.

Le FEMS peut obtenir des informations par l'intermédiaire d'autres systèmes du niveau 3 (MES, LIMS, etc.).



NOTE Le cadre rouge reflète le domaine d'application de l'IEC 63376.

Figure 6 – Relations entre le FEMS et les autres systèmes

Dans les usines, il y a des installations d'approvisionnement énergétique telles que des groupes électrogènes de puissance, des chaudières, des batteries, etc., ainsi des installations de demande énergétique telles que les systèmes de production, les climatiseurs, les appareils de chauffage, etc., et les régulateurs des installations. De plus, il existe de nombreux systèmes pour gérer et contrôler la planification d'entreprise, la logistique, les opérations de production, etc. Les installations du modèle hiérarchique sont définies dans l'IEC 62264. D'autre part, le modèle de hiérarchie fonctionnelle avec la "fonction énergie" est décrit dans l'IEC TR 62837.

4.5.2 FEMS et système de production

Comme décrit précédemment, il convient que le FEMS communique avec les systèmes de production. Pendant la communication, le FEMS reçoit des informations telles que la consommation d'énergie, les variables pertinentes, le plan de production, les informations sur les matières, etc. provenant de nombreux systèmes de commande, et leur renvoie un plan optimisé, des valeurs de PV, des KPI, etc.

Le système de production représenté à la Figure 7 est un modèle hiérarchique tel que défini par l'IEC 62264-1:2013, Intégration des systèmes entreprise-contrôle – Partie 1: Modèles et terminologie. Les cinq niveaux de production décrits dans l'IEC 62264-1 sont décrits à droite de la Figure 7.

Une entreprise est exploitée avec des indicateurs de gestion tels que le plan de production, la productivité, la qualité, la livraison, le prix de l'énergie, le coût de production, le profit, les exigences environnementales, etc. KPI_{L4} représente les indicateurs clés de performance pour le niveau 4 correspondant à ces indicateurs de gestion. Ces indicateurs peuvent souvent inclure des exigences contradictoires. Pour trouver une condition d'exploitation optimale, il est nécessaire de définir des priorités pour ces exigences contradictoires en fonction de la situation commerciale à cet instant.

KPI_{L3} représente les indicateurs clés de performance pour le niveau 3. L'ISO 22400 définit 35 KPI pour les MES classés d'après les facteurs suivants: indicateurs de rendement, indicateurs de qualité, indice de capacité, indicateurs environnementaux, indicateurs de gestion d'inventaire et indicateurs de maintenance.

KPI_{L2} représente les indicateurs clés de performance pour le niveau 2: variables de procédé des processus physiques, telles que la température, la pression, le niveau, le débit, etc.

La Figure 7 représente le flux d'informations entre les sous-systèmes en utilisant la notation de PV_{Li} et MV_{Lj} . Les termes "variable de procédé" (PV) et "variable de commande" (MV) sont couramment utilisés pour la commande de processus afin de décrire les entrées et les sorties d'une fonction de commande.

PV_{Li} représente des variables de procédé de Niveau_i qui sont envoyées au niveau supérieur (Niveau_{i+1}).

MV_{Lj} représente des variables de commande de Niveau_j qui sont envoyées au niveau inférieur (Niveau_{i-1}).

Pour obtenir KPI_{L4} , le système ERP calcule les MV_{L4} qui sont envoyées au MES. L'état opérationnel de l'ensemble du MES est surveillé par l'intermédiaire de PV_{L3} par l'ERP. Par exemple, lorsque le volume de production de l'entreprise est changé, le système ERP modifie le calendrier de production et envoie ce dernier au MES par l'intermédiaire de MV_{L4} .

Pour obtenir KPI_{L3} , le MES calcule les MV_{L3} qui sont envoyées aux systèmes de commande de processus. Après réception du calendrier de production, le MES génère un plan d'exploitation du matériel incluant la valeur de consigne (SV) nécessaire des régulateurs de processus et envoie le plan d'exploitation du matériel aux systèmes de commande de processus par l'intermédiaire de MV_{L3} . L'état opérationnel des systèmes de commande de processus est surveillé par l'intermédiaire de PV_{L2} par le MES.

Pour obtenir KPI_{L2} , les systèmes de commande de processus exécutent le contrôle du matériel et des équipements de procédé aux niveaux 1 et 0.

Comme expliqué en 5.4, le FEMS exécute le cycle d'optimisation dans les quatre catégories de processus suivantes:

Surveillance → Analyse → Optimisation → Instruction.

Le cycle peut être interprété comme une boucle de régulation avec de multiples variables que le FEMS collecte dans le système de production, puis il retransmet les données calculées au système de production pour réaliser l'optimisation.

Un régulateur proportionnel-intégral-dérivé (PID) est représenté à la Figure 7. Il est utilisé pour un large éventail d'applications de commande de processus de niveau 2. Le régulateur PID est un régulateur à entrée unique et à sortie unique (SISO) qui calcule la variable de commande (MV) pour obtenir la variable de procédé (PV) égale à SV.

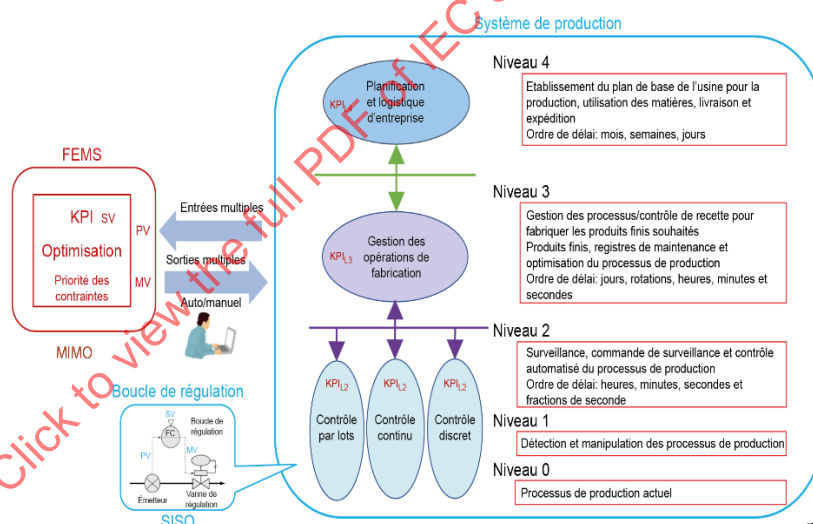


Figure 7 – Modèle hiérarchique d'un système de production

Le FEMS peut être interprété au sens large comme un régulateur à entrées multiples, sorties multiples (MIMO) qui collecte de multiples entrées PV ($PV_1, PV_2, \dots, PV_m$) du système de production et calcule de multiples sorties MV ($MV_1, MV_2, \dots, MV_n$) qui sont envoyées au système de production pour réaliser une opération optimisée pour les KPI ciblés. Les SV ($SV_1, SV_2, \dots, SV_k$) sont les valeurs (cibles) définies des KPI à optimiser compte tenu des contraintes données.

Le processus d'optimisation est mis en œuvre au moyen de plusieurs processus décisionnels, tels que la détermination des valeurs cibles des KPI et des opérations de processus connexes. Dans la pratique, certaines décisions sont prises manuellement par l'opérateur ou l'ingénieur en charge du fonctionnement du processus. Ces processus décisionnels peuvent éventuellement être automatisés par le FEMS avec les fonctions améliorées, contrôle inclus.

Le contrôle de modèle prédictif (MPC) est un exemple de contrôle MIMO avec des contraintes [5].

Les FEMS à base de MPC ont été documentés pour des applications pratiques de gestion d'énergie.

La Figure 8 représente un schéma fonctionnel d'un régulateur à entrées multiples, sorties multiples.

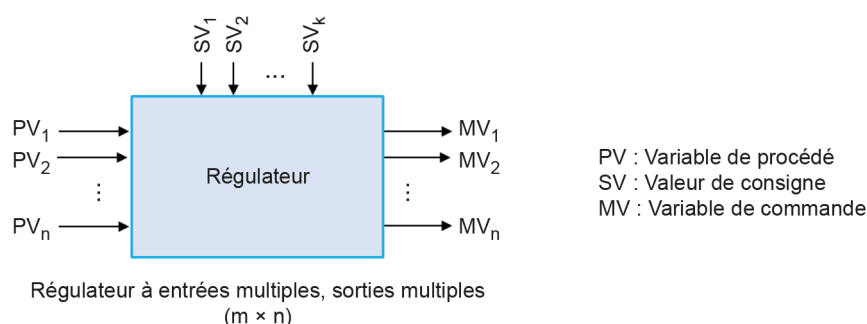


Figure 8 – Régulateur à entrées multiples, sorties multiples.

4.5.3 Gestion et optimisation

Pour le fonctionnement du processus, des valeurs de consigne des régulateurs sont définies manuellement par un opérateur de processus, ou automatiquement par le système MOM/MES. Il peut donc être considéré que la commande de processus maintient le processus à la valeur de consigne et que la gestion de processus maintient la valeur de consigne du processus à un point optimal (rentable). Un système de commande de processus comporte plusieurs régulateurs avec leurs propres points de consigne qui sont définis pour obtenir un fonctionnement optimal.

Le fonctionnement du processus est mis en œuvre conformément aux modes opératoires. Il existe des processus décisionnels tels que le choix d'un mode opératoire optimal et la définition de points de consigne optimaux pour les régulateurs. Ces processus décisionnels ont été appliqués manuellement par des opérateurs de processus et/ou des ingénieurs avec les informations prises en charge par le système de gestion de processus tel que MOM/MES, FEMS inclus. Cependant, les progrès réalisés en matière de puissance de traitement des systèmes de gestion ont permis l'automatisation des processus décisionnels dans ces systèmes. Par exemple, un EMS à base de MPC a été mis en œuvre dans la pratique. Un FEMS utilisé en tant que régulateur d'optimisation MIMO pour des systèmes de production est décrit en 4.5.2.

Le niveau d'automatisation du FEMS est introduit sur la base du niveau d'automatisation de l'Article 6.

4.6 Échange d'informations

4.6.1 Frontière du système

Pour évaluer la performance énergétique d'un système, il est nécessaire de définir des frontières. Selon les exigences en matière de gestion d'énergie, la frontière peut être un équipement, des machines/du matériel, une ligne de production ou la totalité de l'entreprise.

La Figure 9 représente la structure hiérarchique du système intégré de production d'entreprise et des exemples de frontières du système basées sur la hiérarchie fonctionnelle définie par l'IEC 62264.

L'échange d'informations entre les niveaux supérieurs et inférieurs de la hiérarchie est effectué par PV et MV. PV (variable de procédé) représente les informations sous forme de rapport du niveau inférieur au niveau supérieur. MV (variable de commande) présente les informations du niveau supérieur au niveau inférieur sous la forme d'une commande donnée au niveau inférieur.

B4 est la frontière d'un système d'entreprise complet. En B4, il y a des MES de niveau 3 qui sont connectés à l'ERP de niveau 4. B3.1 est la frontière couverte par MES1 au niveau 3. Il y a des systèmes de commande de processus au niveau 2 qui sont gérés par MES1 dans les limites de B3.1. B2.1.1 est la frontière couverte par PCS2.1.1 en B2.1.1. PCS2.1.1 remplit la fonction de commande en communiquant avec des unités d'équipements de terrain tels que des capteurs/actionneurs. B2.1.1.1 est la frontière définie pour un régulateur de processus. Le régulateur de processus reçoit PV1.1.1 d'un émetteur et calcule MV2.1.1 qui est envoyée à la vanne de régulation pour maintenir $PV1.1.1 = SV2.1.1$. SV est la valeur de consigne du régulateur.

SV2.1.1 peut être changée pour être gérée en vue d'une optimisation globale par le MES.

Il existe des KPI pour le fonctionnement de chaque niveau. KPI4 représente un ensemble de KPI dans le système ERP à la frontière B4. KPI 3.1 représente un ensemble de KPI dans le MES1 à la frontière B3.1. KPI2.1.1 représente un ensemble de KPI dans les systèmes de commande de processus à la frontière B2.1.1.

Pour un fonctionnement normal, les systèmes à chaque niveau sont exploités pour obtenir les KPI individuellement.

La théorie de l'optimisation stipule que les minima locaux ne conduisent pas nécessairement à un minimum global.

Pour l'optimisation globale, ces KPI sont liés les uns aux autres et doivent être gérés collectivement par un FEMS ou un système similaire.

Le FEMS calcule les KPI pour chaque frontière afin de comprendre le rendement énergétique et d'évaluer l'utilisation de l'énergie à chaque frontière. Certains FEMS prédisent la future consommation d'énergie sur la base de données énergétiques historiques et de variables pertinentes. Selon les résultats prévisionnels, certains FEMS calculent et suggèrent des plans de production optimisés, la consommation d'énergie dans le cadre de plans de production optimisés, les futures économies d'énergie qui seront réalisées en utilisant le plan de production reçu du MES et les variables pertinentes prédites (par exemple humidité, température, temps, etc.) pour satisfaire aux contraintes de la direction et des installations. Ce plan de production optimisé est envoyé à d'autres systèmes de gestion des niveaux 4 et 3 par l'intermédiaire du MES. Le FEMS peut également calculer des valeurs de réglage des installations. Ces valeurs de réglage sont envoyées au régulateur et aux installations de niveaux 2, 1 et 0 par l'intermédiaire du MES.

Lorsque certains KPI4 tels que la consommation totale d'énergie de l'entreprise sont modifiés, les KPI associés à KPI3.1, tels que le plan de production, peuvent être changés par l'ERP par l'intermédiaire de MV4.3.1. Après la modification du plan de production, les KPI associés à KPI2.1.1 tels que la valeur de consigne SV2.1.1 peuvent être changés par MES1 par l'intermédiaire de MV3.2.1. Le processus est régulé sur la nouvelle valeur de consigne. Il s'agit d'un exemple d'optimisation globale. Pour l'optimisation globale, il est efficace de définir une frontière plus large si nécessaire.

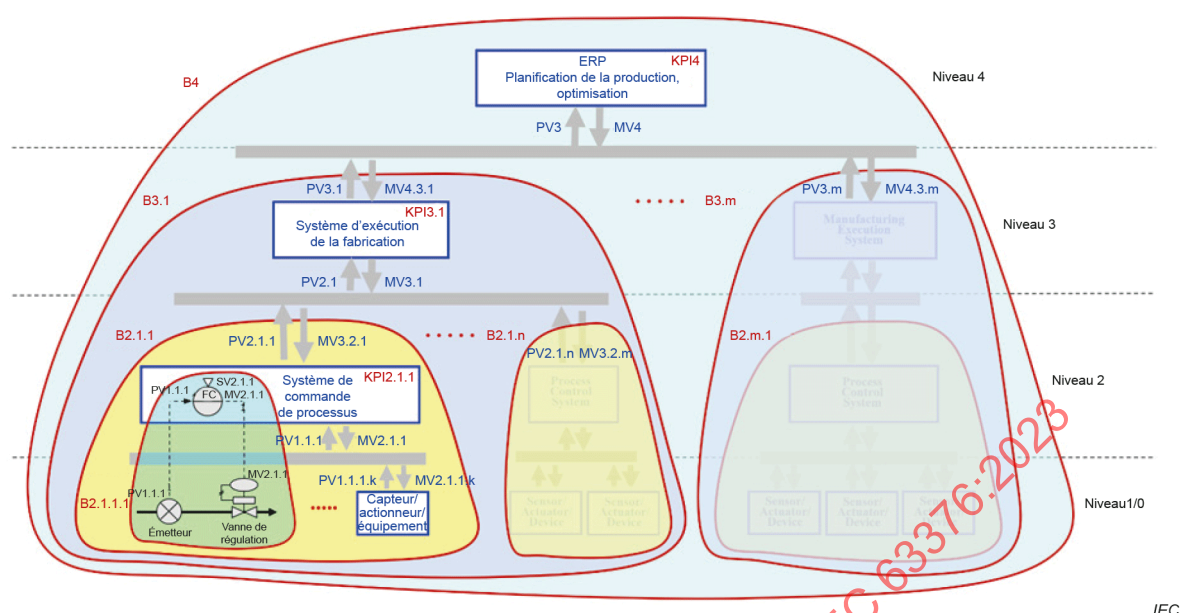
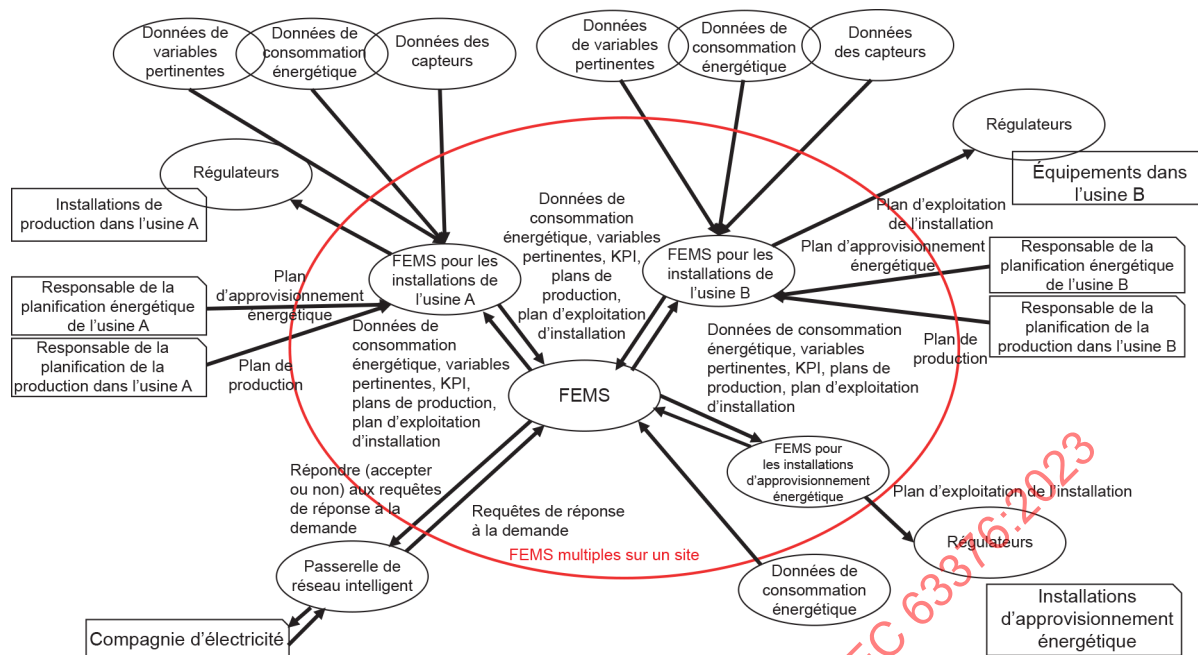


Figure 9 – Structure hiérarchique du système intégré de production d'entreprise

4.6.2 À l'intérieur et à l'extérieur de l'installation

La Figure 10 représente un exemple de plusieurs FEMS sur un site d'une entreprise. FEMS-A assure la gestion de l'énergie de l'Usine A et optimise sa performance énergétique. FEMS-B assure la gestion de l'énergie de l'Usine B et optimise sa performance énergétique. FEMS-E assure la gestion de l'énergie de l'installation d'approvisionnement énergétique des Usines A et B. Lorsque l'installation d'approvisionnement énergétique génère un surplus d'énergie par rapport à la demande totale des Usines A et B, ce surplus est vendu à la compagnie d'électricité sur réponse à une demande. FEMS-D, en échangeant des informations avec FEMS-A, B et E, assure la gestion des réponses aux demandes de la compagnie d'électricité externe. L'échange d'informations avec l'intérieur/extérieur de l'installation permet d'obtenir une optimisation globale de la performance énergétique de l'entreprise.



IEC

Figure 10 – Exemple d'échange d'informations avec l'intérieur et l'extérieur de l'installation

La Figure 10 représente les échanges de données représentatives de FEMS entre les systèmes à l'intérieur et à l'extérieur des installations.

4.7 Confidentialité des données

4.7.1 Généralités

La confidentialité des données couvre un large éventail de types de données qui peuvent être considérés comme des éléments de propriété intellectuelle (PI). Les formes de PI sont les brevets, les droits d'auteur et les marques, tous relevant du domaine public en tant que tel. Cependant, dans de nombreux cas, d'autres formes de PI, telles que les dessins industriels, les secrets commerciaux ainsi que les informations géographiques et, par association, les données personnelles, nécessitent également d'être protégées. Les deux derniers éléments, à savoir les informations géographiques et les données personnelles, sont les plus difficiles à protéger dans un système entièrement intégré tel qu'un FEMS.

Pour certains organismes, comme le coût de l'énergie représente une partie substantielle de leurs coûts d'exploitation, il convient que le FEMS considère leur consommation d'énergie comme une donnée confidentielle. Il convient de confirmer que chaque KPI peut être divulgué aux tiers sur la base des données et de la méthode de calcul. De plus, il convient également que le FEMS intègre la sécurité de l'information. Les normes IEC et ISO relatives à la sécurité des informations sont identifiées en 4.7.2.

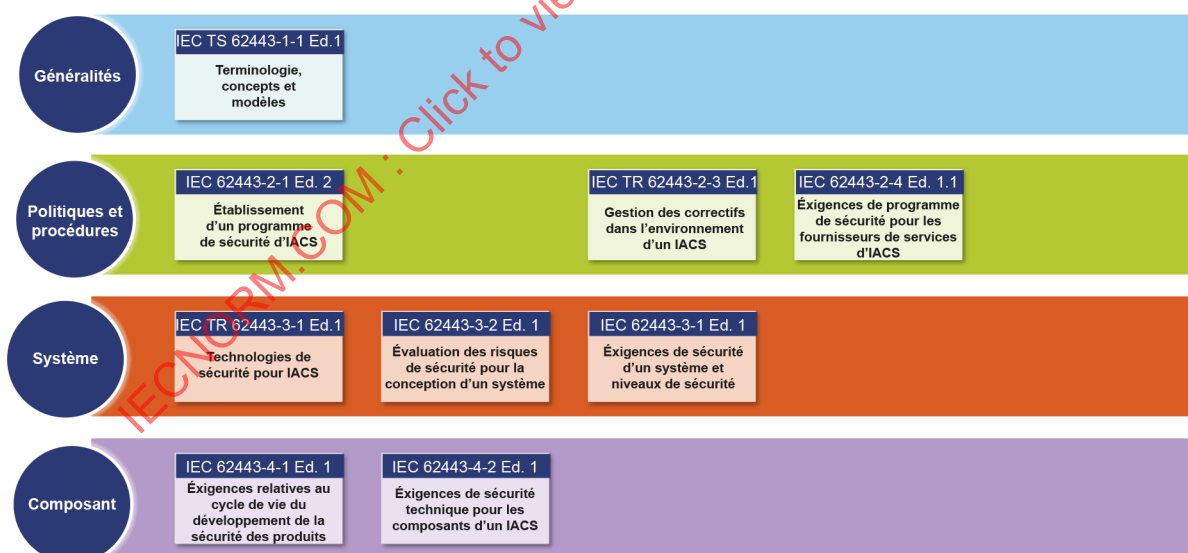
Lorsqu'il est exigé d'un organisme qu'il divulgue des KPI calculés avec des données de consommation d'énergie, des valeurs d'indice normalisées, des variations en pourcentage par rapport à l'année de référence déclarée, etc., ainsi que des variables pertinentes uniques ou multiples pour montrer les résultats de l'amélioration de son rendement énergétique, il est nécessaire de maintenir la confidentialité des données tout en représentant les tendances nécessaires. Les valeurs d'indice normalisées de la consommation d'énergie sont une technique couramment employée pour maintenir la confidentialité. Cette valeur d'indice normalisée correspond à la consommation d'énergie prédite divisée par la consommation d'énergie dans une condition de référence. Lors de l'utilisation de cet indice, la valeur réelle de la consommation d'énergie peut être tenue secrète en ne partageant les conditions de référence qu'avec ces parties (c'est-à-dire entre les entreprises d'approvisionnement énergétique et les entreprises consommatrices).

Le pourcentage de variation par rapport à l'année définie comme critère est également utilisé pour divulguer les résultats de l'amélioration du rendement énergétique des installations, d'un site, d'un processus de production, etc. Pour comparer de multiples données de la variation exprimée en pourcentage, il convient de déterminer et de mettre à jour l'année définie comme critère si la consommation d'énergie est modifiée.

4.7.2 Sécurité de l'information

La confidentialité des données est l'un des aspects de la structure de cybersécurité globale exigée de tout système informatique ou numérique. Comme le FEMS sera intégré dans des systèmes internes plus étendus, ils devront connaître et se conformer aux normes de cybersécurité, y compris l'ISO 27001, l'ISO 27002, l'ISO 22301 et l'ISO 27032 (système de management de la sécurité de l'information), ainsi que la série IEC 62443.

La Figure 11 représente la série IEC 62443 et les applications pratiques de ses différentes parties. Il convient d'utiliser ces documents pour la cybersécurité des FEMS.



IEC

Figure 11 – Normes relatives à la sécurité des systèmes d'automatisation et de commande industrielles (IACS) de l'IEC 62443

5 Description des fonctions du FEMS

5.1 Catégories de fonctions du FEMS

La Figure 12 représente les catégories de fonctions du FEMS et le cycle d'amélioration de la performance énergétique.

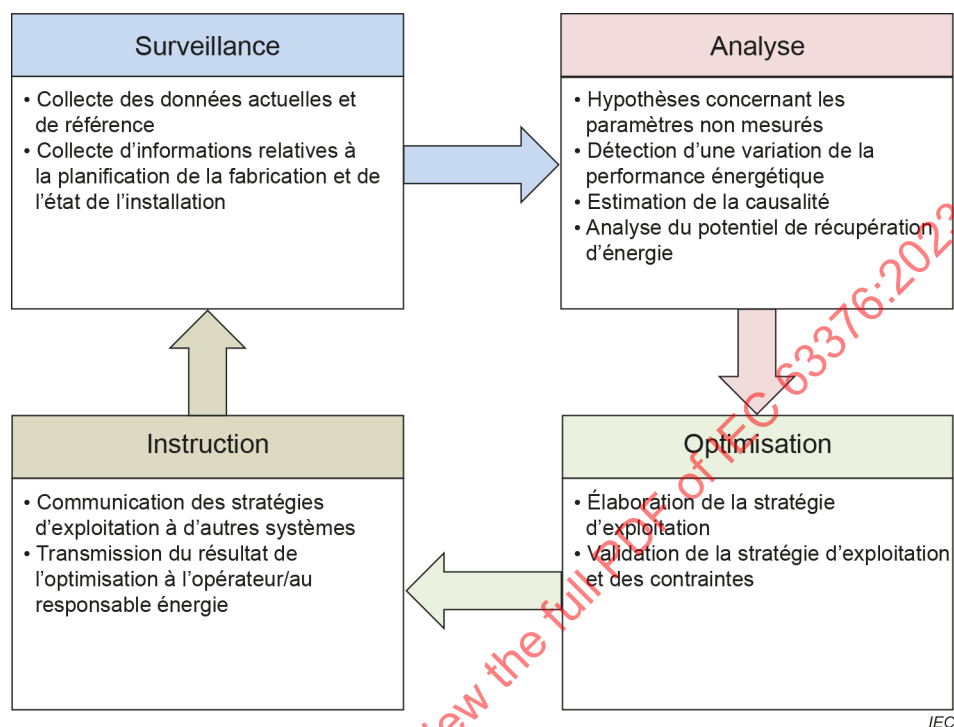


Figure 12 – Catégories de fonctions du FEMS et cycle d'amélioration de la performance énergétique

Le rôle du FEMS est d'améliorer la performance énergétique en optimisant l'utilisation de l'énergie sous conditions, en gérant les activités au sein d'une entreprise manufacturière. Pour remplir ce rôle, le FEMS a des fonctions nécessaires qui sont résumées en 10 fonctions spécifiées dans les listes à puces dans chaque catégorie de FEMS de la Figure 12. Ces fonctions sont classées en quatre catégories: surveillance, analyse, optimisation et instruction. Le Tableau 1 décrit chaque catégorie de fonctions du FEMS.

Tableau 1 – Description des catégories de fonctions du FEMS

Catégorie de FEMS	Description
Surveillance	Fonctions permettant de collecter des données actuelles et de référence concernant la consommation d'énergie et des valeurs pertinentes après le fonctionnement des installations, provenant d'autres systèmes, et de stocker les données dans la base de données du FEMS.
Analyse	Fonctions permettant d'analyser la performance énergétique des installations, d'estimer la causalité entre la consommation d'énergie et les variables pertinentes, et d'explorer les économies d'énergie potentielles.
Optimisation	Fonctions permettant d'élaborer des stratégies d'exploitation optimale basées sur le plan d'exploitation réalisé par un autre système en fonction des contraintes de la direction, et de valider la stratégie d'exploitation par simulation si cela est exigé.
Instruction	Fonctions permettant de transmettre et de rendre compte des paramètres de réglage et de l'exploitation pour chaque installation en fonction de la stratégie d'exploitation élaborée et du compte-rendu des résultats de l'analyse.

Les détails de chaque fonction dans les catégories sont les suivants:

1) surveillance:

- collecte des données actuelles et de référence;

Le FEMS collecte des données actuelles et de référence telles que la quantité d'énergie fournie à partir du matériel d'approvisionnement énergétique, la consommation d'énergie du matériel de production pour la quantité de production, les données des processus et des machines ainsi que les informations associées selon l'ISO 20140-5 pour la classification des données d'évaluation des performances environnementales (EPE). Ces données sont collectées par l'intermédiaire du MES.

- collecte d'informations relatives à la planification de la fabrication et de l'état de l'installation;

Le FEMS collecte des informations relatives à l'état opérationnel et à la planification, telles que le prix de l'énergie, le plan de production, le matériel de production et les informations associées concernant la gestion d'énergie, ainsi que les cibles et les objectifs d'entrée de la direction. Ces informations sont collectées auprès de LIMS, WMS, CMM et d'autres FEMS.

Les données collectées sont horodatées et stockées dans la base de données du FEMS. Les fonctions du FEMS peuvent accéder aux données stockées dans cette base et peuvent les utiliser pour générer des données calculées qui sont également stockées dans la base de données.

2) analyse:

- hypothèses concernant les paramètres non mesurés;

Sur la base des données collectées par les fonctions de "surveillance", le FEMS estime les valeurs des paramètres non mesurés à l'aide des données stockées dans la base.

- détection d'une variation de la performance énergétique;

Sur la base des données collectées par les fonctions de "surveillance", le FEMS calcule le KPI pour chaque frontière et une consommation qui servira de référence pour la gestion de l'énergie. Le FEMS détecte la variation de la performance énergétique en utilisant les KPI et la consommation de référence.

- estimation de la causalité;

Lorsqu'une variation est détectée, le FEMS estime la relation de cause à effet entre la variation et l'état d'exploitation du matériel d'approvisionnement énergétique et du matériel de production, et la production réelle.

- analyse des économies d'énergie potentielles;

Sur la base de l'estimation, le FEMS analyse les économies d'énergie potentielles à optimiser.

3) optimisation:

- élaboration de la stratégie d'exploitation;

Sur la base des résultats analysés par les fonctions de la catégorie "Analyse", le FEMS élabore des stratégies d'exploitation. Avant la production réelle, le FEMS estime la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ pour le plan de production. Si la consommation d'énergie estimée par le FEMS n'est pas optimale dans les conditions de contrainte définies par l'organisme, le plan de production sera réexaminé. La réduction des coûts, la productivité, la réduction des émissions de CO₂, etc., sont incluses dans les conditions de contrainte qui sont prioritaires pour les opérations.

- validation de la stratégie d'exploitation et des contraintes;

Le FEMS valide l'efficacité du plan de production réexaminé par des FEMS individuels pour satisfaire aux contraintes du matériel.

4) instruction:

- communication des stratégies d'exploitation à d'autres systèmes;

Le FEMS transmet le plan de production validé qui spécifie les conditions de fonctionnement du matériel d'approvisionnement énergétique et du matériel de production, à d'autres systèmes par l'intermédiaire du MES.

- communication des résultats de l'optimisation à l'opérateur/au responsable énergie

Le FEMS envoie des rapports sur les KPI de la frontière et les informations associées au responsable énergie et aux opérateurs de matériel.

La Figure 13 représente un exemple de relations entre les fonctions du FEMS et d'autres systèmes.

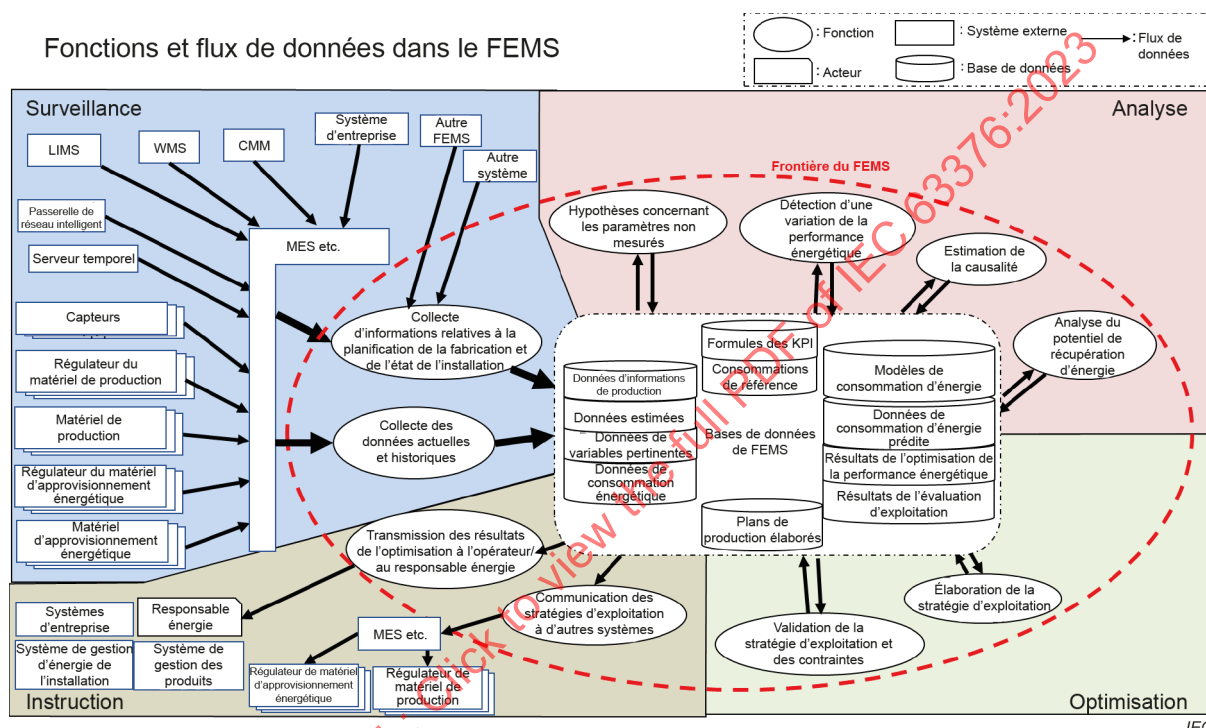


Figure 13 – Relations entre les fonctions du FEMS et les autres systèmes

Les fonctions suivantes de la catégorie "Surveillance" collectent les données provenant du matériel d'approvisionnement énergétique, du matériel de production, des capteurs, du réseau intelligent, de LIMS, de WMS, de CMM, du système d'entreprise, d'autres FEMS, etc. Ces données sont collectées par l'intermédiaire du MES et sont stockées dans la base de données du FEMS.

- collecte des données actuelles et de référence;

Collecte d'informations relatives à la planification de la fabrication et de l'état de l'installation Les fonctions des autres catégories calculent des données de sortie en utilisant les données de la base de données du FEMS et stockent le résultat dans cette base.

5.2 Flux de données de la catégorie "Surveillance"

5.2.1 Généralités

Le Tableau 2 et la Figure 14 présentent des exemples de données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Surveillance".

Tableau 2 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Surveillance"

Fonctions	Données d'entrée des fonctions	Données de sortie des fonctions
Collecte des données actuelles et de référence	Consommation d'énergie Données associées Données des capteurs	Données horodatées
Collecte d'informations relatives à la planification de la fabrication et de l'état de l'installation	plan de production; État opérationnel Informations relatives à la planification Informations de gestion d'énergie Prévisions météorologiques Cibles et objectifs des organismes	Informations de production

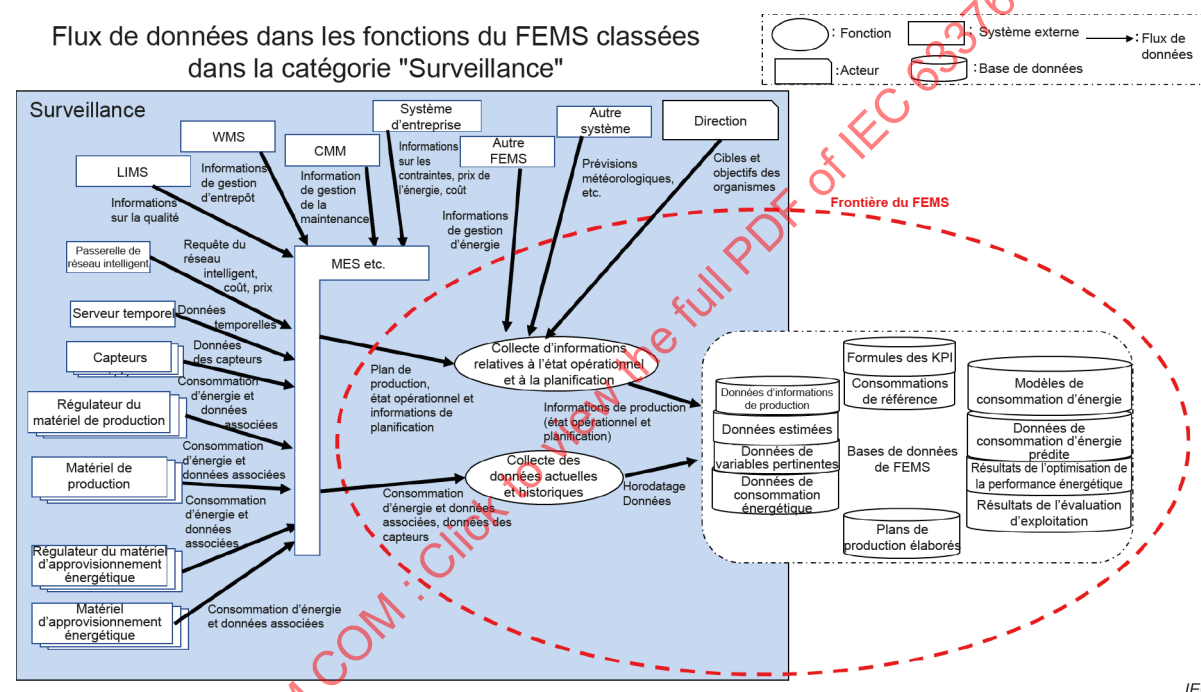


Figure 14 – Fonctions classées dans la catégorie "Surveillance" et flux de données associés du FEMS

5.2.2 Collecte des données actuelles et de référence

5.2.2.1 Exigences

Cette fonction doit collecter des données liées à l'énergie, telles que la consommation d'énergie, ainsi que les données et les variables pertinentes, provenant du matériel de commande et des capteurs par l'intermédiaire du MES.

NOTE 1 Les variables pertinentes comprennent des informations environnementales telles que la température atmosphérique, l'humidité, etc. pendant la production. L'unité des données collectées est convertie en unités techniques prédéfinies et en données temporelles.

EXEMPLE: La conversion en données temporelles peut être exécutée toutes les heures par agrégation des données à la minute.

Les formats des données collectées sont convertis en format de données du FEMS.

NOTE 2 Chaque élément de données est horodaté pour la conversion de format. Les données agrégées sont stockées dans la base de données spécifiée du FEMS.

5.2.2.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- consommation d'énergie: approvisionnement et consommation d'énergie du matériel d'approvisionnement énergétique, et consommation d'énergie du matériel demandeur d'énergie tel que le matériel de production;
- données associées: variables pertinentes qui affectent l'offre et la demande énergétique (volume de production);
- données des capteurs: variables pertinentes des capteurs qui affectent l'offre et la demande énergétique (température atmosphérique, humidité, etc.).

Sortie (dans la base de données du FEMS):

- données horodatées.

5.2.2.3 Traitement

Collecte d'informations sur l'énergie et d'informations pertinentes, conversion du format de données et stockage des données dans la base de données du FEMS.

5.2.3 Collecte d'informations relatives à la planification de la fabrication et de l'état de l'installation

5.2.3.1 Exigences

Cette fonction doit obtenir les informations connexes telles que le plan de production (cible et contraintes), les informations relatives au matériel et au fonctionnement, etc., en collectant des données auprès d'autres systèmes.

NOTE 1 Les informations relatives au matériel contiennent le volume de production, les valeurs des résultats (vitesse de traitement, mode de fonctionnement, température prééglée par exemple) du matériel auprès desquels le FEMS peut obtenir des informations.

NOTE 2 Les informations relatives au plan de production contiennent un calendrier de production que le FEMS peut obtenir d'autres systèmes.

NOTE 3 Les informations associées à la gestion de l'énergie incluent le coût d'achat du combustible, les émissions de CO₂, les résultats de l'analyse de la composition des matières premières et du combustible, etc.

Les informations suivantes sont obtenues:

- informations permettant de définir la frontière (matériel et équipements, etc.), plan de maintenance et registres;
- informations sur les contraintes de fabrication quotidiennes et d'approvisionnement énergétique externe à l'organisme;
- informations sur le plan de production, le plan d'exploitation du matériel et les variables pertinentes prédites (prévisions météorologiques, température atmosphérique, etc.) pour l'exécution de ces plans.

Les données totalisées sont stockées dans une base de données spécifiée.

5.2.3.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- plan de production;
- état opérationnel: conditions de fonctionnement du matériel de production (volume de production planifié à un instant donné, résultats de l'analyse de la composition de la matière première et du combustible (par exemple taux d'humidité, etc.));
- informations relatives à la planification: plan opérationnel du matériel de production et plan de maintenance;
- informations de gestion d'énergie: configuration à la frontière, enregistrements des paramètres du matériel, contraintes (coût, émissions de CO₂, consommation d'énergie, etc.), valeur prédite des variables pertinentes;
- prévisions météorologiques;
- cibles et objectifs des organismes: informations relatives à l'approvisionnement énergétique externe.

Sortie (stockée dans la base de données du FEMS):

- informations de production collectées à partir d'autres systèmes: Fonctionnement et état.

5.2.3.3 Traitement

Les conditions de fonctionnement du matériel et les résultats de production sont stockés dans la base de données du FEMS.

5.3 Flux de données de la catégorie "Analyse"

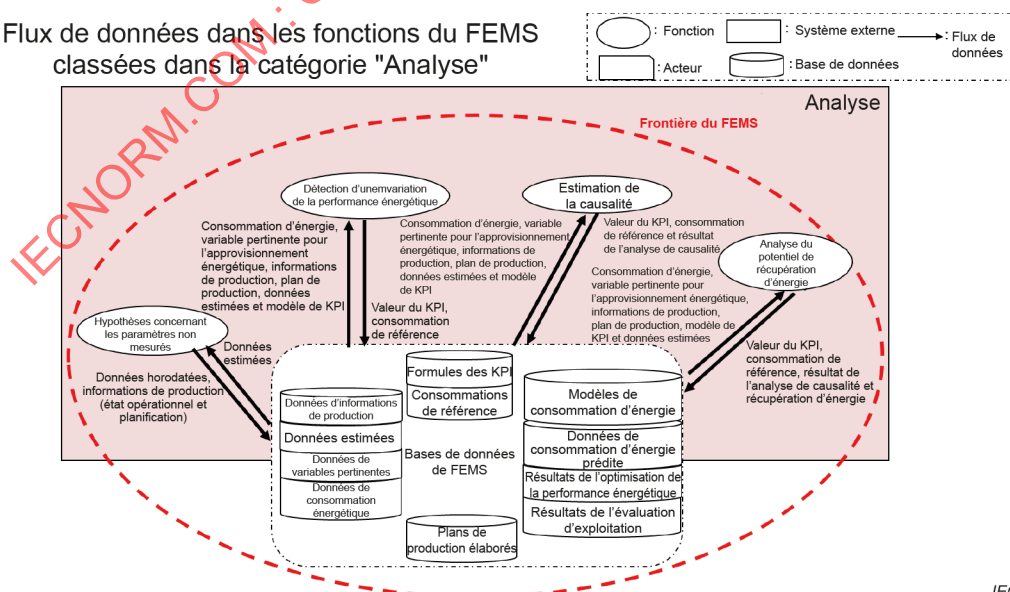
5.3.1 Généralités

Le Tableau 3 et la Figure 15 présentent des exemples de données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Analyse".

Tableau 3 – Entrée et sortie de données des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Analyse"

Fonctions	Données d'entrée des fonctions	Données de sortie des fonctions
Hypothèses concernant les paramètres non mesurés	Données horodatées Informations de production	Données estimées
Détection d'une variation de la performance énergétique	Consommation d'énergie Variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique Informations de production Plan de production Données estimées Définition du KPI	Valeur du KPI Consommation de référence
Estimation de la causalité	Consommation d'énergie Variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique Informations de production Plan de production Données estimées Définition du KPI	Valeur du KPI Consommation de référence Résultat de l'analyse de causalité
Analyse de l'économie d'énergie potentielle	Consommation d'énergie Variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique Informations de production Plan de production Données estimées Définition du KPI	Valeur du KPI Consommation de référence Économie d'énergie basée sur l'analyse de causalité

Flux de données dans les fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Analyse"



IEC

Figure 15 – Fonctions classées dans la catégorie "Analyse" et flux de données liées au FEMS

5.3.2 Hypothèse concernant les paramètres non mesurés

5.3.2.1 Exigences

Cette fonction doit estimer les données et les paramètres non mesurés en raison de l'absence de moyens de mesure directe, sur la base d'autres données mesurées.

EXEMPLE 1: Cas où le coût de l'énergie unitaire est calculé en utilisant le coût du combustible, le rendement énergétique et l'extrait énergétique du matériel d'approvisionnement énergétique.

EXEMPLE 2: Cas où la puissance consommée en entrée de l'installation complète est mesurée et allouée à plusieurs matériels de production proportionnellement à chaque état de production différent. La désagrégation énergétique décompose la consommation totale mesurée en contribution individuelle de chaque matériel/équipement, par des approches statistiques.

EXEMPLE 3: Cas où la consommation de charbon est calculée par l'inventaire avant et après la production.

EXEMPLE 4: Estimation de la consommation d'énergie d'un matériel de production, basée sur l'état de fonctionnement du matériel toutes les 10 minutes et la consommation d'énergie horaire cumulée.

5.3.2.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- données horodatées: consommation et approvisionnement en énergie à partir du matériel d'approvisionnement énergétique;
- informations de production: conditions de fonctionnement du matériel de production (par exemple vitesse de traitement, mode de fonctionnement, température prééglée), définition du KPI.

Sortie (stockée dans la base de données du FEMS):

- données estimées: Données non mesurées estimées.

5.3.2.3 Traitement

Les résultats de calcul des paramètres non mesurés sont stockés dans les bases de données du FEMS.

5.3.3 Détection d'une variation de la performance énergétique

5.3.3.1 Exigences

Cette fonction doit détecter les variations de la performance énergétique de la frontière en utilisant les données du FEMS.

EXEMPLE: Calculer les valeurs des KPI de la frontière. Générer des alarmes lorsque l'écart entre la valeur actuelle du KPI et la consommation de référence dépasse la limite admissible.

NOTE Les KPI comprennent la consommation d'énergie, l'intensité de la consommation d'énergie, le modèle statistique, etc.

5.3.3.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- consommation d'énergie: Consommation énergétique du matériel consommateur d'énergie tel que le matériel de production;
- variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique: paramètres, conditions de fonctionnement du matériel de production et valeurs actuelles;

- informations de production: Configuration à la frontière;
- plan de production;
- données estimées: résultat d'estimation pour les données non mesurées telles que l'analyse de la composition de la matière première et du combustible (taux d'humidité, par exemple);
- définition du KPI: Équation du modèle de KPI, consommation de référence, résultat calculé de la valeur du KPI.

Sortie: (stockée dans la base de données du FEMS):

- valeurs du KPI;
- consommation de référence.

5.3.3.3 Traitement

La consommation de référence doit être calculée à l'aide de données historiques.

L'écart entre la valeur du KPI et la consommation de référence doit être calculé.

5.3.4 Estimation de la causalité

5.3.4.1 Exigences

Cette fonction doit estimer la relation de cause à effet entre l'état de fonctionnement à la frontière, la consommation d'énergie et les variables pertinentes.

EXEMPLE: La causalité est estimée en fonction de la variation avant et après les données anormales détectées par le contrôle des résultats du KPI et de la consommation de référence.

5.3.4.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- consommation d'énergie: Consommation et approvisionnement d'énergie du matériel d'approvisionnement énergétique, et consommation d'énergie du matériel consommateur d'énergie tel que le matériel de production;
- variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique: Variables pertinentes qui affectent l'offre et la demande énergétique (par exemple volume de production, température atmosphérique, humidité, etc.), résultats d'estimation pour les données non mesurées;
- informations de production: Résultat de l'analyse de la composition de la matière première et du combustible (taux d'humidité, par exemple), et configuration à la frontière;
- plan de production: paramètres;
- données estimées;
- définition du KPI: Données historiques sur la consommation de référence, équation de modèle du KPI, consommation de référence, résultat calculé du KPI, efficacité confirmée du KPI et de la consommation de référence.

Sortie: (stockée dans la base de données du FEMS):

- valeurs du KPI;
- consommation de référence;
- résultats de l'analyse de causalité.

5.3.4.3 Traitement

La relation de cause à effet entre l'état de fonctionnement à la frontière, la consommation d'énergie et les variables pertinentes doit être estimée.

Des expressions relationnelles basées sur l'analyse de causalité des informations sur l'énergie et les variables pertinentes doivent être générées.

5.3.5 Analyse de l'économie d'énergie potentielle

5.3.5.1 Exigences

Cette fonction doit estimer l'économie d'énergie possible après élimination de la cause de variation sur la base de l'analyse de causalité.

EXEMPLE: Lorsque les résultats du KPI dépassent l'intervalle admissible de déviation par rapport à la consommation de référence, l'économie d'énergie possible est estimée en fixant des conditions de fonctionnement optimales de plusieurs matériels et en activant le fonctionnement coopératif de plusieurs matériels sur la base des données d'exploitation antérieures.

- Consommation et approvisionnement en énergie du matériel d'approvisionnement énergétique.
- Consommation énergétique du matériel consommateur d'énergie tel que le matériel de production.
- Variables pertinentes qui affectent la demande et l'approvisionnement énergétique (par exemple volume de production, température atmosphérique, humidité, etc.), conditions de fonctionnement du matériel de production (par exemple vitesse de traitement, mode de fonctionnement, température pré-réglée), plan de production, résultats d'estimation pour les données non mesurées.
- Données historiques sur la consommation de référence, équation de modèle du KPI.

5.3.5.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- consommation d'énergie;
- variables pertinentes pour l'approvisionnement énergétique;
- informations de production;
- plan de production;
- données estimées;
- définition du KPI.

Sortie (stockée dans la base de données du FEMS):

- valeur du KPI;
- consommation de référence;
- économie d'énergie basée sur l'analyse de causalité.

5.3.5.3 Traitement

Estimer la possible quantité d'économie d'énergie sur la base des calculs suivants.

- Comparer les dernières données et les consommations de référence.
- Estimer les conditions de fonctionnement possibles du matériel, telles que les valeurs de consigne et les contraintes de fonctionnement sur la base des informations relatives à la maintenance du matériel et de la relation entre les résultats de fonctionnement et la valeur antérieure du KPI.
- Estimer la consommation d'énergie actuelle à partir de la consommation d'énergie et des dernières données qui sont estimées dans les conditions ci-dessus.

5.4 Flux de données de la catégorie "Optimisation"

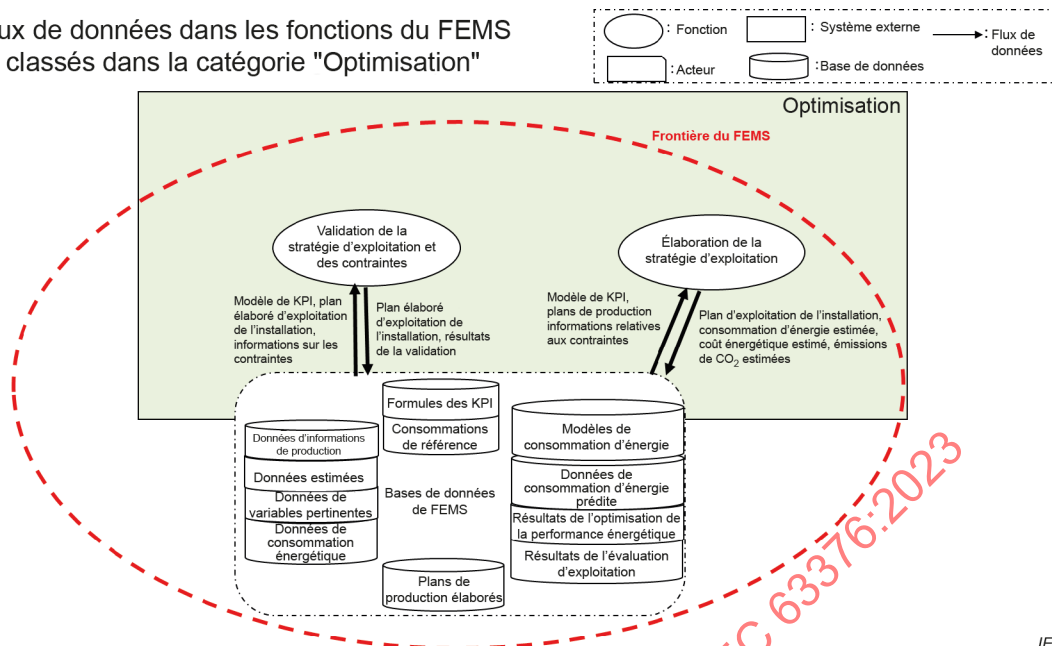
5.4.1 Généralités

Le Tableau 4 et la Figure 16 présentent des exemples de données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Optimisation".

Tableau 4 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Optimisation"

Fonctions	Données d'entrée des fonctions	Données de sortie des fonctions
Validation de la stratégie d'exploitation et des contraintes	Définition du KPI Plan élaboré d'exploitation de l'installation Informations relatives aux contraintes	Résultats de la validation
Élaboration de la stratégie d'exploitation	Définition du KPI Plan de production Informations relatives aux contraintes	Plan d'exploitation de l'installation Consommation d'énergie estimée Coût énergétique estimé Émissions de CO ₂ estimées

Flux de données dans les fonctions du FEMS classés dans la catégorie "Optimisation"



IEC

Figure 16 – Fonctions classées dans la catégorie "Optimisation" et flux de données associés du FEMS

Élaboration de la stratégie d'exploitation:

5.4.2 Validation de la stratégie d'exploitation et des contraintes

5.4.2.1 Exigences

Cette fonction doit valider le plan d'exploitation du matériel pour satisfaire aux exigences des contraintes relatives au matériel, aux coûts, aux émissions de CO₂, etc.

5.4.2.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- définition du KPI: Équation du modèle de KPI;
- plan élaboré d'exploitation de l'installation: plan d'exploitation du matériel;
- informations sur les contraintes: valeurs prédites du fonctionnement du matériel en respectant ses contraintes de fonctionnement.

Sortie (dans la base de données du FEMS):

- résultats de la validation: Résultats de la validation du plan d'exploitation du matériel avec les données suivantes: consommation d'énergie de chaque matériel, coût de production, valeurs calculées des émissions de CO₂, contraintes de fonctionnement du matériel.

5.4.2.3 Traitement

Validation de la stratégie d'exploitation dans le respect des contraintes, en comparant les valeurs planifiées et les résultats actuels du fonctionnement du matériel, après la réalisation du plan d'exploitation du matériel dans les conditions contraintes.

5.4.3 Élaboration de la stratégie d'exploitation

5.4.3.1 Exigences

Cette fonction doit élaborer un plan d'exploitation du matériel qui optimise la consommation d'énergie en respectant les contraintes du plan de production telles que la sécurité, la qualité, etc.

5.4.3.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- définition du KPI: équation du modèle de KPI;
- plans de production: plan de production;
- informations sur les contraintes: variables pertinentes prédites telles que le volume de production, la température, l'humidité, etc., contraintes de fonctionnement du matériel, informations relatives à l'approvisionnement énergétique externe.

Sortie (dans la base de données du FEMS):

- plan d'exploitation de l'installation: Résultats de l'étude du plan d'exploitation du matériel ;
- consommation d'énergie estimée: résultats de calcul de la consommation d'énergie dans le cadre du plan d'exploitation du matériel;
- coût énergétique estimé: résultats de calcul du coût énergétique dans le cadre du plan d'exploitation du matériel;
- émissions de CO₂ estimées: résultats de calcul des émissions de CO₂ dans le cadre du plan d'exploitation du matériel.

5.4.3.3 Traitement

Estimer la consommation d'énergie de l'installation complète en totalisant la quantité prédite de consommation d'énergie sur la base du plan de production donné.

Examiner les modifications du plan de production, du plan d'exploitation, de l'approvisionnement énergétique externe, lorsque les conditions de fonctionnement à la frontière sont incompatibles avec les contraintes de fonctionnement du matériel.

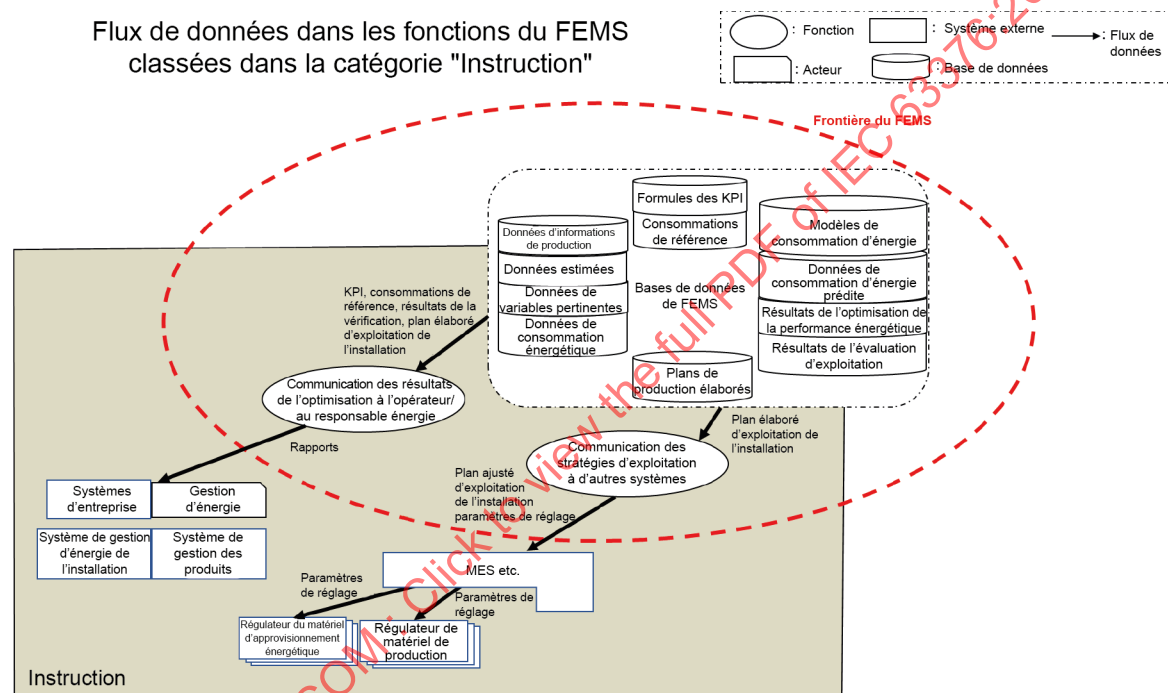
5.5 Flux de données de la catégorie "Instruction"

5.5.1 Généralités

Le Tableau 5 et la Figure 17 présentent des exemples de données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Instruction".

Tableau 5 – Données d'entrée et de sortie des fonctions du FEMS classées dans la catégorie "Instruction"

Fonctions	Données d'entrée des fonctions	Données de sortie des fonctions
Communication des résultats de l'optimisation à l'opérateur/au responsable énergie	KPI Consommations de référence Résultats de la vérification Plan élaboré d'exploitation de l'installation, etc.	Rapports
Communication des stratégies d'exploitation à d'autres systèmes	Plan élaboré d'exploitation de l'installation	Plan ajusté d'exploitation de l'installation, paramètres de réglage



IEC

Figure 17 – Fonctions classées dans la catégorie "Instruction" et flux de données liés au FEMS

5.5.2 Transmission des résultats de l'optimisation à l'opérateur/au responsable énergie

5.5.2.1 Exigences

Cette fonction doit fournir aux personnes concernées (opérateur, responsable, etc.) un rapport des résultats de KPI tels que la consommation d'énergie, l'intensité de la consommation d'énergie, etc.

5.5.2.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- KPI;
- consommations de référence;
- résultats de la vérification;
- plan élaboré d'exploitation de l'installation: Données relatives aux points de consigne modifiés pour le fonctionnement du matériel afin de mettre en œuvre le plan de production et le plan d'exploitation du matériel qui sont optimisés dans le FEMS.

Sortie:

- rapports: Valeurs de consigne au moment de l'exécution du matériel de production et du matériel d'approvisionnement énergétique pour la mise en œuvre du plan de production et du plan d'exploitation du matériel, informations liées à l'énergie, variables pertinentes, KPI, consommations de référence, plan de production optimisé, alarme de non-réalisation du plan de production, informations relatives à la maintenance du matériel.

5.5.2.3 Traitement

Cette fonction doit générer le rapport des résultats de calcul totalisés des informations liées à l'énergie et des informations pertinentes.

5.5.3 Communication des stratégies d'exploitation à d'autres systèmes

5.5.3.1 Exigences

Cette fonction doit communiquer à d'autres systèmes des valeurs de consigne pour le fonctionnement du matériel, basées sur le plan de production.

5.5.3.2 Flux de données

Aspects liés aux entrées et sorties:

Entrée:

- plan élaboré d'exploitation de l'installation: Plan d'exploitation du matériel optimisé dans le FEMS, valeurs de consigne du matériel pour optimiser son fonctionnement.

Sortie

- Plan élaboré d'exploitation de l'installation.
- Paramètre de réglage: Valeurs de consigne au moment de l'exécution du matériel de production et du matériel d'approvisionnement énergétique pour la mise en œuvre du plan d'exploitation du matériel.

5.5.3.3 Traitement

Déterminer des valeurs de consigne pour le matériel de production et d'approvisionnement énergétique à un instant donné afin de mettre en œuvre le plan d'exploitation du matériel qui est optimisé dans le FEMS.

6 Classification du FEMS

La classification du FEMS repose sur trois aspects qui sont la fonction, le niveau d'automatisation et la frontière. Les éléments de l'axe Fonction sont les mêmes que les catégories de fonctions du FEMS décrites dans le Tableau 1. Les éléments de l'axe Automatisation sont les "niveaux d'automatisation" du processus du FEMS. Le Tableau 6 décrit les "niveaux d'automatisation". Les éléments de l'axe Frontière sont définis au 3.1.

Tableau 6 – Description des "niveaux d'automatisation"

Niveau d'auto-matisation	Mode de gestion	Définition narrative	Surveillance	Analyse	Optimisation	Instruction
Le responsable humain exécute principalement quatre des fonctions fondamentales du FEMS.						
0	Mode manuel	Le responsable énergie exécute tous les aspects de la tâche de gestion d'énergie	Responsable	Res-ponsable	Responsable	Responsable
1	Mode d'assistance du FEMS	Le système collecte les données actuelles et les visualise pour aider le responsable énergie	Partiellement réalisée par le système	Res-ponsable	Responsable	Partiellement réalisée par le système
2	Mode d'automatisation partielle	Le système surveille et estime les données/paramètres non mesurés. Le système visualise le KPI et les données actuelles/de référence	Système	Partiellement réalisée par le système	Responsable	Partiellement réalisée par le système
Le système perçoit l'état de l'installation par la surveillance et l'analyse et élabore des stratégies d'exploitation par l'optimisation pour former d'autres systèmes.						
3	Mode d'automatisation conditionnelle	Le système peut exécuter toutes les tâches de gestion, y compris l'optimisation collaborative avec plusieurs systèmes en régime permanent ou pendant certaines phases de lot. Il reste nécessaire que le responsable réponde de manière appropriée aux demandes du système, etc.	Système	Partiellement réalisé par le responsable	Partiellement réalisé par le responsable	Partiellement réalisé par le responsable
4	Mode d'automatisation élevée	Le système exécute toutes les tâches de gestion dans certaines limites. Si des contraintes ne sont pas satisfaites dans le cadre des plans de production, le plan d'exploitation du matériel est ajusté manuellement	Système	Normalement effectué par le système	Normalement effectué par le système	Système
5	Mode d'automatisation complète	Le système exécute toutes les tâches de gestion.	Système	Système	Système	Système

La Figure 18 est une carte tridimensionnelle du FEMS qui représente un système 3D de coordonnées cartésiennes, l'axe X correspondant aux fonctions, l'axe Y au niveau d'automatisation et l'axe Z à la frontière.

Cette représentation fournit une perspective holistique d'une architecture globale du FEMS.

Axe Fonction:

- surveillance;
- analyse;
- optimisation;
- instruction.

Axe Automatisation:

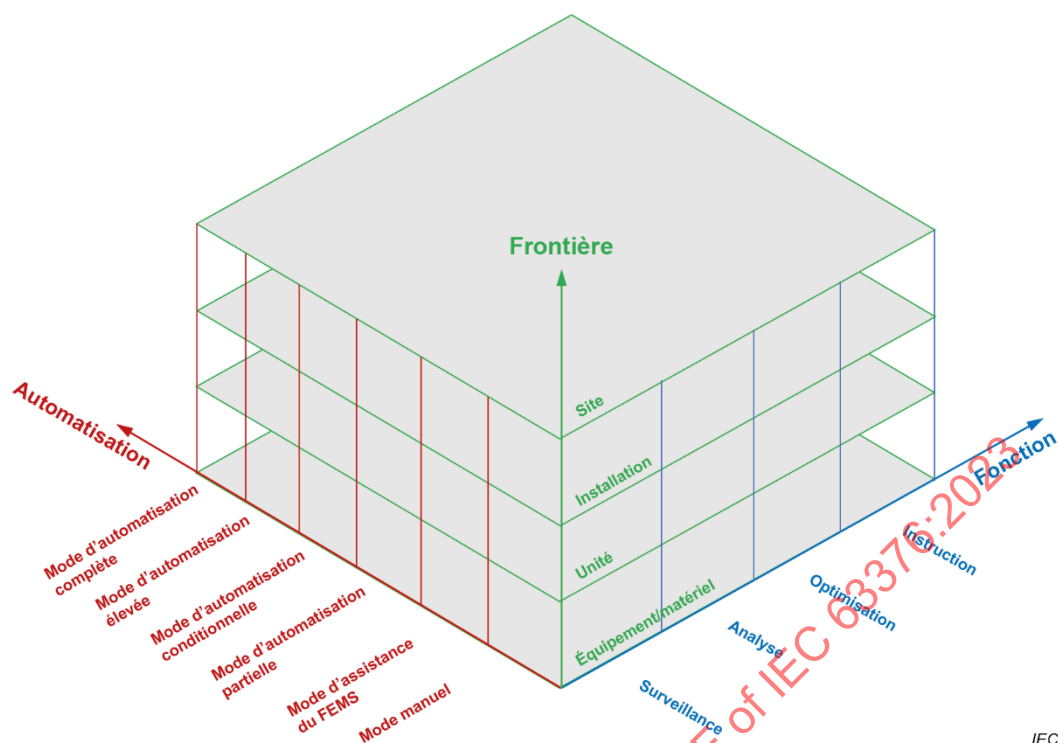
- niveau d'automatisation 0: Mode manuel (pas d'automatisation);
- niveau d'automatisation 1: Mode d'assistance du FEMS;
- niveau d'automatisation 2: Mode d'automatisation partielle;
- niveau d'automatisation 3: Mode d'automatisation conditionnelle;
- niveau d'automatisation 4: Mode d'automatisation élevée;
- niveau d'automatisation 5: Mode d'automatisation complète.

Axe Frontière:

- équipement/matériel;
- unité;
- installation;
- site.

À titre d'exemple, la classification du FEMS dans les cas d'utilisation pour l'échange d'informations entre le FEMS, les installations de production et les installations d'approvisionnement énergétique est décrite à l'Annexe A et représentée à la Figure A.2.

Le Tableau 7 détaille les fonctions du FEMS sur le plan bidimensionnel des axes Fonction et Automatisation à titre d'exemples. Le FEMS peut être classé en 6 niveaux d'automatisation allant de 0 à 5.



IEC

Figure 18 – Carte tridimensionnelle du FEMS

Tableau 7 – Relation entre le niveau d'automatisation et la fonction

Niveau d'automatisation	Définition narrative	Surveillance	Analyse	Optimisation	Instruction
Système de gestion d'énergie manuel					
0	Mode manuel	Le responsable énergie exécute tous les aspects de la tâche de gestion d'énergie.	Collecte manuelle des données actuelles/de référence (date de facturation mensuelle, par exemple).	Les KPI sont fournis par la direction. Les KPI sont surveillés manuellement. Les valeurs des KPI sont calculées manuellement.	Fournis manuellement sur la base des connaissances et de l'expérience. Les KPI mis à jour sont rapportés manuellement. Les valeurs de consignes des installations sont entrées manuellement.
1	Mode d'assistance du FEMS	Le système collecte les données actuelles et les visualise pour aider le responsable énergie.	Le système collecte certaines données actuelles/de référence.	Les KPI sont définis manuellement. Les valeurs des KPI sont calculées sur la base des formules contenant les valeurs suggérées par le système.	Fournis sur la base des valeurs de KPI suggérées par le système. La consommation d'énergie et les KPI mis à jour sont rapportés et visualisés par le système. Les valeurs de consignes des installations sont entrées manuellement.

Niveau d'automatisation	Définition narrative	Surveillance	Analyse	Optimisation	Instruction
2 Mode d'automatisation partielle	Le système surveille et estime les données/paramètres non mesurés. Le système visualise les KPI et les données actuelles/de référence.	Le système collecte des données actuelles/de référence.	Les KPI sont définis manuellement. Les valeurs des KPI sont calculées par le système. Les paramètres non mesurés sont supposés par le système. La variation de la performance énergétique est détectée manuellement. La causalité est estimée manuellement. L'économie d'énergie potentielle est analysée manuellement.	Fournis sur la base des valeurs de KPI suggérées par le système.	La consommation d'énergie et les KPI mis à jour sont rapportés et visualisés par le système. Les valeurs de consignes des installations sont entrées manuellement.
Système de gestion d'énergie automatique					
3 Mode d'automatisation conditionnelle	Le système peut exécuter toutes les tâches de gestion, y compris l'optimisation collaborative avec plusieurs systèmes en régime permanent ou pendant certaines phases de lot. Il reste nécessaire que le responsable réponde de manière appropriée aux demandes du système, etc.	Le système collecte des données actuelles/de référence.	Les KPI sont définis manuellement. Les valeurs des KPI sont calculées par le système. Les paramètres non mesurés sont supposés par le système. La variation de la performance énergétique est détectée par le système. La causalité est estimée manuellement. L'économie d'énergie potentielle est analysée manuellement.	Certaines installations sont optimisées sur la base des valeurs de KPI obtenues manuellement.	La consommation d'énergie et les KPI mis à jour sont rapportés et visualisés par le système. Les valeurs de consigne de certaines installations sont entrées par le système.

Niveau d'automatisation	Définition narrative	Surveillance	Analyse	Optimisation	Instruction
4 Mode d'automatisation élevée	- Le système exécute toutes les tâches de gestion dans certaines limites. - Si des contraintes ne sont pas satisfaites dans le cadre des plans de production, le plan d'exploitation du matériel est ajusté manuellement.	Le système collecte des données actuelles/de référence.	Les KPI sont définis par le système dans des conditions de fonctionnement normales. Les valeurs de KPI sont calculées par le système dans des conditions de fonctionnement normales. Les paramètres non mesurés sont supposés par le système. La variation de la performance énergétique est détectée par le système. La causalité est estimée par le système dans des conditions de fonctionnement normales. L'économie d'énergie potentielle est analysée par le système dans des conditions de fonctionnement normales.	Toutes les installations sont optimisées sur la base des valeurs de KPI obtenues par le système dans des conditions de fonctionnement normales.	La consommation d'énergie et les KPI mis à jour sont rapportés et visualisés par le système. Les valeurs de consigne de toutes les installations sont entrées par le système.

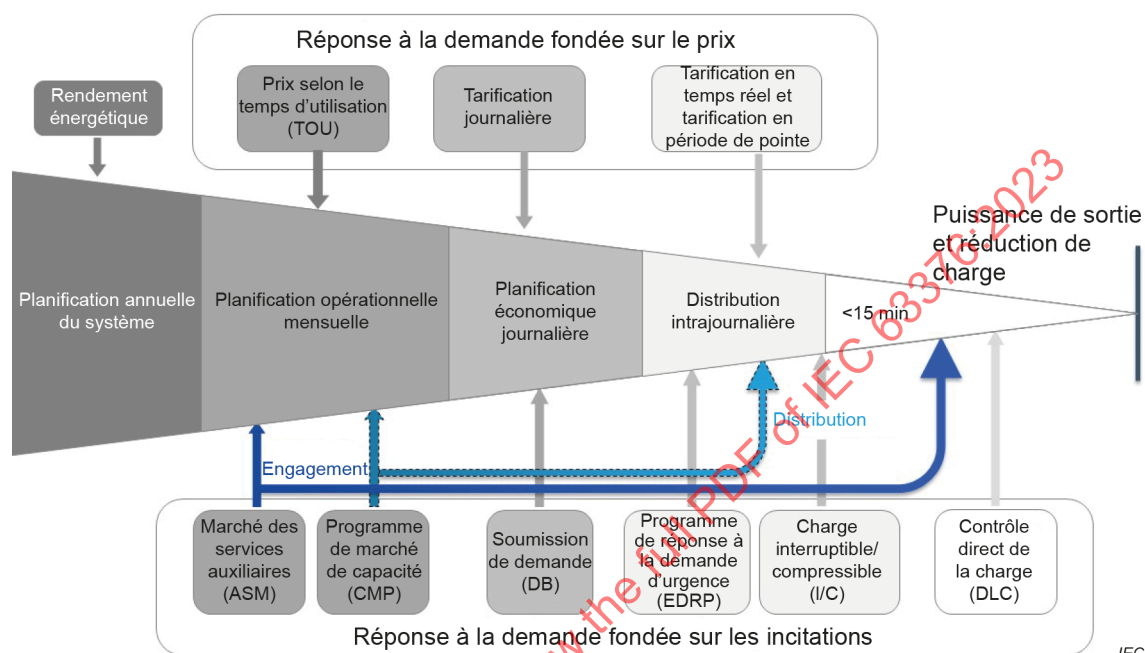
Niveau d'automatisation	Définition narrative	Surveillance	Analyse	Optimisation	Instruction
5 Mode d'automatisation complète	Le système exécute toutes les tâches de gestion.	Le système collecte des données actuelles/de référence.	Les KPI sont définis par le système dans toutes les conditions connues. Les valeurs de KPI sont calculées par le système dans toutes les conditions connues. Les paramètres non mesurés sont supposés par le système dans toutes les conditions connues. La variation de la performance énergétique est détectée par le système dans toutes les conditions connues. La causalité est estimée par le système dans toutes les conditions connues. L'économie d'énergie potentielle est analysée par le système dans toutes les conditions connues.	Toutes les installations sont optimisées sur la base des valeurs de KPI obtenues par le système dans toutes les conditions connues.	La consommation d'énergie et les KPI mis à jour sont rapportés et visualisés par le système. Les valeurs de consigne de toutes les installations sont entrées par le système.

7 Réponse à la demande du FEMS

7.1 Réponse à la demande

Les usines peuvent ajuster leur demande énergétique en fonction de l'évolution des plans de production et de leur plan d'exploitation, et utiliser un système de stockage d'énergie tel que des batteries en fonction de l'état du bilan énergétique dans le réseau intelligent. La réponse à la demande fondée sur les incitations et la réponse à la demande fondée sur le prix sont deux types de programmes appliqués par le réseau intelligent pour maintenir le bilan énergétique du réseau en gérant la demande de charge des clients en réponse à des conditions d'approvisionnement, telles que les prix ou les signaux de disponibilité. Plusieurs programmes types de réponse à la demande pour la gestion du réseau sont représentés à la Figure 19. Les échanges d'informations entre les installations industrielles et le réseau intelligent dans le processus d'exécution de la réponse à la demande sont décrits dans l'IEC TS 62872-1 et l'IEC 62872-2 [2]. Le FEMS est susceptible de jouer un rôle important dans l'ajustement de la demande énergétique dans les installations industrielles et dans leur approvisionnement énergétique.

En utilisant le FEMS, les installations industrielles peuvent prédire la demande énergétique dans le cadre de leurs futurs plans de production et des plans d'exploitation des installations de production. Elles peuvent établir des plans d'exploitation pour les installations d'approvisionnement énergétique, y compris les systèmes de stockage et de production d'énergie, correspondant aux demandes énergétiques prévues. En recevant des requêtes de changement des plans d'approvisionnement ou de demande énergétique en provenance du réseau intelligent, les installations industrielles examinent si la requête sera acceptée ou non en changeant leurs plans de production et leurs plans d'exploitation d'installations.



Source: IEC TS 62872-1:2019

Figure 19 – Approche générale commune à ce jour pour la gestion de la réponse à la demande du réseau

7.2 FEMS et réponse à la demande fondée sur les incitations

Dans la réponse à la demande fondée sur les incitations, une quantité variable d'énergie électrique ajustée est négociée. Lorsque le réseau intelligent demande une augmentation/diminution de l'approvisionnement énergétique des installations industrielles, le FEMS examine si les installations industrielles peuvent réduire/augmenter leur consommation d'énergie d'une grandeur identique à la demande en simulant des cas de modification des plans de production et des plans d'exploitation des installations. Sur la base des résultats et des processus prédéterminés, le responsable de la planification énergétique de l'installation et le responsable de la planification de la production déterminent si les installations industrielles acceptent les requêtes du réseau intelligent, proposent une alternative ou rejettent la requête. Ce jugement peut être effectué par les systèmes d'entreprise.

L'Annexe B fournit des cas d'utilisation d'un échange d'informations entre le FEMS et les systèmes de batteries.

7.3 FEMS et réponse à la demande fondée sur le prix

Le présent paragraphe va décrire le FEMS et les cas d'utilisation concernant le scénario de réponse à la demande fondée sur le prix.

Dans la réponse à la demande fondée sur le prix, le prix de l'électricité est changé au fil du temps. Ainsi, le FEMS estime le futur coût énergétique des installations industrielles en utilisant les informations sur le prix provenant de la passerelle de l'entreprise publique et des demandes d'énergie estimées. Sur la base du coût énergétique et des informations prioritaires des systèmes d'entreprise, le FEMS examine les suggestions concernant les plans de production modifiés et les plans d'exploitation d'installation modifiés. Au regard de la suggestion, le responsable de la planification énergétique de l'installation et les responsables de la planification de la production décident s'il faut changer les plans ou non. Ce jugement peut être effectué avec les systèmes d'entreprise.

La Figure 20 est extraite de l'IEC 62872-2 [2] et montre la relation entre les sept composants fonctionnels (FC) décrits plus en détail ci-dessous:

- 1) composant fonctionnel 1 (FC 1): Déterminer les informations de prix énergie/demande;
la centrale électrique publique doit fournir la tarification dynamique à l'ESM, puis l'EMS doit gérer la consommation d'énergie en cours de l'installation
- 2) composant fonctionnel 2 (FC 2): Déterminer les paramètres DR;
l'EMS doit préparer les paramètres de l'algorithme DR et doit prendre la décision DR
- 3) composant fonctionnel 3 (FC 3): Gérer le point de fonctionnement de chaque intervalle de temps pour réduire le plus possible les consommations d'énergie;
l'EMS doit attribuer chaque tâche à l'EMA, puis l'EMA doit attribuer des niveaux de fonctionnement pour chaque tâche au MCS et le MCS doit enfin commander le matériel
- 4) composant fonctionnel 4 (FC 4): Déterminer l'utilisation de l'ESS;
l'EMS doit spécifier le mode de fonctionnement de l'ESS et la durée de fonctionnement de ce mode
- 5) composant fonctionnel 5 (FC 5): Déterminer l'utilisation du système de production d'énergie (EGS, Energy Generator System);
l'EMS doit spécifier le mode de fonctionnement de l'EGS et la durée de fonctionnement de ce mode
- 6) composant fonctionnel 6 (FC 6): Mesurer la consommation d'énergie du matériel;
le SM doit mesurer et envoyer un message de consommation d'énergie au MCS et le MCS doit l'envoyer à l'EMA, l'EMA doit ensuite l'envoyer à l'EMS et l'EMS doit enfin l'envoyer au FEP
- 7) composant fonctionnel 7 (FC 7): Mesurer la consommation d'énergie totale dans une installation.
l'USM doit mesurer toute la consommation d'énergie dans une usine et l'envoyer à la centrale électrique publique.