

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Spare parts provisioning

Approvisionnement en pièces de rechange

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Spare parts provisioning

Approvisionnement en pièces de rechange

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 03.120.01; 21.020

ISBN 978-2-8322-3834-9

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviated terms.....	11
4 Overview	12
4.1 Participants and major steps in the spare parts provisioning process	12
4.2 Types of spare parts	14
4.3 Identification of spare parts as integral part of the level of repair analysis (LORA)	14
4.4 Overall spare parts provisioning process.....	16
5 Demand forecast	17
5.1 General.....	17
5.2 Forecast based on consumption data	18
5.2.1 General	18
5.2.2 Procedures for forecast	18
5.3 Initial determination of demand	19
5.3.1 General	19
5.3.2 Prediction of failure rates and failure intensities.....	19
5.3.3 Calculation of demand rates	20
6 Spare parts quantification.....	20
6.1 General.....	20
6.1.1 Process overview	20
6.1.2 Probability distributions for spare parts quantification	22
6.1.3 Measures of effectiveness (MoE).....	23
6.1.4 ABC-analysis (Pareto analysis).....	24
6.1.5 Quantification of repairable items	26
6.1.6 Quantification of non-repairable items	26
6.2 Strategic (critical, insurance) spare parts	28
6.3 Inventory systems	28
6.4 Inventory optimization	30
7 Spare parts documentation.....	32
7.1 Principles and objectives	32
7.2 Illustrated parts catalogue (IPC).....	32
7.3 Parts catalogue.....	35
8 Supply management.....	35
8.1 General.....	35
8.1.1 Activities.....	35
8.1.2 Economic provisioning	36
8.2 Sources for spare parts.....	36
8.3 Supply policies.....	37
8.3.1 Insourcing.....	37
8.3.2 Outsourcing	37
8.3.3 Single sourcing	37

8.3.4	Global sourcing	38
8.3.5	Concurrent sourcing	38
8.3.6	Obsolescence management.....	39
8.4	Planning and control of the flow of repairable spare parts	39
Annex A	(informative) Prognosis of demand.....	40
A.1	General.....	40
A.2	Synthetic determining of demand	40
A.3	Prognosis based on consumption data	41
A.3.1	Overview	41
A.3.2	Forecast on the basis of the moving average	41
A.3.3	Forecast on the basis of the weighted moving average	42
A.3.4	Forecast on the basis of exponential smoothing.....	42
A.3.5	Forecast on the basis of regression analysis	43
Annex B	(informative) Measures of effectiveness	44
B.1	General.....	44
B.2	Stock-related measures of effectiveness	44
B.2.1	Fill rate (FR) and risk of shortage (ROS).....	44
B.2.2	Expected backorders (EBO).....	46
B.2.3	Mean waiting time (MWT)	47
B.3	System-related measures of effectiveness	48
B.3.1	Operational system availability (A_{op})	48
B.3.2	Number of systems not operationally ready (NOR).....	49
Annex C	(informative) Example: Quantification of spare parts and optimization of inventory stocks	50
C.1	General.....	50
C.2	Product breakdown structure	50
C.3	Calculation of spare parts quantities and costs	52
Bibliography		54
Figure 1	– Participants and major steps in the spare parts provisioning process	13
Figure 2	– Identification of spare parts	16
Figure 3	– Spare parts provisioning process during design and development.....	17
Figure 4	– Spare parts provisioning process during utilization	21
Figure 5	– Principle of an ABC-analysis	25
Figure 6	– Inventory control policies	27
Figure 7	– Hierarchically structured inventory system	28
Figure 8	– Single-product-single-inventory models	30
Figure 9	– Idealized inventory model for non-repairable items.....	31
Figure 10	– Supply management activities	36
Figure A.1	– Procedures of demand forecast	40
Figure B.1	– Diagram for the determination of the fill rate (FR) with a Poisson demand	45
Figure B.2	– Diagram for the determination of the factor K for the required fill rate	46
Figure B.3	– Inventory system with a backorder case.....	46
Figure B.4	– Diagram for the determination of the mean waiting time (MWT) with a Poisson demand	48
Figure C.1	– Structure of the DCN	50

Figure C.2 – Inventory system for the DCN	53
---	----

Table 1 – Responsibilities, targets, and measurements for suppliers, maintainers, operator and users.....	13
Table C.1 – First indenture level – Data communication network.....	51
Table C.2 – Second indenture level – Communication system.....	51
Table C.3 – Third indenture level – Power supply system	51
Table C.4 – Third indenture level – Main processor	51
Table C.5 – Third indenture level – Fan system	52
Table C.6 – Investments in spare repairable items	52

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SPARE PARTS PROVISIONING

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 62550 has been prepared by IEC technical committee 56: Dependability.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
56/1711/FDIS	56/1719/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

INTRODUCTION

Spare parts provisioning is the process for planning necessary spare parts under consideration of a customer's needs and requirements.

Proper planning and control of spare parts is a critical component of effective supportability. If the right parts are not available when needed for routine maintenance or repairs, downtime is prolonged. If too many spare parts are available, the enterprise absorbs excessive costs and the overhead of carrying inventory.

Spare part planning and supply to achieve business objectives are based on four goals:

- the right spare part;
- in the right quantity;
- at the right time;
- at the right place.

Spare parts provisioning is a prerequisite for all types of maintenance tasks, such as replacements and repairs. Spare parts for corrective maintenance tasks should be supplied at random intervals for steady state availability. It may take three to four repairs before steady state availability is reached. In this period repairs may be clustered, and the need can vary significantly over time. For preventive and on-condition maintenance, fixed intervals or approximately fixed intervals for replacement items may occur. Coordination of demand for spare parts with supply of spare parts at the required time is an important factor. Unavailable materials are one of the most cited reasons for delays in the completion of maintenance tasks.

The availability of spare parts is one of the factors that impacts system downtime. Methodologies such as integrated logistic support (ILS) and its subsidiary logistic support analysis (LSA) provide necessary information for spare parts provisioning. This information includes system breakdown, maintenance concept, and supply concept. Spare part optimization will cover issues typically giving answers to questions such as:

- which spare parts should be stored within the maintenance organization or by a supplier?
- how many spare parts of each type should be stocked?

Spare part optimization is based on operations research methods and selected reliability methods and may be analytical or use Monte Carlo simulations. The optimization process aims at balancing the cost of holding spare parts against the probability and cost of spare part shortage.

Before spare parts can be ordered, procedures for procurement, administration and storage of required material should be specified. Additionally, a general supply concept should be compiled and specified.

Correct material supply procedures will guarantee that spare parts are ordered in time and delivered when requested. The procedures also include control of the repair of replacement parts as well as the monitoring of repair turn-around times. All organizations involved, from production to purchasing and storage, via maintenance, should have complete transparency about material availability and possible completion of the task. The planned material costs in the task should be compared with its consumption. These are then documented and form the basis of usage-controlled materials planning. With this process, inventory of spare parts can be optimized to meet availability requirements with minimum inventory levels.

This document is applicable to all industries where supportability has a major impact on the dependability of the item through its life cycle.

SPARE PARTS PROVISIONING

1 Scope

This document describes requirements for spare parts provisioning as a part of supportability activities that affect dependability performance so that continuity of operation of products, equipment and systems for their intended application can be sustained.

This document is intended for use by a wide range of suppliers, maintenance support organizations and users and can be applied to all items.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the following terms and definitions 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>

NOTE Some terms listed in IEC 60050-192 are also included here for the convenience of the reader.

3.1 Terms and definitions

3.1.1

consumables

any item which is expendable, may be regularly replaced and generally is not product specific

EXAMPLE Oil, grease, nuts, bolts and screws, gaskets, etc.

Note 1 to entry: Generally consumable items are relatively low cost.

3.1.2

corrective maintenance

maintenance carried out after fault detection to effect restoration

Note 1 to entry: Corrective maintenance of software invariably involves some modification.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-06]

3.1.3

failure

<of an item> loss of ability to perform as required

Note 1 to entry: A failure of an item is an event that results in a fault state of that item: see fault [IEC 60050-192:2015, 192-04-01].

Note 2 to entry: Qualifiers, such as catastrophic, critical, major, minor, marginal and insignificant, may be used to categorize failures according to the severity of consequences, the choice and definitions of severity criteria depending upon the field of application.

Note 3 to entry: Qualifiers, such as misuse, mishandling and weakness, may be used to categorize failures according to the cause of failure.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.4

indenture level

level of sub-division within a system hierarchy

EXAMPLE System, subsystem, assembly, and component.

Note 1 to entry: From the maintenance perspective, the indenture level depends upon various factors, including the complexity of the item's construction, the accessibility of sub items, skill level of maintenance personnel, test equipment facilities, and safety considerations.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-05]

3.1.5

integrated logistic support

ILS

<of an item> management process to determine and co-ordinate the provision of all materials and resources required to meet the needs for operation and maintenance

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-30]

3.1.6

item

subject being considered

Note 1 to entry: The item may be an individual part, component, device, functional unit, equipment, subsystem, or system.

Note 2 to entry: The item may consist of hardware, software, people or any combination thereof.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-01, modified — omission of internal references and Notes 3, 4 and 5]

3.1.7

level of maintenance

maintenance level

set of maintenance actions to be carried out at a specified indenture level

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-04]

3.1.8

line replaceable item

LRI

replaceable hardware or software unit which can be replaced directly on the equipment by the user or by a maintenance support facility

Note 1 to entry: In some projects instead of LRI the term line replaceable unit (LRU) is applied.

3.1.9

maintenance

combination of all technical and management actions intended to retain an item in, or restore it to, a state in which it can perform as required

Note 1 to entry: Management is assumed to include supervision activities.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.10

maintenance policy **maintenance concept**

definition of the maintenance objectives, line of maintenance, indenture levels, maintenance levels, maintenance support, and their interrelationships

Note 1 to entry: The maintenance policy provides the basis for maintenance planning, determining supportability requirements, and developing logistic support.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-02]

3.1.11

line of maintenance **maintenance echelon**

position in an organization where specified levels of maintenance are to be carried out

EXAMPLE 1st line – field; 2nd line – repair shop; and 3rd line – manufacturer's facility.

Note 1 to entry: The line of maintenance is characterized by the level of skill of the personnel, the facilities available, the location, etc.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-03]

3.1.12

maintenance support

provision of resources to maintain an item

Note 1 to entry: Resources include human resources, support equipment, materials and spare parts, maintenance facilities, documentation and information, and maintenance information systems.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-28]

3.1.13

maintenance action **maintenance task**

sequence of elementary maintenance activities

EXAMPLE Fault localization, fault diagnosis, repair and function checkout.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-11]

3.1.14

non-repairable item

item that cannot, under given conditions, after a failure, be returned to a state in which it can perform as required

Note 1 to entry: The "given conditions" may include technical, economic and other considerations.

Note 2 to entry: An item that is non-repairable under some conditions may be repairable under other conditions.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-12]

3.1.15

obsolescence

transition from availability from the original manufacturer to unavailability or a permanent transition from operability to non-functionality due to external reasons

3.1.16

preventive maintenance **preventative maintenance**

maintenance carried out to mitigate degradation and reduce the probability of failure

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-05, modified — deletion of Note1 to entry]

3.1.17

repairable item

item that can, under given conditions, after a failure, be returned to a state in which it can perform as required

Note 1 to entry: The “given conditions” may include technical, economic and other considerations.

Note 2 to entry: An item that is repairable under some conditions may be non-repairable under other conditions.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-11]

3.1.18

spare part

component or part, either non-repairable or repairable, from the associated bill of material used to maintain or repair machinery or equipment

3.1.19

stock position

any location where a spare part is foreseen to be inventoried

Note 1 to entry: The terms stock and inventory are generally interchangeable.

3.1.20

supportability

<of an item> ability to be supported to sustain the required availability with a defined operational profile and given logistic and maintenance resources

Note 1 to entry: Supportability of an item results from the inherent maintainability, combined with factors external to the item that affect the relative ease of providing the required maintenance and logistic support.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-31, modified — omission of internal reference]

3.1.21

system

<in dependability> set of interrelated items that collectively fulfil a requirement

Note 1 to entry: A system is considered to have a defined real or abstract boundary.

Note 2 to entry: External resources (from outside the system boundary) may be required for the system to operate.

Note 3 to entry: A system structure may be hierarchical, e.g. system, subsystem, component, etc.

Note 4 to entry: Conditions of use and maintenance should be expressed or implied within the requirement.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-03]

3.2 Abbreviated terms

BOM	Bill of material
CS	Communication system
DCN	Data communication network
DTN	Data transport network
EBO	Expected backorders
FR	Fill rate
ILS	Integrated logistic support
IP	Initial provisioning

IPC	Illustrated parts catalogue
IPD	Initial provisioning data
LORA	Level of repair analysis
LRI/LRU	Line replaceable item/Line replaceable unit
MAD	Mean administrative delay
MoE	Measures of effectiveness
MDT	Mean down time
MLD	Mean logistic delay
MRT	Mean repair time
MTBF	Mean operating time between failures
MTBR	Mean time between replacements
MTD	Mean technical delay
MTTF	Mean time to failure
MTTR	Mean time to restoration
MWT	Mean waiting time
NFF	No fault found
NI	Not illustrated
NOR	Not operationally ready
OEM	Original equipment manufacturer
QPNHA	Quantity per next higher assembly
ROS	Risk of shortage
TAT	Turn-around time
TT	Transportation time

4 Overview

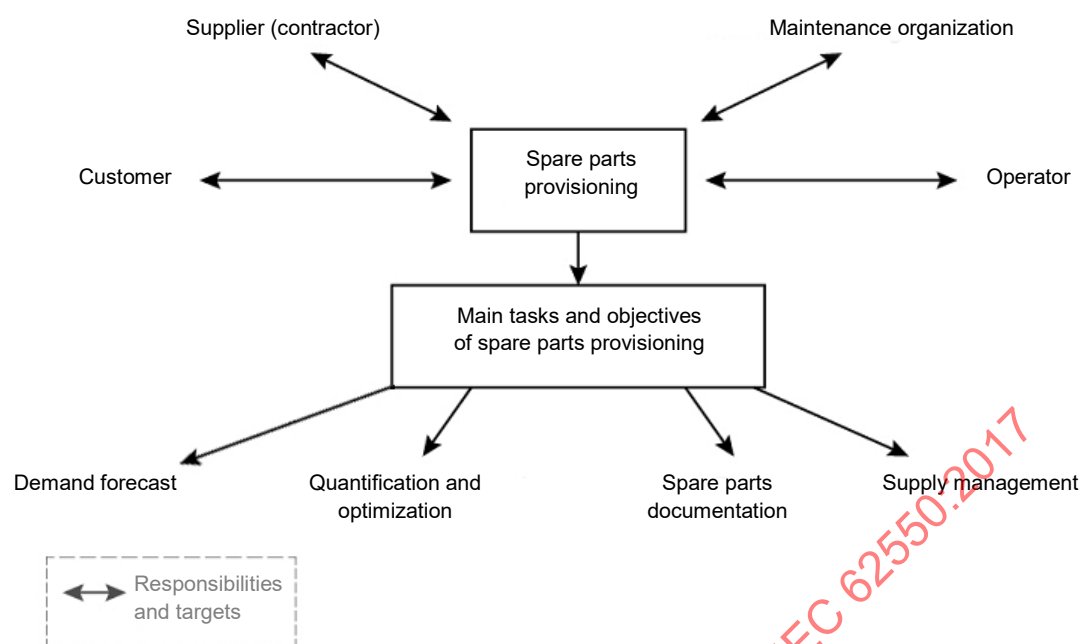
4.1 Participants and major steps in the spare parts provisioning process

Items, which are foreseen to be replaced during maintenance actions are defined as spare parts. The storage of spare parts is part of a comprehensive material provisioning process which ensures that the required spare parts for maintenance are provided in the necessary quantity, at the appropriate point in time and in the right place.

This document is applicable to items, which include all types of products, equipment and systems (hardware and associated software). Most of these require a certain level of maintenance to ensure that their required functionality, dependability, capability, and economic, safety and regulatory requirements are achieved.

The availability of a supported system is influenced by the overall effectiveness of maintenance. Thus, the availability of a system can be regarded as the general objective for spare parts provisioning. The potential impact of obsolescence should also be considered as an influencing factor (see IEC 62402).

The operator of an item has to offer a high level of service and performance. The maintenance organization is responsible for the effectiveness, elapsed time, and cost of the maintenance activities. An overview of specific responsibilities and targets as well as the major steps in the spare parts provisioning process are shown in Figure 1.



IEC

Figure 1 – Participants and major steps in the spare parts provisioning process

For satisfying the demand of spare parts, the following considerations have to be made:

- which spare parts are required;
- how many spare parts should be stocked;
- where should the spare parts be stored;
- when should the spare parts be ordered or reordered;
- what is the most economical solution for all participants.

In Table 1, responsibilities, targets and measurements for the different participants are shown as an example.

Table 1 – Responsibilities, targets, and measurements for suppliers, maintainers, operator and users

	Supplier of spare parts	Maintenance organization	Operator/user
Responsibility	appropriate spare parts availability quality of delivered items quality of supply service	high availability of maintained items high maintenance service	high operational availability
Target	profit with supply of spare parts certification of items (if required)	ensure that the system is successfully restored profit of the maintenance organization	operator: operational profit and availability user: high service performance
Measurements	service level lead time	system down times maintenance cost repair quality	system availability quality of service

4.2 Types of spare parts

For most maintenance tasks, materials and spare parts are required. When a component fails, it is replaced by a new or repaired component. The time of the replacement depends on the maintenance concept. If the failed item is repairable, it can be repaired off-line or in situ. The repair-by-replacement policy requires that new or ready-for-use spare parts are quickly available at the moment that failures occur.

During maintenance, some materials, referred to as consumables, are consumed or replaced and are not able to be re-used. Other items are called spare parts and are distinguished as

- repairable items, or
- non-repairable items.

Ideally, repairable items can be repaired in each case. In some instances, such as when the repair is not economic or not technically possible, or where the reliability of the item has been degraded by the number of repair actions undertaken, they are condemned and replaced by a new item.

In many projects, especially for large systems, repairable items can represent a significant proportion of the initial investment in spare parts. With regard to products such as household equipment, entertainment equipment or even cars, repairable items represent a smaller portion.

Non-repairable items are ones that are not able to be repaired due to technical factors or are not worthwhile to be repaired due to economical reasons. They are then condemned and replaced by a new item. The quantity of non-repairable items is determined similarly to the repairable items by the demand rate and the time until a new part is made available. This time comprises the procurement lead time, administrative delay times, and transport times.

Non-repairable items are consumed during maintenance. The initial investment in those items compared to repairable items is small, but the yearly cost for replenishment may be considerable.

In addition to repairable and non-repairable items, consumables have to be provided, such as nuts, bolts, washers, lubricants. When applicable, consumables are mentioned, but it is not the intention of this document to address consumables in detail.

4.3 Identification of spare parts as integral part of the level of repair analysis (LORA)

LORA is a specific trade-off study that is used to identify the optimum maintenance level or location for a repair to be undertaken. LORA will also identify the lowest repairable item such as a bearing or motor, or a complete motor generator, which relates to the combination of spares cost plus labour cost times task frequency versus opportunity costs that provides the best return on investment for the organization. It may be used for design optimization or as part of a support system assessment.

During the design stages, LORA addresses a number of scenarios, which may include the following:

- a) The maintenance methodology, such as to:
 - replace and dispose;
 - repair in situ;
 - replace and repair externally.
- b) The indenture level for removal such as to:
 - remove the item as part of a sub-assembly, and replace and repair at the current maintenance echelon level;

- remove the item as part of a sub-assembly, and replace and repair at a higher maintenance echelon level;
- remove and replace the item with repair at the current echelon level;
- remove and replace the item with repair at a higher echelon level.

c) The echelon, such as:

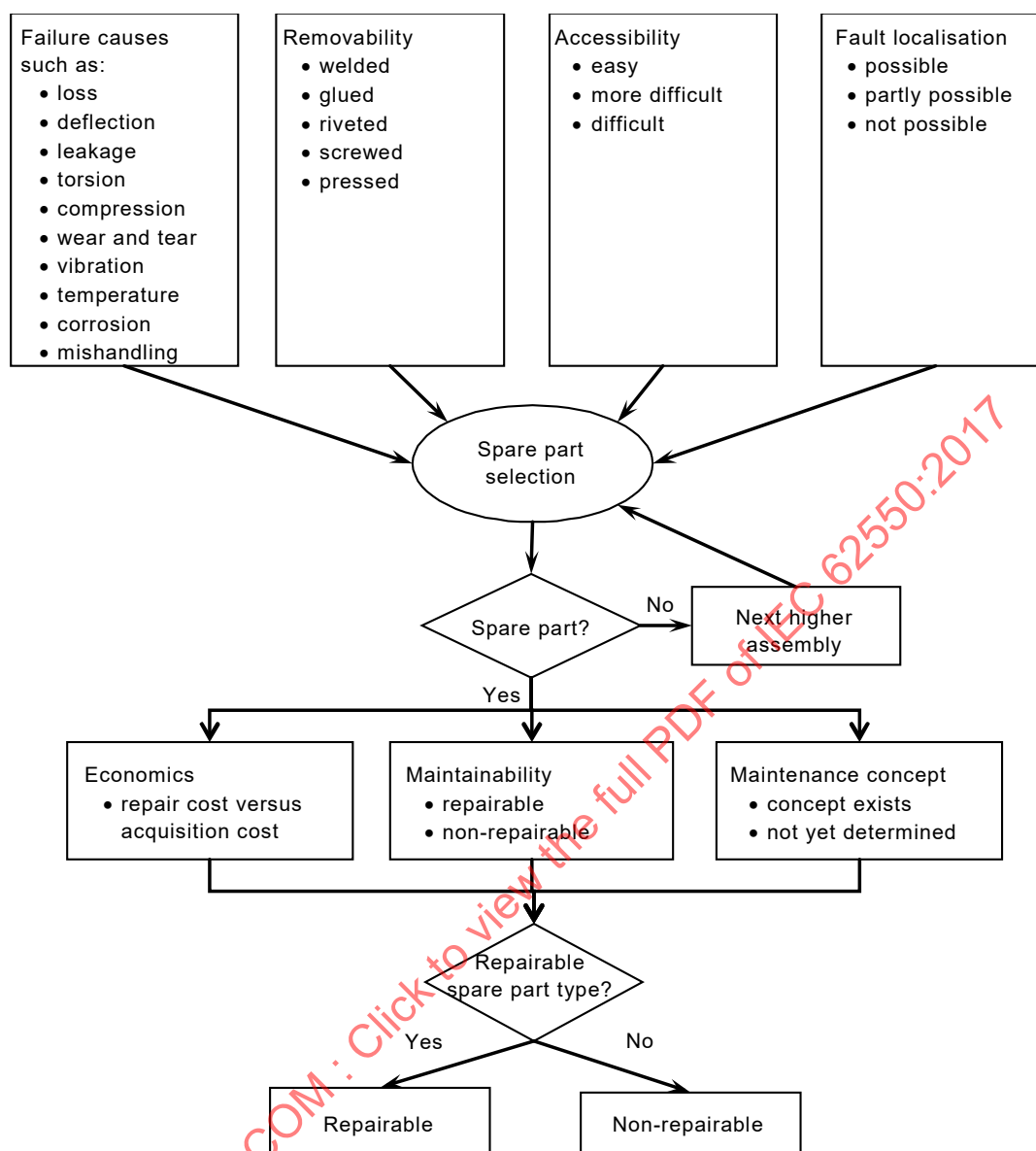
- during operational use;
- in the field with the system non-operational;
- at a repair shop (may be multi-echelon);
- at the manufacturer's site.

LORA also has to operate within a number of constraints such as:

- the maintenance concept which may pre-determine the maintenance echelons and their capability of repair;
- criticality of the items;
- user policy and constraints;
- safety criteria;
- proprietary aspects;
- customer requirements;
- economic aspects.

The types of spare parts that are needed are defined during the development of the maintenance concept and it is part of the LORA process and/or the establishment of the required supportability.

The principles of spare parts identification are illustrated in Figure 2.



IEC

Figure 2 – Identification of spare parts

All spare parts, consumable items, special supplies and related inventories needed to support corrective and preventive maintenance tasks are elements of supportability. The quantity of spare parts to be supplied and stocked should be determined for each maintenance echelon (see Clause 6).

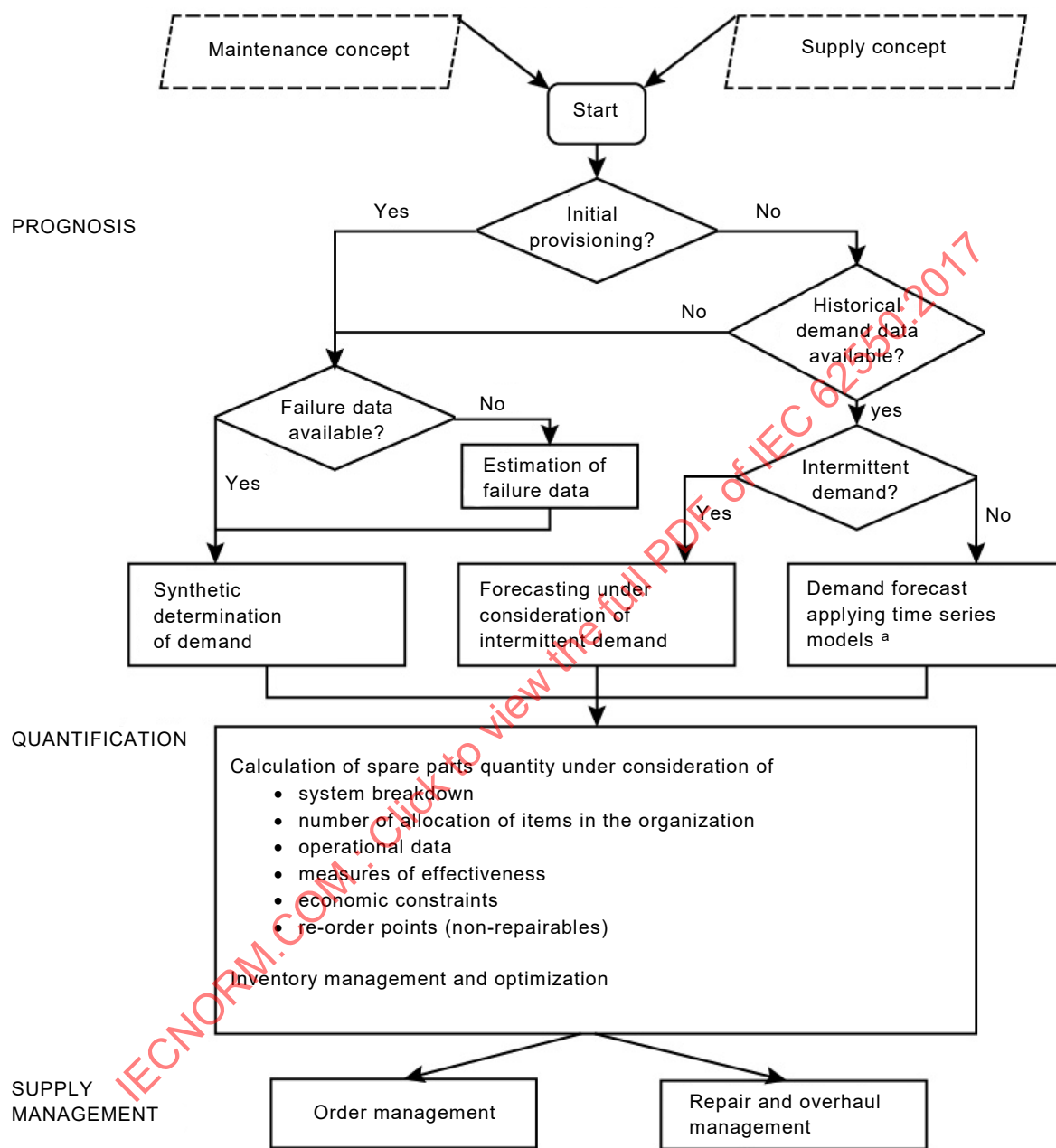
The vast majority of spare part (and consumable) quantities for scheduled preventive tasks may be derived deterministically as the requirements for each task are known in advance. However, some tasks, which include a condition monitoring element will require parts to replace items identified as failed or failing. Such parts may be required as part of the task which identified the need or later as part of a scheduled corrective task. In either case, the quantification of spare parts required can be performed in the same manner as that for any corrective task.

4.4 Overall spare parts provisioning process

The overall spare parts provisioning process can start when the maintenance concept has been elaborated as described in the previous subclause and when a supply concept is

available. Both the maintenance and supply concept may be adjusted during the spare parts provisioning process.

In Figure 3, the major steps in the spare parts provisioning process are shown.



IEC

Key

^a For example: exponential smoothing.

Figure 3 – Spare parts provisioning process during design and development

5 Demand forecast

5.1 General

The demand for spare parts determines the size and organization of the inventory system. The accuracy of the demand forecast is a decisive factor for the quality of the disposition

model. The demand is expressed by the required quantity of an item during a specified period of time.

If the level of the future demand is known and can be determined, it is regarded as deterministic, otherwise it is stochastic. A demand or the distribution of demand, which is variable over time, is regarded as a dynamic process. When there is no influence of time on the demand, the process is regarded as stationary. A relatively even structure of demand will result in a continuous spare parts requirement; fluctuating demand is regarded as sporadic. For spare parts, all described demand characteristics are applicable. A generally preferred method of demand forecast is not available.

For technical systems or facilities, a demand occurs when an item fails and has to be replaced by a functional item. The demand is determined by the intensity of use, the failure behaviour of the item and environmental aspects. Ideally, quantified values for applicable parameters are able to be determined within this context. Determination of the failure rate is achieved via investigation of the behaviour of a representative number of identical items or items of similar design by applying statistical methods, for example, Weibull analysis (IEC 61649). The prognosis method actually used for demand forecast will depend on the actual information available. If the failure rate and/or intensity of use are missing as concrete figures, only prognosis methods can be applied by substituting the missing information using assumptions with an associated higher risk.

5.2 Forecast based on consumption data

5.2.1 General

A production process can generally be regarded as a deterministic process since material planning is conducted by the production process and interrelated inventory. Buffer stocks have to be put in place only for short-term and medium-term deviations in the production. Major changes in the production demand will cause a change in production capacity. The requirements at spares stocks are mostly of a stochastic nature, i.e. only over a longer period or over a larger number of operational systems can the need be planned on the basis of average values. The deviations from these average values are often considerable.

The intermittent nature of spare part demand due to failures makes it difficult to apply conventional time series based algorithms. The choice of the right model becomes essential and that would depend on usage rates and operational patterns.

5.2.2 Procedures for forecast

The overview of existing forecast procedures described in detail in Annex A cannot only be applied for the forecast of spare parts but also in general for the demand forecast in industry and trade.

Procedures for demand forecast can be divided into three major categories:

- deterministic procedures;
- statistical analysis;
- subjective estimation.

For a number of items it can be too complex to perform demand planning from the provided BOM of the semi-manufactured and/or final products. In these cases, past consumption can be assumed as an indicator for future material consumption. The factors that determine the materials consumption are then not considered and it is assumed that the influencing variables which worked in the past will affect future material consumption in the future in an analogous way. Past consumption is thus considered as the basis for demand planning. From so-called time series, conclusions as to future demand may be drawn.

5.3 Initial determination of demand

5.3.1 General

In the previous paragraph it was explained that, if historical data for a unit is available, the demand rate can be forecasted. At the initial stages, often no historical data is available for an estimation of the amount of maintenance and logistic support including spare parts. Consequently, methodologies for reliability prediction are required for early use during system development. Such methodologies exist (especially concerning electronic equipment). It should be noted that these methods are based on empirical data. This means that formulas and data are based on existing technology, design practice and equipment environment.

The following characteristics affect reliability significantly:

- system design;
- component quality;
- stress intensity;
- environmental factors.

For more detailed information, there are specific standards or reliability data handbooks for specific industries available (see IEC 61709).

Consideration could also be given to:

- supplier requirements on maintenance methods and frequencies, as well as supplier exchange frequencies for wear-out parts related to supplier guarantees;
- specific insurance requirements;
- spare parts for systems/components with long life, long usage period when technical development, or other factors (e.g. supplier out of business) affect the availability of spare parts;
- aging of spare parts/consumables in storage and requirements of correct storage – packaging, environmental characteristics such as humidity and temperature (see IEC PAS 62435).

5.3.2 Prediction of failure rates and failure intensities

The failure rate and intensity of an item are essential parameters when determining the number of spares required. According to their definitions, failure rate is for non-repairable items and failure intensity is used for repairable items. For this document, since it is not always possible to determine which one is applicable, failure rate is used for both repairable and non-repairable items because in both cases an action needs to be taken to deal with the failure, i.e. either a permanent replacement or a repair. The accuracy of the failure rate value is a risk factor that should be considered when estimating the quantity of spares. The failure rate can be obtained from published data, historical data, testing, and operational usage. Commercial organizations publish 'average' values for component failure rates and environmental factors based upon data received from a wide range of industries. Historical data by a company for an item (or similar items) can produce more accurate failure rates if there is sufficient data available for the items operating in the specified or comparable environment. Testing a system to establish accurate failure rates can be prohibitively expensive and usually only serves to give confidence in the derived values. Operational usage can provide the best data, but this is not available for initial spares. However, gathering this data can enable the failure rates to be adjusted for future spares provisioning (see also IEC 61709).

When calculating the number of spares, it is usually assumed that the failure rate does not change over time (or number of cycles, distance travelled, etc.). This constant failure rate may not be correct, but when a large number of components is used in the product (system), each having failures that occur stochastically over time, the product (system) tends to a constant failure rate. It is important to recognize that a risk factor exists for initial spares provisioning

when using a constant failure rate if small quantities are in operation; even for large quantities, it may take a year or more before the failures are sufficiently random over time for an item's failure rate to become constant.

The failure performance is specified either by the failure rate or by the MTBF. For a constant failure rate, the MTBF is the reciprocal term of the failure rate.

When the failure rate is not constant, it may be caused by a wear-out failure mechanism and variance in the life distribution. In such cases, life prediction should be performed and reflected in the failure rate prediction for the required time interval.

5.3.3 Calculation of demand rates

In the synthetic procedure, the demand rate λ is calculated on the basis of the estimated failure rate and the number of identical items under analysis. Applicable equations are shown in Clause A.3.

The expression λT represents the average number of demands during a given time T . It can be calculated by Formula (B.3) in Annex B.

Sometimes faults are indicated, which are unconfirmed during a later test. Therefore, the probability of no fault found (NFF) has to be included in the calculation of the demand rate. Some failures (secondary failures) are induced by external events, such as inappropriate repair, failure of other items. For these reasons the replacement rate and not the failure rate has to be applied in spare parts quantification. The replacement rate includes all external factors, which are influencing the number of removals of an item (see Annex B).

6 Spare parts quantification

6.1 General

6.1.1 Process overview

The methods used to manage spare parts provisioning depend on their use for preventive or corrective maintenance.

For corrective maintenance, the spare parts quantification and optimization should initially be performed on the basis of MTBF, MTTF or non-constant failure rates applying mathematical and statistical methods. The accuracy of the quantification has a significant impact on both the cost and the availability of the product. MTBF, MTTF or failure rates are initially estimated but, with the experience of use, a better correlation is established from actual usage data. In addition to reliability parameters, the required quantity of non-repairable items is determined based on the period for which spares have to be provided and should be optimized. For the quantification of repairable items, the repair turn-around time needs to be considered.

For preventive maintenance, the quantification of spare parts is mainly deterministic, and in some cases, the quantity of spare parts is derived from a probabilistic pattern.

Complex technical systems consist of many items. These items again may be made up of assemblies, sub-assemblies and/or components. If a failure arises in such a system, it depends to a large extent on the effectiveness of the fault diagnosis and isolation as well as on the repair effort, how quickly the system can be repaired and when the system is ready again. Another important factor in this context is the availability of spare parts. High system availability requires a sufficient supply of spare parts and is particularly crucial if the repair times of assemblies or individual parts are long, and the replacement times at the system level are short.

Spare part stocks require considerable investment. The increasing shortage of funds and/or the growing pressure of competition require methods of spare parts quantification which consider both technical and economic boundary conditions.

The cost of repairable items represents a major part of the total cost of spare parts. However, their number is relatively small. The required quantity is basically determined by the repair turn-around time and the failure frequency. The selection and quantification of repairable parts require great care.

The required quantity of non-repairable items is determined, apart from the failure frequency, substantially by the re-provisioning time, which includes lead time and processing time. Procedures for the quantification of non-repairable items are therefore different from those for repairable items.

The overall spare parts provisioning process during design and development is shown in Figure 4.

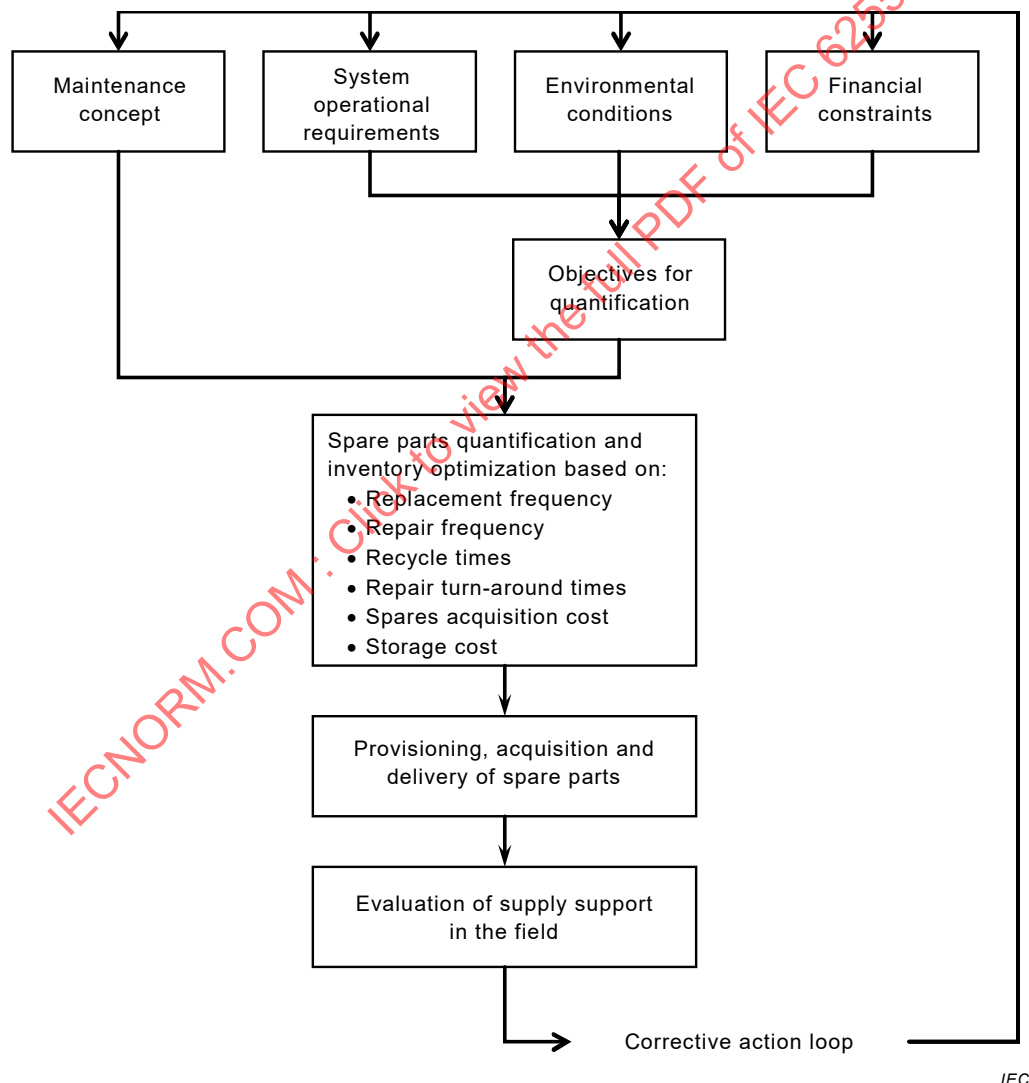


Figure 4 – Spare parts provisioning process during utilization

Spare parts quantities are based on the following:

- spare parts required for corrective maintenance (repairable items and non-repairable items);

- spare parts required for preventive maintenance (items which are replaced periodically);
- spare parts required to replenish the stocks of non-repairable items;
- spare parts necessary to support operation while repairable items are being repaired (turn-around times);
- spare parts required to replace repairable items which are condemned (condemned items are removed from the inventory).

Spare parts may be sourced directly from a vendor or manufacturer or may be stored in readiness for use to guarantee their availability. It is important to ensure that they are appropriate for their intended use.

6.1.2 Probability distributions for spare parts quantification

Spare parts quantification is performed on the basis of probability distributions. Selection of the applicable distribution depends on failure characteristics. The following probability distributions can be used for spare parts quantification with the Poisson distribution being the most common:

- the Poisson distribution with all simple computing procedures, for example, in spreadsheet programs, if the value (λT) is smaller than 50; between $50 \leq \lambda T \leq 100$, both the Poisson and the normal distribution can be used;
- the normal distribution at values (λT) greater than 100;
- the negative binomial distribution for compound problems, for example, multi-echelon or multi-indenture applications, may be applied if readily available, otherwise the Poisson distribution can be used without large loss of accuracy;
- the log-normal distribution, for example, for cases such as estimating the number of products in the field (population at risk);
- other probability distributions only in justified cases, for example, the Weibull distribution is used for analysis of components with limited life (wear out).

The Poisson distribution is a single-parameter distribution where the expected value and the variance have the same value. The Poisson distribution can be applied when some measure (time or something else) is continuous while the number of events which may occur during this continuous random variable is established by counting (discrete). It can be applied when the probability of occurrence is very small. This is the case when the time interval is long and/or the demand rate is low. The Poisson distribution is the most commonly applied probability distribution for the quantification of spare parts.

The normal distribution is a two-parameter distribution and is applicable when the distribution of a random variable is determined by many factors independent from each other. The normal distribution is applied when a high demand rate occurs. The normal distribution is therefore frequently used with high consumption rates for the determination of the safety stock of non-repairable items. Since the normal distribution could result in negative values, care should be taken to avoid this.

The Poisson distribution can be regarded as a particular type of the negative binomial distribution. The negative binomial distribution is sometimes used for a multi-indenture and multi-echelon inventory system. For the negative binomial distribution, both time (or other related variable) and the random variable are counted (discrete), for example the number of failed items up until finding a working one.

When performing spare parts quantification, a constant failure rate over time is presumed. For large populations, the observed rate appears constant because the varying operating time intervals result in failures becoming evenly distributed. Applying the Weibull type distribution or negative binomial distribution requires two parameters with sufficient statistical confidence.

6.1.3 Measures of effectiveness (MoE)

6.1.3.1 Overview

High effectiveness of supportability is crucial for the availability and the economical operation of a system. Therefore optimization of maintenance policies, maintenance resources, and spare parts inventory policies should be conducted in parallel.

MoE for spare part management can be divided into two groups:

- stock-related MoE, such as fill rate, risk of shortage, expected backorders, mean waiting time;
- system-related MoE, such as operational system availability, number of systems NOR, probability of mission success.

The cost optimization of an inventory system is attained by a trade-off of these measures of effectiveness against inventory cost.

6.1.3.2 Fill rate (FR)

This MoE is defined as the probability that demand can be satisfied immediately. It is calculated per stock position. FR is sometimes also referred to as service level or demand satisfaction rate.

The average FR is calculated as a weighted average for groups of stock positions according to the relative demand rate of each stock position. The relative demand rate is in this context based either on the entire demand rate to the stock position or on the demand rate with a certain origin.

6.1.3.3 Risk of shortage (ROS)

This MoE is defined as the probability of an unsatisfied (backordered) demand. It is calculated per stock position, with the same definitions and assumptions as described in 6.1.3.2 for FR.

The ROS is the complement to the FR and is calculated as $1 - FR$.

The measure ROS does not state anything about the time delay, which results from the lack of spare parts. Therefore, the mean waiting time is a meaningful measure.

6.1.3.4 Expected backorders (EBO)

An additional MoE when performing spare parts quantification is the average number of backorders (EBO). The backorder is a measure of those demands, which are not fulfilled immediately but postponed until the next supply (for repairable items the next return of a repaired item). Both the number and the measure of the temporary delay are considered in this measurement.

6.1.3.5 Mean waiting time (MWT)

The waiting time at a stock position is the time from when a demand – an order – occurs until the requested item can be handed out from stock. If the item is on hand at the moment when a demand occurs then the waiting time is zero. Delays in delivery due to administrative procedures or physical handling of the item are considered to be part of the administrative delay time and the transportation time.

The MWT is a weighted average, according to the relative demand rate of each stock position. The waiting time is a part of the technical delay and sometimes MWT can be equal to MTD.

It is assumed that as soon as a unit arrives at a stock position, it is available to be handed out. Hence, any time spent on unpacking the item is thus considered to be part of the administrative delay time.

Note that the above definition is used even when the nominal (maximum) number in stock is zero. The waiting time is then equal to the waiting time at the supporting stock position plus the transportation time and repair turn-around time.

MWT plays an important role with quantification and optimization of multi-indenture and multi-echelon inventory systems.

6.1.3.6 Operational system availability

The time fraction of a system's availability during the entire period of operation is defined as the operational system availability.

6.1.3.7 Number of systems not operationally ready (NOR)

The expected NOR is calculated for all groups of systems where availability is calculated. This MoE gives the mean NOR in the group that are unavailable due to down time.

6.1.4 ABC-analysis (Pareto analysis)

Inventory frequently contains a great number of different spare parts, especially non-repairable items. Such a range of items is believed to be a barrier to perform a detailed inventory analysis. The cost for the assessment of thousands of items having a generally low individual price outweighs the stock value. For practical reasons, not all items can be planned and controlled with the same effort. This results in the requirement for a procedure that relates the costs for planning and control of individual items with their contribution to the overall investment. ABC analysis does not consider the criticality of spares for operation or safety, nor does it consider the delivery time.

Storage cost and system unavailable cost could also be included as a contribution to the overall investment if it is considered to be significant.

ABC-analysis enables a procedure for classifying a range of spare parts by grouping the individual articles into three classes. The procedure includes the following steps:

- calculation of an annual budget for each individual article based on consideration of the item's price and its annual demand;
- ranking of all articles by descending order of the annual budget;
- calculation of the percentage of each article's impact on the total budget;
- accumulation of the percentages;
- categorization into A-, B-, and C-articles (see Figure 5).

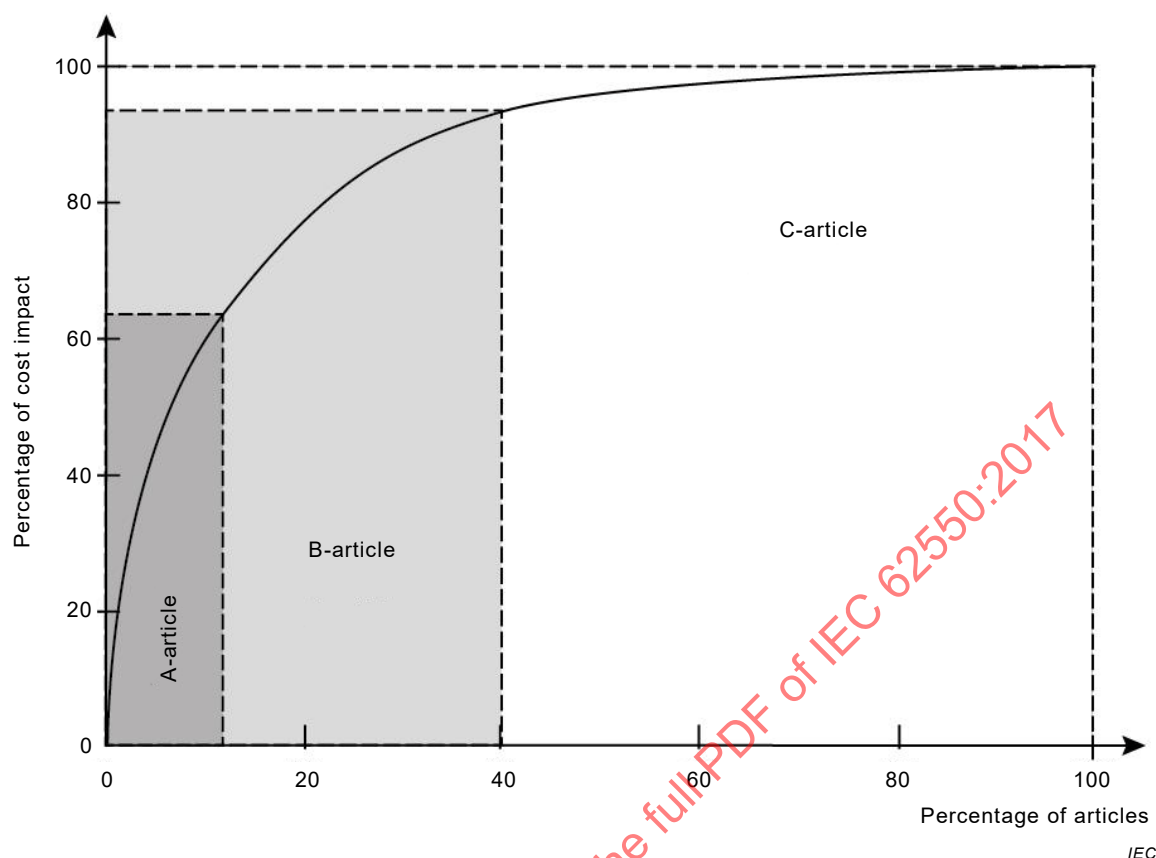


Figure 5 – Principle of an ABC-analysis

If the item's price is not known, an estimate has to be made. For prediction of the annual demand, refer to Clause 5.

Typically the item-budget-statistic shows the following results:

- only very few items, approximately 5 to 10 per cent of all items, contribute to about 65 per cent of the overall budget; these items are identified as A-articles;
- few items, approximately 25 to 30 per cent of all items, contribute to about 25 to 30 per cent of the overall budget; these items are identified as B-articles;
- many items, approximately 60 to 70 per cent of all items, contribute to about 10 to 15 per cent of the overall budget; these items are identified as C-articles.

In an inventory system, A-articles should be considered with respect to their consequence on the overall costs. It is valuable to spend more effort on planning and control of these items so that major savings can be achieved.

B-articles are subject to routine procedures. The spares manager will control in detail the stock quantities and the stock development.

C-articles are controlled by a simple system that should be automated even when this may result in slightly higher stock levels.

For the different article categories, the following processes have to be considered:

a) For A-articles:

- detailed analyses of market, price, cost structure and value;
- accurate supply procedures;

- particular demand forecast;
- precise inventory control;
- accurate control of the supply chain;
- careful definition of safety and reorder stocks;
- accurate calculation of cost-optimal order quantities;
- stringent control of time duration in inventory.

b) For B-articles:

- for articles in this category, intermediate procedures between A- and C-articles should be considered.

c) For C-articles:

- simplified supply procedures;
- simplified inventory control procedure;
- basic control of the supply chain;
- definition of higher safety and reorder stocks;
- simple calculation of order quantities;
- simple control of time duration in inventory.

6.1.5 Quantification of repairable items

In general, repairable items can be considered as A- or B-articles following the terminology of the ABC-analysis.

At each time of the utilization period, the same probability of failure and a constant repair turn-around time are assumed. Furthermore, it is assumed that the repair of repairable items forms a closed loop. In practice, this is not always the case since sometimes items cannot be repaired under certain conditions, such as economic reasons, wear or obsolescence.

In the following, the most important conditions and prerequisites are described, which are the basis for the quantification of repairable items.

- The failures of different items are independent of each other, i.e. the failure of an item does not cause the failure of another item at the same indenture level. If such secondary or induced failures have to be considered, a factor has to be included in the demand rate (see 5.3.3).
- The failure rate is constant over time, and material fatigue or wear is not explicitly considered.
- Constant repair turn-around times for each part are assumed, i.e. no time distribution and no dependences on repair volumes are considered.
- A closed repair cycle is assumed. Partially repairable items have to be considered with a certain probability as repairable items and for the remaining portion as non-repairable items.

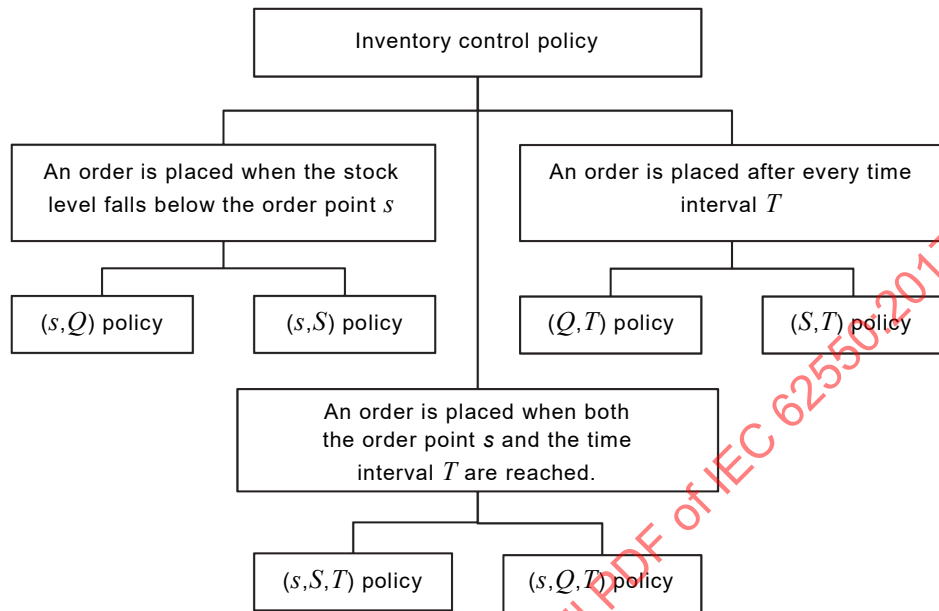
The turn-around time is defined as that time which passes between the removal of a defective item from the system up to its re-arrival in the spare parts stock after the repair. In addition the transportation and administrative delay times have to be included as well.

6.1.6 Quantification of non-repairable items

In general, non-repairable items can be considered as B- or C-articles following the terminology of the ABC-analysis.

In an inventory control system, inventory position can be monitored continuously or after certain time intervals. The continuous review system triggers an order, which will be delivered

after a certain lead time, as soon as the inventory is below a certain level (order point s). Another alternative is periodic review, since it considers the inventory position only after certain time intervals T , which in general are constant. It is also possible to combine these two strategies. The most common ordering policies connected with inventory control are shown in Figure 6.



IEC

Figure 6 – Inventory control policies

Two parameters essentially control the inventory policy:

a) point in time for ordering ("When does an order have to be placed?"):

- An order is placed when the stock level falls below a "stock limit". This stock limit is called order point s .
- An order is placed at every T time intervals.
- An order is placed when both the order point s and the time interval T are accomplished, i.e. at every T time interval an order is placed only if the stock drops below order point s .

b) order quantity ("How much has to be ordered?"):

- A quantity of Q is ordered each time, which is regarded as optimal order quantity.
- The difference S from the maximum stock level and existing stock at the time of order is ordered.

The (S,T) policy leads to the disadvantage of alternating order quantities, which can become difficult with decreasing consumption to very small orders, so that economic conditions negotiated with the supplier may not be applicable. The (Q,T) policy can quickly lead with decreasing consumption to inflated stocks; this policy is generally the most inflexible.

The (Q,T) and (s,Q) policy will cause identical inventory processes when the demand is continuous and deterministic.

Thus the procedure for quantification of non-repairable items includes the determination of order point s and the maximum stock level S .

6.2 Strategic (critical, insurance) spare parts

As high quantities of spare parts lead to considerable costs, other factors affecting the operation of a system have to be investigated, such as

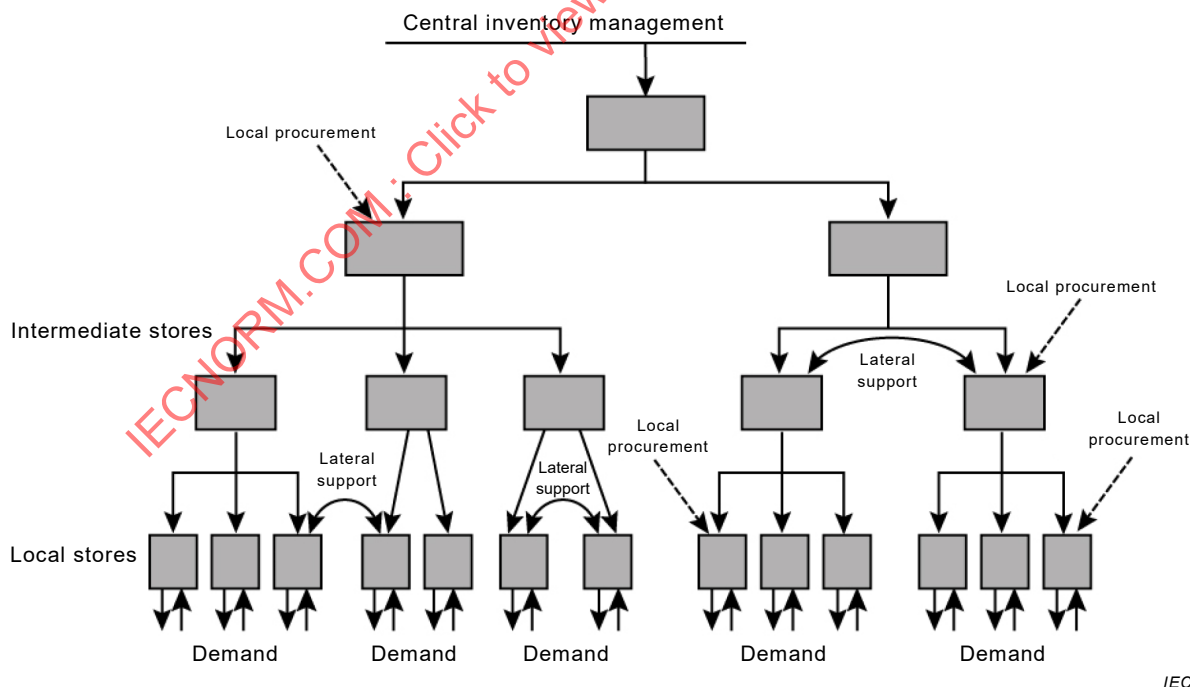
- faster repair time responsible for lead time,
- better reliability of the system/subsystem/item, or
- one or more operational systems.

A very effective method for investigation is marginal analysis, which identifies the benefits and costs of different alternatives by examining the incremental effect on total revenue and total cost caused by a very small (just one unit) change in the output or input of each alternative. Marginal analysis supports decision-making based on marginal or incremental changes to resources instead of one based on totals or averages.

In situations in which the future production of spare parts is not guaranteed or parts can only be produced with large additional costs, it may be necessary to stock parts above the required amount as a safety reserve (insurance spare parts). See IEC 62402 (Obsolescence management).

6.3 Inventory systems

Spare parts can be stocked in an inventory system in many locations, centrally or locally. Larger enterprises and/or organizations will generally stock required spare parts in a hierarchically structured inventory system. An example of such a multi-echelon system is illustrated in Figure 7. The highest is the origin which represents the central store, the second level may be the country, the third level may be the region, both are intermediate stores, finally the fourth level may be the site and called the local store.



IEC

Figure 7 – Hierarchically structured inventory system

The demands within such a hierarchical inventory system are aggregated from the lowest level. At that level where the systems and/or devices are operated, the demand rate varies for different spare parts. Demands at the lowest level may change sporadically whereas at a higher level where the demand is aggregated, it becomes more evenly distributed. This effect has to be considered when selecting the appropriate distribution to perform spare parts

calculations in determining the individual demand rates, the response time and the transportation time of the supplying stock to the supplied stock.

In traditional inventory systems, the management of each store only knows where to order spare parts ready for service and where to send defective items. Typically, in those situations hierarchically structured inventory systems are applied. Since computer based information systems are commonly available and in use for inventory management, it should be possible for each store manager to have information about the individual stock levels in the surrounding stores to make support more flexible. Examples are shown in Figure 7 and are named “lateral support”.

The MoEs have to be calculated from the top of the hierarchy downwards. In many cases, it may be better to establish the re-order strategy to minimize the EBO or MWT and apply a multilevel optimization to find the suitable values instead of using FRs.

Average values of MoE can be grouped in many different ways, for example:

- all stock positions at a station (MoE per location);
- all stock positions directly supporting a certain system type at a certain location;
- all stock positions, for a given primary item, that support systems directly;
- all stock positions that support systems directly; this is the total MoE experienced from the system level.

For inventory systems one can distinguish between

- multi-product-multi-inventory systems,
- single-product-multi-inventory systems, or
- single-product-single-inventory systems

In practice, multi-product-multi-inventory systems are more common; they can be characterized as follows:

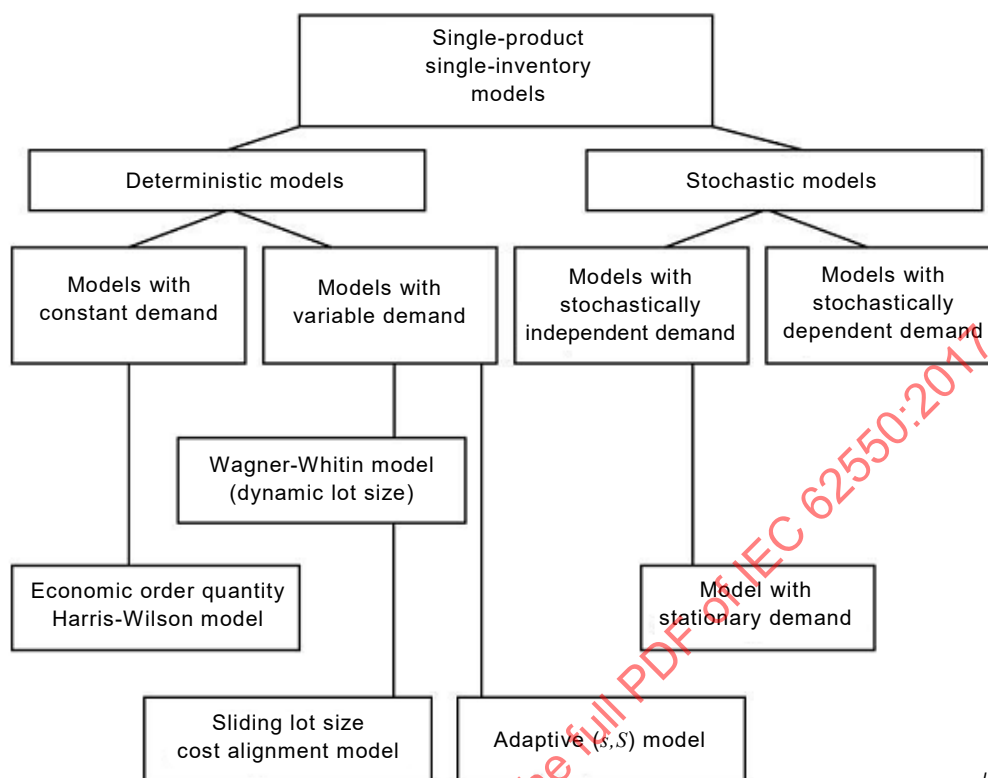
- in each stock several articles are stored;
- demand is stochastic and typically intermittent;
- delivery time is stochastic;
- dispatching takes place after fixed periods (daily, weekly, monthly) for each article individually or for several articles of a supplier;
- inventory management is mostly continuous;
- with the selection of the dispatching procedure, long-term aspects of costs are considered.

When modelling the dispatching procedure, multi-product-multi-inventory systems will be replaced by subsidiary single-product-single-inventory systems, for example, a chain of stores maintains for its assortment of goods (multi-product) with central, regional and local stocks (multi-inventory), where these are regarded separately for each product (single-product) and each site (single-inventory). The same applies to spare parts stocks which are hierarchically supplied and where different spare parts are stored.

This reduction is necessary, since stochastic-dynamic multi-product-multi-inventory systems are mostly not solvable analytically in the whole of their complexity. For spare parts stocks, reduction takes place in two steps:

- reduction of a multi-product-multi-inventory system into a system of joined single-product-multi-inventory systems determining the target quantities in the dependent supporting stocks;
- reduction of the single-product-multi-inventory system into a single-product-single-inventory system for the selection dispatching procedure at the highest stock level.

In Figure 8, an overview of the basic single-product-single-inventory models is shown. This differentiates into deterministic and stochastic models.



IEC

Figure 8 – Single-product-single-inventory models

By simulation methods, solutions are achievable for very complex applications, but the effort however is high. A generalization of solutions obtained beyond the case under consideration is often not possible.

6.4 Inventory optimization

Many industries such as aerospace, power plants, and manufacturing plants that use complex equipment are often faced with the difficult task of maintaining high system availability, while on the other hand, spare parts inventories have to be limited. A random failure of just one component can cause the system to be not operationally available. As downtime can be very costly, spare part inventories are required to keep the downtime to a minimal level. Therefore, it is very important to keep the probability of parts being out of stock as low as possible. However, as most parts are quite expensive, maintaining an unnecessary number of spare parts should also be avoided.

With inventory optimization, stock levels of spare parts can be optimized to support maximum availability with minimum inventory.

Maintenance policies and spare parts inventory policies should not be treated separately or sequentially as is often done in practice. To ensure availability of spare parts for an operating system, there is often a tendency of overstocking. Exorbitant inventory quantities tie up capital. The stock level of spare parts is mainly dependent on the maintenance concept. Therefore, maintenance programs should be designed to reduce both maintenance and inventory related costs.

Minimization of total inventory investment is a nonlinear integer optimization problem. Such problems are known to be hard to solve, even for a small number of items.

An overview of techniques for inventory optimization is shown in Annex C.

Procedures for the optimization of non-repairable items should also consider storage costs and order costs associated with the completion of an order. The total order quantity depends on the order cycle time, which has to be optimized. The main components of total costs are storage costs, minimum order quantities, quantity-dependent prices and cost of the completion of an order.

Cost optimization for non-repairable items entails basically an optimal order policy, i.e. optimal order quantities and optimized order points, in line with the delivery service. The computation of order quantity and the order lead date can only be accomplished independently. Large order quantities with the same boundary conditions cause wider stocks ranges, larger stocks and fewer order transactions than small order quantities. Therefore it is necessary to optimize these influencing factors and the costs of the present inventory system.

The optimization of non-repairable items is carried out on the basis of two parameters of the inventory model (see Figure 9), which are

- the order quantity Q , and
- the safety stock SS .

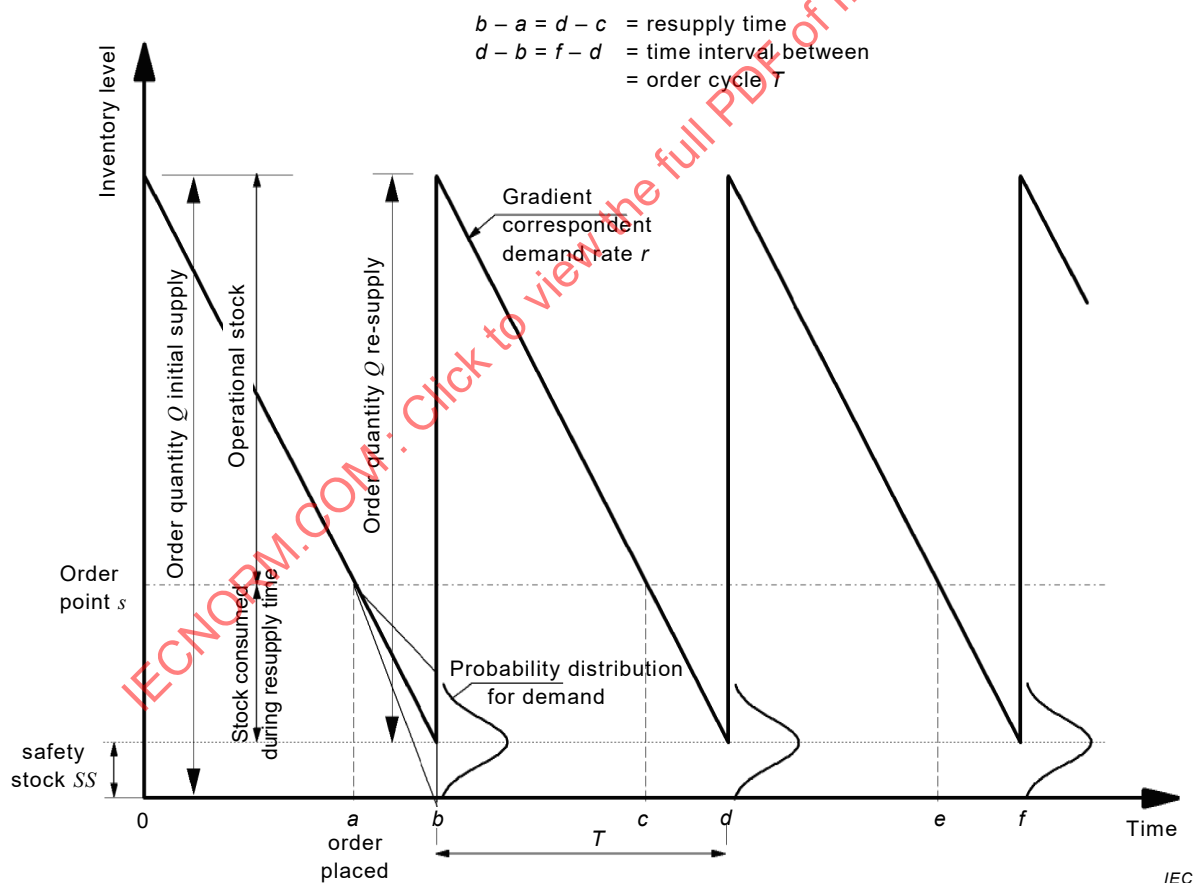


Figure 9 – Idealized inventory model for non-repairable items

The number of spare parts required can be determined on the basis of the forecasted consumption rate of an item. The operational stock is optimized so that the total costs are minimized for

- storage costs,
- indirect (order quantity-independent) procurement costs, and

- direct procurement costs.

The order quantity Q includes

- operational stock,
- stock consumed during re-supply time, and
- safety stock.

On the basis of a defined system availability, the safety stock is determined by applying probability considerations. For each individual non-repairable item, the safety stock is selected such that storage costs are minimized considering a given mean waiting time.

The safety stock of spares represents a buffer, which is to guarantee the supply readiness on fluctuations of consumption and/or the replacement times. Safety stocks are necessary in order to maintain supply readiness and thus the availability of the system. On the other hand, they entail storage costs and thus it is necessary to optimize the safety stock amounts against storage costs.

7 Spare parts documentation

7.1 Principles and objectives

All spare parts ordered should ideally have a unique identification and clearly indicate the equipment, assembly or sub-assembly to which they belong. During the provisioning process, a code should be developed and assigned to each part. The code is the link between the supportability analysis and the user, for whom it defines the approved maintenance plan.

7.2 Illustrated parts catalogue (IPC)

The IPC and/or the spare parts list are essential for maintenance and provide the link between the physical location of an item in the product and the unique identification applied for supportability.

The IPC and/or the spare parts list are usually contractual requirements for delivery to the customer. They should be tailored to suit maintenance that will be undertaken by the customer and/or other maintenance organizations.

A general approach to compiling data will present an engineering breakdown in disassembly sequence, identifying all assemblies and their individual components together with other detail parts, which cannot be assigned to assemblies, in accordance with their engineering drawings and BOMs. Sequencing of these items will be by using unique identification and it is this practice which enables production of the IPC from the same data. The engineering breakdown will be to the level which matches the customer's maintenance plans.

In addition to the engineering breakdown, the following will also be listed:

- raw materials;
- consumables;
- repair kits;
- shipment/storage parts.

When required, the presentation of the IPD should be done in a form that can be applied for more than one customer using the same system or equipment. Different configuration standards can be readily identified and data specific to each customer recorded on the same list.

Whenever there is a difference in level of breakdown required by two or more customers, the IPD compilation and presentation will have to provide the maximum breakdown required.

A data dictionary contains all the data elements required to cover the different types of information that may need to be provided for a compiled item. When compiling a record, however, it is necessary to provide only that data which is relevant to the item, and data elements have been categorized in such a way that selection of the appropriate data elements can be made in a logical and orderly fashion.

This categorization divides data elements into three groups:

- mandatory data elements which are essential in establishing an item record;
- conditional data elements used depending upon the nature of an item record;
- optional data elements introduced by special arrangements between customer and contractor.

Throughout the compilation, the categorization of parts-related and location-related data is identified. This signifies whether a data element for a given item will have the same value at every location in which the item is used (parts-related), or whether the value of a data element for a given item may differ and has to be held independently at each location (location-related). For example, an MTBF may be the same or diverse at different locations.

The compilation of data is achieved by taking information from engineering drawings and BOMs, together with other associated product definition data sources and structuring it with appropriately assigned data elements into IPD records. The hierarchical breakdown has to be reflected in the structure of the IPD, by showing the engineering relationship of assemblies and their parts, recorded as a logical order of breakdown of items. This relationship is identified using the data element indenture, which is a numerical code allocated to indicate the different levels of breakdown. Indenture "1" is used to show the top level, the next level would be shown as indenture "2", and so on as the breakdown progresses. For all items, the quantity per next higher assembly (QPNHA) should indicate the quantity of the item fitted in one unit of the next higher assembly.

Within an IPD presentation, the overall structuring of the data may be defined by a specific "chapterization". Standard "chapterization" is introduced in many industries, such as aeronautics, railway, automotive. This identifies the chapters and sub-chapters into which the data has to be organized and hence provides values for the initial characters of the unique identifier. The sub-division of these sub-chapters into sub-sub-chapters, units and figures, in order to establish values for the remaining characters of the unique identifier, is undertaken with special regard to the particular content of each sub-chapter. This sub-division results in the creation of figures whose contents are suitable for effective and economic pictorial representation as illustrations. This compiled IPD is the basis for the creation of the illustrations used in the IP process. These same illustrations, together with specific parts of IPD, are subsequently used in the preparation of the IPC.

Particular items will be required to be listed at the end of a figure with an indenture code of "1". Items, which should be listed in this way are those which require to be included in the IPD presentation, but which are not contained in the hierarchical breakdown. It is possible for a figure to contain more than one of these types of items. The sequence in which they should be presented should be consistent with:

- storage and shipping parts;
- un-programmed devices and data carriers;
- markings (placards, decals, etc.);
- storage and shipping containers;
- repair kits;
- parts kits.

Specific items require to be contained in separate figures. Types of items may include:

- raw material;
- screws and gaskets;
- consumables;
- general tolerance figures;
- test equipment and tools;
- repair kit breakdown.

Items that are not presented in the figure should be marked as "not illustrated (NI)".

Certain conditions arise where it is only possible, or where it may be desirable, to supply items as spares, which are not identical to the OEM item. In these situations, the supplied item requires the allocation of special spares condition information including:

- providing an item in its "pre-fitted" state, for example items supplied with excess trim allowance;
- providing units complete with additional items fitted;
- providing units with items removed or supplied loose, for example special attachments, bolts, electrical conduit and seals as loose items.

These parts should be provided in a separate record with the same unique identifier as the fitted or production built items. The production built item should be listed first as a non-recommended item followed by the items carrying the appropriate data to support a recommended spare.

Particular items cannot be fitted in their "as supplied" state; they require some form of operation (such as drilling or reaming) before, or during, installation. Such items have to be identified and the appropriate information has to be provided.

A repair kit comprises a number of items supplied under a single part number which is used to undertake a manufacturer's approved repair scheme. A kit may include standard parts, special repair parts and, where applicable, auxiliary tools and special consumables.

A parts kit is a kit which comprises a set of items such as gaskets, seals, O-rings supplied under a single part number, which should be replaced whenever the item for which the parts kit is produced is disassembled for repair or overhaul. The parts kit normally comprises items which are contained in the engineering breakdown of the equipment/component and these are identified as kit items.

For a spare parts kit, the shelf life of the individual items should be considered (see IEC 62435).

Details of the consumables (e.g. fuels, oils, lubricants, fluids, paints, adhesives, compounds, solvents and similar material) required in the operation, maintenance and repair of the equipment in accordance with the maintenance concept and support policy should be listed in a separate figure. These consumables should be grouped together in consumable types (e.g. lubricants, lacquers, solvents, cleaners). All line items contained in a consumable figure should carry not illustrated (NI) information.

When two or more items are interchangeable at a specific location, these items should be presented with the same unique identifier. These items should have the appropriate interchangeability information code assigned.

Specific information should be defined in the data dictionary and the appropriate codes have to be provided. These codes may include but are not limited to:

- interchangeability;
- special spares condition;
- "to be fitted";
- parts kit;
- repair kit.

7.3 Parts catalogue

Parts catalogues serve the communication between users and manufacturers or suppliers with spare parts needs and assist during the execution of repairs. In addition, parts catalogues are organizational resources for spare part management with the manufacturer or supplier and with the user. Parts catalogues are supplied based on agreement between manufacturers or suppliers and users.

The extent of the parts catalogue depends on the intended purpose and/or the maintenance concept and is to be agreed upon between manufacturers or suppliers and the user.

The range of information in parts catalogues is to be agreed upon by manufacturers or suppliers and the user.

8 Supply management

8.1 General

8.1.1 Activities

Supply management encompasses medium and short term activities. Supply management should ensure (see Figure 10):

- spare parts planning (strategic, budgetary, supply, workflow);
- preparation, scheduling and placing of spare parts orders;
- control of order times;
- control of turn-around time.

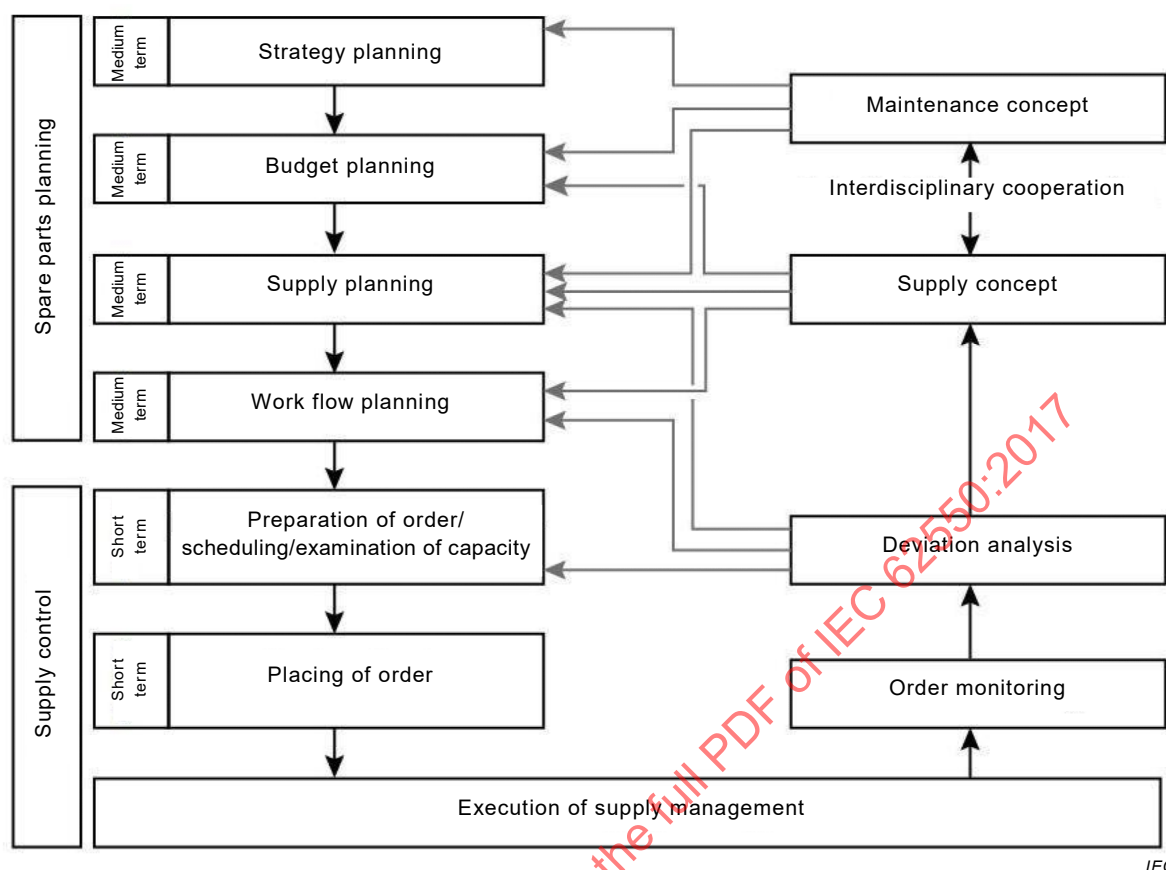


Figure 10 – Supply management activities

This document describes supply management as it affects spare parts provisioning but does not cover all aspects of supply management.

8.1.2 Economic provisioning

Prerequisites for economic provisioning of spare parts are:

- definition of tasks and responsibilities;
- personnel to perform the tasks;
- definition of measures of effectiveness, such as FR, availability, waiting time;
- organizational aids;
- approved storage techniques;
- spare parts documentation.

8.2 Sources for spare parts

Spare parts and other materials needed for maintenance are available not only from the OEM but often also from other sources. Specifications and quality of spare parts and materials are determined by the OEM and are also based on their operational environment and use. Ensuring that quality is met in a shared responsibility between the manufacturer of spare parts and the end user.

8.3 Supply policies

8.3.1 Insourcing

The term insourcing stands for the transfer of other enterprises or services to the company's area or to its direct neighbourhood with the objective of releasing transportation procedures from external influences. In the context with spare parts supply an external service provider may manage, for example, a distribution store at the premises of the operator of a system.

8.3.2 Outsourcing

The term outsourcing indicates the transfer of services to external enterprises. The enterprise tries to arrange its work "as slim as possible" ("lean production") and with regard to supply support services to maintain only those regarded as core business. As such, core business products or services are to be regarded with and/or on which the majority of the turnover is carried out. Core competence represents those parts of an enterprise, which perform something that cannot be bought at this price on the market.

In this sense it is economical to transfer or close those areas, which can be procured more economically on the market. Other criteria have to be evaluated such as market presence, and dependency on and stability of supply.

The outsourcing of supply service functions has a great impact on system support for managing service needs. The operational planning process needs to be closely integrated with the service and maintenance planning functions and in a service provider scenario; it becomes vital that there is integration from both a process and a system perspective.

8.3.3 Single sourcing

Many enterprises perform single and modular sourcing, in order to lower the complexity of the sources of supply and the costs of the procurement completion as well as to increase the transparency of the procurement process. The term single sourcing relates to the concentration on one source of procurement. The selected supplier should be competent.

With increasing quality requirements, the importance of single sourcing has grown as a supply policy. Usually common investments are conducted which result in interdependences. Close co-operation by learning, experience and synergies can lead to cost reduction, from which suppliers and customers profit and which would not have developed without co-operation.

With regard to higher contingency risk, infrastructure conditions should be established so that they ensure quick and safe supply. The co-operation needed when using a single source requires especially the ability to interact with different organizational cultures by promoting confidence, openness and acceptance of criticism with a high measure of willingness at all levels. In order to ensure close co-operation, structures should be created, which minimize interfaces and promotes optimal instead of isolated local solutions to problems. Efficient flow of material and data is an integral component of a single sourcing relationship.

By concentrating on one or a few suppliers, the cost of procurement completion and logistics costs can be reduced. Further advantages are the possible better utilization of capacity of suppliers by larger order quantities. A concentration on their own capabilities leads to cost savings, which result from the division of labour. Also reorganization of the flow of material and goods will lead to cost reduction, for example by smaller costs of capital commitment of the material and in smaller inventory costs.

When considering the economics of single-sourcing, it may be difficult to compute the costs and benefits of cooperation. Besides, it is questionable whether existing systems of accounting are able to assist with this analysis. Evaluation of the risk, which is taken by the restricting to one supplier is difficult to measure. There are some risks, such as production disturbances and interruptions, strike vulnerability, lack of recognition of a new technological development, renouncement of competition as well as potential "switching costs", which make

a later change to a supplier more difficult. Therefore, it should be examined whether the cost advantages of single sourcing are sufficiently beneficial and are counterbalanced by hard calculable risks. When considering the disadvantages of a single sourcing policy, it should be evaluated if dual sourcing is feasible, i.e. at least two suppliers should be planned for each product.

8.3.4 Global sourcing

The term global sourcing is not clearly defined despite intensive discussion in the literature. Often global sourcing is known as "international purchase" or efficient use of world-wide resources within the ranges of personnel, material, energy and capital. Global sourcing can be defined as international market cultivation in the context of the strategy of the supplying management and as systematic expansion of the procurement policy on international sources of procurement under strategic adjustment.

A set of internal and external considerations is required in order to be able to operate global sourcing effectively and efficiently. Political stability, security of trade and law belong to external considerations, and a transition from a pure purchase function to supply chain management should be implemented. Global sourcing can only become effective with extensive knowledge, management experience, good qualifications and an appropriate orientation of employees. Expanded study of the procurement market is a substantial prerequisite for obtaining the necessary information. The logistic chain should be controllable and manageable over all frontiers and jurisdictional systems and this leads to increasing complexity, global data networks and to the use of different means of transport.

The evaluation of global sourcing concepts involving the component of international purchase is mostly focused on lower delivery costs. The differences in prices are clearly and directly noticeable, however this view hides an integrated approach. The evaluation should include aspects of smaller procurement risk and higher supply security. The evaluation of the risks of currency fluctuations, interruptions of supply chains and political changes should be considered.

Increased transition to world-wide procurement leads mostly to a degradation in quality and determinability of the schedule and quantity of material streams. In order to hold a fixed service level, extended planning instruments need to be made available, for example separate control systems or higher planning frequency.

8.3.5 Concurrent sourcing

Technical systems can be procured and introduced in one or several stages. Different procedures are applicable and recommended regarding spare part quantification and procurement.

During a single-stage system installation, generally higher requirements have to be set with regard to quality of spare part quantification than with a start-up in several stages, in particular if it concerns plants or systems which are produced in a small number. Since breakdowns and first-time production difficulties cannot be excluded, suitable initial supply procedures have to be applied.

With systems that are produced in larger quantity but are procured by a single customer in a small quantity compared to the overall production volume, it can be assumed in general that spare parts with slightly changed costs can be procured within a short time. In these cases, an estimated spare part provision with stocks, which corresponds to the requirements of a consolidated operational phase, is economic and suitable. Besides, the quantification can usually rely on reliability data of other operators.

For systems with a limited group of users, which are only produced in small quantities the requirement commonly exists for a so-called life-time-buy, i.e. procurement for the entire system lifetime, since production is phased out after installation of the equipment and spare

parts. Later reorders could, if generally technically possible, only be manufactured in single-unit production at a considerably higher price. This means that spare parts have to be procured concurrently with the system production.

8.3.6 Obsolescence management

The term obsolescence is used to refer to the fact that an item, in this case a spare part, is no longer procurable. In principle, all products available on the investment and consumer goods markets can be affected by obsolescence since the supply of spare parts can phase out towards the end of the product life cycle.

Any piece of equipment, tools, hardware, software, by-product, etc. can become obsolete. The obsolescence problem impacts at all stages of a product life cycle, but the effects of obsolescence are particularly great once serial production has ended. As a general principle, the obsolescence phase of a product begins immediately after the information about discontinuance is issued and the product is considered as obsolescent. Obsolescence is unavoidable, expensive and cannot be ignored.

Obsolescence management is the process of ensuring that the product is able to be manufactured and supported for its intended life. The process consists of planned and co-ordinated activities for providing availability of a product during its intended life, by the economic and practicable provision of replacement components and support activities.

Two main strategy options should be considered in obsolescence management:

- reactive strategy: react to problems of obsolescence as and when they occur;
- proactive strategy: develop and implement an obsolescence management plan in advance.

For more detailed information, refer to IEC 62402.

8.4 Planning and control of the flow of repairable spare parts

There are several flow options that can be considered for the replacement of spare parts:

- Continuous: spare parts are sent for repair immediately when they are identified as requiring repair;
- Batch: spare parts are only sent for repair when a pre-defined quantity has been reached;
- New parts: a percentage of spare parts is estimated to be beyond economic repair and these have to be ordered to keep the number of spares constant – manufacturing a complete item may take longer than a repair;
- Strip down and repair: a replacement part may comprise a number of minor parts, but it is considered more expedient to replace the larger part. Subsequent strip down identifies the minor part which then undergoes a continuous or batch repair;
- Modification: the criticality of a modification may require all spares to be modified immediately, spares to be modified only on repair, or the spare to be modified only when the repair relates to the modification. Modification can increase the turnaround time.

In addition, spares can be held in a number of locations and also there may be centres feeding a number of specific locations. This can enable an urgent spare part to be "borrowed" from another location or centre. This is particularly true for global systems.

A dynamic inventory system, which automatically monitors spare parts, provides immediate identification of potential problems, which can greatly enhance spares flow for large systems.

When the spares flow has been planned, it is also necessary to consider the time required to adequately package spares to allow for transportation and storage without damage caused by either handling or environmental exposure. In some cases, a package is designed to accommodate the quantity in a pre-determined batch.

Annex A (informative)

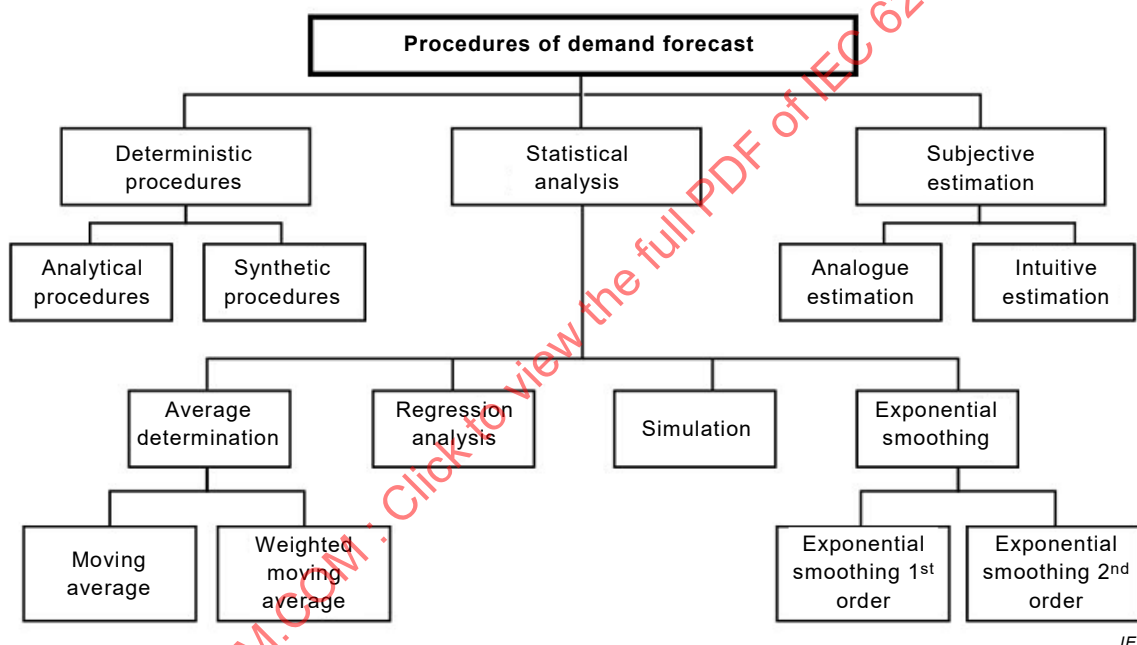
Prognosis of demand

A.1 General

The starting point for all decisions is the prognosis of future demand. Three main groups of demand forecast procedures are able to be applied:

- deterministic procedures;
- statistical analysis based on consumption data;
- subjective estimation.

An overview of the forecast procedures is shown in Figure A.1.



IEC

Figure A.1 – Procedures of demand forecast

A.2 Synthetic determining of demand

The most disadvantageous case is when for initial provisioning only an estimation of the failure rate is available. The amount and the demand over time of spare parts are estimated by the failure behaviour of the items. In addition, the operating conditions and intensity have to be considered.

A further important parameter for the computation of the spare part quantity is the replacement time for non-repairable items or repair turn-around time for repairable items.

If a new technical system is introduced, no past consumption figures are available for the initial provisioning of spare parts. A time series analysis cannot therefore be accomplished. Instead the need is prognosticated by means of reliability data.

In principle, there are three methods to determine reliability data:

- reliability test and/or experimental determination by component manufacturers;
- evaluation of operational data and failure statistics from users;
- reliability prediction guides, such as IEC 61709 and IEC 62308.

The first method is suitable for new components for which no empirical values are yet available. This procedure has the advantage that measurement conditions and rated loads are able to be monitored and accurately adjustable. Failure samples and failure causes can be exactly evaluated in the laboratory. Laboratory tests do require a high degree of technical sophistication and are very cost-intensive because of test times and sustained testing. Accelerated testing according to IEC 62506 and IEC 61649 can be used to reduce test time.

The second method is generally cheaper and applicable when operational data and failure statistics are available. On the basis of the failures and running times, the MTBF can be computed and computation operational reliability is determined directly, i.e. all environmental influences are able to be considered. With operation-specific failure rates, spares stocks can be optimized and measures to increase availability can be introduced.

Feedback to the equipment manufacturer may be however problematic. Only failures which have occurred during rated load without excessive load by mechanical, electrical, thermal or other environmental influences should be considered. In addition, failure causes and the type of failure (primary or secondary failure) might not be recognized accurately.

The third method, instead of laboratory tests or evaluations of operation data taking over the experience of third parties in the determination of failure rates, is a simple way to get a first rough reliability figure. Estimates of failure rates of common market components can be found in handbooks listed in IEC 61709.

A.3 Prognosis based on consumption data

A.3.1 Overview

Well-established procedures for demand forecast on the basis of observation results from the past include:

- forecast on the basis of a moving average;
- forecast on the basis of a weighted moving average;
- forecast on the basis of exponential smoothing;
- forecast on the basis of regression analysis;
- forecast on the basis of simulations.

A.3.2 Forecast on the basis of the moving average

When applying the forecast on the basis of a moving average, the values of a certain number of past time periods are averaged:

$$p_i = \frac{d_{i-1} + d_{i-2} + \dots + d_{i-k} + d_{i-n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_{i-k} \quad (\text{A.1})$$

where

- | | |
|------------------------------------|--|
| p_i | is the forecast for the current planning period; |
| d_{i-k} ($k = 1, 2, \dots, n$) | is the demand in the previous planning periods; |
| n | is the number of planning period considered. |

This forecast procedure requires that demand data of previous periods is available. All planning periods have the same weight in this computation.

A.3.3 Forecast on the basis of the weighted moving average

A forecast on the basis of the weighted moving average applies different weighting factors for particular planning periods. When a seasonal influence is present, values of similar periods will be considered by a higher weight. If the recent demand is considered more important compared to earlier periods, weights will be ordered downwards. This procedure requires that the demand of the preceding periods and their weights are available.

$$p_i = \frac{w_1 d_{i-1} + w_2 d_{i-2} + \dots + w_k d_{i-k} + w_n d_{i-n}}{n} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k d_{i-k} \quad (\text{A.2})$$

A.3.4 Forecast on the basis of exponential smoothing

A forecast on the basis of exponential smoothing represents a special case of forecasting on the basis of a weighted moving average. Exponential smoothing is a technique that can be applied to time series data to make forecasts. The procedure requires not all individual values of the past but only three data elements:

$p_{\text{predicted, old}}$	forecast for the previous planning period;
$p_{\text{actual, old}}$	actual demand for the previous planning period;
α	smoothing coefficient.

The term "smoothing" stands for a kind of averaging. The subsequent formula shows the exponential smoothing for a 1st order:

$$p_{\text{new}} = p_{\text{predicted, old}} + \alpha (p_{\text{actual, old}} - p_{\text{predicted, old}}) \quad (\text{A.3})$$

The smoothing coefficient α is a constant, which should be specified and has values between 0 and 1. The new prognosis p_{new} is computed from the preceding (old) prognosis $p_{\text{predicted, old}}$, corrected by the product of the smoothing coefficient α and the difference between the actual and predicted demand of the preceding planning period.

If α is set to 1, the new prognosis p_{new} is equal to the actual demand in the previous planning period. With $\alpha = 0,1$ only 10 percent of deviation from predicted and actual demand is considered in the new forecast. Values of α close to 1 have a minor smoothing effect and give greater importance to recent changes in the data, values of α closer to zero have a greater smoothing effect and are less sensitive to recent changes.

By formulating Formula (A.3) as follows:

$$p_i = p_{i-1} + \alpha \cdot (d_{i-1} - p_{i-1}) = \alpha \cdot d_{i-1} + p_{i-1} \cdot (1 - \alpha) \quad (\text{A.4})$$

and replacing in the formula p_{i-1} (the old prognosis) sequentially by the value of the preceding period the formula can be written as follows:

$$p_i = \alpha \cdot d_{i-1} + \alpha(1 - \alpha) \cdot d_{i-2} + \alpha(1 - \alpha)^2 \cdot d_{i-3} + \alpha(1 - \alpha)^3 \cdot d_{i-4} + \dots \quad (\text{A.5})$$

Formula (A.5) shows that the value applied in the prognosis is an average value which is determined on the basis of consumption in past periods and multiplied by weighting factors. The weighting factors represent a geometrical progression. The term "smoothing" stands for the fact that older values have a smaller influence than recent values.

No formally correct procedure for estimating α exists. In practice, α -values between 0,2 and 0,5 are applied. Also statistical techniques may be used to optimize the value of α . For

example, the method of least squares may be used to determine the value of α for which the sum of the square differences $(p_{k-1} - d_{k-1})^2$ is minimized.

A.3.5 Forecast on the basis of regression analysis

Many observations in economic science as well as in inventory management are collected in the form of a time series. To estimate future demand, past demand history and various factors that influence the demand have to be examined. For example, research may reveal that in the past demand was growing by a constant factor from a previous planning period to a succeeding period. There are three major factors that may influence the growth of demand: the number of systems evoking demand, utilization intensity, and decreasing reliability for example due to wear-out or fatigue. Therefore, those factors have to be assessed.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

Annex B (informative)

Measures of effectiveness

B.1 General

Spare parts are considered as an important factor for the effectiveness of a support system. The provision and maintenance of an appropriate stock of spare parts is decisive for the availability of a technical system. These models do not include the consideration of cost. It may be more effective to include the cost.

The different effectiveness measurements are described in Annex B.

B.2 Stock-related measures of effectiveness

B.2.1 Fill rate (FR) and risk of shortage (ROS)

An inventory system with nominal stocks S of a given item can be described on the basis of a chain that can adopt the following states:

$S, S-1, S-2, S-k, \dots, S-(S-1), S-S, S-(S+1), -2, \dots, -\infty$

In the states S to $S-(S-1)$ all demands can be fulfilled. The state $S-S$ marks that situation in which no spare part is on stock and also no demand exists, which could not be fulfilled anyway. The fill rate is thus the sum of all probabilities $w(k)$ for the states S to $S-(S-1)$:

$$FR = \sum_{k=0}^{S-1} w(k) \quad (B.1)$$

The risk of shortage (ROS) or probability of a stockout determines the fraction of demands which cannot be satisfied immediately from spare parts stock. In the above described chain, these are all states which are not considered for the determination of fill rate. The sum of the fill rate and risk of shortage together always result in a value of 1.

$$ROS = 1 - FR \quad (B.2)$$

Assuming a Poisson distribution for $w_k(k|\lambda T)$, the equation reads

$$ROS = \sum_{k=S}^{\infty} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)} = 1 - \sum_{k=0}^{S-1} \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)} \quad (B.3)$$

where

T is the transitory period, i.e. repair turn-around time (including transportation times) for repairable items, replenishment lead time (including transportation times) for non-repairable items, expressed in hours;

λ is the average demand rate per hour;

S is the number of spare parts.

Assuming a constant failure rate, the average number of demands during a given time T is equal to the expression λT and can be calculated by the following formula:

$$\lambda T = N_{\text{sys}} \cdot v \cdot QPS \cdot \rho_{\text{item}} \cdot T = \frac{N_{\text{sys}} \cdot v \cdot QPS \cdot T}{MTBR} \quad (\text{B.4})$$

where

- N_{sys} is the number of systems;
- v is the utilization rate (e.g. operating hours per system and calendar hour);
- QPS is the quantity per system;
- ρ_{item} is the replacement rate;
- $MTBR$ is the mean time between replacements;
- T is the transitory period, i.e. repair turn-around time (including transportation times) for repairable items, replenishment lead time (including transportation times) for non-repairable items, expressed in hours.

In Figure B.1 the FR is shown as a function of the average number of demands during a given time T (λT) and number of spares S .

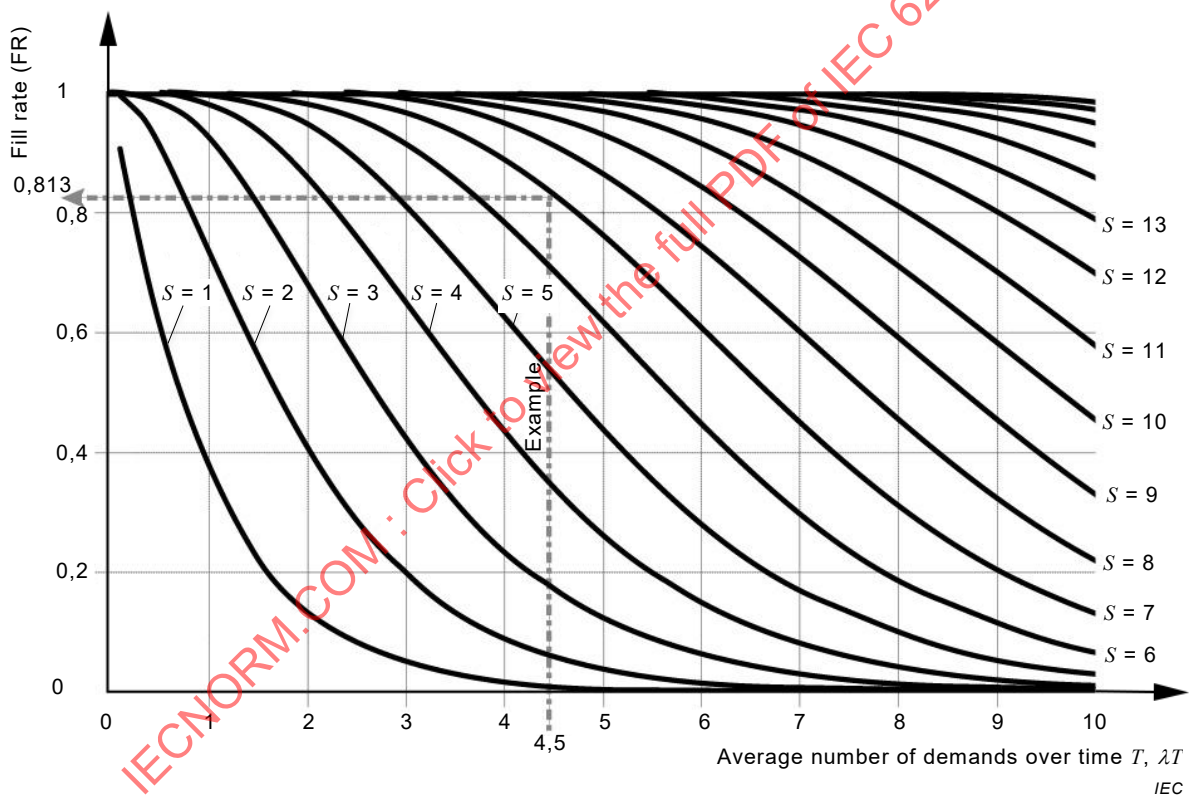


Figure B.1 – Diagram for the determination of the fill rate (FR) with a Poisson demand

Generally, the number of required spare parts can be computed with the following approximation formula for quantities greater than 30:

$$S = \left\lceil \lambda T + K \cdot \sqrt{\lambda T} \right\rceil \quad (\text{B.5})$$

The factor K defines the fill rate and has to be defined according to Figure B.2.

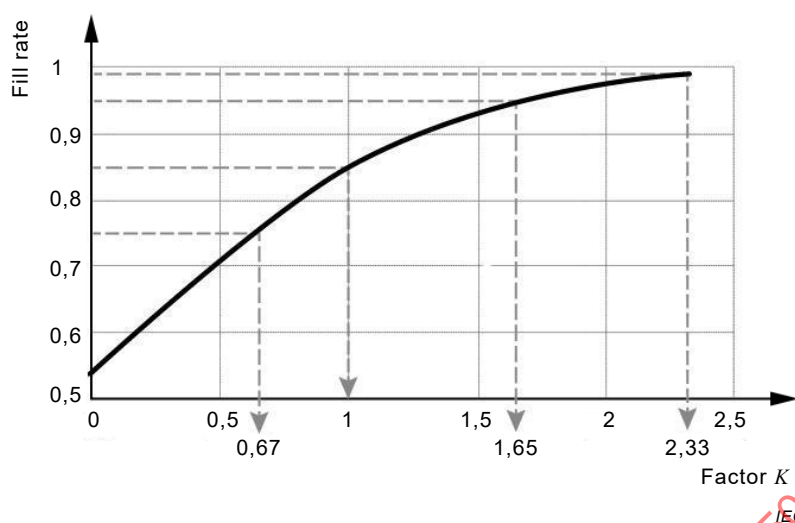
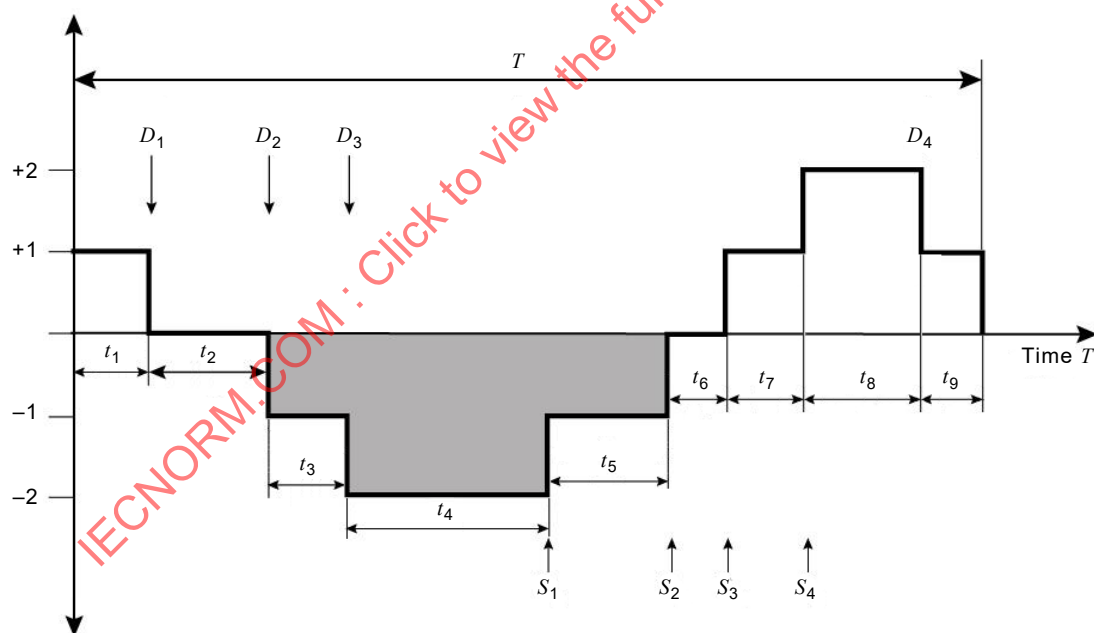


Figure B.2 – Diagram for the determination of the factor K for the required fill rate

B.2.2 Expected backorders (EBO)

Backorders are demands that cannot be satisfied immediately. These demands will be satisfied when a spare part is coming out of the repair cycle or the replenishment process. An inventory system with a backorder case is shown in Figure B.3.



IEC

Figure B.3 – Inventory system with a backorder case

Within a considered representative period of time T , four demands of each one spare part occur: demand D_1 through D_4 . At the time S_1 to S_4 a repaired spare comes out of the repair cycle. Hence, the stock level is 1 during the times t_1 , t_7 and t_9 , during time t_8 the stock level is 2, and during the remaining times t_2 to t_6 no spare parts are available.

The spare part's demand at the point in time D_2 is delayed and can be satisfied only after arrival of an item at time S_1 . Likewise the demand at time D_3 can be satisfied only at time S_2 . In the time period T , as shown in Figure B.3 two demands are backordered. The measure of

"expected backorders" is an over the time weighted average value within the time period T and can be determined as follows:

$$EBO = \frac{1 \cdot (t_3 + t_4) + 1 \cdot (t_4 + t_5)}{T} = \frac{t_3 + 2 \cdot t_4 + t_5}{T} \quad (B.6)$$

The average number of backorders can also be described with the help of chains with the following states:

$S, S-1, S-2, S-k, \dots, S-(S-1), S-S, S-(S+1), -2, \dots, -\infty$

In the states S to $S-(S-1)$ all demands can be fulfilled. Starting from status $S-(S+1)$, first 1 demand, then 2, etc., cannot be fulfilled directly. The backorders demands can be calculated therefore as total of all probabilities $w(k)$ for the states $k \geq S+1$, multiplied by the term $(k-S)$; the general equation reads:

$$EBO = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k-S) \cdot w(k) \quad (B.7)$$

Assuming a Poisson distribution for $w_k(k|\lambda T)$ the equation for the calculation of the expected backorders reads:

$$EBO = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k-S) \cdot w_k(k|\lambda T) = \sum_{k=S+1}^{\infty} (k-S) \cdot \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)} \quad (B.8)$$

For practical calculations, Equation (B.8) is not suitable because of the summation to infinity. The average number of backorders can be determined by computation more easily with finite summation using the following formula:

$$EBO = (\lambda T) \cdot \frac{(\lambda T)^S}{S!} \cdot e^{-(\lambda T)} + (\lambda T - S) \cdot \left[1 - \sum_{k=0}^S \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-(\lambda T)} \right] \quad (B.9)$$

The measure EBO is not common in practice. Conceptually, it is difficult to understand and also to measure. The reason why it is treated here in detail is the importance on the calculation of the MWT.

B.2.3 Mean waiting time (MWT)

The MWT can be calculated from the EBO by division by the demand rate λ :

$$MWT = \frac{EBO}{\lambda} \quad (B.10)$$

The MWT considers all demands, even those for which the waiting time, because of available stock, is zero. In the case of demands, which cannot be satisfied immediately, longer waiting will occur than the MWT.

In Figure B.4, the relation of MWT to the repair turn-around time T as a function of the average number of demands during a given time T (λT) and number of spares S is shown. The MWT can be calculated thus by multiplication with the repair turn-around time T .

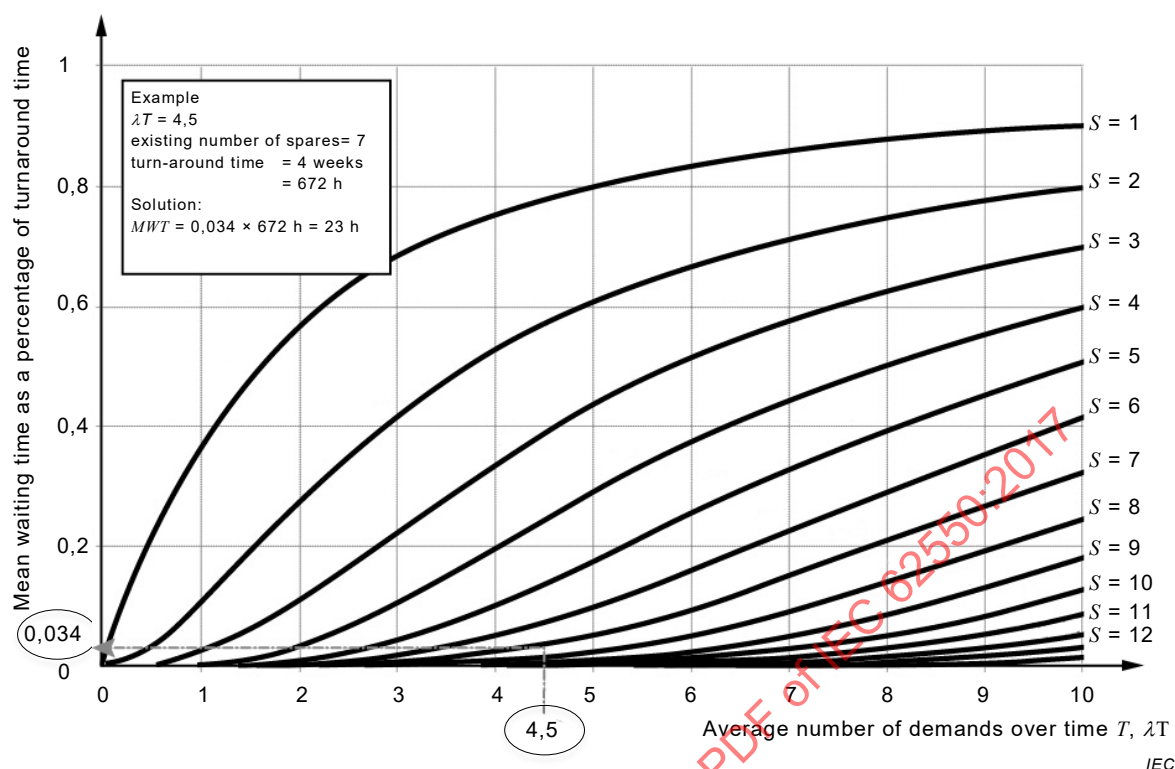


Figure B.4 – Diagram for the determination of the mean waiting time (MWT) with a Poisson demand

B.3 System-related measures of effectiveness

B.3.1 Operational system availability (A_{op})

The operational system availability (A_{op}) for steady-state operations can be calculated by the following formula:

$$A_{op} = \frac{MTBR}{MTBR + MDT} \quad (\text{B.11})$$

where

A_{op} is the operational system availability;
 $MTBR$ is the mean time between replacements;
 MDT is the mean down time.

$$MDT = MRT + MLD + MWT \quad (\text{B.12})$$

where

MRT is the mean repair time;
 MLD is the mean logistic delay;
 MWT is the mean waiting time.

The MRT is calculated as a weighted mean from the individual times to replace LRIs. The mean logistic delay time represents delays caused by lack of resources.

For non-continuous operational profiles, Formula (B.12) is not applicable. The determination of the practical availability with non-continuous operation has to consider the exact

operational profile, the failure consequences and the repair resources. A more complex method has to be applied to determine this practical system availability, such as Monte Carlo simulation.

B.3.2 Number of systems not operationally ready (NOR)

A version of the availability measure is NOR, calculated as the average number of not operationally ready systems due to on-going repair and shortage of spares. NOR is calculated as

$$NOR = (1 - A_{op}) \cdot N \quad (B.13)$$

where

A_{op} is the operational system availability;

N is the total number of systems.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

Annex C (informative)

Example: Quantification of spare parts and optimization of inventory stocks

C.1 General

The following example describes the quantification of spare parts and optimization of inventory stocks. The example refers to a product called “data communication network (DCN)”. This example is taken from IEC 60300-3-3:2004. The product breakdown structure, shown in Figure C.1, lists the different elements included in the DCN.

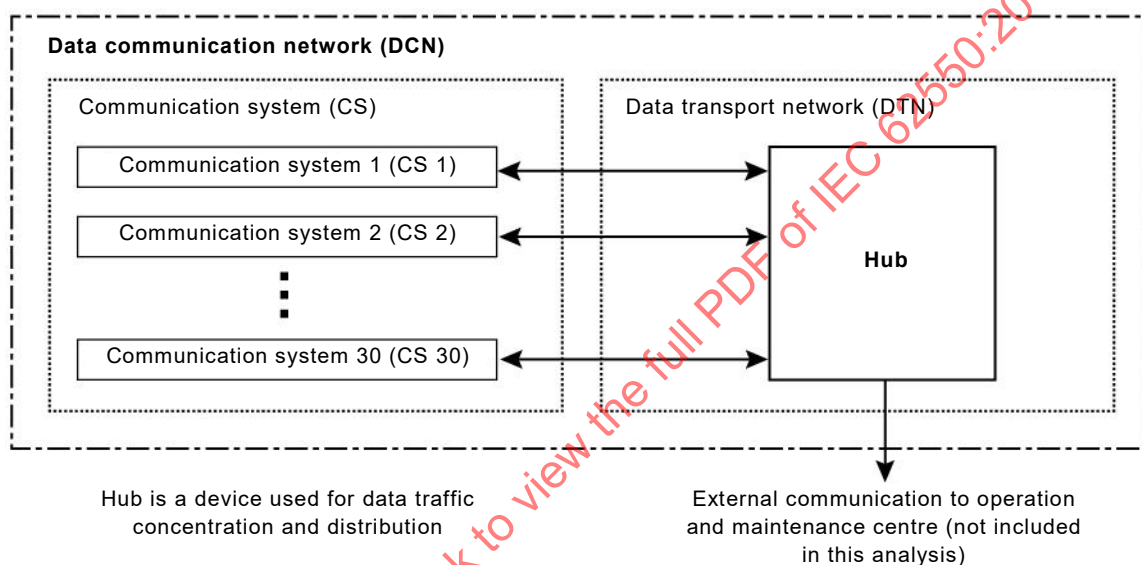


Figure C.1 – Structure of the DCN

The purpose of this example is to identify the potential spare parts, to show the information as prerequisites of the quantification, and to demonstrate the quantification and optimization process.

C.2 Product breakdown structure

To perform the required calculations for the spare part quantification a detailed product breakdown structure should be worked out. The product breakdown structure gives the breakdown of the product to lower indenture levels.

As shown in Figure C.1, the product under consideration is a data communication network (DCN) consisting of N identical communication systems (CS) and a data transport network (DTN). The data transport network contains all data links within the DCN.

Tables C.1 to C.5 present a product breakdown structure, in three indenture levels, together with some product dependability and cost data.

Table C.1 – First indenture level – Data communication network

Level 1	Description for item	Abbreviation	Required availability performance	Quantity <i>N</i>
P ₁	Communication system	CS	All downtimes result in penalty cost	30
P ₂	Data transport network	DTN	99,995 % per link	30 (1 per link)

Table C.2 – Second indenture level – Communication system

Level 2	Description for item	Abbreviation	Failure rate (<i>z</i>) failures / 10 ⁶ h	Cost per item CU ^a	Quantity per next higher level
P _{1.1}	Power supply system	PSS	See Table C.3	See Table C.3	1
P _{1.2}	Main processor	MP	See Table C.4	See Table C.4	1
P _{1.3}	Display console	DC (RI ₇)	5 per item	900	2
P _{1.4}	Input / output unit	IOU (RI ₈)	4 per item	300	1
P _{1.5}	Fan system	FS	See Table C.5	See Table C.5	1
Replaceable item (RI) is to be replaced at the 'site level' and to be repaired at the 'workshop level'.					
^a CU: Currency unit.					

Table C.3 – Third indenture level – Power supply system

Level 3	Description for item	Abbreviation	Failure rate (<i>z</i>) failures / 10 ⁶ h	Cost per item CU ^a	Quantity per next higher level
P _{1.1.1}	Power supply unit	PSU (RI ₁)	18 per item	350	2
P _{1.1.2}	Power control unit	PCU (RI ₂)	4 per item	200	1
P _{1.1.3}	Battery ^b	BATT (NR) ^c	Negligible	100	8
^a CU: Currency unit.					
^b The battery requires preventive replacement due to wear-out failures.					
^c NR: Non-repairable item.					

Table C.4 – Third indenture level – Main processor

Level 3	Description for item	Abbreviation	Failure rate (<i>z</i>) failures / 10 ⁶ h	Cost per item CU ^a	Quantity per next higher level
P _{1.2.1}	Central processor	CP (RI ₃)	15 per item	4 000	2
P _{1.2.2}	Program store	PS (RI ₄)	18 per item	1 000	2
P _{1.2.3}	Data store	DS (RI ₅)	22 per item	800	4
P _{1.2.4}	Data bus system	DBS (RI ₆)	3 per item	400	1
^a CU: Currency unit.					

Table C.5 – Third indenture level – Fan system

Level 3	Description for item	Abbreviation	Failure rate (λ) failures / 10^6 h	Cost per item CU	Quantity per next higher level
P _{1.5.1}	Fan ^b	FAN (NR) ^c	Negligible	40	4
P _{1.5.2}	Alarm unit	AU (RI ₉)	2 per item	80	1
^a CU: Currency unit. ^b The fan requires preventive replacement due to wear-out failures. ^c NR: Non-repairable item.					

C.3 Calculation of spare parts quantities and costs

The calculations in this example are based on the following prerequisites and assumptions based on estimated performance parameters, cost, and other conditions:

- mean time to restoration (MTTR) = 0,5 h;
- mean technical delay (MTD) = 0,25 h;
- mean administrative delay (MAD) = 4 h;
- useful life of a battery = 4 years;
- useful life of a fan = 9 years;
- no preventive maintenance except for batteries and fans;
- all repairable items are repaired at a central workshop;
- turn-around-time (TAT) for repairable items = 672 h (= 28 days);
- transportation time (TT) for one way: site → central workshop or reverse = 24 h (= 1 day).

In Table C.6 the results of the quantification of spare repairable items performed in IEC 60300-3-3,:2004 are shown.

Table C.6 – Investments in spare repairable items

Repairable item	Level	Description for item	Purchase cost per item	Number of spare repairable items	Total investment per SRI type	Mean waiting times h
RI			CI	NSRI	CU	MWT
RI ₁	P _{1.1.1}	Power supply unit (PSU)	350	3	1 050	1,8
RI ₂	P _{1.1.2}	Power control unit (PCU)	200	1	200	3,6
RI ₃	P _{1.2.1}	Central processor (CP)	400	3	12 000	1,8
RI ₄	P _{1.2.2}	Program store (PS)	100	3	3 000	1,8
RI ₅	P _{1.2.3}	Data store (DS)	800	6	4 800	1,0
RI ₆	P _{1.2.4}	Data bus system (DBS)	400	1	400	3,6
RI ₇	P _{1.3}	Display console (DC)	900	2	1 800	2,4
RI ₈	P _{1.4}	Input/output unit (IOU)	300	1	300	3,6
RI ₉	P _{1.5.2}	Alarm unit (AU)	80	1	80	3,6
Total					23 630	

In IEC 60300-3-3, the MWT was calculated by an approximation formula without assignment to a specific stock position.

Figure C.2 shows the inventory system for the DCN. There are two stock position levels: workshop level and site level.

The quantity of spare repairable items shown in Table C.6 is all stocked at the workshop level.

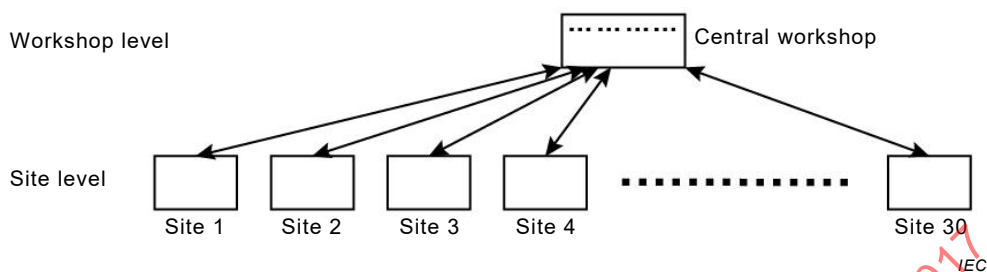


Figure C.2 – Inventory system for the DCN

Bibliography

- [1] IEC 60050-192, *International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability* (available at <http://www.electropedia.org>)
 - [2] IEC 60300-1, *Dependability management – Part 1: Guidance for management and application*
 - [3] IEC 60300-3-3:2004, *Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing*
 - [4] IEC 61649, *Weibull analysis*
 - [5] IEC 61709, *Electric components – Reliability – Reference conditions for failure rates and stress models for conversion*
 - [6] IEC 62308, *Equipment reliability – Reliability assessment methods*
 - [7] IEC 62402, *Obsolescence management – Application guide*
 - [8] IEC PAS 62435, *Electronic components – Long-duration storage of electronic components – Guidance for implementation*
 - [9] IEC 62506, *Methods for product accelerated testing*
 - [10] Hadley, G.; Whitin, T. M., *Analysis of Inventory Systems*. New Jersey, 1963
 - [11] Sherbrooke, Craig C., *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-echelon Techniques*, Kluwer Academic Publishers, 2nd edition, 2004
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
INTRODUCTION.....	61
1 Domaine d'application	63
2 Références normatives	63
3 Termes, définitions et termes abrégés	63
3.1 Termes et définitions	63
3.2 Termes abrégés	67
4 Vue d'ensemble	67
4.1 Participants et principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange	67
4.2 Types de pièces de rechange	69
4.3 Identification des pièces de rechange comme partie intégrante de l'analyse du niveau de réparation (LORA)	70
4.4 Processus global d'approvisionnement en pièces de rechange	72
5 Prévision de la demande	73
5.1 Généralités	73
5.2 Prévision basée sur les données de consommation	74
5.2.1 Généralités	74
5.2.2 Procédures de prévision	74
5.3 Détermination initiale de la demande	75
5.3.1 Généralités	75
5.3.2 Prévision des taux de défaillance et des intensités de défaillance	75
5.3.3 Calcul des taux de demande	76
6 Quantification des pièces de rechange	76
6.1 Généralités	76
6.1.1 Vue d'ensemble du processus	76
6.1.2 Lois de probabilité relatives à la quantification des pièces de rechange	78
6.1.3 Mesures d'efficacité (MoE)	79
6.1.4 Analyse ABC (analyse de Pareto)	81
6.1.5 Quantification des entités réparables	83
6.1.6 Quantification des entités non réparables	83
6.2 Pièces de rechange stratégiques (critiques, d'assurance)	85
6.3 Systèmes de gestion des stocks	85
6.4 Optimisation des stocks	87
7 Documentation des pièces de rechange	90
7.1 Principes et objectifs	90
7.2 Catalogue de pièces illustrées (IPC)	90
7.3 Catalogue de pièces	93
8 Gestion de l'approvisionnement	93
8.1 Généralités	93
8.1.1 Activités	93
8.1.2 Approvisionnement économique	94
8.2 Sources d'approvisionnement en pièces de rechange	94
8.3 Politiques d'approvisionnement	95
8.3.1 Internalisation	95
8.3.2 Externalisation	95

8.3.3	Source d'approvisionnement unique	95
8.3.4	Approvisionnement mondial	96
8.3.5	Approvisionnement concomitant	97
8.3.6	Gestion de l'obsolescence	97
8.4	Planification et contrôle du flux de pièces de rechange réparables	98
Annexe A (informative)	Pronostic de la demande	99
A.1	Généralités	99
A.2	Détermination par synthèse de la demande	99
A.3	Pronostic basé sur les données de consommation	100
A.3.1	Vue d'ensemble	100
A.3.2	Prévision sur la base de la moyenne mobile	100
A.3.3	Prévision sur la base de la moyenne mobile pondérée	101
A.3.4	Prévision sur la base du lissage exponentiel	101
A.3.5	Prévision sur la base de l'analyse de régression	102
Annexe B (informative)	Mesures d'efficacité	103
B.1	Généralités	103
B.2	Mesures d'efficacité associées au stock	103
B.2.1	Taux de remplissage (FR) et risque de pénurie (ROS)	103
B.2.2	Commandes en attente attendues (EBO)	105
B.2.3	Temps d'attente moyen (MWT)	106
B.3	Mesures d'efficacité associées au système	107
B.3.1	Disponibilité opérationnelle du système (A_{op})	107
B.3.2	Nombre de systèmes non prêts à fonctionner (NOR)	108
Annexe C (informative)	Exemple: Quantification de pièces de rechange et optimisation des stocks d'inventaire	109
C.1	Généralités	109
C.2	Structure de décomposition du produit	109
C.3	Calcul des quantités et des coûts des pièces de rechange	111
Bibliographie		113
Figure 1	Participants et principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange	68
Figure 2	Identification des pièces de rechange	71
Figure 3	Processus d'approvisionnement en pièces de rechange pendant la conception et le développement	73
Figure 4	Processus d'approvisionnement en pièces de rechange pendant l'utilisation	78
Figure 5	Principe d'une analyse ABC	82
Figure 6	Politiques de contrôle des stocks	84
Figure 7	Système de gestion des stocks hiérarchiquement structuré	85
Figure 8	Modèles monostocks monoproduits	87
Figure 9	Exemple de modèle de stock pour les entités non réparables	89
Figure 10	Activités de gestion de l'approvisionnement	94
Figure A.1	Procédures de prévision de la demande	99
Figure B.1	Diagramme pour la détermination du taux de remplissage (FR) avec une demande déterminée selon la loi de Poisson	104
Figure B.2	Diagramme pour la détermination du facteur K du taux de remplissage exigé	105
Figure B.3	Système de gestion des stocks avec un cas de commande en attente	105

Figure B.4 – Diagramme pour la détermination du temps d'attente moyen (MWT) avec une demande déterminée selon la loi de Poisson.....	107
Figure C.1 – Structure du DCN	109
Figure C.2 – Système de gestion des stocks pour le DCN.....	112
Tableau 1 – Responsabilités, objectifs et mesurages pour fournisseurs, personnel de maintenance, opérateurs et utilisateurs.....	69
Tableau C.1 – Premier niveau dans l'arborescence – Réseau de communication de données.....	110
Tableau C.2 – Deuxième niveau dans l'arborescence – Système de communication.....	110
Tableau C.3 – Troisième niveau dans l'arborescence – Système d'alimentation	110
Tableau C.4 – Troisième niveau dans l'arborescence – Processeur principal.....	111
Tableau C.5 – Troisième niveau dans l'arborescence – Système de ventilation	111
Tableau C.6 – Investissements sur les entités de rechange réparables.....	112

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPROVISIONNEMENT EN PIÈCES DE RECHANGE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62550 a été établie par le comité d'études 56 de l'IEC: Sûreté de fonctionnement.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
56/1711/FDIS	56/1719/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

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

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

INTRODUCTION

L'approvisionnement en pièces de rechange est le processus de planification des pièces de rechange nécessaires compte tenu des besoins et des exigences d'un client.

La planification et le contrôle appropriés des pièces de rechange constituent une composante essentielle d'une supportabilité efficace. Si les bonnes pièces ne sont pas disponibles en cas de besoin pour la maintenance périodique ou les réparations, le temps d'indisponibilité est prolongé. Si un trop grand nombre de pièces de rechange est disponible, l'entreprise supporte les excédents de coûts et les frais généraux de réalisation des inventaires.

La planification et la fourniture de pièces de rechange en vue d'atteindre des objectifs d'entreprise sont basées sur quatre objectifs:

- la bonne pièce de rechange;
- en bonne quantité;
- au bon moment;
- au bon endroit.

L'approvisionnement en pièces de rechange est une condition préalable pour tous les types de tâches de maintenance, tels que les remplacements et les réparations. Pour ce qui concerne la disponibilité en régime permanent, il convient que les pièces de rechange pour les tâches de maintenance corrective soient fournies à intervalles irréguliers. Il peut être nécessaire de réaliser trois à quatre réparations avant d'obtenir la disponibilité en régime permanent. Au cours de cette période, les réparations peuvent être regroupées, et le besoin de les effectuer peut varier considérablement au fil du temps. Pour la maintenance préventive et la maintenance sur condition, le remplacement des entités peut se faire à intervalles réguliers ou pratiquement fixes. La coordination de la demande avec l'offre de pièces de rechange au moment requis est un facteur important. La non-disponibilité de matériels est l'une des raisons les plus souvent évoquées pour les retards d'achèvement des tâches de maintenance.

La disponibilité des pièces de rechange est l'un des facteurs qui influencent le temps d'indisponibilité du système. Des méthodes telles que le soutien logistique intégré (SLI) et l'analyse du soutien logistique (LSA) associée fournissent des informations nécessaires pour l'approvisionnement en pièces de rechange. Ces informations comprennent la décomposition du système, la politique de maintenance et la politique de l'offre. L'optimisation de la gestion des pièces de rechange porte sur des sujets qui apportent généralement des réponses à des questions telles que:

- quelles pièces de rechange convient-il de stocker au sein de l'organisme de maintenance ou chez un fournisseur?
- combien de pièces de rechange de chaque type convient-il de stocker?

L'optimisation de la gestion des pièces de rechange est basée sur les méthodes de recherche opérationnelle et les méthodes de fiabilité choisies, elle peut être analytique ou utiliser des simulations de Monte Carlo. Le processus d'optimisation vise à équilibrer le coût de rétention des pièces de rechange par rapport à la probabilité et au coût de pénurie des pièces de rechange.

Il convient de spécifier les procédures d'acquisition, d'administration et de stockage des pièces de rechange avant de pouvoir commander ces matériels. En outre, il convient qu'une politique générale d'approvisionnement soit compilée et spécifiée.

Les procédures correctes d'approvisionnement en matériels garantissent que les pièces de rechange sont commandées à temps et livrées selon la demande. Ces procédures comprennent également le contrôle de la réparation des pièces de rechange ainsi que la surveillance des temps de retour de réparation. Il convient que toutes les organisations

impliquées, depuis la production jusqu'à l'achat et au stockage, en passant par la maintenance, fassent preuve d'une transparence totale concernant la disponibilité des matériels et l'achèvement possible de la tâche. Il convient de comparer les coûts prévus pour le matériel utilisé pour la tâche à sa consommation. Ces coûts sont ensuite documentés et forment la base de la planification des matériels à usage contrôlé. Ce procédé permet d'optimiser les stocks de pièces de rechange et ainsi satisfaire aux exigences de disponibilité avec des niveaux minimums de stock.

Le présent document est applicable à tous les secteurs de l'industrie pour lesquels la supportabilité a une incidence majeure sur la sûreté de fonctionnement de l'entité tout au long de son cycle de vie.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017

APPROVISIONNEMENT EN PIÈCES DE RECHANGE

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences relatives à l'approvisionnement en pièces de rechange relevant des activités de supportabilité ayant une incidence sur les caractéristiques de sûreté de fonctionnement et permettant ainsi d'assurer la continuité du fonctionnement des produits, des matériels et des systèmes pour leur application prévue.

Le présent document est destiné à être utilisé par un large éventail de fournisseurs, d'organisations de support logistique à la maintenance et d'utilisateurs et peut être appliqué à toutes les entités.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes, définitions et termes abrégés

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

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

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

NOTE Certains termes donnés dans l'IEC 60050-192 figurent également dans le présent article pour la commodité du lecteur.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

consommable

tout article consommable qui peut être régulièrement remplacé et qui n'est généralement pas spécifique à un produit

EXEMPLE Huile, graisse, écrous, boulons et vis, joints, etc.

Note 1 à l'article: En général, les articles consommables ont un coût relativement faible.

3.1.2

maintenance corrective

maintenance effectuée après une détection de panne pour procéder à un rétablissement

Note 1 à l'article: La maintenance corrective de logiciel implique invariablement certaines modifications.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-06]

3.1.3

défaillance

<d'une entité> perte de l'aptitude à fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: La défaillance d'une entité est un événement qui provoque une panne de cette entité: voir panne [IEC 60050-192:2015, 192-04-01].

Note 2 à l'article: Des qualificatifs tels que catastrophique, critique, majeur, mineur, marginal et non significative peuvent être utilisés pour classer les défaillances en fonction de la gravité des conséquences, selon des critères de gravité dont le choix et les définitions dépendent du domaine d'application.

Note 3 à l'article: Des compléments tels que «par mauvais emploi», «par fausse manœuvre» et «par fragilité» peuvent être utilisés pour classer les défaillances selon leur cause.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01]

3.1.4

niveau dans l'arborescence

niveau de subdivision à l'intérieur de la hiérarchie d'un système

EXEMPLE Système, sous-système, assemblage et composant.

Note 1 à l'article: Du point de vue de la maintenance, le niveau dans l'arborescence dépend de divers facteurs dont la complexité de la structure de l'entité, l'accessibilité aux sous-entités, le niveau de compétence du personnel de maintenance, les moyens de mesure et d'essai, et des considérations de sécurité.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-05]

3.1.5

soutien logistique intégré

SLI

<d'une entité> processus de gestion visant à déterminer et à coordonner la mise à disposition de tous les matériels et ressources nécessaires pour répondre aux besoins liés à l'exploitation et à la maintenance

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-30]

3.1.6

entité

sujet que l'on considère

Note 1 à l'article: L'entité peut être une pièce isolée, un composant, un dispositif, une unité fonctionnelle, un équipement, un sous-système ou un système.

Note 2 à l'article: L'entité peut être composée de matériel, de logiciel, de personnel ou d'une quelconque de leurs combinaisons.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-01, modifiée — omission des références internes et des Notes 3, 4 et 5]

3.1.7

niveau de maintenance

ensemble des opérations de maintenance à effectuer à un niveau dans l'arborescence spécifié

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-04]

3.1.8

entité remplaçable en ligne

ERL

unité ou matériel ou logiciel remplaçable directement sur l'équipement, par l'utilisateur ou par une infrastructure de soutien logistique à la maintenance

Note 1 à l'article: Dans certains projets, le terme «unité remplaçable en ligne» (URL) est parfois utilisé à la place d'ERL.

3.1.9**maintenance**

combinaison de toutes les actions techniques et de gestion destinées à maintenir ou à remettre une entité dans un état lui permettant de fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: La gestion est supposée inclure les activités de supervision.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-01]

3.1.10**politique de maintenance**

définition des objectifs de la maintenance, des échelons de maintenance, des niveaux dans l'arborescence, de la logistique de maintenance et de leurs relations

Note 1 à l'article: La politique de maintenance fournit les bases pour planifier la maintenance, déterminer les exigences de capacité de soutien et développer le support logistique.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-02]

3.1.11**échelon de maintenance**

position au sein d'une organisation où des niveaux de maintenance spécifiés doivent être effectués

EXEMPLE 1^{er} échelon – sur site, 2^e échelon – atelier de réparation, 3^e échelon – chez le constructeur.

Note 1 à l'article: L'échelon de maintenance est caractérisé par le niveau de compétence du personnel, les moyens disponibles, l'emplacement, etc.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-03]

3.1.12**logistique de maintenance**

mise à disposition des ressources permettant la maintenance d'une entité

Note 1 à l'article: Les ressources incluent les ressources humaines, les équipements logistiques, les matériels et pièces détachées, les installations de maintenance, la documentation et les informations, et les systèmes d'information de maintenance.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-28]

3.1.13**tâche de maintenance**

succession d'opérations de maintenance élémentaires

EXEMPLE Localisation de panne, diagnostic de panne, réparation, essai de fonctionnement.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-11]

3.1.14**entité non réparable**

entité qui ne peut pas, dans des conditions données après une défaillance, être remise dans un état lui permettant de fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: Les «conditions données» peuvent inclure des considérations techniques, économiques et autres.

Note 2 à l'article: Une entité non réparable dans certaines conditions données peut être réparable dans d'autres conditions.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-12]

3.1.15

obsolescence

transition entre la disponibilité chez le fabricant d'origine et l'indisponibilité ou passage permanent d'un état fonctionnel à un état non fonctionnel pour des causes externes

3.1.16

maintenance préventive entretien

maintenance effectuée pour limiter la dégradation et réduire la probabilité de défaillance

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-06-05, modifiée — suppression de la Note 1 à l'article]

3.1.17

entité réparable

entité qui peut, dans des conditions données après une défaillance, être remise dans un état lui permettant de fonctionner tel que requis

Note 1 à l'article: Les «conditions données» peuvent inclure des considérations techniques, économiques et autres.

Note 2 à l'article: Une entité réparable dans certaines conditions données peut être non réparable dans d'autres conditions.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-11]

3.1.18

pièce de rechange

composant ou pièce, réparable ou non réparable, contenu(e) dans la nomenclature associée, utilisé(e) pour la maintenance ou la réparation des machines ou matériels

3.1.19

localisation de stock

tout emplacement dans lequel il est prévu d'inventorier une pièce de rechange

Note 1 à l'article: Les termes "stock" et "inventaire" sont généralement interchangeables.

3.1.20

supportabilité

<d'une entité> aptitude à être maintenue dans un état où la disponibilité requise est obtenue avec un profil opérationnel défini et des ressources logistiques et de maintenance données

Note 1 à l'article: La supportabilité d'une entité dépend de sa maintenabilité intrinsèque, combinée à des facteurs externes qui influencent la facilité relative à disposer des ressources logistiques et de maintenance requises.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-31, modifiée — omission de la référence interne]

3.1.21

système

<en sûreté de fonctionnement> ensemble d'entités reliées entre elles qui satisfont collectivement à une exigence

Note 1 à l'article: Un système est considéré comme ayant une frontière définie, réelle ou abstraite.

Note 2 à l'article: Des ressources externes (provenant d'au-delà de la frontière) peuvent être nécessaires au fonctionnement du système.

Note 3 à l'article: La structure d'un système peut être hiérarchique, par exemple, système, sous-système, composant, etc.

Note 4 à l'article: Il convient d'exprimer ou de sous-entendre les conditions d'utilisation et de maintenance dans l'exigence.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-01-03]

3.2 Termes abrégés

BOM	Bill of material (Nomenclature)
CS	Communication system (Système de communication)
DCN	Data communication network (Réseau de communication de données)
DTN	Data transport network (Réseau de transport de données)
EBO	Expected backorders (Commandes en attente attendues)
FR	Fill rate (Taux de remplissage)
SLI	Soutien logistique intégré
IP	Initial provisioning (Approvisionnement initial)
IPC	Illustrated parts catalogue (Catalogue de pièces illustrées)
IPD	Initial provisioning data (Données d'approvisionnement initial)
LORA	Level of repair analysis (Analyse du niveau de réparation)
ERL/URL	Entité remplaçable en ligne/Unité remplaçable en ligne
MAD	Mean administrative delay (Délai administratif moyen)
MoE	Measures of effectiveness (Mesures d'efficacité)
MDT	Mean down time (Temps moyen d'indisponibilité)
MLD	Mean logistic delay (Délai logistique moyen)
MRT	Mean repair time (Durée moyenne de réparation)
MTBF	Mean operating time between failures (Moyenne des temps de bon fonctionnement)
MTBR	Mean time between replacements (Temps moyen entre deux remplacements)
MTD	Mean technical delay (Retard technique moyen)
MTTF	Mean time to failure (Temps moyen avant défaillance)
MTTR	Mean time to restoration (Durée moyenne jusqu'à rétablissement)
MWT	Mean waiting time (Temps d'attente moyen)
NFF	No fault found (Aucun défaut détecté)
NI	Not illustrated (Non représenté)
NOR	Not operationally ready (Non prêt à fonctionner)
OEM	Original equipment manufacturer (Fabricant de l'équipement d'origine)
QPNHA	Quantity per next higher assembly (Quantité par assemblage immédiatement supérieur)
ROS	Risk of shortage (Risque de pénurie)
TAT	Turn-around time (Temps de retour)
TT	Transportation time (Temps de transport)

4 Vue d'ensemble

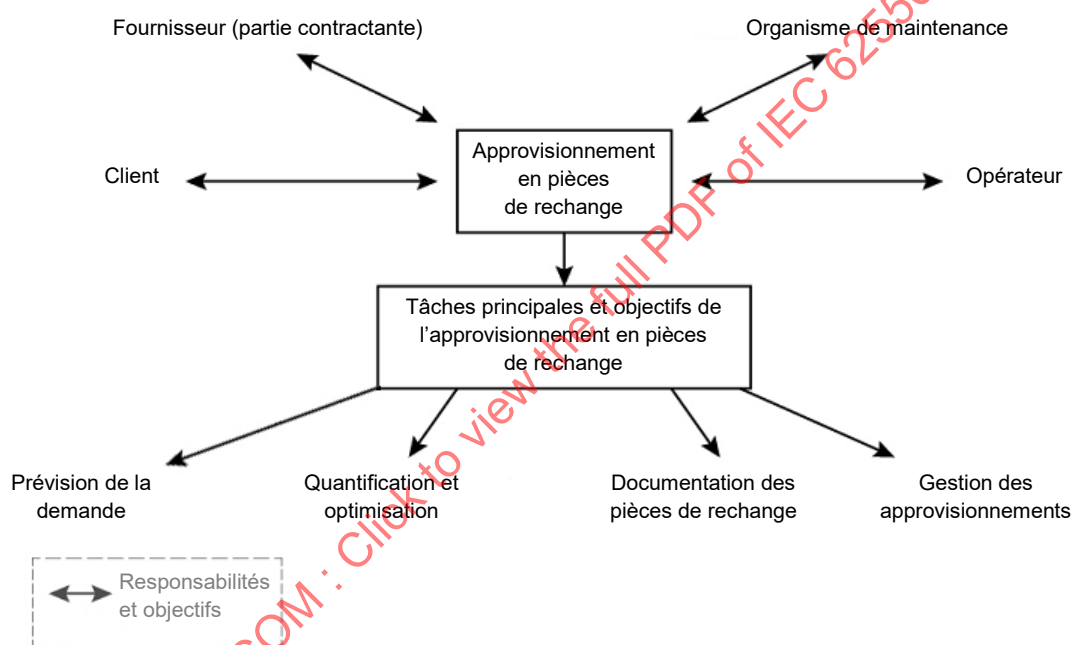
4.1 Participants et principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange

Les entités prévues pour être remplacées au cours des tâches de maintenance sont définies comme des pièces de rechange. Le stockage des pièces de rechange fait partie d'un processus global d'approvisionnement en matériels qui assure que les pièces de rechange exigées pour la maintenance sont fournies en bonne quantité, au bon moment et au bon endroit.

Le présent document s'applique aux entités qui comprennent tous les types de produits, équipements et systèmes (matériels et logiciels associés). La plupart d'entre eux nécessitent un certain niveau de maintenance pour garantir que leur fonctionnalité exigée, leur sûreté de fonctionnement, leur capacité et leurs exigences économiques, réglementaires et de sécurité sont satisfaites.

La disponibilité d'un système soutenu est influencée par l'efficacité globale de la maintenance. Ainsi, la disponibilité d'un système peut être considérée comme l'objectif général de l'approvisionnement en pièces de rechange. Il convient d'envisager également l'impact potentiel de l'obsolescence comme un facteur d'influence (voir l'IEC 62402).

L'opérateur d'une entité doit fournir un niveau élevé de service et de performance. L'organisme de maintenance est responsable de l'efficacité, de la durée et du coût des opérations de maintenance. La Figure 1 présente une vue d'ensemble des responsabilités et objectifs spécifiques ainsi que des principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange.



IEC

Figure 1 – Participants et principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange

Pour répondre à la demande en pièces de rechange, les considérations suivantes doivent être prises en compte:

- les pièces de rechange qui sont nécessaires;
- la quantité de pièces de rechange qu'il convient de stocker;
- le lieu où il convient de stocker les pièces de rechange;
- le moment auquel il convient de commander ou de réapprovisionner les pièces de rechange;
- la solution la plus économique pour tous les participants.

Le Tableau 1 présente, à titre d'exemple, les responsabilités, les objectifs et les mesurages pour les différents participants.

Tableau 1 – Responsabilités, objectifs et mesurages pour fournisseurs, personnel de maintenance, opérateurs et utilisateurs

	Fournisseur de pièces de rechange	Organisme de maintenance	Opérateur/utilisateur
Responsabilité	disponibilité de pièces de rechange appropriées qualité des entités livrées qualité du service d'approvisionnement	haute disponibilité des entités soumises à la maintenance haut niveau de service de maintenance	haute disponibilité opérationnelle
Objectif	avantage procuré par la fourniture de pièces de rechange certification des entités (si cela est exigé)	s'assurer que le système est remis en état avec succès avantage de l'organisme de maintenance	opérateur: avantage opérationnel et disponibilité utilisateur: haute performance de service
Mesurages	niveau de service délai	temps d'indisponibilité du système coût de maintenance qualité de réparation	disponibilité du système qualité de service

4.2 Types de pièces de rechange

Des matériels et pièces de rechange sont nécessaires pour la plupart des tâches de maintenance. Lorsqu'un composant est défectueux, il est remplacé par un composant neuf ou réparé. Le temps de remplacement dépend de la politique de maintenance. Si l'entité défectueuse est réparable, elle peut être réparée hors-ligne ou in situ. La politique de réparation par remplacement exige que des pièces de rechange neuves ou prêtes à l'emploi soient rapidement disponibles au moment de survenance des défaillances.

Au cours de la maintenance, certains matériels, appelés consommables, sont consommés ou remplacés et ne peuvent pas être réutilisés. D'autres entités sont appelées pièces de rechange et sont classées en

- entités réparables, ou
- entités non réparables

En théorie, les entités réparables peuvent être réparées dans chaque cas. Dans certains cas, par exemple lorsque la réparation n'est pas économique ou pas techniquement réalisable, ou lorsque la fiabilité de l'entité a été dégradée par les nombreuses actions de réparation entreprises, l'entité réparable est réputée dangereuse et remplacée par une nouvelle entité.

Dans de nombreux projets, notamment pour les grands systèmes, les entités réparables peuvent représenter une part importante de l'investissement initial en pièces de rechange. En ce qui concerne les produits tels que les appareils ménagers, les équipements de divertissement ou même les voitures, les entités réparables représentent une plus petite portion.

Les entités non réparables sont celles qui ne peuvent pas être réparées en raison de facteurs techniques ou qui ne valent pas la peine d'être réparées pour des raisons d'ordre économique. Elles sont alors réputées dangereuses et remplacées par une nouvelle entité. La quantité d'entités non réparables est déterminée (de la même manière que la quantité d'entités réparables) par le taux de demande et la durée avant mise à disposition d'une nouvelle pièce. Cette durée comprend le délai d'approvisionnement, les temps de délais administratifs et les temps de transport.

Les entités non réparables sont consommées lors de la maintenance. L'investissement initial sur ces entités par rapport aux entités réparables est faible, mais le coût annuel de réapprovisionnement peut être considérable.

En plus des entités réparables et non réparables, des consommables doivent être fournis, tels que les écrous, boulons, rondelles, lubrifiants. Le cas échéant, les consommables sont mentionnés, mais le présent document n'a pas pour objet de traiter les consommables en détail.

4.3 Identification des pièces de rechange comme partie intégrante de l'analyse du niveau de réparation (LORA)

L'analyse du niveau de réparation (LORA) est une étude de compromis spécifique qui est utilisée pour identifier le niveau de maintenance optimal ou l'emplacement d'une réparation à entreprendre. L'analyse LORA permet également d'identifier l'entité réparable de plus bas niveau (un roulement ou moteur, ou moteur-générateur complet par exemple) qui se rapporte à la combinaison du coût des pièces de rechange et du coût de main-d'œuvre des tâches périodiques par rapport aux coûts d'opportunité, qui offre le meilleur retour sur investissement pour l'organisation. Elle peut être utilisée pour l'optimisation de la conception ou dans le cadre d'une évaluation du système de soutien.

Au cours des phases de conception, l'analyse LORA examine un certain nombre de scénarios qui peuvent comprendre les éléments suivants:

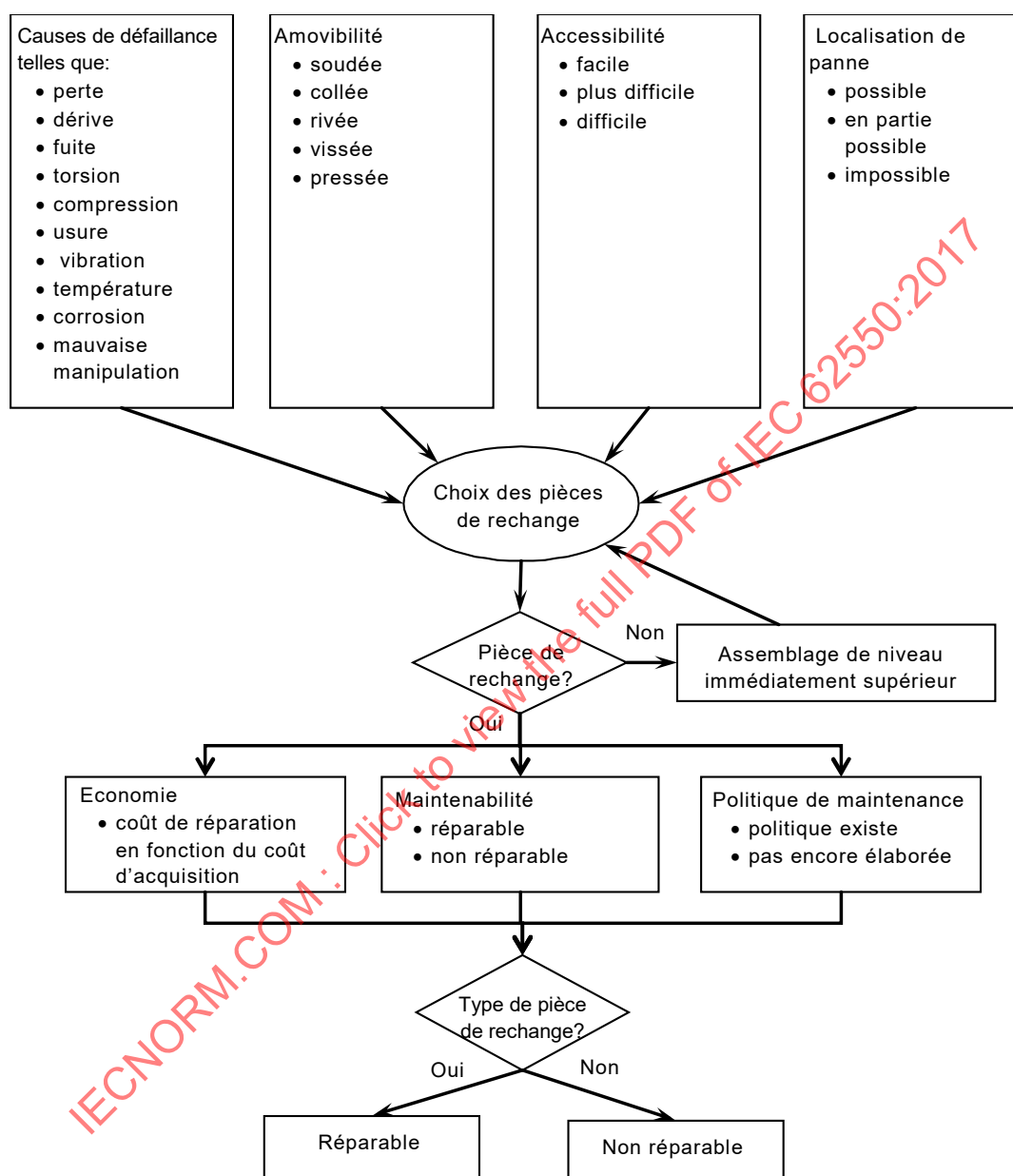
- a) La méthodologie de maintenance, de manière à
 - remplacer et mettre au rebut;
 - réparer in situ;
 - remplacer et réparer à l'externe.
- b) Le niveau dans l'arborescence pour le retrait, de manière à:
 - retirer l'entité contenue dans un sous-ensemble, la remplacer et réparer au niveau actuel de l'échelon de maintenance;
 - retirer l'entité contenue dans un sous-ensemble, la remplacer et réparer à un niveau supérieur de l'échelon de maintenance;
 - retirer et remplacer l'entité avec réparation au niveau d'échelon actuel;
 - retirer et remplacer l'entité avec réparation à un niveau d'échelon supérieur.
- c) L'échelon, tel que:
 - pendant l'utilisation opérationnelle;
 - sur le terrain avec le système non opérationnel;
 - dans un atelier de réparation (éventuellement à plusieurs échelons);
 - sur le site du fabricant.

L'analyse LORA doit également tenir compte d'un certain nombre de contraintes telles que:

- la politique de maintenance qui peut déterminer à l'avance les échelons de maintenance et leur capacité de réparation;
- la criticité des entités;
- la politique et les contraintes utilisateur;
- les critères de sûreté;
- les aspects propriétaires;
- les exigences du client;
- les aspects économiques.

Les types de pièces de rechange nécessaires sont définis lors de l'élaboration de la politique de maintenance qui fait partie du processus LORA et/ou de la définition de la supportabilité exigée.

Des exemples de principes d'identification des pièces de rechange sont donnés à la Figure 2.



IEC

Figure 2 – Identification des pièces de rechange

Toutes les pièces de rechange, les articles consommables, les fournitures spéciales et stocks connexes nécessaires pour soutenir les tâches de maintenance corrective et préventive sont des éléments de supportabilité. Il convient de déterminer la quantité de pièces de rechange à fournir et stocker pour chaque échelon de maintenance (voir l'Article 6).

La grande majorité des pièces de rechange (et consommables) pour les tâches préventives programmées peut être quantifiée de manière déterministe puisque les exigences relatives à chaque tâche sont connues à l'avance. Cependant, pour certaines tâches à composante de surveillance de l'état, il est nécessaire de disposer de pièces destinées à remplacer des entités identifiées comme défectueuses ou défaillantes. Ces pièces peuvent être exigées

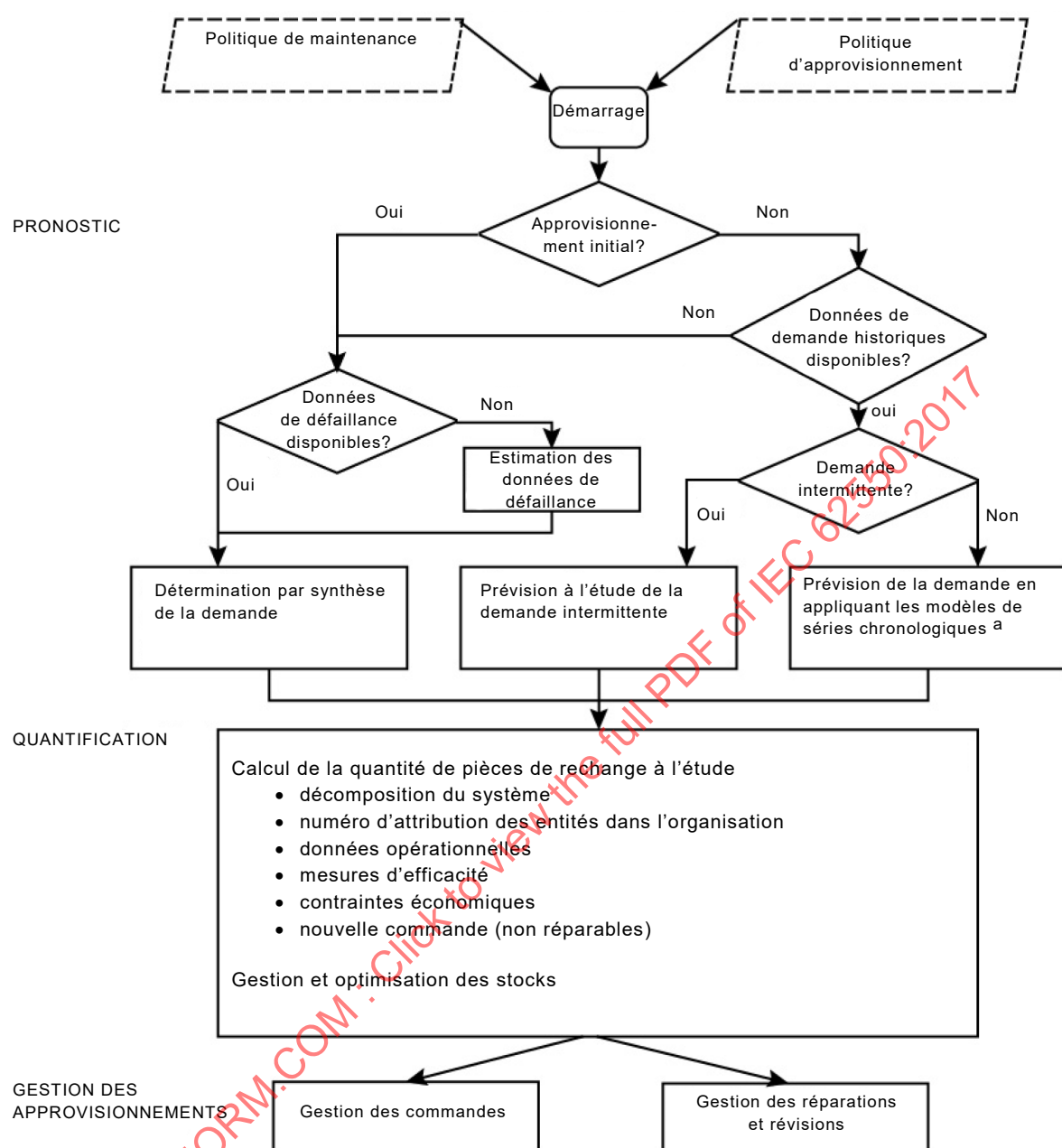
dans le cadre de la tâche qui a identifié le besoin ou ultérieurement dans le cadre d'une tâche corrective programmée. Dans les deux cas, la quantification des pièces de rechange exigées peut être effectuée de la même manière que celle relative à une tâche corrective.

4.4 Processus global d'approvisionnement en pièces de rechange

Le processus global d'approvisionnement en pièces de rechange peut démarrer lorsque la politique de maintenance a été élaborée comme décrit dans le paragraphe précédent et lorsqu'une politique d'approvisionnement est établie. Aussi bien la politique de maintenance que la politique d'approvisionnement peuvent être ajustées lors du processus d'approvisionnement en pièces de rechange.

Les principales étapes du processus d'approvisionnement en pièces de rechange sont représentées à la Figure 3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62550:2017



Légende

^a Par exemple: lissage exponentiel.

Figure 3 – Processus d'approvisionnement en pièces de rechange pendant la conception et le développement

5 Prévion de la demande

5.1 Généralités

La demande en pièces de rechange détermine la portée et l'organisation du système de gestion des stocks. L'exactitude de la prévision de la demande est un facteur déterminant pour la qualité du modèle de vente. La demande est exprimée par la quantité exigée d'une entité pendant une période de temps déterminée.

Si le niveau de la demande future est connu et peut être déterminé, il s'agit d'un niveau déterministe, autrement il s'agit d'un niveau stochastique. Une demande ou la répartition de la demande, qui est variable dans le temps, est définie comme un processus dynamique. Lorsque le temps n'a pas d'incidence sur la demande, le processus est perçu comme

stationnaire. Une structure relativement équilibrée de la demande se traduit par une exigence continue de pièces de rechange. La fluctuation de la demande est définie comme sporadique. Pour les pièces de rechange, toutes les caractéristiques décrites de la demande sont applicables. Une méthode généralement préférentielle de prévision de la demande n'est pas établie.

Pour les systèmes ou infrastructures techniques, une demande survient lorsqu'une entité est défaillante et doit être remplacée par une entité en état de marche. La demande est déterminée par l'intensité d'utilisation, le comportement en défaillance de l'entité et les aspects d'environnement. En théorie, des valeurs quantifiées relatives aux paramètres applicables peuvent être déterminées dans ce contexte. Le taux de défaillance est déterminé par l'étude du comportement d'un nombre représentatif d'entités identiques ou d'entités de conception similaire en appliquant des méthodes statistiques telles que l'analyse de Weibull (IEC 61649). La méthode de pronostic effectivement utilisée pour la prévision de la demande dépend des informations réelles disponibles. Si les valeurs du taux de défaillance et/ou de l'intensité d'utilisation ne sont pas concrétisées en chiffres, seules les méthodes de pronostic peuvent être appliquées en remplaçant les informations manquantes par des hypothèses ayant un risque associé plus élevé.

5.2 Prévision basée sur les données de consommation

5.2.1 Généralités

Le processus de production peut être généralement défini comme un processus déterministe étant donné que le processus de production et l'inventaire étroitement lié réalisent la planification des matériels. Les stocks tampons ne doivent être instaurés que dans les cas d'écarts à court terme et à moyen terme de la production. Des modifications majeures apportées à la demande de production entraînent une modification de la capacité de production. Les exigences relatives aux stocks de pièces de rechange sont principalement de nature stochastique, c'est-à-dire que le besoin ne peut être planifié sur la base des valeurs moyennes que sur une période plus longue ou sur un nombre plus grand de systèmes opérationnels. Les écarts par rapport à ces valeurs moyennes sont souvent très importants.

Le caractère intermittent de la demande en pièces de rechange en raison de défaillances ne facilite pas l'application des algorithmes à base de séries chronologiques classiques. Le choix du bon modèle devient indispensable et dépend des taux d'utilisation et des modèles opérationnels.

5.2.2 Procédures de prévision

La présentation générale des procédures de prévision existantes détaillées dans l'Annexe A peut être appliquée non seulement pour la prévision des pièces de rechange, mais aussi en général pour la prévision de la demande dans l'industrie et le commerce.

Les procédures de prévision de la demande peuvent être classées en trois grandes catégories:

- procédures déterministes;
- analyse statistique;
- estimation subjective.

Pour un certain nombre d'entités, il peut être trop complexe d'effectuer la planification de la demande à partir de la nomenclature (BOM) fournie des produits semi-finis et/ou finis. Dans ces cas, la consommation passée peut par hypothèse être prise comme un indicateur de la consommation future de matériels. Les facteurs qui déterminent la consommation de matériels ne sont donc pas pris en compte, et par hypothèse les variables d'influence mises en œuvre dans le passé auront par analogie une incidence sur la consommation future de matériels. La consommation passée est donc définie comme la base de planification de la demande. À partir des séries dites séries chronologiques, il est donc admis de tirer des conclusions relatives à la demande future.

5.3 Détermination initiale de la demande

5.3.1 Généralités

L'alinéa précédent indiquait que si les données historiques d'une unité sont disponibles, le taux de demande peut être prévu. Aux premières étapes, souvent aucune donnée historique n'est disponible pour une estimation de la quantité de supports logistiques et de maintenance y compris les pièces de rechange. Par conséquent, les méthodes de prédiction de fiabilité sont nécessaires à un stade précoce au cours du développement du système. Ces méthodes existent (en particulier en ce qui concerne le matériel électronique). Il convient de noter que ces méthodes sont basées sur des données empiriques. Autrement dit, les formules et les données sont basées sur les technologies existantes, la conception et l'environnement de l'équipement.

Les caractéristiques suivantes influent de manière significative sur la fiabilité:

- la conception du système;
- la qualité des composants;
- l'intensité des contraintes;
- les facteurs d'environnement.

Pour de plus amples informations, se reporter aux normes spécifiques ou aux manuels de données de fiabilité applicables à des secteurs industriels particuliers (voir l'IEC 61709).

Il est également possible de tenir compte des éléments suivants:

- les exigences du fournisseur relatives aux méthodes et fréquences de maintenance, ainsi qu'aux fréquences d'échange du fournisseur pour les pièces d'usure liées aux garanties du fournisseur;
- les exigences d'assurance spécifiques;
- les pièces de rechange pour des systèmes/composants de longue durée de vie, une utilisation de longue durée lorsque le développement technique ou d'autres facteurs (par exemple, le retrait du fournisseur de l'activité) influencent la disponibilité des pièces de rechange;
- le vieillissement des pièces de rechange/consommables en stock et les exigences d'un stockage correct – emballage, caractéristiques d'environnement telles que l'humidité et la température (voir IEC PAS 62435).

5.3.2 Prévision des taux de défaillance et des intensités de défaillance

Lors de la détermination du nombre de pièces de rechange exigé, le taux de défaillance et l'intensité de défaillance d'une entité sont des paramètres essentiels. Selon leurs définitions, le taux de défaillance s'applique aux entités non réparables tandis que l'intensité de défaillance s'applique aux entités réparables. Pour les besoins du présent document, le taux de défaillance est utilisé à la fois pour les entités réparables et non réparables puisqu'il n'est pas toujours possible de déterminer le paramètre à appliquer et parce que, dans les deux cas, la mise en œuvre d'une action (un remplacement permanent ou une réparation, par exemple) est nécessaire pour corriger la défaillance. L'exactitude de la valeur du taux de défaillance est un facteur de risque qu'il convient de prendre en compte lors de l'estimation de la quantité de pièces de rechange. Le taux de défaillance peut être calculé à partir de données publiées, de données historiques, d'essais et de l'utilisation opérationnelle. Les organisations commerciales publient des valeurs "moyennes" pour les taux de défaillance des composants et les facteurs d'environnement sur la base des données provenant d'un large éventail de secteurs de l'industrie. Les données historiques d'une entreprise pour une entité (ou des entités semblables) peuvent indiquer des taux de défaillance plus exacts, s'il y a suffisamment de données disponibles pour les entités fonctionnant dans l'environnement spécifié ou similaire. Le fait de soumettre à l'essai un système pour établir des taux de défaillance exacts peut être extrêmement coûteux et ne sert habituellement qu'à donner confiance quant aux valeurs dérivées. L'utilisation opérationnelle peut fournir de meilleures

données mais elles ne concernent pas les pièces de rechange initiales. Cependant, la collecte de ces données peut permettre d'ajuster les taux de défaillance pour l'approvisionnement futur en pièces de rechange (voir l'IEC 61709).

Le calcul du nombre de pièces de rechange part de l'hypothèse que le taux de défaillance ne varie pas au fil du temps (ou selon le nombre de cycles, la distance parcourue, etc.). Ce taux de défaillance constant peut ne pas être correct. Cependant, quand un grand nombre de composants sont utilisés dans le produit (système), chacun d'eux ayant des défaillances qui surviennent de façon stochastique dans le temps, le produit (système) a tendance à présenter un taux de défaillance constant. Lors de l'utilisation d'un taux de défaillance constant, il est important d'admettre qu'il existe un facteur de risque pour l'approvisionnement initial en pièces de rechange, si de petites quantités sont en service. Il en est de même pour les grandes quantités, car il peut s'écouler un an ou plus avant que les défaillances soient suffisamment aléatoires dans le temps pour que le taux de défaillance d'une entité devienne constant.

L'aptitude à la défaillance est spécifiée soit par le taux de défaillance soit par le MTBF. Pour un taux de défaillance constant, le MTBF est l'inverse du taux de défaillance.

Le taux de défaillance non constant peut être dû à un mécanisme de vieillissement et aux variations dans la répartition de la durée de vie. Dans de tels cas, il convient d'évaluer la prévision de la durée de vie et de l'introduire dans la prévision du taux de défaillance pour l'intervalle de temps exigé.

5.3.3 Calcul des taux de demande

Pour ce qui concerne la procédure par synthèse, le taux de demande λ est calculé sur la base du taux de défaillance estimé et du nombre d'entités identiques analysé. Des équations applicables sont indiquées à l'Article A.3.

L'expression λT représente le nombre moyen de demandes pendant un temps T donné. Elle peut être calculée par la Formule (B.3) de l'Annexe B.

Dans certains cas, les défauts constatés ne sont pas confirmés par un essai ultérieur. Par conséquent, la probabilité de "aucun défaut détecté" (NFF) doit être incluse dans le calcul du taux de demande. Certaines défaillances (les défaillances secondaires) sont induites par des événements externes tels qu'une réparation inadaptée, la défaillance d'autres entités. Pour ces raisons, le taux de remplacement et non le taux de défaillance doit être appliqué pour la quantification des pièces de rechange. Le taux de remplacement comprend tous les facteurs externes qui influencent le nombre de retraits d'une entité (voir l'Annexe B).

6 Quantification des pièces de rechange

6.1 Généralités

6.1.1 Vue d'ensemble du processus

Les méthodes utilisées pour gérer l'approvisionnement en pièces de rechange dépendent de leur utilisation pour la maintenance préventive ou corrective.

Pour la maintenance corrective, il convient d'effectuer en premier lieu la quantification et l'optimisation des pièces de rechange sur la base du MTBF, du MTTF ou des taux de défaillance non constants en appliquant des méthodes mathématiques et statistiques. L'exactitude de la quantification a un impact significatif à la fois sur le coût et la disponibilité du produit. Le MTBF, le MTTF ou les taux de défaillance sont initialement estimés mais l'expérience acquise en utilisation permet d'établir une meilleure corrélation à partir de données réelles d'utilisation. En plus des paramètres de fiabilité, la quantité exigée d'entités non réparables est déterminée en fonction de la période pendant laquelle les pièces de rechange doivent être fournies et pendant laquelle il convient de les optimiser. Pour la

quantification des entités réparables, il est nécessaire de prendre en compte le temps de retour de réparation.

Pour la maintenance préventive, la quantification des pièces de rechange est principalement de nature déterministe. Dans certains cas, la quantité de pièces de rechange est déduite d'un modèle probabiliste.

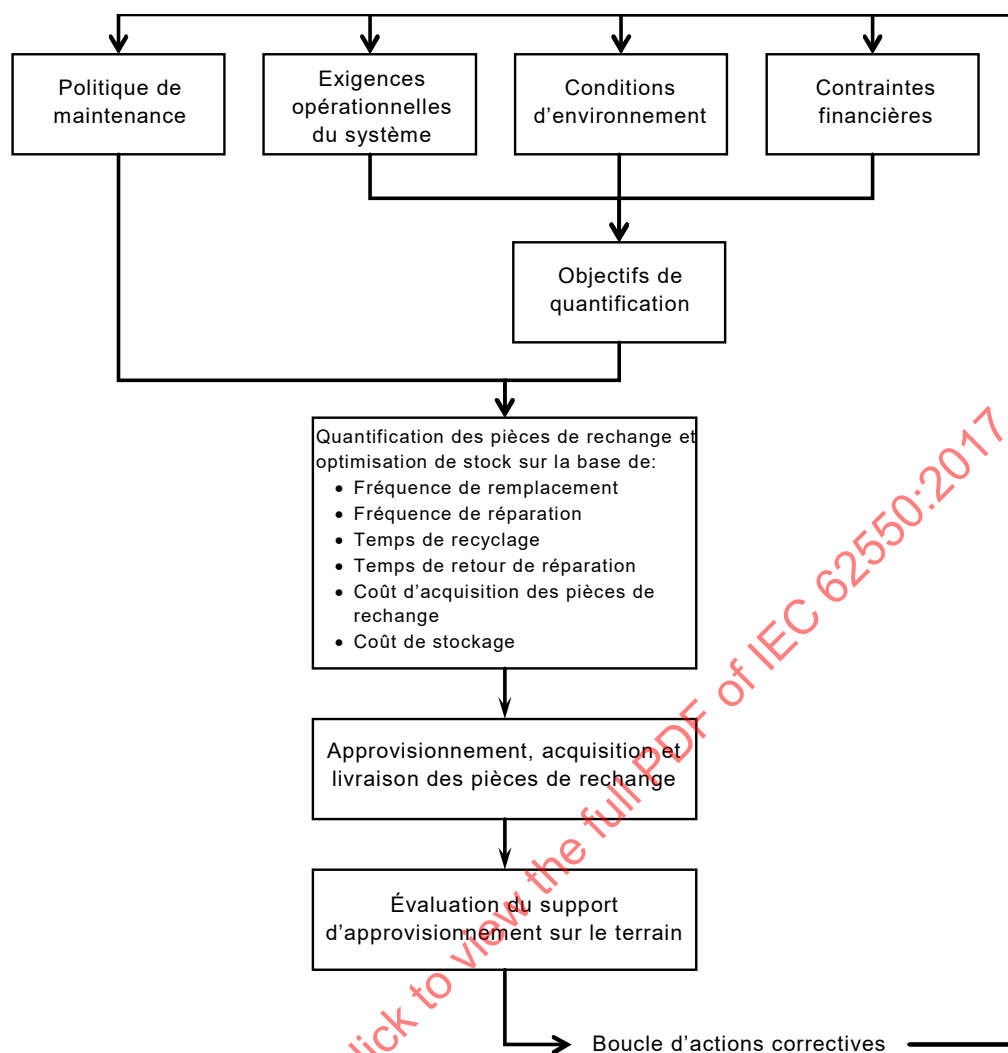
Les systèmes techniques complexes comportent de nombreuses entités. Ces entités peuvent à leur tour être constituées d'ensembles, de sous-ensembles et/ou de composants. Si une défaillance survient dans un tel système, elle dépend dans une large mesure de l'efficacité du diagnostic des pannes et de l'isolation mais aussi de l'effort de réparation, de la rapidité avec laquelle le système peut être réparé et du moment auquel le système est prêt à fonctionner de nouveau. La disponibilité des pièces de rechange constitue un autre facteur important dans ce contexte. Une haute disponibilité du système exige un approvisionnement suffisant en pièces de rechange; elle est particulièrement critique lorsque les temps de réparation des ensembles ou des pièces individuelles sont longs et les temps de remplacement au niveau système sont courts.

Les stocks de pièces de rechange nécessitent des investissements considérables. La pénurie croissante de fonds et/ou la pression croissante de la concurrence exigent des méthodes de quantification de pièces de rechange qui prennent en considération les conditions limites d'ordre technique et économique.

Le coût des entités réparables représente une grande part du coût total des pièces de rechange. Cependant, leur nombre est relativement faible. La quantité exigée est essentiellement déterminée par le temps de retour de réparation et la fréquence de défaillance. La sélection et la quantification des pièces réparables exigent beaucoup de soin.

La quantité exigée d'entités non réparables est déterminée, indépendamment de la fréquence de défaillance, notamment par le temps de réapprovisionnement, qui comprend le délai d'approvisionnement et le temps de traitement. Les procédures de quantification des entités non réparables sont donc différentes de celles des entités réparables.

Le processus global d'approvisionnement en pièces de rechange pendant la conception et le développement est représenté à la Figure 4.



IEC

Figure 4 – Processus d'approvisionnement en pièces de rechange pendant l'utilisation

Les pièces de rechange sont quantifiées en fonction des éléments suivants:

- les pièces de rechange exigées pour la maintenance corrective (entités réparables et entités non réparables);
- les pièces de rechange exigées pour la maintenance préventive (entités qui sont remplacées périodiquement);
- les pièces de rechange exigées pour reconstituer les stocks d'entités non réparables;
- les pièces de rechange nécessaires aux opérations de soutien pendant la réparation des entités réparables (temps de retour);
- les pièces de rechange exigées pour remplacer les entités réparables qui sont dangereuses (les entités dangereuses sont retirées du stock).

Les pièces de rechange peuvent être obtenues directement auprès d'un fournisseur ou d'un fabricant ou peuvent être stockées en attente de leur utilisation pour garantir leur disponibilité. Il est important de veiller à ce qu'elles soient appropriées pour leur usage prévu.

6.1.2 Lois de probabilité relatives à la quantification des pièces de rechange

La quantification des pièces de rechange est effectuée sur la base de lois de probabilité. Le choix de la loi applicable dépend des caractéristiques de défaillance. Les lois de probabilité

suivantes peuvent être utilisées pour la quantification des pièces de rechange, la plus couramment utilisée étant la loi de Poisson:

- la loi de Poisson avec toutes les procédures de calcul simple, par exemple dans les tableaux, si la valeur (λT) est inférieure à 50; si la valeur est comprise entre $50 \leq \lambda T \leq 100$, la loi de Poisson et la loi de Laplace-Gauss peuvent être utilisées;
- la loi de Laplace-Gauss à des valeurs (λT) supérieures à 100;
- la loi binomiale négative pour les problèmes complexes, par exemple les applications à plusieurs niveaux dans l'arborescence ou plusieurs échelons; elle peut être appliquée si elle est utilisable rapidement, autrement la loi de Poisson peut être utilisée sans grande perte d'exactitude;
- la loi log-normale, par exemple pour des cas tels que l'estimation du nombre de produits sur le terrain (au sein de la population à risque);
- d'autres lois de probabilité uniquement dans des cas justifiés, par exemple la loi de Weibull est utilisée pour l'analyse des composants à durée de vie limitée (usure).

La loi de Poisson est une loi à un seul paramètre pour laquelle la valeur attendue et la variance ont la même valeur. La loi de Poisson peut être appliquée lorsqu'une mesure donnée (temps ou autre) est continue pendant que le nombre d'événements qui peuvent se produire au cours de cette variable aléatoire continue est établi par mesurage (discret). Elle peut être appliquée lorsque la probabilité d'occurrence est très faible. Tel est le cas lorsque l'intervalle de temps est long et/ou le taux de demande est faible. La loi de Poisson est la loi de probabilité la plus couramment appliquée pour la quantification des pièces de rechange.

La loi de Laplace-Gauss est une loi à deux paramètres. Elle est applicable lorsque la répartition d'une variable aléatoire est déterminée par de nombreux facteurs indépendants les uns des autres. La loi de Laplace-Gauss est appliquée quand un taux de demande élevé se produit. La loi de Laplace-Gauss est donc fréquemment utilisée avec des taux élevés de consommation pour la détermination du stock de sécurité des entités non réparables. Il convient de prendre des mesures pour éviter d'obtenir des résultats négatifs étant donné que la loi de Laplace-Gauss est susceptible de produire des valeurs négatives.

La loi de Poisson peut être définie comme un type particulier de la loi binomiale négative. La loi binomiale négative est parfois utilisée pour un système d'inventaire à plusieurs niveaux dans l'arborescence et plusieurs échelons. Pour la loi binomiale négative, à la fois le temps (ou autre variable associée) et la variable aléatoire sont mesurés (discrets), par exemple le nombre d'entités complètement défectueuses jusqu'au moment où une entité en état de marche est trouvée.

Lors de la quantification des pièces de rechange, l'hypothèse d'un taux de défaillance constant dans le temps est prise en considération. Pour les grandes populations, le taux observé est constant car les variations d'intervalles de temps d'exploitation se traduisent par des défaillances qui sont uniformément réparties. L'application de la loi de Weibull ou de la loi binomiale négative nécessite deux paramètres avec une confiance statistique suffisante.

6.1.3 Mesures d'efficacité (MoE)

6.1.3.1 Vue d'ensemble

Une haute efficacité de supportabilité est cruciale pour la disponibilité et le fonctionnement économique d'un système. Par conséquent, il convient de mener en parallèle l'optimisation des politiques de maintenance, des ressources de maintenance et des politiques de gestion des stocks des pièces de rechange.

Les mesures d'efficacité (MoE) relatives à la gestion des pièces de rechange peuvent être classées en deux groupes:

- MoE associées au stock, telles que le taux de remplissage, le risque de pénurie, les commandes en attente attendues, le temps d'attente moyen;

- MoE associées au système, telles que la disponibilité opérationnelle du système, le nombre de systèmes NOR, la probabilité de réussite des missions.

L'optimisation des coûts d'un système de gestion des stocks est obtenue en parvenant à un compromis entre ces mesures d'efficacité et le coût de gestion des stocks.

6.1.3.2 Taux de remplissage (FR)

Cette MoE est définie en fonction de la probabilité à répondre immédiatement à la demande. Elle est calculée en fonction de la localisation de stock. Le FR est parfois aussi désigné niveau de service ou taux de satisfaction de la demande.

Le FR moyen est calculé comme une moyenne pondérée des groupes de localisations de stock selon le taux de demande relative de chaque localisation de stock. Dans ce contexte, le taux de demande relative dépend soit du taux de demande entière par rapport à la localisation de stock ou du taux de demande par rapport à une source donnée.

6.1.3.3 Risque de pénurie (ROS)

Cette MoE est définie en fonction de la probabilité de ne pas répondre à une demande (mise en livraison différée). Elle est calculée en fonction de la localisation de stock, avec les mêmes définitions et hypothèses décrites dans 6.1.3.2 relatif au FR.

Le ROS est complémentaire au FR, il est calculé comme $1 - FR$.

La mesure ROS ne donne aucune information sur le retard occasionné par l'absence de pièces de rechange. Par conséquent, le temps d'attente moyen est une mesure significative.

6.1.3.4 Commandes en attente attendues (EBO)

Le nombre moyen de commandes en attente (EBO) constitue une MoE supplémentaire lors de la quantification des pièces de rechange. La commande en attente est une mesure des demandes qui ne sont pas satisfaites immédiatement, mais qui sont différées jusqu'à l'approvisionnement suivant (pour les entités réparables, le retour suivant d'une entité réparée). Le nombre ainsi que la mesure du retard temporaire sont pris en considération dans ce mesurage.

6.1.3.5 Temps d'attente moyen (MWT)

Le temps d'attente au niveau d'une localisation de stock correspond à la période comprise entre le moment auquel une demande (une commande) est lancée et le moment auquel l'entité demandée peut être sortie du stock. Si l'entité est disponible (en stock) au moment de la demande, le temps d'attente est alors égal à zéro. Les retards de livraison dus à des procédures administratives ou à des manipulations physiques de l'entité sont intégrés au délai administratif et au temps de transport.

Le MWT est une moyenne pondérée en fonction du taux de demande relative de chaque localisation de stock. Le temps d'attente représente une partie du retard technique et parfois le MWT peut être égal au MTD.

Par hypothèse, dès qu'une unité arrive à une localisation de stock, elle est prête à être distribuée. Par conséquent, le temps passé pour le déballage de l'entité fait partie intégrante du délai administratif.

À noter que la définition ci-dessus est utilisée même lorsque la quantité nominale (maximale) en stock est nulle. Le temps d'attente est alors égal au temps d'attente à la localisation de stock de soutien auquel s'ajoutent le temps de transport et le temps de retour de réparation.

Le MWT joue un rôle important dans la quantification et l'optimisation des systèmes de gestion des stocks à plusieurs niveaux dans l'arborescence et plusieurs échelons.

6.1.3.6 Disponibilité opérationnelle du système

La fraction de temps de la disponibilité d'un système pendant toute la période de fonctionnement est définie comme la disponibilité opérationnelle du système.

6.1.3.7 Nombre de systèmes non prêts à fonctionner (NOR)

Le NOR prévu est déterminé pour tous les groupes de systèmes pour lesquels la disponibilité est calculée. Cette MoE donne le NOR moyen (contenus dans le groupe) qui n'est pas disponible en raison du temps d'indisponibilité.

6.1.4 Analyse ABC (analyse de Pareto)

Le stock contient souvent un grand nombre de pièces de rechange différentes, en particulier des entités non réparables. Cette diversité est considérée comme un obstacle à l'exécution d'une analyse détaillée des stocks. Le coût d'évaluation de milliers d'entités à prix individuel généralement faible l'emporte sur la valeur du stock. Pour des raisons pratiques, toutes les entités ne peuvent être planifiées et contrôlées avec le même soin. Par conséquent, il est nécessaire d'établir une procédure qui relie les coûts de planification et de contrôle de chaque entité avec sa contribution à l'investissement global. L'analyse ABC ne tient pas compte de la criticité des pièces de rechange en ce qui concerne le fonctionnement ou la sécurité, ni du délai de livraison.

Le coût de stockage et le coût d'indisponibilité du système peuvent également être définis comme une contribution à l'investissement global si elle est considérée comme significative.

L'analyse ABC permet de réaliser une procédure de classement d'un éventail de pièces de rechange par le regroupement des articles individuels en trois classes. Cette procédure comprend les étapes suivantes:

- le calcul d'un budget annuel pour chaque article individuel en tenant compte du prix et de la demande annuelle de l'entité;
- le classement de tous les articles par ordre décroissant du budget annuel;
- le calcul du pourcentage de l'impact des coûts de chaque article sur le budget total;
- le cumul des pourcentages;
- la catégorisation en articles A, B et C (voir Figure 5).

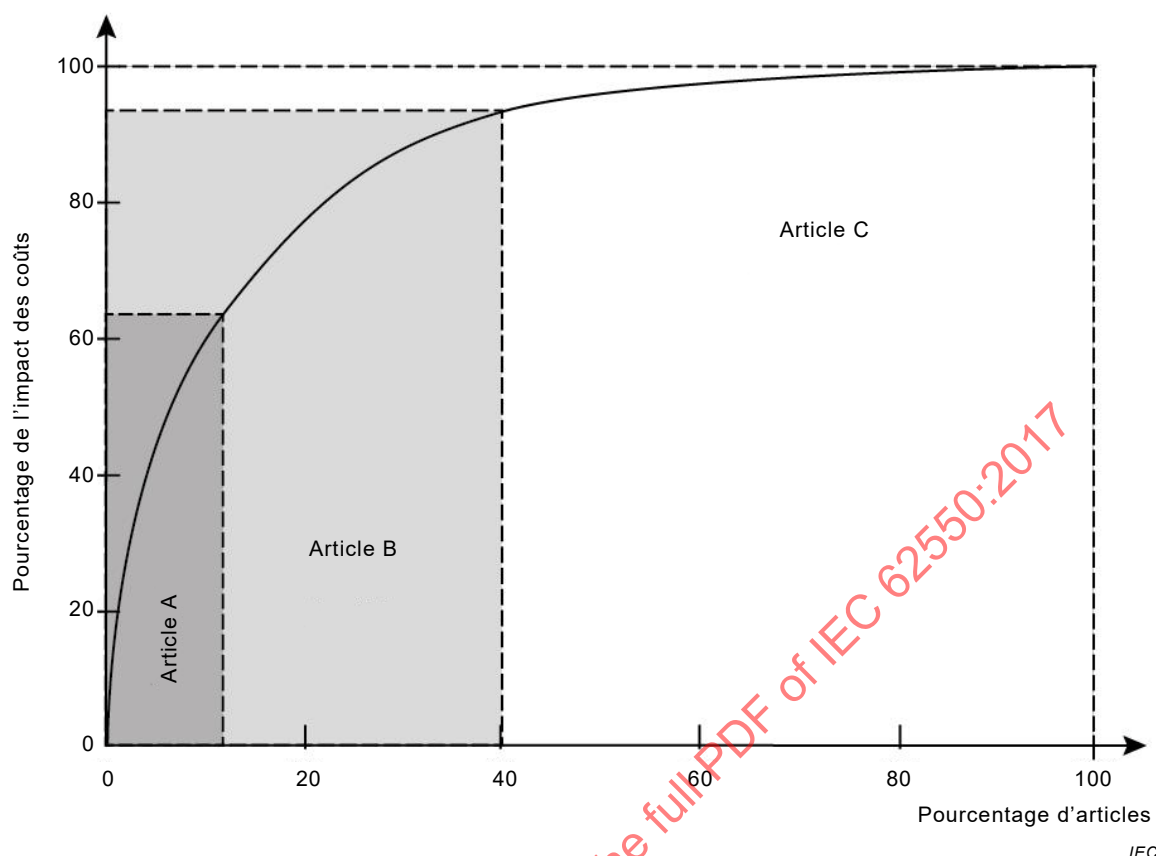


Figure 5 – Principe d'une analyse ABC

Si le prix de l'entité n'est pas connu, une estimation doit être faite. Pour la prévision de la demande annuelle, se reporter à l'Article 5.

Généralement la statistique entité-budget indique les résultats suivants:

- seulement très peu d'entités (environ 5 à 10 pour cent de toutes les entités) contribuent à environ 65 pour cent du budget global; ces entités sont désignées articles A;
- quelques entités (environ 25 à 30 pour cent de toutes les entités) contribuent à environ 25 à 30 pour cent du budget global; ces entités sont désignées articles B;
- de nombreuses entités (environ 60 à 70 pour cent de toutes les entités) contribuent à environ 10 à 15 pour cent du budget global; ces entités sont désignées articles C.

Dans un système de gestion des stocks, il convient d'analyser les articles A par rapport à leur conséquence sur les coûts globaux. Il est plus avantageux de consacrer les efforts sur la planification et le contrôle de ces entités pour réaliser d'importantes économies.

Les articles B sont soumis à des procédures de routine. Le gestionnaire des pièces de rechange contrôle minutieusement les quantités en stock et la variation des stocks.

Les articles C sont contrôlés par un système simple qu'il convient d'automatiser, même si ceci peut entraîner une légère augmentation des niveaux de stock.

Pour les différentes catégories d'articles, les processus suivants doivent être examinés:

a) Pour les articles A:

- des analyses détaillées du marché, du prix, de la structure des coûts et de la valeur;
- des procédures d'approvisionnement exactes;

- une prévision de la demande particulière;
- un contrôle précis du stock;
- un contrôle exact de la chaîne d'approvisionnement;
- une définition précise des stocks de sécurité et de réapprovisionnement;
- un calcul exact des quantités commandées très rentables;
- un contrôle rigoureux du temps passé en stock.

b) Pour les articles B:

- il convient de prendre en considération, pour les articles de cette catégorie, les procédures intermédiaires entre les articles A et C.

c) Pour les articles C:

- des procédures simplifiées d'approvisionnement;
- une procédure simplifiée de contrôle du stock;
- un contrôle de base de la chaîne d'approvisionnement;
- une définition des stocks plus importants de sécurité et de réapprovisionnement;
- un calcul simple du nombre des commandes;
- un contrôle simple du temps passé en stock.

6.1.5 Quantification des entités réparables

En général, les entités réparables peuvent être définies comme des articles A ou B suivant la terminologie de l'analyse ABC.

À chaque moment de la période d'utilisation, la même probabilité de défaillance et un temps de retour de réparation constant sont, par hypothèse, pris en compte. En outre, la réparation des entités réparables forme, par hypothèse, une boucle fermée. Cependant, la pratique démontre parfois le contraire et dans certains cas des entités ne peuvent pas être réparées pour des raisons d'ordre économique, d'usure ou d'obsolescence.

Les conditions les plus importantes et les conditions préalables sont décrites ci-après, elles constituent la base de la quantification des entités réparables.

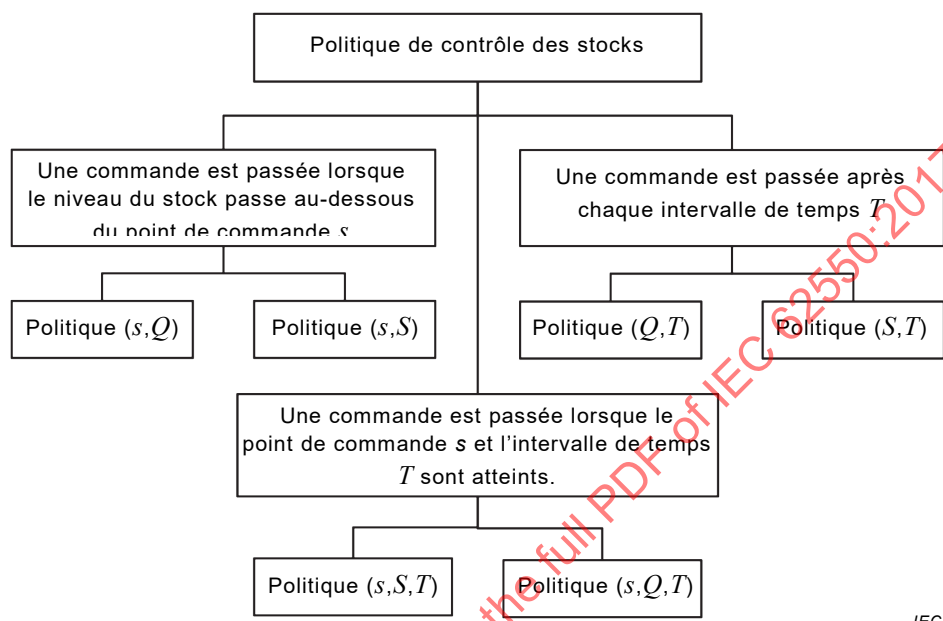
- Les défaillances des différentes entités sont indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire la défaillance d'une entité ne provoque pas celle d'une autre entité au même niveau dans l'arborescence. Si ces défaillances secondaires ou induites doivent être prises en considération, un facteur doit être inclus dans le taux de demande (voir 5.3.3).
- Le taux de défaillance est constant dans le temps, et la fatigue ou l'usure des matériels n'est pas explicitement prise en considération.
- Les temps de retour de réparation constants pour chaque pièce sont par hypothèse pris en compte, c'est-à-dire aucune répartition du temps et aucune dépendance sur les volumes de réparation ne sont prises en considération.
- Un cycle de réparation fermé est par hypothèse pris en compte. Les entités partiellement réparables doivent être prises en considération avec une probabilité donnée comme des entités réparables et pour la portion restante comme des entités non réparables.

Le temps de retour est défini comme le temps qui s'écoule depuis le retrait d'une entité défectueuse du système jusqu'à sa réintroduction dans le stock de pièces de rechange après réparation. En outre, les temps de transport et les délais administratifs doivent être également inclus.

6.1.6 Quantification des entités non réparables

En général, les entités non réparables peuvent être définies comme des articles B ou C suivant la terminologie de l'analyse ABC.

Dans un système de contrôle des stocks, la localisation de stock peut être surveillée en permanence ou après des intervalles de temps donnés. Le système de contrôle continu déclenche une commande, qui sera livrée dans un délai donné, dès que le niveau du stock passe au-dessous d'un certain niveau (point de commande s). Le contrôle périodique constitue une autre méthode de suivi, car il étudie la localisation de stock seulement après des intervalles de temps T donnés, qui sont en général constants. Il est également possible de combiner ces deux stratégies. Les politiques de commande les plus courantes liées au contrôle des stocks sont représentées à la Figure 6.



IEC

Figure 6 – Politiques de contrôle des stocks

Deux paramètres régissent principalement la politique de stock:

a) Le moment de commande ("Quand une commande doit-elle être passée?"):

- Une commande est passée lorsque le niveau du stock tombe en dessous d'une "limite de stock". Cette limite de stock est désignée point de commande s .
- Une commande est passée à chaque intervalle de temps T .
- Une commande est passée lorsqu'à la fois le point de commande s et l'intervalle de temps T sont atteints, c'est-à-dire à chaque intervalle de temps T une commande est passée seulement si le niveau du stock chute en dessous du point de commande s .

b) La quantité commandée ("Combien d'unités doivent-elles être commandées?")

- Une quantité de Q est commandée à chaque fois, laquelle est définie comme la quantité commandée optimale.
- La différence S entre le niveau de stock maximum et le niveau de stock existant au moment de la commande est commandée.

La politique (S,T) présente l'inconvénient de dépendre de la variation des quantités commandées, ce qui peut poser problème lorsque la consommation se réduit à de très petites commandes, avec le risque de ne pas pouvoir bénéficier des avantages économiques négociés avec le fournisseur. La politique (Q,T) peut rapidement conduire avec une diminution de la consommation au gonflement des stocks; cette politique est généralement la plus rigoureuse.

Les politiques (Q,T) et (s,Q) engendrent des processus de gestion des stocks identiques lorsque la demande est continue et déterministe.

Ainsi, la procédure de quantification des entités non réparables comprend la détermination du point de commande s et du niveau de stock maximum S .

6.2 Pièces de rechange stratégiques (critiques, d'assurance)

Dans la mesure où de grandes quantités de pièces de rechange entraînent des coûts considérables, d'autres facteurs qui influent sur le fonctionnement d'un système doivent être étudiés, tels que

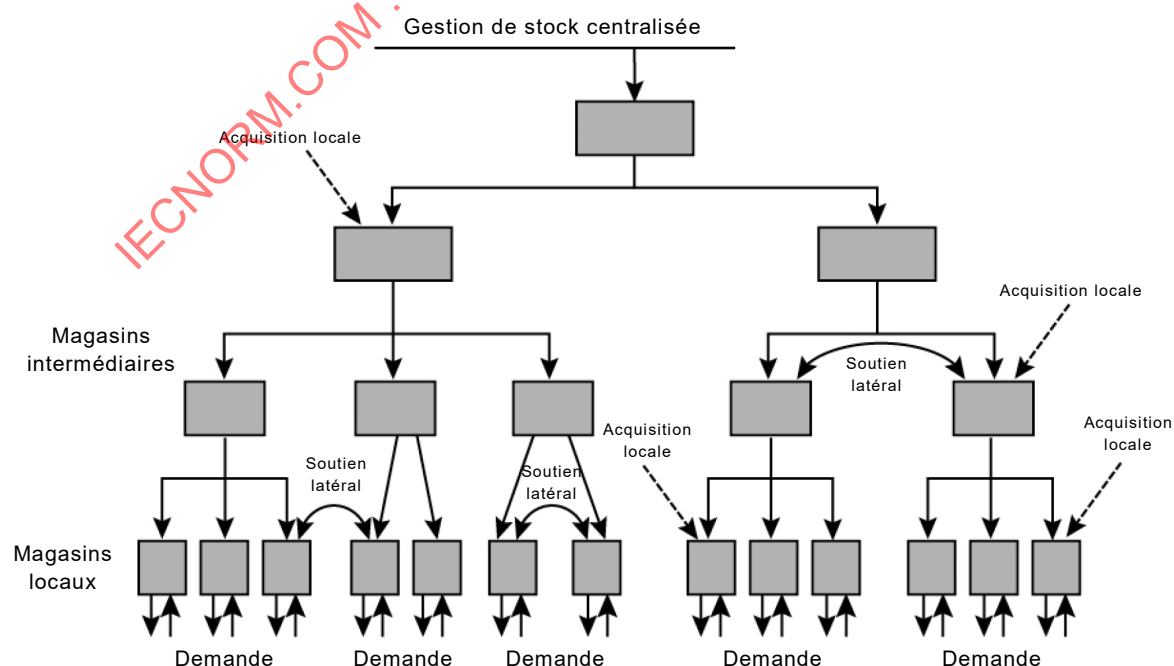
- le temps de réparation plus rapide déterminant le délai d'attente,
- une meilleure fiabilité du système/sous-système/entité, ou
- un ou plusieurs systèmes en fonctionnement.

Une méthode d'enquête très efficace est l'analyse marginale: elle identifie les avantages et les coûts des différentes options en examinant l'effet incrémentiel sur les recettes totales et le coût total encouru par une très petite modification (une seule unité) de la sortie ou de l'entrée de chaque option. L'analyse marginale soutient la prise de décision en fonction des variations marginales ou incrémentielles des ressources plutôt que des totaux ou des moyennes.

Lorsque la production future de pièces de rechange n'est pas garantie ou que des pièces ne peuvent être produites qu'avec des coûts supplémentaires élevés, il peut être nécessaire de stocker un nombre de pièces supérieur à la quantité exigée sous forme de réserve de sécurité (pièces de rechange d'assurance). Voir l'IEC 62402, (Gestion de l'obsolescence).

6.3 Systèmes de gestion des stocks

Les pièces de rechange peuvent être stockées dans un système de gestion des stocks situé dans de nombreux emplacements, au niveau central ou local. Les grandes entreprises et/ou organisations stockent généralement les pièces de rechange nécessaires dans un système de gestion des stocks hiérarchiquement structuré. Un exemple d'un tel système à plusieurs échelons est donné à la Figure 7. Le niveau le plus élevé est l'origine correspondant au magasin central, le deuxième niveau peut être le pays, le troisième niveau peut être la région, les deux sont des magasins intermédiaires, enfin le quatrième niveau peut être le site qui est désigné magasin local.



IEC

Figure 7 – Système de gestion des stocks hiérarchiquement structuré

Les demandes au sein d'un tel système hiérarchique de gestion des stocks sont agrégées à partir du niveau le plus bas. À ce niveau d'exploitation des systèmes et/ou appareils, le taux de demande varie selon les pièces de rechange. Les demandes présentes au niveau le plus bas peuvent varier de manière sporadique alors qu'à un niveau supérieur d'agrégation des demandes, elles sont réparties de manière plus uniforme. Cet effet doit être pris en considération lors de la sélection de la loi appropriée pour effectuer des calculs sur les pièces de rechange afin de déterminer les taux de demandes individuelles, le temps de réponse et le temps de transport du stock alimentant le stock fourni.

Dans les systèmes traditionnels de gestion des stocks, la direction de chaque magasin n'est informée que du lieu de commande des pièces de rechange prêtes à l'utilisation et du lieu d'envoi des entités défectueuses. Généralement, des systèmes de gestion des stocks hiérarchiquement structurés sont utilisés dans ces situations. Compte tenu de l'existence de systèmes d'information informatisés couramment utilisés pour la gestion des stocks, il convient de pouvoir informer chaque gestionnaire de magasin sur les niveaux individuels de stock dans les magasins avoisinants afin d'assouplir et faciliter le processus de soutien. Des exemples sont représentés à la Figure 7 et désignés «soutien latéral».

Les MoE doivent être calculées du sommet de la hiérarchie vers le bas. Dans de nombreux cas, il peut être préférable d'établir la stratégie de réapprovisionnement pour réduire le plus possible l'EBO ou le MWT et appliquer une optimisation à plusieurs niveaux pour déterminer les valeurs appropriées au lieu d'utiliser les FR.

Les valeurs moyennes de MoE peuvent être regroupées de différentes façons, par exemple:

- toutes les localisations de stock à un poste (MoE par emplacement);
- toutes les localisations de stock soutenant directement un type de système donné à un emplacement donné;
- toutes les localisations de stock, pour une entité primaire donnée, qui soutiennent les systèmes directement;
- toutes les localisations de stock qui soutiennent les systèmes directement; il s'agit de la MoE totale expérimentée à partir du niveau système.

Les systèmes de gestion des stocks sont répartis en

- systèmes multistocks multiproduits,
- systèmes multistocks monoproduits, ou
- systèmes monostocks monoproduits.

Dans la pratique, les systèmes multistocks multiproduits sont plus fréquents; ils peuvent être caractérisés comme suit:

- plusieurs articles sont stockés dans chaque stock;
- la demande est stochastique et généralement intermittente;
- le délai de livraison est stochastique;
- la répartition est réalisée selon des périodes fixes (par jour, par semaine, par mois) pour chaque article individuellement ou pour plusieurs articles d'un fournisseur;
- la gestion des stocks est essentiellement continue;
- selon le choix de la procédure de répartition, les aspects à long terme des coûts sont pris en considération.

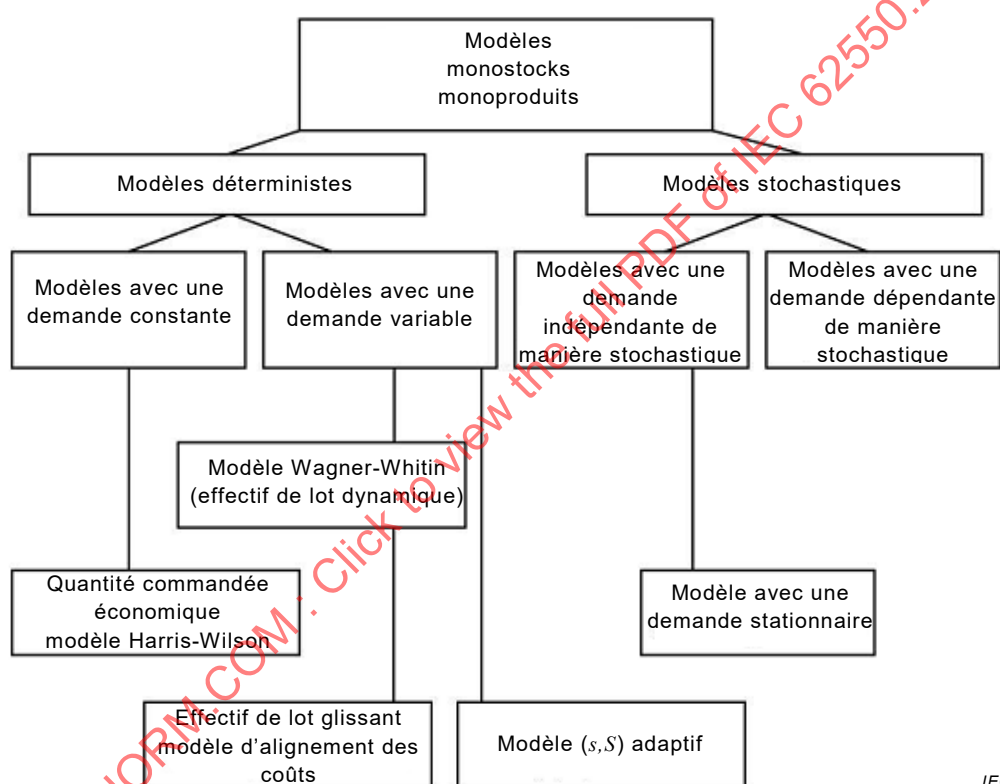
Au moment de la modélisation de la procédure de répartition, les systèmes multistocks multiproduits sont remplacés par des systèmes monostocks monoproduits associés, par exemple une chaîne de magasins maintient pour son assortiment de produits (multiproduits) des stocks centraux, régionaux et locaux (multistocks), ceux-ci sont pris en compte séparément pour chaque produit (monoproduit) et chaque site (monostock). La même

procédure s'applique aux stocks de pièces de rechange approvisionnés de manière hiérarchique et contenant différentes pièces de rechange.

Cette réduction est nécessaire, car les systèmes stochastiques et dynamiques à multistocks multiproduits ne peuvent généralement pas être analysés en tenant compte de toute leur complexité. La réduction se déroule en deux étapes pour les stocks de pièces de rechange:

- réduction d'un système multistock multiproduit en un système constitué de systèmes multistocks monoproduits combinés en déterminant les quantités cibles dans les stocks de soutien dépendants;
- réduction du système multistock monoproduit en un système monostock monoproduit pour la sélection de la procédure de répartition au niveau de stock le plus élevé.

La Figure 8 donne une vue d'ensemble des modèles de base monostocks monoproduits. Elle distingue les modèles déterministes des modèles stochastiques.



IEC

Figure 8 – Modèles monostocks monoproduits

Les méthodes de simulation permettent d'obtenir des solutions pour des applications très complexes, mais l'effort à fournir est cependant significatif. Une généralisation des solutions obtenues au-delà du cas à l'étude est souvent impossible.

6.4 Optimisation des stocks

De nombreuses industries telles que l'aéronautique, les centrales électriques et les usines de fabrication utilisant des équipements complexes sont souvent confrontées à la difficile tâche de maintenir une haute disponibilité du système, alors que les stocks de pièces de rechange doivent être limités. Une défaillance aléatoire d'un seul composant peut causer l'indisponibilité du système. Étant donné que le coût du temps d'indisponibilité peut être très élevé, les stocks de pièces de rechange doivent maintenir le temps d'indisponibilité à un niveau minimal. Par conséquent, il est très important de réduire le plus possible la probabilité de pièces en rupture de stock. Cependant, comme la plupart des pièces sont assez coûteuses, il convient d'éviter de conserver un nombre inutile de pièces de rechange.

L'optimisation des stocks permet d'améliorer les niveaux de stocks des pièces de rechange et renforcer de ce fait la disponibilité avec un minimum de stock.

Il convient de ne pas traiter séparément ou séquentiellement, comme c'est souvent le cas dans la pratique, les politiques de maintenance et les politiques de stock de pièces de rechange. Le fait d'assurer la disponibilité des pièces de rechange destinées à un système d'exploitation entraîne souvent une tendance au surstockage. Les quantités excessives en stock immobilisent le capital. Le niveau de stock des pièces de rechange dépend principalement de la politique de maintenance. Par conséquent, il convient de concevoir des programmes de maintenance pour réduire les coûts associés à la fois à la maintenance et aux stocks.

La réduction du coût d'investissement total sur les stocks est un problème de calcul d'optimisation en nombre entier non linéaire. Ces problèmes sont réputés difficiles à résoudre, même pour un petit nombre d'entités.

Une vue d'ensemble des techniques d'optimisation des stocks est donnée à l'Annexe C.

Il convient que les procédures d'optimisation des entités non réparables tiennent également compte des coûts de stockage et des coûts de commande associés à la réalisation d'une commande. La quantité totale commandée dépend de la durée du cycle de commande, qui doit être optimisée. Les principaux composants des coûts totaux comprennent les coûts de stockage, les quantités minimales commandées, les prix selon la quantité et le coût de réalisation d'une commande.

L'optimisation des coûts des entités non réparables nécessite essentiellement une politique de commande optimale, c'est-à-dire les quantités optimales commandées et les points de commandes optimisés, en conformité avec le service de livraison. Le calcul de la quantité commandée et de la date d'exécution de la commande ne peut être effectué que de manière indépendante. D'importantes quantités commandées dans les mêmes conditions limites engendrent une plus grande diversité des stocks, des stocks plus importants et moins de transactions de commandes qu'un nombre réduit de quantités commandées. Par conséquent, il est nécessaire d'optimiser ces facteurs d'influence et les coûts du système existant de gestion des stocks.

L'optimisation des entités non réparables est réalisée sur la base de deux paramètres du modèle de gestion des stocks (voir la Figure 9), qui sont

- la quantité commandée Q , et
- le stock de sécurité SS .

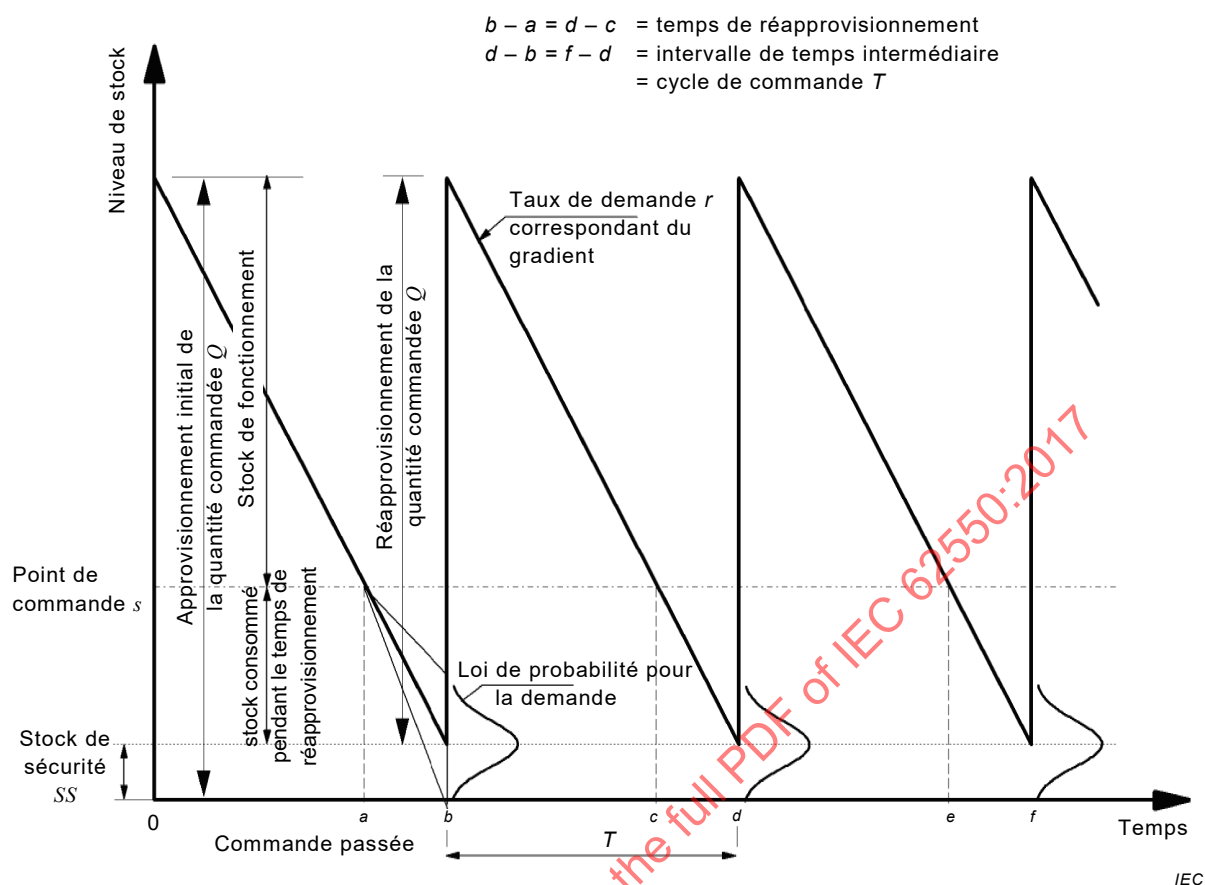


Figure 9 – Exemple de modèle de stock pour les entités non réparables

Le nombre de pièces de rechange exigées peut être déterminé sur la base du taux de consommation prévu d'une entité. Le stock de fonctionnement est optimisé en réduisant le plus possible les coûts totaux pour

- les coûts de stockage,
- les coûts indirects d'acquisition (indépendants de la quantité commandée), et
- les coûts directs d'acquisition.

La quantité commandée Q comprend

- le stock de fonctionnement,
- le stock consommé pendant le temps de réapprovisionnement, et
- le stock de sécurité.

Le stock de sécurité est déterminé sur la base d'une définition de la disponibilité du système en tenant compte d'aspects probabilistes. Pour chaque entité individuelle non réparable, le stock de sécurité est choisi de manière à réduire le plus possible les coûts de stockage compte tenu d'un temps d'attente moyen donné.

Le stock de sécurité des pièces de rechange représente un stock tampon dont l'objet est de garantir la disponibilité de l'offre en fonction des fluctuations de la consommation et/ou des temps de remplacement. Les stocks de sécurité permettent de maintenir la disponibilité de l'offre et donc la disponibilité du système. D'autre part, ils entraînent des coûts de stockage et il est donc nécessaire d'optimiser les quantités de stocks de sécurité par rapport aux coûts de stockage.

7 Documentation des pièces de rechange

7.1 Principes et objectifs

Il convient que toutes les pièces de rechange commandées soient en principe identifiées de manière unique et indiquent clairement l'équipement, l'ensemble ou le sous-ensemble auquel elles appartiennent. Pendant le processus d'approvisionnement, il convient d'élaborer et d'attribuer un code à chaque pièce. Le code constitue le lien entre l'analyse de supportabilité et l'utilisateur, pour lequel il définit le plan de maintenance approuvé.

7.2 Catalogue de pièces illustrées (IPC)

L'IPC et/ou la liste des pièces de rechange sont indispensables pour la maintenance et assurent la liaison entre l'emplacement physique d'une entité dans le produit et l'identification unique appliquée pour la supportabilité.

L'IPC et/ou la liste des pièces de rechange constituent généralement des exigences contractuelles pour la livraison au client. Il convient qu'ils soient adaptés à la maintenance qui sera entreprise par le client et/ou d'autres organismes de maintenance.

Une approche générale de compilation des données s'articule selon une décomposition technique de la séquence de démontage, en identifiant tous les ensembles et leurs composants individuels ainsi que d'autres pièces particulières, qui ne peuvent être attribués aux ensembles, conformément à leurs dessins techniques et aux nomenclatures. Le séquençage de ces entités est établi sur l'identification unique, ce qui permet la production de l'IPC à partir des mêmes données. La décomposition technique correspond aux plans de maintenance du client.

En plus de la décomposition technique, les éléments suivants sont également énumérés:

- matières premières;
- consommables;
- nécessaires de réparation;
- pièces d'expédition/de stockage.

Lorsque cela est nécessaire, il convient de présenter les IPD (données d'approvisionnement initial) sous une forme applicable à plusieurs clients en utilisant le même système ou équipement. Les différentes normes de configuration peuvent être facilement identifiées et des données spécifiques à chaque client enregistrées sur la même liste.

Lorsqu'un niveau de décomposition différent est exigé par deux clients ou plus, la compilation et la présentation des IPD doivent fournir le niveau exigé de décomposition maximal.

Un dictionnaire de données contient tous les éléments de données exigés pour couvrir les différents types d'informations qu'il peut être nécessaire de fournir pour une entité compilée. Lors de la compilation d'un enregistrement, il est cependant nécessaire de fournir uniquement les données qui sont pertinentes pour l'entité. Les éléments de données ont donc été classés pour permettre de sélectionner les éléments de données appropriés de façon logique et ordonnée.

Cette classification répartit les éléments de données en trois groupes:

- éléments de données obligatoires, qui sont essentiels pour établir un enregistrement de l'entité;
- éléments de données conditionnels utilisés en fonction de la nature de l'enregistrement de l'entité;

- éléments de données facultatifs introduits par des dispositions spéciales convenues entre le client et la partie contractante.

L'identification de la classification des données associées aux pièces et à l'emplacement est effectuée tout au long de la compilation. Cela signifie qu'un élément de données relatif à une entité donnée a la même valeur à tous les emplacements d'utilisation de l'entité (associée aux pièces), ou la valeur d'un élément de données relatif à une entité donnée peut être différente et doit être conservée de façon indépendante à chaque emplacement (associée à l'emplacement). Par exemple, un MTBF peut être identique ou différent à des emplacements différents.

Les données sont compilées à partir des informations données dans les dessins techniques et les nomenclatures, et d'autres sources associées de données de définition des produits, puis organisées avec les éléments de données attribués de manière appropriée dans les enregistrements IPD. La décomposition hiérarchique doit correspondre à la structure des IPD, en indiquant la relation technique des ensembles avec leurs pièces, enregistrée comme une séquence logique de décomposition des entités. Cette relation est identifiée en utilisant l'arborescence de l'élément de données, qui est un code numérique attribué pour indiquer les différents niveaux de décomposition. L'arborescence "1" indique le sommet, le niveau suivant correspondant à l'arborescence "2", et ainsi de suite au fur et à mesure que la décomposition évolue. Il convient, pour toutes les entités, que la quantité par assemblage immédiatement supérieur (QPNHA) indique la quantité de l'entité montée dans une unité de l'assemblage immédiatement supérieur.

Dans une présentation IPD, la structuration globale des données peut être définie par une organisation spécifique par chapitre. L'organisation par chapitre normalisée est appliquée dans de nombreux secteurs, tels que l'aéronautique, le ferroviaire, l'automobile. Elle identifie les chapitres et sous-chapitres dans lesquels les données doivent être organisées et fournit donc des valeurs pour les caractères initiaux de l'identifiant unique. La subdivision de ces sous-chapitres en sous-sous-chapitres, unités et figures, afin d'établir des valeurs pour les caractères restants de l'identifiant unique, est effectuée en tenant compte du contenu particulier de chaque sous-chapitre. Cette subdivision permet d'obtenir des figures dont le contenu est adapté à une représentation picturale (illustrations) efficace et économique. Ces IPD compilées constituent la base de création des représentations utilisées dans le processus IP. Ces représentations, associées à des parties spécifiques des IPD, sont ensuite utilisées pour la préparation de l'IPC.

Les entités particulières doivent figurer à la fin d'une figure avec un code d'arborescence de "1". Les entités, qu'il convient de répertorier de cette manière, sont celles qui doivent être incluses dans la présentation IPD, mais qui ne figurent pas dans la décomposition hiérarchique. Une figure peut contenir plus d'un de ces types d'entités. Il convient que leur présentation suive la séquence ci-dessous:

- pièces de stockage et d'expédition;
- dispositifs non programmés et supports de données;
- marquages (étiquettes, autocollants, etc.);
- conteneurs de stockage et d'expédition;
- nécessaires de réparation;
- ensembles de rechange.

Les entités spécifiques doivent être représentées dans des figures séparées. Ces types d'entités peuvent comprendre:

- les matières premières;
- les vis et joints d'étanchéité;
- les consommables;
- les chiffres de tolérance générale;

- les outils et équipements d'essai;
- la décomposition du nécessaire de réparation.

Il convient de marquer les entités non représentées dans la figure comme "non représentées (NI)".

Dans certaines conditions, il peut n'être possible ou souhaitable que de fournir des entités comme pièces de rechange qui ne sont pas identiques à l'entité de l'OEM. Dans ces situations, l'entité fournie nécessite des informations spéciales sur l'état des pièces de rechange, comprenant:

- la fourniture d'une entité dans son état "prémontée", par exemple, les entités fournies avec une surlongueur;
- la fourniture d'unités comportant des entités supplémentaires installées;
- la fourniture d'unités avec des entités retirées ou livrées non fixées, par exemple, des accessoires spéciaux, des boulons, des conduits électriques et des joints.

Il convient de définir ces pièces dans un enregistrement distinct avec le même identifiant unique que les entités montées ou intégrées en production. Il convient d'indiquer en premier l'entité intégrée en production comme une entité non recommandée, suivie par les entités porteuses des données appropriées pour soutenir une pièce de rechange recommandée.

Des entités particulières ne peuvent pas être installées dans leur état "de livraison"; elles nécessitent de faire l'objet d'une opération particulière (perçage ou alésage par exemple) avant ou pendant l'installation. Ces entités doivent être identifiées et des informations appropriées doivent être fournies.

Un nécessaire de réparation comprend un certain nombre d'entités identifiées par un seul numéro de pièce, qui est utilisée pour exécuter un plan de réparation approuvé par le fabricant. Un nécessaire de réparation peut contenir des pièces normalisées, des pièces de rechange spéciales et, le cas échéant, des outils auxiliaires et des consommables spéciaux.

Un ensemble de rechange est une trousse comprenant un ensemble d'entités telles que les joints d'étanchéité, les joints, les joints toriques identifiés par un seul numéro de pièce, qu'il convient de remplacer chaque fois que l'entité pour laquelle l'ensemble de rechange est produit est démontée pour réparation ou révision. L'ensemble de rechange comprend normalement des entités qui figurent dans la décomposition technique du matériel/composant et qui sont identifiées comme entités de l'ensemble de rechange.

Il convient de prendre en considération, pour un ensemble de pièces de rechange, la durée de vie en stockage de chaque entité (voir l'IEC 62435).

Il convient d'indiquer dans une figure séparée les informations détaillées sur les consommables (par exemple, les carburants, les huiles, les lubrifiants, les fluides, les peintures, les adhésifs, les composés, les solvants et matières similaires) exigés pour l'exploitation, la maintenance et la réparation de l'équipement conformément à la politique de maintenance et à la politique de soutien logistique. Il convient de regrouper ces consommables en types de consommables (par exemple, lubrifiants, laques, solvants, produits de nettoyage). Il convient que toutes les rubriques contenues dans une figure pour consommables portent l'information "non représenté (NI)".

Lorsque deux entités ou plus sont interchangeables au niveau d'un emplacement précis, il convient de les présenter avec le même identifiant unique. Il convient que ces entités disposent du code approprié d'informations d'interchangeabilité attribué.

Il convient de définir les informations spécifiques dans le dictionnaire de données. Les codes appropriés doivent également être fournis. Ces codes peuvent comprendre, entre autres, les informations suivantes: