



Abonnez-vous



Suivez CTIF

Votre Email

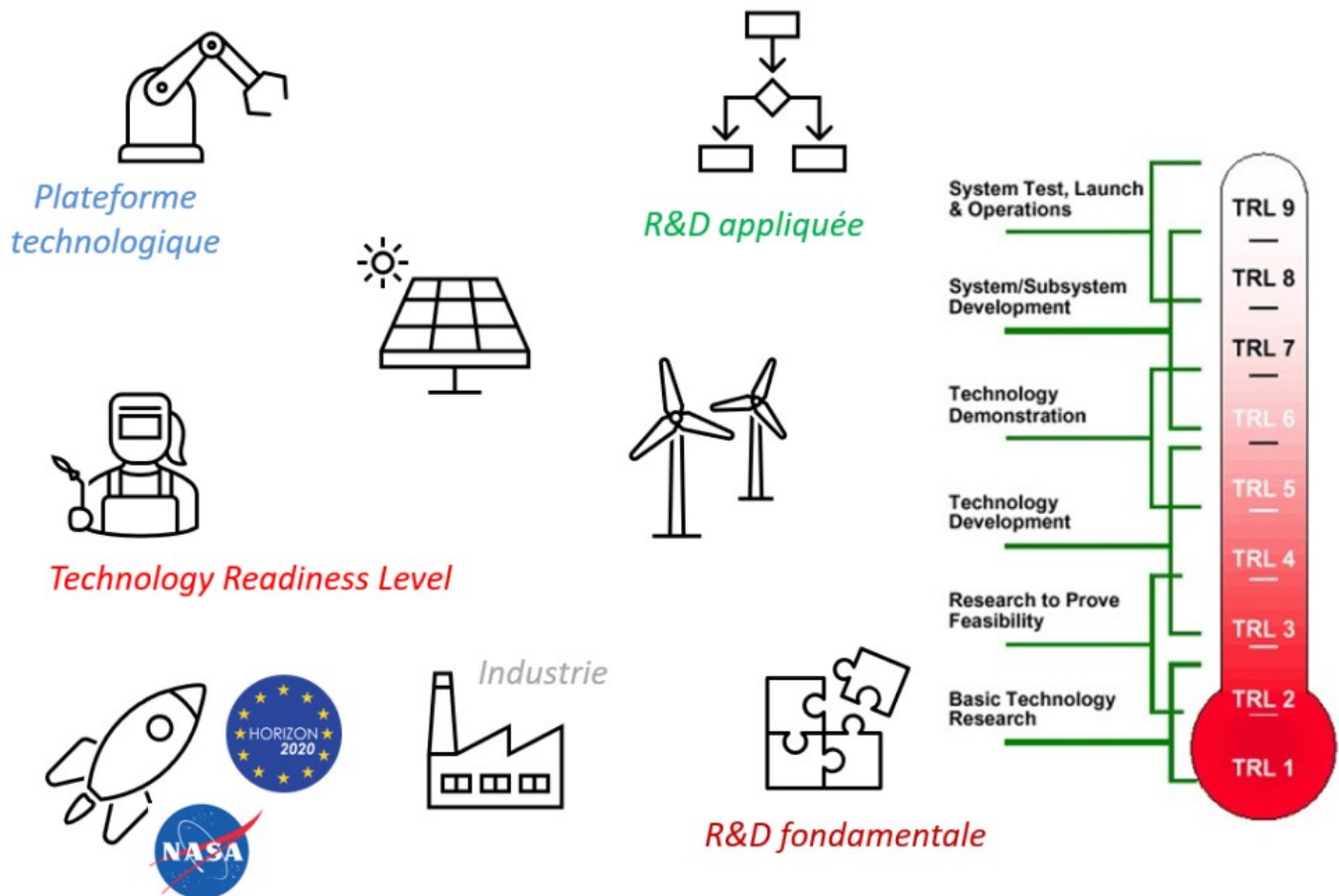


## Le TRL – Technology Readiness Level

By Patrick Hairy™

Publié le 25 avril 2022— Laisser un commentaire

Temps de lecture : 8 à 10 minutes



Le TRL (Technology Readiness Level) est un indicateur très utilisé en innovation et en R&D. Il traduit la plus ou moins grande maturité technique d'un produit, d'une technologie ou d'un process et sa proximité avec une application commerciale ou industrielle future.

L'échelle de maturité technologique de 1 à 9

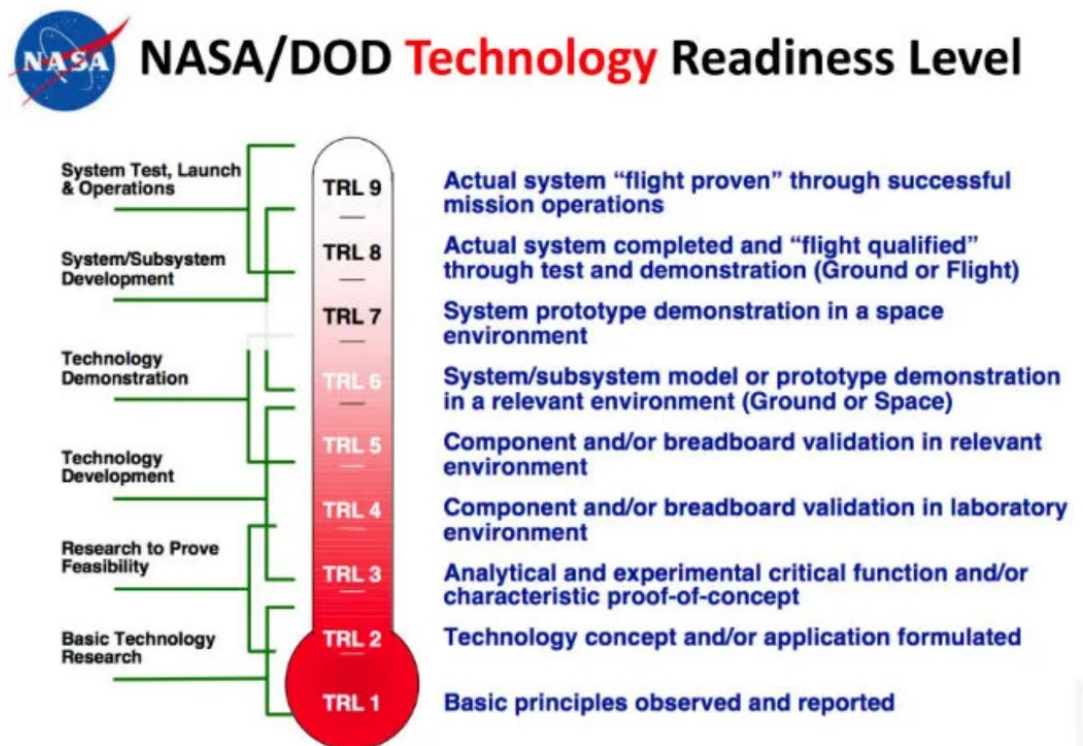
Le Technology Readiness Level est une échelle de 1 à 9 qui quantifie la maturité d'un produit ou d'une technologie. Une technologie à bas TRL (< 3) signifie par exemple que cette dernière n'est pas encore sortie des laboratoires académiques et est encore loin d'être opérationnelle industriellement. A contrario, un TRL élevé (> 7) permet d'envisager une commercialisation proche avec peu de verrous techniques encore à lever.

## Avantages et limitations du TRL

Comme tout instrument d'évaluation, cet indicateur de maturité technologique présente des avantages et des limitations. Parmi ses avantages, on peut citer la vision commune de l'état de l'art d'une technologie, la gestion des risques, l'utilité pour prendre des décisions concernant le financement d'une technologie ou la représentation des efforts techniques encore nécessaires. Mais l'échelle de TRL a aussi des limites. Ainsi, une technologie mature peut ne pas être applicable à un besoin alors qu'une autre moins mature est peut être en meilleure adéquation. En effet, de nombreux facteurs peuvent entrer en ligne de compte (coût, part de marché, concurrence d'autres technologies, impact environnemental, ...) que le concept, assez simple, de TRL (notation unique) ne permet pas toujours d'évaluer correctement. Malgré cela, cet indicateur s'est répandu et reste très communément usité dans le monde de l'innovation.

## L'invention du TRL par la NASA

La notion de TRL a été inventée par Stan Sadin aux Etats-Unis à la NASA en 1974 et formalisée en 1989. Les premiers TRL comprenaient seulement 7 niveaux mais ont été portés à 9 dans les années 90. Les services de R&D

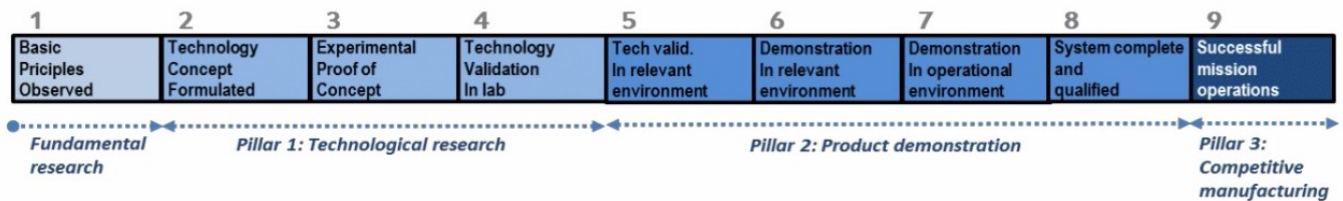


la NASA ont en effet estimés qu'un indicateur synthétique leur serait utile pour appréhender

l'évolution des projets spatiaux. Les définitions du TRL de la NASA sont donc très orientées aéronautiques.

Ainsi le niveau de 8 qualifie une technologie qui a été testée et « qualifiée en vol » et est prête à être mise en œuvre dans un système déjà existant. Une fois qu'une technologie a été « éprouvée en vol » lors d'une mission réussie, elle peut être alors qualifiée de TRL 9 selon la NASA.

## Le TRL en Europe via l'ESA et les programmes H2020



L'ESA (European Space Agency) a, quant à elle, adoptée l'échelle TRL en 2008 et l'Union Européenne à partir de 2010. Puis, l'utilisation généralisée de l'échelle TRL dans la politique de l'UE a été mise en œuvre en 2013 dans le programme-cadre de l'UE, appelé H2020, pour évaluer toutes les technologies, de l'informatique aux biotechnologies.

## La norme ISO 16290

La norme ISO 16290 (2013 et révision en 2019) définit plus précisément le TRL (ou NMT pour Niveau de Maturité Technologique) pour les systèmes spatiaux et les critères

- TRL 1** — Principes de base observés et rapportés
- TRL 2** — Concept technologique et/ou application formulés
- TRL 3** — Preuve du concept analytique et expérimentale de la fonction et/ou de la caractéristique critique
- TRL 4** — Vérification fonctionnelle en environnement de laboratoire au niveau composant et/ou maquette
- TRL 5** — Vérification en environnement représentatif de la fonction critique au niveau composant et/ou maquette
- TRL 6** — Démonstration en environnement représentatif des fonctions critiques de l'élément au niveau modèle
- TRL 7** — Démonstration en environnement opérationnel de la performance de l'élément au niveau modèle
- TRL 8** — Système réel développé et accepté pour le vol (« qualifié vol »)
- TRL 9** — Système réel « démontré en vol » par mission opérationnelle réussie

Les 9 niveaux de TRL - ISO 16290

d'évaluation du TRL. Dans de nombreux cas, les définitions de cette norme peuvent être utilisées dans un domaine plus large. Cette norme précise par exemple la notion de maquette (« modèle physique conçu pour soumettre à essai la fonctionnalité et adapté au besoin de la démonstration ») ou de fonction critique d'un élément (« fonction obligatoire exigeant une vérification spécifique de la technologie ») qui sont utilisés dans le TRL.

## Le MRL, un TRL process

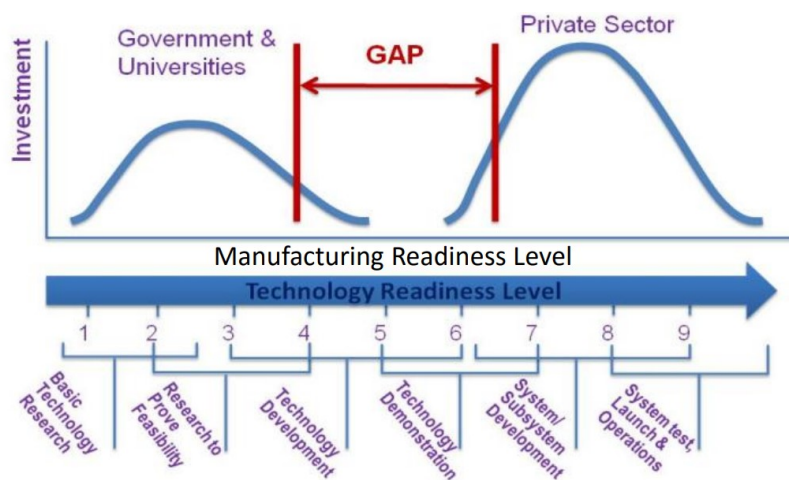
Le TRL appliqué au développement de process extrapole les notions de TRL produit et laisse certaines questions majeures sans vraie réponse : le niveau de performance est-il reproductible ? Quel sera le coût de production ? Peut-on faire fabriquer ces produits dans un environnement de production par quelqu'un qui n'a pas de « doctorat » ? Les matériaux et composants clés sont-ils disponibles ?

Pour cette raison a été développé le MRL (Manufacturing Readiness Level) indicateur créé initialement par le DOD (United States Department of Defense) pour les technologies de fabrication. Le MRL est resté beaucoup moins connu et utilisé que le TRL et a peu percé au niveau industriel, ni académique à ce jour.

Manufacturing Readiness Level (MRL)		
Phase	MRL	State of Development
Phase 3: Production Implementation	9	Full production process qualified for full range of parts and full metrics achieved
	8	Full production process qualified for full range of parts
	7	Capability and rate confirmed
Phase 2: Pre production	6	Process optimised for production rate on production equipment
	5	Basic capability demonstrated
Phase 1: Technology assessment and proving	4	Production validated in lab environment
	3	Experimental proof of concept completed
	2	Application and validity of concept validated or demonstrated
	1	Concept proposed with scientific validation

## La vallée de la mort (TRL 4-6)

La recherche scientifique fondamentale (TRL < 3) se traduit par des études « sur le papier » pour cerner les propriétés de base d'une technologie, autour d'un concept spéculatif, afin d'envisager des applications. Puis se développe une recherche appliquée en laboratoire pour valider des hypothèses et fournir une preuve expérimentale du concept.



Les niveaux 4 et 7 représentent le passage du concept au produit, c'est-à-dire le développement d'une technologie jusqu'à sa validation dans un environnement réel. Cette étape indispensable pour transmettre l'innovation aux industriels repose sur des plateformes technologiques et des lignes-pilotes souvent très onéreuses. Franchir cette « vallée de la mort » implique souvent de mutualiser les moyens (partenariats publics-privés) et d'être soutenu financièrement.

## Technology Readiness Pathway Matrix

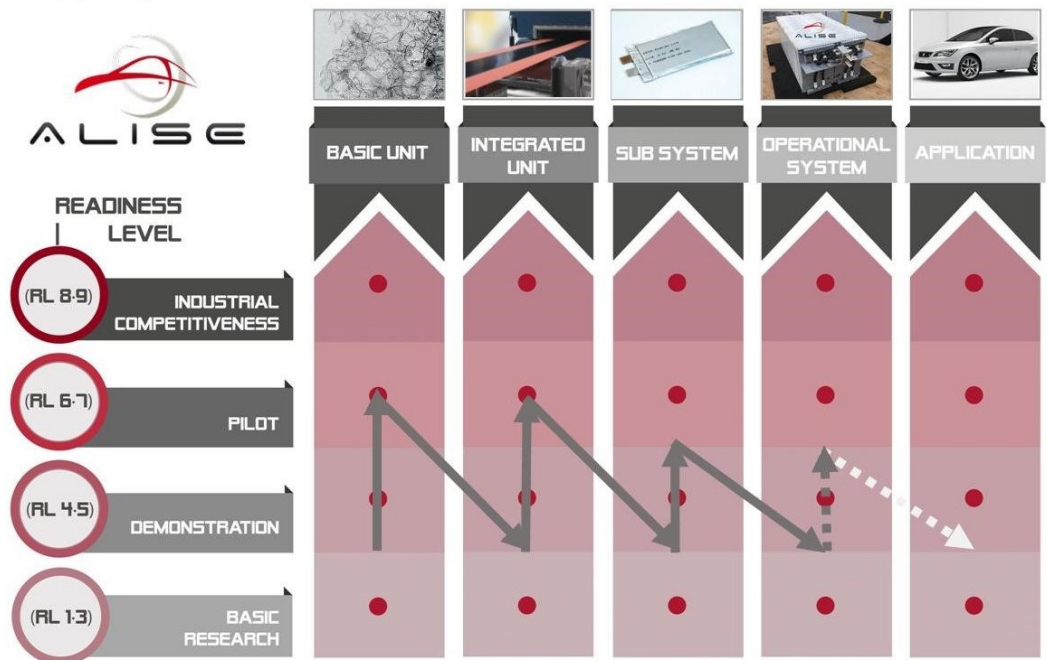
Pour les technologies complexes qui intègrent plusieurs

étapes de développement, un schéma plus détaillé appelé « Technology Readiness Pathway Matrix » a été élaboré, allant des unités de base aux applications dans une entreprise. Cet outil vise à montrer que le niveau de préparation d'une technologie est basé sur un processus

**LEITAT**  
managing technologies



**LEITAT TECHNOLOGY READINESS PATHWAY**



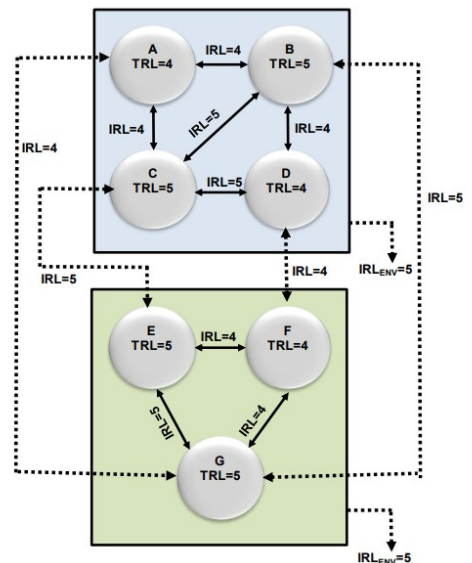
moins linéaire et un parcours plus complexe à travers son application dans l'entreprise. À titre d'exemple, on trouvera ci-contre la méthodologie appliquée à une technologie complexe dans le cadre du projet européen ALISE de Leitat sur une batterie au lithium-soufre pour véhicule électrique hybride (HEV), financé par l'appel H2020-NMP-GV-2014-NMP17.

Sans vouloir entrer dans trop de détails techniques, comme on peut le voir sur le logigramme ci-contre, la progression du projet peut faire reculer temporairement le TRL en fonction du niveau d'intégration dans un système de plus en plus complexe.

**Autres métriques de mesure pour une nouvelle technologie**

De nombreux auteurs ont étendu les classifications TRL pour tenir compte des effets de l'intégration de plusieurs technologies pour créer un système unique plus complexe. Ils ont introduit par exemple une autre métrique appelée Integrated Readiness Level (IRL) pour compléter le TRL pour l'intégration des applications.

Ils ont également développé un protocole pour mesurer l'état de préparation technologique global d'un système, le System Readiness Level (SRL), en combinant les métriques TRL et IRL de toutes les technologies impliquées dans la fabrication d'un système complexe. On pressent en effet intuitivement que si 2 technologies présentent séparément un TRL 8, leur assemblage sur une même ligne de production (ou un même produit) risque d'engendrer des interactions non encore maîtrisées qui vont faire



chuter le TRL global en dessous de 7 en nécessitant davantage d'effort technique pour lever de nouveaux verrous techniques.

## **TRL ne veut pas dire technologie très répandue**

Si la maturité technologique d'une technologie de production est à 9, cela signifie qu'elle est déjà opérationnelle et permet une production industrielle d'objets manufacturés. En revanche, cela ne signifie pas que cette technologie soit très répandue. Ainsi, dans le domaine de la fonderie, certaines technologies ont un TRL de 9 mais restent peu utilisées pour différentes raisons (marché de niche, technologie pointue, process concurrents déjà bien implantés, ...). On peut ainsi citer le Pore-Free, technologie de fonderie sous pression, utilisée quasi-exclusivement au Japon dans certaines fonderies, et qui consiste à injecter l'aluminium dans un moule rempli d'oxygène. L'avantage est de supprimer tout risque de défauts internes de type soufflures dans la pièce car l'aluminium réagit avec l'oxygène qu'il consomme entièrement pour former des oxydes. De la même manière, le V-Process est utilisé mondialement dans certaines fonderies et consiste à utiliser un sable sans liant. La cohésion du sable est assurée grâce à un film plastique en surface et par un système de sous vide. Le recyclage du sable est ainsi grandement facilité mais la gestion du vide s'avère complexe industriellement et ce process de production est très peu développé. Ces 2 technologies -pore free et V-Process- ont certes un TRL de 9, mais elle restent très peu répandues au niveau mondial. L'homme de l'art pourra trouver dans n'importe quelle branche industrielle de tels exemples.

## **Conclusions**

La notion de Technology Readiness Level est largement utilisée en R&D avec des critères plus ou moins fins et détaillés. Dans tous les cas, l'échelle de 1 à 9 permet de quantifier les avancements technologiques. D'autres développements ont été réalisés plus récemment pour préciser l'échelle initiale en lui ajoutant d'autres indicateurs (IRL, SRL) ou avec des stratégies évolutives (Technology Readiness Pathway Matrix). Mais à ce jour, le TRL reste le seul indicateur largement utilisé en pratique. Le TRL est en particulier analysé systématiquement dans quasiment tous les dossiers de recherche de financement de l'innovation au niveau hexagonal ou Européen pour renseigner, entre autres, sur le choix du guichet de financement (ANR, FUI, PIA, ...). De facto, le Technology Readiness Level est devenu l'un des outils de la Metric des projets de R&D technologique.

**CLASSÉ SOUS** : À la une, Applications

**TAGS** : innovation, TRL

---

---

By Patrick Hairy<sup>TM</sup>

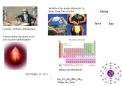


Au plus près des innovations technologiques que j'aime faire découvrir et partager.

Qui suis-je ?

Contactez-moi

## Du même auteur



**Les paradigmes en métallurgie**

28 mars 2022 - 0 commentaire



**Journée scientifique Matériau - Numérique à la SF2M**

14 mars 2022 - 2 commentaires



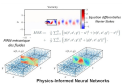
**L'anodisation des alliages d'aluminium**

28 février 2022 - 5 commentaires



**Alpha screen, algorithme génétique pour l'Alloy Design**

31 janvier 2022 - 0 commentaire



**Physics-Informed Neural Networks**

17 janvier 2022 - 0 commentaire



**Les RDV Carnot 2021 pour innover**

22 novembre 2021 - 0 commentaire



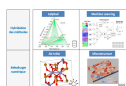
## Journée Innovations métallurgiques pour la Défense

8 novembre 2021 - 0 commentaire



## La structure en fer puddlé de la Tour Eiffel

25 octobre 2021 - 2 commentaires



## La métallurgie numérique booste les alliages

11 octobre 2021 - 0 commentaire

---

# Formations

Découvrez toutes nos formations ici



**formation**  
Métallurgie et transformation des métaux