
**Systèmes spatiaux — Definition des
Niveaux de Maturité de la Technologie
(NMT) et de leurs critères d'évaluation**

*Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs)
and their criteria of assessment*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 16290:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 16290:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2013

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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Version française parue en 2014

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Termes et définitions	1
3 Niveaux de maturité technologique (TRLs)	4
3.1 Généralités.....	4
3.2 TRL 1 — Principes de base observés et rapportés.....	5
3.3 TRL 2 — Concept technologique et/ou application formulés.....	6
3.4 TRL 3 — Preuve du concept analytique et expérimentale de la fonction et/ou de la caractéristique critique.....	6
3.5 TRL 4 — Vérification fonctionnelle en environnement de laboratoire au niveau composant et/ou maquette.....	7
3.6 TRL 5 — Vérification en environnement représentatif de la fonction critique au niveau composant et/ou maquette.....	7
3.7 TRL 6 — Démonstration en environnement représentatif des fonctions critiques de l'élément au niveau modèle.....	8
3.8 TRL 7 — Démonstration en environnement opérationnel de la performance de l'élément au niveau modèle.....	9
3.9 TRL 8 — Système réel développé et accepté pour le vol (« qualifié vol »).....	10
3.10 TRL 9 — Système réel « démontré en vol » par mission opérationnelle réussie.....	10
4 Tableau récapitulatif	11
Bibliographie	13

[ISO 16290:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013)
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2, www.iso.org/directives.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues, www.iso.org/patents.

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 20, *Aéronautique et espace*, sous-comité SC 14, *Systèmes spatiaux, développement et mise en oeuvre*.

[ISO 16290:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>

Introduction

Les Niveaux de Maturité Technologique (TRLs) sont utilisés pour quantifier l'état de maturité technologique d'un élément destiné à être utilisé pour une mission. La technologie mature correspond au TRL le plus élevé, à savoir TRL 9 ou à des éléments éprouvés en vol.

L'échelle des TRLs peut être utile dans de nombreux domaines incluant, mais sans s'y limiter, les exemples suivants:

- a) Pour le contrôle en amont des développements technologiques génériques ou spécifiques de la technologie au service d'une mission future donnée ou d'une famille de missions futures,
- b) Pour faire un état de la maturité technique d'un futur projet, en tant que contribution au processus décisionnel d'exécution du projet,
- c) Dans certains cas, pour suivre la progression d'une technologie tout au long de son développement.

Ce document fournit la description des TRLs dans [l'Article 3](#). Les réalisations qui sont exigées de façon à permettre l'évaluation des TRLs à chaque niveau sont identifiées dans le tableau récapitulatif dans [l'Article 4](#). La procédure détaillée concernant l'évaluation des TRLs doit être définie par l'organisme ou l'institut compétent responsable de l'activité.

La présente Norme internationale a été produite en prenant dûment en considération les documents antérieurs existants sur le sujet, y compris en particulier ceux de la National Aeronautics Space Administration (NASA), le Department of Defence (DoD) des États-Unis et des Agences Spatiales européennes (DLR, CNES et ESA).

(standards.iteh.ai)

[ISO 16290:2013](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 16290:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702ee/iso-16290-2013>

Systèmes spatiaux — Définition des Niveaux de Maturité de la Technologie (NMT) et de leurs critères d'évaluation

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale définit les Niveaux de Maturité Technologique. Elle est applicable principalement aux matériels relatifs aux systèmes spatiaux bien que, dans de nombreux cas, les définitions puissent être utilisées dans un domaine plus large.

La définition des TRLs fournit les conditions à remplir à chaque niveau, permettant une évaluation de TRL précise.

2 Termes et définitions

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

2.1

maquette

modèle physique (2.10) conçu pour soumettre à essai la fonctionnalité et adapté au besoin de la démonstration

2.2

fonction critique d'un élément

fonction obligatoire exigeant une vérification spécifique de la *technologie* (2.19)

Note 1 à l'article: Cette situation se produit lorsque l'élément ou les composants de l'élément sont nouveaux et ne peuvent être évalués en se basant sur des réalisations antérieures ou lorsqu'un élément est utilisé dans un nouveau domaine, telles que des nouvelles conditions en environnement ou une utilisation spécifique nouvelle non encore démontrée.

Note 2 à l'article: Chaque fois que «fonction critique» est utilisée dans le présent document, elle renvoie toujours à «fonction critique de la technologie» et il convient de ne pas la confondre avec «fonction critique de sécurité».

Note 3 à l'article: Chaque fois que «fonction critique» est utilisée dans le présent document, elle renvoie toujours à «fonction critique d'un élément».

2.3

partie critique d'un élément

partie d'un *élément* (2.4) associée à une fonction critique

Note 1 à l'article: La partie critique d'un élément peut représenter un sous-ensemble de l'élément et la vérification de la technologie de la fonction critique peut être réalisée au moyen de tests dédiés menés uniquement sur la partie critique.

Note 2 à l'article: Chaque fois que «partie critique» est utilisée dans le présent document, elle renvoie toujours à la «partie critique de la technologie».

Note 3 à l'article: Chaque fois que «partie critique» est utilisée dans le présent document, elle renvoie toujours à la «partie critique d'un élément».

2.4

élément

article ou objet examiné pour l'évaluation de la maturité technologique

Note 1 à l'article: L'élément peut être un composant, une partie d'équipement, un sous-système ou un système.

2.5

fonction de l'élément

effet prévu de l'élément (2.4)

2.6

exigences de performance fonctionnelle

sous-ensemble des *exigences de performance* (2.14) d'un *élément* (2.4) spécifiant les *fonctions de l'élément* (2.5)

Note 1 à l'article: Les exigences de performance fonctionnelle n'incluent pas nécessairement les exigences résultant de l'environnement opérationnel.

2.7

environnement de laboratoire

environnement contrôlé nécessaire pour démontrer les principes sous-jacents et la performance fonctionnelle

Note 1 à l'article: NOTE L'environnement de laboratoire ne traite pas nécessairement l'*environnement opérationnel* (2.11)

2.8

technologie mature

technologie définie par un ensemble de *procédés reproductibles* (2.17) pour la conception, la fabrication, les tests et l'exploitation d'un *élément* (2.4) de façon à satisfaire un ensemble d'exigences de performance dans l'**environnement opérationnel** réel (2.11)

2.9

opérations relatives à la mission

séquence des événements qui sont définis pour accomplir la mission

2.10

modèle

représentation physique ou abstraite des **aspects pertinents** d'un *élément* (2.4) qui sert de base pour les calculs, les prévisions, les tests ou une évaluation ultérieure

Note 1 à l'article: Le terme «modèle» peut aussi être utilisé pour identifier des cas particuliers de l'élément, par exemple, modèle de vol.

Note 2 à l'article: Adapté de l'ISO 10795, définition 1.141.

2.11

environnement opérationnel

ensemble de conditions naturelles et induites qui constitue une contrainte pour l'*élément* (2.4) à partir de la définition de la conception jusqu'à son exploitation

EXEMPLE 1 Conditions naturelles: temps, climat, conditions océaniques, terrain, végétation, poussière, lumière, radiation, etc.

EXEMPLE 2 Conditions induites: interférence électromagnétique, chaleur, vibration, pollution, contamination, etc.

2.12

exigences de performance opérationnelle

sous-ensemble des *exigences de performance* (2.14) d'un *élément* (2.4) spécifiant les *fonctions de l'élément* (2.5) dans son *environnement opérationnel* (2.11)

Note 1 à l'article: Les exigences de performance opérationnelle sont exprimées à travers des spécifications techniques couvrant tous les domaines d'ingénierie. Elles sont validées par des opérations en orbite réussies et elles peuvent être vérifiées grâce à un ensemble de vérifications d'éléments au sol couvrant intégralement le cas opérationnel.

Note 2 à l'article: L'ensemble complet des exigences de performance d'un élément est constitué des exigences de performance opérationnelle et des exigences de performance pour l'utilisation des éléments au sol.

2.13**performance**

aspects d'un *élément* (2.4) constatés ou mesurés à partir de son fonctionnement ou de sa fonction

Note 1 à l'article: Ces aspects sont généralement mesurés.

Note 2 à l'article: Adapté de l'ISO 10795, définition 1.155.

2.14**exigences de performance**

ensemble de paramètres qui sont destinés à être satisfaits par l'*élément* (2.4)

Note 1 à l'article: L'ensemble complet des exigences de performance comprend inévitablement les conditions d'environnement dans lesquelles l'élément est utilisé et exploité et qui sont donc liées à la/les missions concernées et aussi à l'environnement du système dans lequel il est intégré.

2.15**procédé**

ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie

Note 1 à l'article: Les éléments d'entrée dans un procédé sont généralement des éléments de sortie pour d'autres procédés.

Note 2 à l'article: Les procédés dans une organisation sont généralement planifiés et réalisés dans des conditions maîtrisées pour ajouter de la valeur.

Note 3 à l'article: Un procédé dans lequel la conformité du produit résultant ne peut pas être facilement vérifiée du point de vue économique est fréquemment appelé "procédé spécial".

[SOURCE: l'ISO 10795, définition 1.160]

2.16**environnement représentatif**

sous-ensemble minimal de l'*environnement opérationnel* (2.11) qui est requis pour démontrer la performance des *fonctions critiques de l'élément* (2.2) dans son *environnement opérationnel* (2.11)

2.17**procédé reproductible**

procédé (2.15) qui peut être répété dans le temps

Note 1 à l'article: Il est fondamental dans la définition de la "technologie mature" et il est intimement lié à la capacité de réalisation et à la vérifiabilité.

Note 2 à l'article: Un élément élaboré "par hasard", même s'il satisfait aux exigences, ne peut évidemment pas se prévaloir de s'appuyer sur une *technologie mature* s'il y a peu de chance de reproduire l'élément dans des délais fiables. Inversement, la reproductibilité introduit de manière implicite la notion de temps dans la définition de la technologie mature. Une technologie peut être déclarée mature à un moment donné, et dégradée plus tard à un niveau de maturité inférieur à cause de l'obsolescence de ses composants ou parce que les procédés impliquent une organisation spécifique doté de compétences uniques qui a fermé.

2.18**exigence**

besoin ou attente qui est déclaré et qui doit être satisfait

Note 1 à l'article: Adapté de l'ISO 10795, définition 1.190]

2.19**technologie**

application de connaissances, outils, techniques, métiers, systèmes ou méthodes d'organisation afin de résoudre un problème ou atteindre un objectif

2.20

validation

confirmation, à travers une preuve objective, que les *exigences* (2.18) pour une utilisation ou une application spécifique prévue ont été satisfaites

Note 1 à l'article: Le terme «validé» est utilisé pour désigner le statut correspondant.

Note 2 à l'article: Les conditions d'utilisation pour la validation peuvent être réelles ou simulées.

Note 3 à l'article: Elle peut être déterminée par une combinaison de test, d'analyse, de démonstration et d'examens.

Note 4 à l'article: Lorsque l'élément est validé, il est confirmé que celui-ci est capable de répondre à son utilisation prévue dans un environnement opérationnel prévu (2.21).

Note 5 à l'article: Adapté de l'ISO 10795, définition 1.228]

2.21

vérification

confirmation au moyen de la fourniture de la preuve objective que les **exigences** spécifiées (2.18) ont été remplies

Note 1 à l'article: Le terme «vérifié» est utilisé pour désigner le statut correspondant.

Note 2 à l'article: La confirmation peut être constituée d'activités telles que: la réalisation de calculs alternatifs, la comparaison d'une nouvelle spécification de conception avec une spécification de conception éprouvée similaire, la mise en œuvre de tests et de démonstrations, la revue des documents avant l'émission.

Note 3 à l'article: Elle peut être déterminée par une combinaison de test, d'analyse, de démonstration et d'examens.

Note 4 à l'article: Lorsqu'un élément est vérifié, il est confirmé qu'il satisfait les spécifications de conception

Note 5 à l'article: Adapté de l'ISO 10795, définition 1.229.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9abd48b9-a44b-425b-b57d-49f33f6702cc/iso-16290-2013>

3 Niveaux de maturité technologique (TRLs)

3.1 Généralités

La technologie d'un élément prévu pour une application atteint le niveau de maturité – correspondant au TRL 9 – lorsqu'il est bien défini par un ensemble de procédés reproductibles concernant la conception, la fabrication, les tests et l'exploitation de l'élément et lorsque, de surcroît, il satisfait un ensemble d'exigences de performance dans l'environnement opérationnel réel.

L'élément examiné est supposé constituer une partie physique d'un système. Les systèmes sont généralement subdivisés en sous-systèmes susceptibles d'avoir plusieurs sous-niveaux. L'élément peut correspondre à toutes les parties d'un système et n'est pas nécessairement un sous-système spécifique ou un sous-niveau spécifique.

Une condition préalable à l'évaluation du TRL est l'identification de l'élément soumis à l'évaluation. Les TRLs plus élevés nécessitent en outre un approfondissement des exigences de performance et donc une connaissance de la mission et du système pour lesquels il est prévu d'utiliser l'élément ainsi que son environnement opérationnel. Pour les TRLs faibles, les exigences de performance peuvent être préliminaires et cibler plusieurs missions, puis ils sont progressivement affinées et vérifiées pour des niveaux plus élevés.

L'échelle complète des TRLs s'applique à un élément donné. Par conséquent, il n'y a pas de gradation de la complexité de l'élément lorsqu'il passe de TRLs faibles à des TRLs élevés.

Les TRLs plus élevés impliquent aussi que l'élément est dans sa forme finale et qu'il est intégré dans un système pour validation ou utilisation. Par conséquent, le TRL d'un élément donné peut aussi être rétrogradé si ce même élément est utilisé dans un système différent, sauf s'il peut être démontré que

toutes les exigences d'environnement et d'interface relatives à l'élément dans le nouveau système sont au moins aussi élevées que pour le système initial.

Une évaluation de TRL est valable pour un élément donné et à un point donné dans le temps. Elle peut évoluer si les conditions qui ont prévalu au moment de l'évaluation ne sont plus valables. Une telle situation peut entraîner la réévaluation et la rétrogradation du TRL qui peut survenir en particulier dans le cas où il est envisagé la reconstruction/réutilisation d'un élément. Par exemple, lorsque l'obsolescence de l'électronique nécessite des modifications ou lorsque la production implique une connaissance spécifique qui a disparu.

Le temps ou l'effort nécessaire pour passer d'un TRL à un autre dépend de la technologie et n'est pas linéairement corrélé à l'échelle des TRLs. L'expérience montre que ceux-ci peuvent amplement varier en fonction de l'élément et de la mission envisagée. Par conséquent, alors que l'échelle des TRLs est un outil approprié pour évaluer l'état de maturité technologique à un moment donné, elle ne fournit pas d'indication quant à l'effort et au coût à mettre en œuvre pour atteindre le niveau suivant.

Alors que le TRL 9 fait référence à la technologie mature, les TRLs inférieurs servent à indiquer qu'une ou plusieurs conditions pour atteindre une technologie mature n'ont pas été satisfaites, telles que:

- a) Les procédés concernés par la fabrication des éléments n'ont pas été entièrement définis,
- b) Les exigences de performance opérationnelle n'ont pas encore été complètement définies,
- c) L'élément n'a pas encore été entièrement défini,
- d) L'élément n'a pas encore été construit,
- e) Les exigences de performance de l'élément n'ont pas encore été démontrées dans son environnement opérationnel.

Lorsqu'un élément est un système ou un sous-système intégré, il peut consister en sous-éléments, chacun impliquant une technologie spécifique. Dans ce cas, le TRL de l'élément ne peut pas être supérieur à celui des sous-éléments pris individuellement.

Pour chaque TRL, le statut attendu des exigences de performance de l'élément est indiqué dans sa description.

3.2 TRL 1 — Principes de base observés et rapportés

3.2.1 Description

La recherche scientifique sur la technologie à évaluer existe et commence à être traduite en recherche appliquée et développement. Les principes de base sont observés et rapportés dans le cadre de la recherche académique. Des applications potentielles sont identifiées mais les exigences de performance ne sont pas encore spécifiées.

Au TRL 1, aucune mission spécifique ne peut être associée à la technologie car les concepts et/ou leurs applications ne sont formulés qu'au TRL 2. Par conséquent, les exigences de performance ne peuvent pas être définies à ce stade.

3.2.2 Exemples

Des exemples de TRL 1 sont donnés ci-après:

- a) En 1895, le physicien allemand William Conrad Roentgen a découvert les rayons X.
- b) La supraconductivité a été découverte par H. Kamerlingh Onnes en 1911, montrant la disparition soudaine de la résistance électrique de certains matériaux en dessous d'une température caractéristique.