

APPEL A PROPOSITIONS – RECHERCHE EXPLORATOIRE SOLUTIONS BIOMIMETIQUES ET BIOINSPIREES



Contexte et objectifs :

La recherche sur l'écologie, l'évolution et la biologie fonctionnelle des animaux, des plantes et des micro-organismes permet d'identifier un grand nombre de pistes potentielles vers de nouvelles approches, de nouveaux outils et de nouvelles technologies innovantes. Cette approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques est définie par le terme bio-inspiration. Le biomimétisme implique une coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes techniques (Annexe 1 : Cadre normatif, références, exemples).

En s'appuyant sur plus de 3,8 milliards d'années d'évolution du vivant, le biomimétisme est à la fois une philosophie, une approche scientifique pluridisciplinaire par excellence, et une méthodologie qui consiste à s'inspirer des modèles biologiques pour concevoir des technologies innovantes et soutenables dans un objectif de développement durable (ISO NF 18458)¹. S'inspirer du vivant ouvre ainsi de nouvelles perspectives dans différents secteurs d'activité (énergie, économie bleue, bâtiment, santé, cosmétique, transport, industrie, etc) à travers une amélioration des performances opérationnelles dans le domaine des matériaux, de la chimie, de l'ingénierie tissulaire, de la santé, des énergies ou bien encore du traitement de l'information.

Cet appel à proposition fait suite à la Journée scientifique « Bioinspiration et Solutions fondées sur la Nature », organisée par le LabEx CeMEB en novembre 2020².

Afin de soutenir cette thématique émergente, les « Organismes » de cet AAP, à savoir les LabEx CeMEB et NUMEV et le Lab'MUSE CHIMIE (Annexe 2), lancent un appel à propositions qui vise à stimuler et **soutenir l'émergence de projets de recherche basés sur les principes du biomimétisme ou de bioinspiration** au sens plus large (cf 1.1. Périmètre).

En terme de structuration scientifique, cet appel à propositions vise à :

- (1) stimuler la mise en place de recherches académiques interdisciplinaires entre les unités de recherche membres des Labex/Lab'MUSE organisateurs de l'AAP (CeMEB, NUMEV, Chimie), et
- (2) de créer les conditions favorables au développement de partenariats extérieurs, avec des laboratoires ou entreprises partenaires extérieures à ce consortium.

¹ Source « Synthèse de la Journée de Travail France Stratégie » 2019. Ceebios, Myceo.

² Journée Scientifique Cemeb « Bioinspiration et solutions fondées sur la Nature » : [consulter le programme / consulter la rediffusion sur Youtube.](#)

1. PERIMETRE DE L'APPEL

1.1. Périmètre scientifique de l'appel à propositions

L'appel à proposition vise à soutenir toute démarche qui consiste à utiliser ou s'inspirer des propriétés et principes du vivant issus de l'écologie au sens large, de la cellule à l'écosystème (processus, mécanismes, structures, matériaux, propriétés, interactions et fonctionnalités biologiques, etc) pour mettre en place une solution d'ingénierie dans un but environnemental (restauration écologique, bio-remédiation, lutte biologique...), ou encore pour créer une innovation comportant une application transposée à des secteurs d'activité humaine (agriculture, énergie, médecine, informatique, robotique, architecture et construction, transports, industrie, etc) et compatibles avec les objectifs de développement durable (voir Annexe 1).

1.2. Nature des propositions

Les propositions des projets devront démontrer une synergie entre les principes et connaissances issus des sciences en écologie au sens large, à la base de la bioinspiration (cf 1.1.), et les connaissances des sciences de la matière, mathématiques et informatiques (chimie, physique, robotique ou sciences de l'ingénieur, par exemple).

Les soutiens pourront porter sur des propositions allant de projets très « amont » (avec un niveau de TRL faible, voir annexe 2) à des projets plus avancés ayant déjà validé des axes de travail et une application innovante potentielle. Les projets "amont" pourront demander un soutien au démarrage du projet pour permettre au porteur de préciser ou approfondir l'idée à la base de la bioinspiration, et un accompagnement dans la démarche pour trouver des partenaires ou identifier des modèles biologiques utilisables pour répondre au besoin fonctionnel recherché. Les projets plus avancés pourront détailler leurs besoins pour des étapes supplémentaires d'étude, dans une perspective de maturation.

1.3. Eligibilité des projets

Les propositions seront portées par une des unités de recherche membre d'un des trois Labex/Lab'MUSE organisateurs (NUMEV, CeMEB, Chimie) : voir annexe 2 la liste des unités de recherche éligibles.

Les propositions comportant un partenariat entre des unités de recherche membre d'au moins deux LabEx/Lab'MUSE seront favorisées.

Néanmoins, sont également acceptés :

- les projets de candidatures isolées en recherche de partenariat (notamment pour les projets très amont) *,
- les projets avec un partenaire académique (de discipline complémentaire) non membre d'une unité de recherche éligible,
- les projets avec un partenaire non-académique (entreprise, collectivité, association...).

(*) Comme l'objectif de cet appel à propositions est de stimuler de nouvelles collaborations et partenariats académiques, les porteurs d'une proposition sans partenaires peuvent contacter les directions des Labex/Lab'MUSE pour être conseillés et aidés dans leur démarche de recherche de partenaire académique membre des Labex/Lab'MUSE organisateur.

1.4. Financements

Les porteurs pourront solliciter des financements auprès des structures de rattachement, comme suit :

Financements	Cemeb	Chimie	Numev
Fonctionnement (1)	Dotation jusqu'à 60K€ *** Jusqu'à 10K€ pour des projets amont, jusqu'à 20K€ pour projet plus avancé	Dotation jusqu'à 50 K€ *** Jusqu'à 10K€ pour des projets amont, jusqu'à 20K€ pour projet plus avancé	Dotation jusqu'à 30 K€ *** Jusqu'à 10K€ pour des projets amont, jusqu'à 20K€ pour projet plus avancé

Dans le cas des projets co-portés par deux unités membres de Labex/Lab'UM, chaque Labex financera la part de budget présenté par son unité.

(1) Les dépenses de fonctionnement peuvent inclure à priori : des gratifications de stages, des prestations externes, des dépenses de terrain, des missions, du petit matériel...

A noter :

- L'appel à proposition encourage fortement les projets montés en partenariat avec des unités d'un autre Labex/Lab'MUSE. Dans ce cas les projets seront cofinancés par les Labex/Lab'MUSE. Les budgets doivent préciser la répartition des budgets entre les unités impliquées.
- Les financements sont destinés exclusivement aux unités de recherche éligibles (annexe 1).
- Les crédits de fonctionnement devront être dépensés avant fin décembre 2022.

1.5. Accompagnement des projets

Les porteurs des propositions lauréates qui le souhaitent et le demanderont pourront transmettre, via les organisateurs, leur projet au **CEEBIOS**³ afin de bénéficier d'un accompagnement (gratuit) :

- Orientation vers un certain nombre de ressources pertinentes sur le biomimétisme et la méthodologie ;
- Temps d'échange individuel pour chaque projet (~30-60 min) visant à aider à clarifier les points de blocage méthodologique, à identifier de potentiels champ d'application industriels, à relier ces recherches particulières avec d'autres initiatives nationales ou internationales...
- Invitation à venir présenter le projet lors des groupes de travail avec les industriels membres du réseau CEEBIOS.

Les porteurs des propositions soumises à cet appel à projets, ont la possibilité de demander aux organisateurs de cet AAP, de transmettre leur dossier aux acteurs suivants, qui peuvent potentiellement apporter un avis ou évaluer la possibilité d'un financement complémentaire :

- SATT
- Agence régionale de développement économique Ad'Occ
- Services de la Région (Direction de l'innovation, Direction de la recherche, Direction de l'environnement), qui ont des dispositifs de financement, en direction des laboratoires et en direction des entreprises partenaires de projets de recherche.

Ces acteurs de par leur activité s'engagent à conserver la confidentialité des informations et des idées présentées dans les documents transmis par le porteur de projet.

³ Le CEEBIOS est le centre d'études et d'expertises dédié au déploiement du biomimétisme en France. C'est un réseau national d'acteurs industriels, académiques et institutionnels, qui a pour objectif d'accélérer la transition écologique et sociétale par le biomimétisme. Le CEEBIOS ne participera pas à la sélection des projets et s'engage à la confidentialité vis-à-vis des porteurs. Plus d'information : <https://ceebios.com/la-scic-ceebios/>

2. MODALITES DE CANDIDATURE ET DE SELECTION

2.1. Dossier de soumission

Le dossier de soumission de la proposition sera rédigé en français ou anglais, et co-signé par les directions du porteur et des partenaires (unités de recherche impliquées ou entreprise).

La description du projet, qui sera effectuée selon le formulaire ci-joint, devra exposer de façon résumée le positionnement général, l'état des connaissances (littérature existante) et l'état d'avancement éventuel des travaux antérieurs de l'équipe dans le domaine du projet, les principes du vivant mobilisés et la méthodologie de transposition envisagée ou utilisée, le besoin technologique à résoudre et l'objectif visé du projet (potentiel d'application).

Le dossier de soumission mettra en avant :

- la dimension innovante du projet, sa valeur ajoutée, en termes de potentiel d'application et de perspectives scientifiques ou économiques
- les principes du vivant mobilisés à la base de l'inspiration et leur transposition dans la fonctionnalité recherchée, ainsi que le niveau d'interdisciplinarité
- la capacité du porteur à assurer un rôle d'animation et de coordination sur les plans technique, administratif et financier
- les axes de travail envisagés pour lesquels le soutien est sollicité : description des tâches à effectuer et de leurs objectifs, méthodologie (personnes impliquées, étapes de travail, calendrier, etc) et budget.

2.2. Calendrier

- Publication de l'appel propositions : 4 mars 2021
- Date limite de réception des propositions : 15 mai 2021
- Annonce des résultats : début juin 2021

2.3. Soumission de la proposition

Les propositions devront être transmises sous forme de fichier pdf unique dans un message avec pour sujet "AAP 2021 Bioinspiration", à l'adresse générique bioinspiration-projet@umontpellier.fr

Toute question pourra être adressée à cette même adresse jusqu'au 15 mai 2021.

2.4. Critères d'évaluation et de tri des projets

Critères d'évaluation

C1 – Qualité scientifique : dimension innovante du projet, cohérence et pertinence de la démarche scientifique. Positionnement par rapport à l'état de l'art

C2 - Valeur ajoutée en termes de potentiel d'application et de perspectives industrielles et commerciales, compatibilité avec les objectifs de développement durable

C3 – Interdisciplinarité & Partenariat : importance et réalité de l'interdisciplinarité au sein du projet (utilisation des sciences en écologie en sens large, chimiques, physiques, informatiques, mathématiques et de l'ingénierie). Pertinence et réalité du/des partenariats académiques et non-académiques, complémentarité et implication des équipes

C4 – Méthodologie et réalisation : clarté des travaux pour lequel le soutien est sollicité et adéquation aux objectifs du projet, budget

Critères de tri

Projets avec un partenaire académique membre d'un des 2 autres Labex/Lab'MUSE

Projet avec un partenaire non-académique

Comité de sélection

Le Comité de sélection sera composé de membres de la direction des Labex/LabMUSE ou d'experts académiques externes à la communauté.

ANNEXE 1

BIOMIMÉTISME ET BIOINSPIRATION : Cadre normatif, références, exemples

Le biomimétisme est un processus de conception, d'innovation et d'ingénierie qui peut s'appliquer à tous les secteurs d'activité et concerner une multitude de produits voire de modèles d'organisations, de la molécule jusqu'à l'écosystème. Il s'appuie sur les solutions soutenables produites par la nature pour développer de nouveaux produits ou services.⁴

Il est un accélérateur de transition vers des concepts pour concevoir un « monde d'après soutenable » tel que le passage à la comptabilité écologique, et pour repenser les indicateurs de mesures de richesse nationale traditionnels tel que le PIB (Produit intérieur brut). Il a ainsi vocation à s'inscrire dans des axes majeurs de politiques publiques nationales ou européennes par sa capacité à répondre au triptyque : • Soutenabilité environnementale • Innovation opérationnelle • Soutenabilité économique⁵.

Les mots « bio-inspiration », « biomimétique », « biomimétisme », « bionique », « biotechnologie », « bioingénierie » prêtent à confusion et on pourrait ajouter à cette liste le mot écomimétisme. Pour faciliter l'emploi et la bonne compréhension des notions, des travaux (2011-2017) ont abouti à la définition d'une norme (ISO TC 266 – ISO NF 18458) et les notions connexes suivantes retenues dans l'écosystème :

La bio-inspiration : approche créative basée sur l'observation des systèmes biologiques.

La biomimétique : coopération interdisciplinaire de la biologie et de la technologie ou d'autres domaines d'innovation dans le but de résoudre des problèmes pratiques par le biais de l'analyse fonctionnelle des systèmes biologiques, de leur abstraction en modèles ainsi que le transfert et l'application de ces modèles à la solution.

La bionique : discipline technique qui cherche à reproduire, améliorer ou remplacer des fonctions biologiques par leurs équivalents électroniques et/ou mécaniques.

Le biomimétisme : philosophie et approches conceptuelles interdisciplinaires prenant pour modèle la nature afin de relever les défis du développement durable (social, environnemental et économique).

La compatibilité avec les objectifs de développement durable découle d'une démarche éthique basée sur un respect de sa source d'inspiration, c'est-à-dire la volonté de contribuer à la conservation de la biodiversité.

La communauté du biomimétisme intègre par ailleurs d'autres approches selon les interlocuteurs et les effets d'aubaine : • Le bio-usage/sourcing (ex. mycorémédiation des sols pollués par des champignons) ; • Le biocontrôle (ex. utilisation d'auxiliaires biologiques vivants comme des coccinelles ou de substances chimiques naturelles comme des phéromones pour lutter contre les ravageurs).

L'utilisation des services d'organismes vivants ne relève pas en soit du biomimétisme mais la démarche amont de recherche d'organismes d'intérêt par le biais de la transposition du monde technologique au monde biologique inclue certains de ces projets dans le biomimétisme (ex. Hemarina)

⁴ Rapport France Stratégie, page 6 : <https://ceebios.com/wp-content/uploads/2020/07/RapportFranceStrategie-Ceebios-Myceco-juillet2020.pdf>

⁵ Définition et applications du rapport N°72 CGDD 2012 : Étude sur la contribution du biomimétisme à la transition vers une économie verte en France : état des lieux, potentiel, leviers.

Depuis, **3 normes** ont été rédigées par le comité ISO/TC 266, Biomimétique

<p>Date: 2015-01-26 ISO 18458:2015(F) ISO/TC 266/SC /GT 1 Secrétariat: DIN Biomimétique — Terminologie, concepts et méthodologie</p>	<p>Date: 2016-06-03 ISO/FDIS 18457 Secrétariat: DIN Biomimétisme — Matériaux, structures et composants biomimétiques</p>	<p>Date: 2014-12-18 ISO 18459:2014(F) ISO/TC 266/GT 3 Secrétariat: DIN Biomimétisme — Optimisation biomimétique</p>
<p>Fournit un cadre pour la terminologie concernant la biomimétique à des fins scientifiques, industrielles et éducatives.</p> <p>Elle classe et définit le domaine de la biomimétique, décrit de nombreux termes ainsi que le processus d'application des méthodes biomimétiques au produit biomimétique à partir d'idées nouvelles. Les limites et le potentiel de la biomimétique en tant qu'approche pour l'innovation ou en tant que stratégie de développement durable sont également illustrés.</p>	<p>Fournit un cadre de techniques biomimétiques pour le développement des matériaux, des structures, des surfaces, des composants et des technologies de fabrication.</p> <p>Spécifie les principes des systèmes biologiques, et en particulier la performance des matériaux biologiques, des structures, des surfaces, des composants et des technologies de fabrication.</p>	<p>Spécifie les fonctions et domaines d'application d'outils informatiques, fondés sur des méthodes d'optimisation biomimétique, pour des problèmes structuraux.</p> <p>Ces méthodes ont pour objectif une application optimale dans le domaine des matériaux pour une réduction du poids ou une amélioration de la capacité et de la durée de vie des composants.</p>
<p>Ainsi qu'une norme expérimentale AFNOR</p>		
<p>XP X42-502 Date: 2017-03-08 Biomimétisme - Intégration de la biomimétique dans les démarches d'éco-conception</p>	<p>Fournit des lignes directrices pour tout type d'entreprise, quelle que soit sa taille, et en particulier les TPE et les PME qui souhaitent initier une démarche d'éco-conception par la biomimétique.</p> <p>La biomimétique ne conduisant pas de manière systématique à des solutions durables, une innovation bio-inspirée visant la durabilité doit intégrer toutes les dimensions d'une biomimétique éco-responsable: conception, production, utilisation et fin de vie des produits employant de l'énergie et des ressources matérielles renouvelables, sans produits toxiques persistants, dans un réseau de relations équilibrées avec d'autres systèmes (cycle de vie). On parlera alors de biomimétisme (réf NF ISO 18458).</p> <p>Une bonne compréhension des principes de conception biologiques dans leur globalité est la base de l'éco-conception par la biomimétique.</p>	

Focus normatif, extrait de *Biomimétisme en France*, Ceebios, juillet 2018

DE NOMBREUX CHAMPS D'APPLICATION, QQ EXEMPLES ⁶

Énergie, Chimie, Matériaux, Gestion de l'information, Urbanisme, Organisations, ...

Dans le secteur de l'énergie, le recours aux énergies propres (solaire notamment), la séquestration du dioxyde de carbone atmosphérique et la mise en œuvre de sources diversifiées et décentralisées correspondent bien aux stratégies adoptées par les systèmes vivants.

De manière similaire, les principes de la chimie verte rejoignent les processus biologiques : utilisation majoritaire d'éléments atomiques abondants, conditions de température et de pression modérées (chimie douce), biodégradabilité et biocompatibilité, catalyse enzymatique...

Les matériaux du vivant sont également remarquables par leur diversité, leurs propriétés multifonctionnelles et leur manufacture par autoassemblage et autoréparation.

Enfin, les systèmes biologiques favorisent une approche minimaliste et une gestion optimisée de l'information pour limiter les coûts énergétiques et la consommation de ressources, et augmenter l'adaptabilité et la résilience.

REFERENCES COMPLEMENTAIRES :

<https://www.fondationbiodiversite.fr/biomimetisme-et-biodiversite/>

⁶ Ceebios : <https://ceebios.com/biomimetisme/>

ANNEXE 2
PARTENAIRES FONDATEURS DE L'AAP et UNITES DE RECHERCHE PORTEUSES
ELIGIBLES

Le LabEx CeMEB (www.labex-cemeb.org) rassemble 10 unités de recherche du domaine « écologie, évolution et biodiversité », s'intéressant à la dynamique et au fonctionnement de la biodiversité et des écosystèmes dans un contexte de changements environnementaux marqués, induit en particulier par les activités humaines. Couvrant tous les types d'écosystèmes (de l'équateur aux pôles, aussi bien terrestres que marins) et d'organismes vivants (des micro-organismes aux grands mammifères), les recherches portent particulièrement sur la biodiversité et les écosystèmes « sauvages » via de nombreux programmes de recherche à long terme sur le terrain. Les approches combinent observation et modélisation, avec de forts apports de l'expérimentation.

Le Labex NUMEV (<https://numev.edu.umontpellier.fr/>), rassemblant plus de 200 scientifiques dans 7 unités de recherche et 4 équipes Inria, focalise sur l'interaction entre les sciences physiques, mathématiques, informatiques et de l'ingénieur, et les sciences du vivant et de l'environnement, pour favoriser l'émergence d'un pôle interdisciplinaire à visibilité internationale. La dynamique recherche-formation-transfert du Labex NUMEV contribue aux grandes évolutions scientifiques, techniques et économiques aux interfaces du domaine MIPS (Mathématiques, Informatique, Physique, Systèmes) et des sciences du vivant et de l'environnement (agronomie, biodiversité, biologie, écologie, santé).

Le LabMuse CHIMIE : issu du laboratoire d'excellence LabEx CheMISyst (*Chimie des Systèmes Moléculaires et Interfaciaux*), il constitue un des laboratoires internes et thématiques de recherche transversale du MUSE. Il s'agit pour ce projet d'étudier, de contrôler et créer des systèmes moléculaires complexes, biomimétiques inédits ayant des applications au sein des trois piliers de MUSE : nourrir, protéger, soigner. Il rassemble plus de 250 chercheurs et enseignants-chercheurs parmi les équipes de recherche issues des 4 instituts du Pôle chimie (IBMM, ICGM, ICSM et IEM).

Labex CeMEB

Contact Labex Cemeb : cemeb-direction@umontpellier.fr

AMAP - Botanique et Modélisation de l'architecture des plantes et des végétations

<http://amap.cirad.fr/fr/index.php>

CBGP - Centre de biologie pour la gestion des populations

<http://www6.montpellier.inra.fr/cbqp>

CEFE - Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

<http://www.cefe.cnrs.fr/fr>

ECO & SOLS - Ecologie fonctionnelle et biogéochimie des sols et des agro-systemes

<http://www.umr-ecosols.fr/index.php/fr>

IHPE - Interactions Hotes-Pathogènes-Environnements

<http://ihpe.univ-perp.fr>

ISEM - Institut des sciences de l'évolution de Montpellier

<http://www.isem.univ-montp2.fr>

CEEM – The Center for Environmental Economics - Montpellier

<https://www.cee-m.fr/>

MARBEC - Marine Biodiversity, Exploitation et Conservation

<http://www.umr-marbec.fr/fr/>

MIVEGEC

<http://mivegec.ird.fr/fr/>

Labex NUMEV

Contact : numev-direction@umontpellier.fr

EUROMOV – Centre Européen de recherche sur le mouvement humain

<http://euromov.eu>

IES – Institut d'Electronique et des Systemes

<http://www.ies.univ-montp2.fr>

IMAG – Institut Montpelliérain Alexander Grothendieck

<http://www.i3m.univ-montp2.fr>

LIRMM – Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier

<http://www.lirmm.fr>

LMGC – Laboratoire de Mécanique et Génie Civil

<http://www.lmgc.univ-montp2.fr>

L2C – Laboratoire Charles Coulomb

<http://www.coulomb.univ-montp2.fr>

MISTEA - Mathématiques, Informatique et STatistiques pour l'Environnement et l'Agronomie

<http://www6.montpellier.inra.fr/mistea/>

Equipes Inria

- Camin - <https://www.inria.fr/equipes/camin>
- Graphik - <https://www.inria.fr/equipes/graphik>
- Lemon - <https://www.inria.fr/equipes/lemon>
- Zenith - <http://www.inria.fr/equipes/zenith>

Lab'MUSE Chimie

Contact : [Pauline Charriaux <pauline.charriaux@umontpellier.fr>](mailto:pauline.charriaux@umontpellier.fr)

Il regroupe les 4 Unités de Recherche mixtes ou instituts, en rattachement principal

[IBMM : Institut des Biomolécules Max Mousseron \(UMR-5247 UM/CNRS/ENSCM\)](https://ibmm.umontpellier.fr/)

<https://ibmm.umontpellier.fr/>

[ICGM : Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux Charles Gerhardt \(UMR-5253, UM/ENSCM/CNRS\)](https://www.icgm.fr/)

<https://www.icgm.fr/>

[ICSM : Institut de Chimie Séparative de Marcoule \(UMR-5257 UM/ENSCM/CEA/CNRS\)](http://www.icsm.fr/)

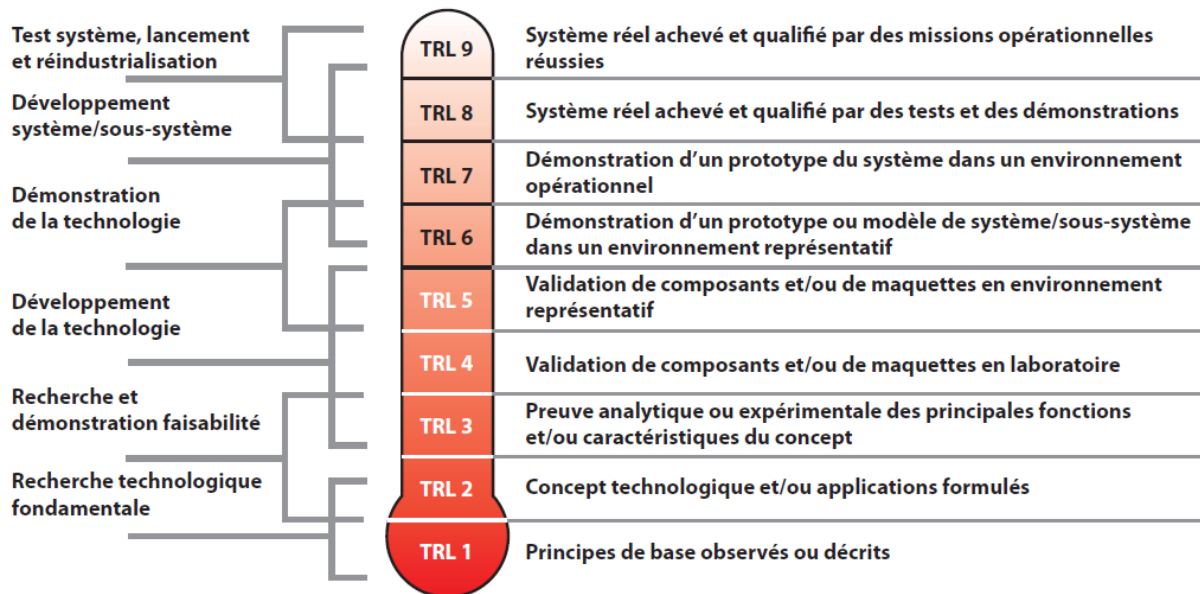
<http://www.icsm.fr/>

[IEM : Institut Européen des Membranes \(UMR-5635 ENSCM/UM/CNRS\)](http://www.iemm.univ-montp2.fr/)

<http://www.iemm.univ-montp2.fr/>

ANNEXE 3 : ECHELLE TRL

L'échelle **TRL** (en anglais *technology readiness level*, qui peut se traduire par **niveau de maturité technologique**) est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc.), notamment en vue de financer la recherche et son développement ou dans la perspective d'intégrer cette technologie dans un système ou un sous-système opérationnel.



Descriptions issues du DoD (Department of Defense) :

TRL / Niveau de maturité technologique	Description
1. Principes de base observés et rapportés	Plus bas niveau de maturité technologique. La recherche scientifique commence à se traduire en recherche appliquée et développement. Les exemples peuvent inclure des études papiers des propriétés de base d'une technologie.
2. Concepts ou applications de la technologie formulés	L'invention débute. Une fois les principes de base observés, les applications pratiques peuvent être inventées. L'application est spéculative et il n'y a aucune preuve ou analyse détaillée pour étayer cette hypothèse. Les exemples sont toujours limités à des études papier.
3. Fonction critique analysée et expérimentée ou preuve caractéristique du concept	Une recherche et développement active est initiée. Ceci inclut des études analytiques et des études en laboratoire afin de valider physiquement les prévisions analytiques des éléments séparés de la technologie. Les exemples incluent des composants qui ne sont pas encore intégrés ou représentatifs.
4. Validation en laboratoire du composant ou de l'artefact produit	Les composants technologiques de base sont intégrés afin d'établir que toutes les parties fonctionnent ensemble. C'est une "basse fidélité" comparée au système final. Les exemples incluent l'intégration 'ad hoc' du matériel en laboratoire.
5. Validation dans un environnement significatif du composant ou de l'artefact produit	La fidélité de la technologie s'accroît significativement. Les composants technologiques basiques sont intégrés avec des éléments raisonnablement réalistes afin que la technologie soit testée dans un environnement simulé. Les exemples incluent l'intégration 'haute-fidélité' en laboratoire des composants.
6. Démonstration du modèle système / sous-système ou du prototype dans un environnement significatif	Le modèle ou le système prototype représentatif (bien au-delà de l'artefact testé en TRL 5) est testé dans un environnement significatif. Il représente une avancée majeure dans la maturité démontrée d'une technologie. Les exemples incluent le test d'un prototype dans un laboratoire "haute-fidélité" ou dans un environnement opérationnel simulé.

7. Démonstration du système prototype en environnement opérationnel	Prototype dans un système planifié (ou sur le point de l'être). Représente une avancée majeure par rapport à TRL 6, nécessitant la démonstration d'un système prototype dans un environnement opérationnel, tel qu'un avion, véhicule... Les exemples incluent le test du prototype sur un avion d'essai.
8. Système réel complet qualifié à travers des tests et des démonstrations	La preuve a été apportée que la technologie fonctionne sous sa forme finale et avec les conditions attendues. Dans la plupart des cas, cette TRL représente la fin du développement de vrais systèmes. Les exemples incluent des tests de développement et l'évaluation du système afin de déterminer s'il respecte les spécifications du design.
9. Système réel prouvé à travers des opérations / missions réussies	Application réelle de la technologie sous sa forme finale et en conditions de mission, semblables à celles rencontrées lors de tests opérationnels et d'évaluation. Dans tous les cas, c'est la fin des derniers aspects de corrections de problèmes (bug fixing) du développement de vrais systèmes. Les exemples incluent l'utilisation du système sous conditions de mission opérationnelle.