

L'écosystème technique national : Compositions cohérentes et conditions de résilience

Ali YOUSNADJ¹

Docteur ingénieur en génie mécanique, ancien directeur de la recherche et de la formation post graduée,
Ecole Militaire Polytechnique de Bordj El Bahri (Algérie)

Reçu : 31/05/2021,

Accepté: 20/09/2021,

Publié: 30/09/2021

Résumé : La production des biens et services met en œuvre plusieurs niveaux d'activités qui renvoient sur des connaissances et/ou compétences qui sont, d'une part, spécifiques et, d'autre part, fortement dépendantes du secteur, voir du sous-secteur, industriel considéré. Dans sa forme complète, cette chaîne d'activités est accrochée à la recherche et raccordée, en aval, au marché qu'elle alimente. L'innovation, le développement de démonstrateurs, leurs fabrications en série et leurs homologations sont au cœur du processus de transformation d'une connaissance, ou d'une idée, en une technologie mature. Le cycle de vie se poursuit par une phase d'exploitation, de maintenance, de rénovation-adaptation pour se terminer par le démantèlement. Cet article est un éclairage sur la composition d'un écosystème technique et le processus de développement des produits et services. L'échelle des TRL, mondialement connue et adoptée supporte cette présentation et situe les antériorités relatives des activités, leurs objets et les structures qui les hébergent. Les voies d'amorçages de la construction d'un écosystème technique cohérent dans une branche technologique et les principales actions structurantes attendues terminent cette contribution.

Mots clés : Ecosystème, Organisation, Antériorité, Recherche & Développement, Engineering, Cohérence, Appropriation

Jel Classification Codes: O30

The national technical ecosystem: Coherent compositions and conditions for resilience

Abstract: The production of goods and services involves several levels of complementary activities that refers to knowledge and / or skills that are specific and highly dependent on the sector, or even of the subsector, industrial considered. In its complete form, this chain of activities goes from the research to the market that request continuously new products and services. Innovation, development of demonstrators, their serial production and their qualification are at the heart of the process of transforming knowledge, or idea, into mature technology. The different phases of the life cycle process need competencies in exploitation, maintenance, renovation and adaptation operations and the dismantling operation. This article hopefully shed a light on the composition of a technical ecosystem in its different and specific activities that carry the development of products and services. The world-known Technology Readiness Level (TRL) scale supports this presentation and locates the necessary relative precedence of these activities, their objects and the specific structures that host them. The levels of initiation of the construction of a coherent technical ecosystem in a technological branch and the main structuring actions expected complete this contribution.

Keywords: Ecosystem, Organization, Anteriority, Research, Conception product, Engineering, Consistency, Appropriation

Jel Classification Codes: O30

¹E-mail : ali.yousnadj@yahoo.fr

Introduction :

L'objet n'est pas de produire un article scientifique classique, documenté et avec renvois sur des références pourtant nombreuses et variées sur le sujet. Nous nous intéressons plutôt aux concepts et dans un souci de montrer, et non de démontrer, leurs importances relatives dans une vision globale permettant de dégager les éléments d'une stratégie d'appropriation des technologies. L'approche des années 1970, connue pour être celle des "Industries industrialisantes" de Gérard de Bernis (1971), bien que décriée, était à notre sens la voie idoine pour jeter les bases d'une industrie nationale dans un contexte d'indigence chronique en cadres techniques. Le pays en a recueilli les fruits directs pendant des décennies ; les fruits indirects que sont la production du développement industriel n'ont jamais cessé : ils portent aujourd'hui le secteur privé. D'autres approches, plus globales pour certaines, sont aujourd'hui possibles ; il faut cependant veiller au respect des antériorités afin que chaque segment déployé trouve un environnement propice à l'expression de son plein potentiel dans la génération de valeur.

Dans le cas des technologies importées, cette chaîne est tronquée dans sa partie amont et des capacités techniques réduites suffisent pour piloter les phases de spécifications-appels d'offres-évaluations-réceptions. Ces capacités sont néanmoins stratégiques. Elles concernent les normes nationales (de sécurité, de protection du consommateur et de l'environnement, etc.) qu'il convient d'élaborer et d'appliquer pour guider les prescriptions des cahiers des charges et s'assurer, dans un second temps, de la conformité des produits mis sur le marché. Les produits issus de l'industrie nationale sont autant concernés. Les activités induites relèvent de l'infrastructures qualité (IQ) qui est la pierre angulaire de l'écosystème technique national. Il faut la poser en priorité absolue.

Au fur et à mesure qu'on affiche une ambition d'intégration dans un secteur technologique donné, la chaîne est à allonger vers l'amont successivement, par le déploiement de capacités de fabrication (rôle de l'engineering) et par la mise en place de capacités de développement-conception de produits (product design). La formation et la recherche doivent accompagner cette dynamique.

Quand un secteur technologique est doté sur toute la longueur de la chaîne ; des synergies internes prennent naturellement place, se renforcent et s'entretiennent pour pérenniser sa dynamique de développement.

Cette complétude ne peut cependant concerner tous les secteurs et sous-secteurs technologiques qui font la puissance industrielle d'un pays. Les pays qui font exception sont rares et se limitent à ceux qui ont une forte tradition technologique (USA, Russie, France). Pour les autres, des choix murement réfléchis et inscrits sur le long terme sont, et ont été, nécessaires.

Ainsi, prioriser un secteur technique revient à déployer, de manière coordonnée et planifiée, des compétences à tous les niveaux en veillant au respect des exigences d'antériorité pour espérer produire, à l'échéance de chaque étape, l'impact attendu. Il serait, entre autres, vain de concevoir un produit sans s'assurer de la disponibilité des moyens de sa fabrication et de sa qualification. On peut, en revanche, acheter une licence-produit si on dispose de moyens de fabrication et de qualification ou carrément opter pour la formule " produit en main". On peut encore réduire la chaîne à des opérations d'importation à condition d'avoir une infrastructure qualité performante. C'est ce qu'on appellera la nécessaire cohérence du système technique dans un secteur industriel donné.

Toutes les configurations listées sont mises en œuvre pour couvrir les besoins d'un pays ; on peut résumer 1/. qu'il n'est pas nécessaire que le système technique relatif à un secteur donné soit complet ; il suffit que les maillons déployés soient raccordés au marché pour produire de la valeur

2/ que la santé et la pérennité d'un secteur dépendent du nombre de maillons (TRL) [2] couverts par la chaîne des compétences disponibles.

Pour conclure cette large introduction, notons que les pays développés positionnent la performance technologique dans les niveaux amont de la recherche et de l'innovation alors que les pays en développement sont en revanche bloqués sur l'étendue de tous les TRL situés au-delà du niveau 4. Une personne peut impacter le marché dans le domaine des TIC lorsqu'un pays entier ne parviendrait pas à trouver sa place dans un secteur industriel lourd comme l'aéronautique ou la construction automobile. L'objet de cet article est de développer une lecture de l'écosystème technique pour aider à encadrer toute volonté de dépasser la situation de stagnation actuelle de notre industrie plombée qu'elle est, par une incapacité à évoluer en toute autonomie et indépendance.

1. L'échelle Technological Readiness Level et les niveaux de maturation des technologies.

Elle est utilisée ci-après pour supporter nos propos et pour faire ressortir les différents niveaux d'activités, les chaînes de compétences et leur rôle dans le développement de produits. Il faut noter qu'on parle bien de chaîne de compétences, et de surcroît techniques, et non de la chaîne de valeur, de Michael Porter, au sens qu'en ont les spécialistes du management et qui concerne toutes les fonctions de l'entreprise

L'échelle TRL (EARTO 2014, USDOE 2013, DGA 2009), qui peut se traduire par niveaux de maturité technologique, est un système de mesure employé pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc.). Elle fournit des livrables clairs autant pour le financement de la recherche que dans le cadre du développement des produits et des systèmes. Elle permet de garantir une progression sûre et de réduire la surprise d'un échec constaté en fin de programme.

D'abord utilisée par les agences gouvernementales américaines, l'usage de l'échelle des TRL s'est largement répandu pour concerner des secteurs d'activité divers relevant de nombreux organismes, entreprises ou institutions publiques de par le monde. Elle permet une compréhension commune de l'état d'une technologie et la gestion du risque, et fournit une aide à la décision aussi bien pour la création que pour le transfert technologique. Par ailleurs, elle encadre le contrôle en amont des développements technologiques génériques ou spécifiques d'une technologie au service d'une mission ou d'une famille de missions futures, et peut suivre la progression d'une technologie tout au long de son développement.

La Norme internationale "ISO 16290/2103 relative aux systèmes spatiaux- définition des niveaux de maturité de la technologie (NMT) et de leurs critères d'évaluation " affecte le TRL le plus élevé, à savoir TRL9, à l'état mature d'une technologie. Cette norme a été produite sur la base de documents antérieurs dont, et notamment, ceux de la National Aeronautics Space Administration (NASA), le Department of Defence (DoD) des États-Unis, l'Agence Spatiale européenne (ESA, Europe) et la Direction générale à l'armement (DGA, France).

2. Technology Readiness Level

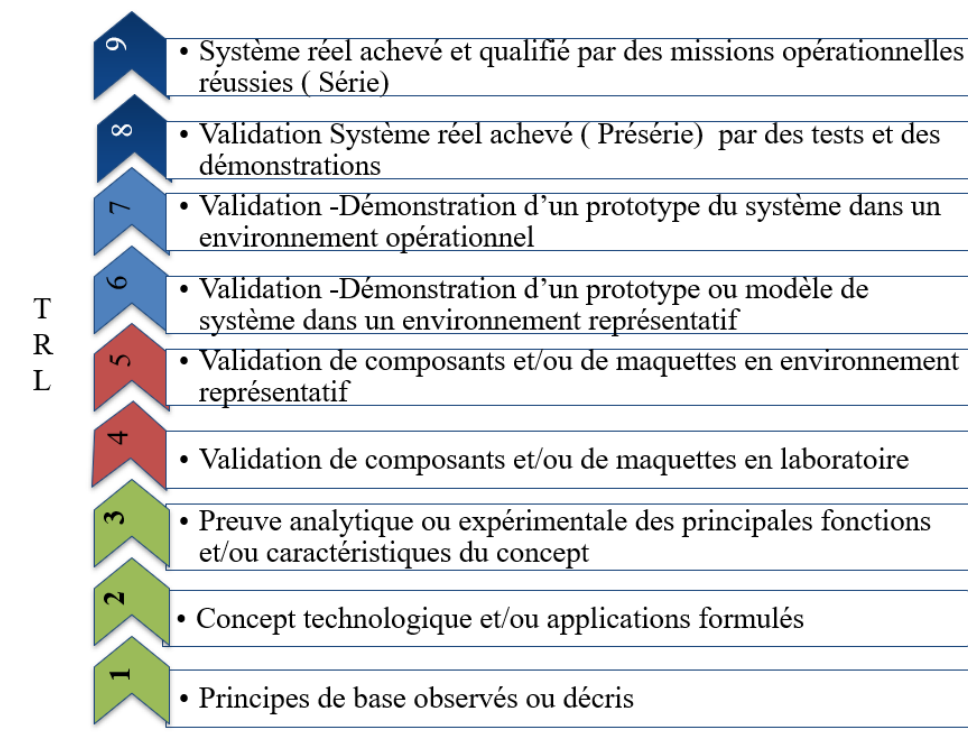
2.1. Définitions des niveaux TRL

Cette norme est nativement dédiée aux matériels relatifs aux systèmes spatiaux qui coûtent chers en argent et en temps ; elle définit la succession des états d'avancement à valider pour bâtir une technologie mature ; la définition de chaque TRL fournit les conditions à remplir à chaque niveau.

Les définitions sont de nos jours utilisées dans un domaine plus large ; elles ont souvent des lectures nuancées et en rapport avec, entre autres le fait qu'il s'agisse d'une technologie de transfert ou d'une création issue de la recherche, que la technologie concernée réalise une fonction à elle seule ou sera

intégrée dans un système ou un sous-système, et que le niveau de duplication prévu pour la technologie : les systèmes spatiaux sont produits à l'unité et la fonction engineering est dissoute dans la phase de développement du démonstrateur. Les définitions des Niveaux de TRL (EARTO 2014, USDOE 2013, DGA 2009) sont listées dans la figure 1.

Figure (1) : Succession des neufs niveaux de TRL



Source : DGA 2009

Il est à noter que “ la validation” supporte la progression dans l'échelle de maturité ; elle est d'abord analytique ou numérique (TRL3) puis expérimentale sur tous les TRL restants et sur un produit qui tend de plus en plus vers sa forme finale avec les conditions réelles d'emploi et d'exploitation.

2.2. Sérialisation de la chaîne des TRL par blocs d'activités

Ces neuf niveaux de TRL jalonnent et valident les étapes du processus de maturation d'une technologie. Il est facile de deviner qu'ils renvoient sur des natures d'activités différentes et des compétences en rapport. La sérialisation en blocs d'activités, présentée ci-après (*Tableau 1*), que l'OTAN a adopté depuis longtemps (Husniaux, 2015) les met en évidence.

Tableau (1) : Sérialisation par blocs des neufs niveaux de TRL

Recherches fondamentale et appliquée		R&D, Validation analytique et sur maquette		Développement de démonstrateurs			Production et mise en service	Exploitation et soutien
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Les niveaux amont (TRL1 à 3) : Recherche de base qui fait le vivier des technologies de demain, 2. Les études technologiques (TRL 4 et 5) : production d'une maquette testée en laboratoire puis en environnement représentatif ; 3. Le développement de produit (TRL 6 et 7) : production d'un démonstrateur validé en conditions représentatives puis réelles ; 4. Production et mise en service (TRL8) : Production d'une présérie ; mise en service pour évaluation 5. Exploitation et soutien (TRL 9) : Le produit de série est validé avec ses documents d'exploitation et de maintenance définitifs								

Source : (HUS 2015)

2.3 Les structures de domiciliation des différents TRL : Connexions et documents d'interaction

Les activités qui portent le processus de maturation d'un produit font appel à des compétences différentes et sont naturellement hébergées dans des structures différentes. Le tableau 2 présente de manière synthétique et précisent leurs apports, leurs connexions et les documents qui régissent leurs interactions.

Tableau (2) : Les structures d'accueil des activités, missions et documents produits

Recherche				Etudes et Essais			Méthodes et engineering	Emploi
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1- Le laboratoire de recherche : produit de la connaissance et enrichit le patrimoine des règles, des outils, des matériaux et des procédés ; 2- Le bureau d'études : élabore le dossier "de conception produit" sur la base d'un cahier des charges et des normes en la matière ; il est le maillon de jonction avec le marché ; 3- Le bureau des méthodes : sur la base du volume de production ciblé, des moyens éventuellement disponibles et des contraintes QHSE, il produit un dossier de fabrication ; 4- Le bureau d'engineering : étudie, définit et déploie un site de production neuf qui satisfait aux exigences du dossier de fabrication ; il est aussi associé pour reconverter un site de production ; 5- Environnement d'emploi et centres d'essai : ils guident les actions du BE pour élaborer en amont le dossier de conception produit, l'ajuster en cours de développement et enfin pour rédiger les manuels d'exploitation et de maintenance.								

Source : Auteur

Dans ce qui suit, nous passons en revue ces différents blocs d'activités que sont la recherche, la conception produit, la fabrication, les essais ou plutôt l'infrastructure qualité qui leur donnent du sens.

Avant de poursuivre, Il est utile de signaler qu'il existe une échelle équivalente à celles des TRL qui ne considère que les aspects fabrication ; " Echelle MRL ou Manufacturing readiness level" (OSD,2011). Elle comprend huit niveaux (de 3 à 10) ; le niveau 3 s'apparente dans son principe au TRL 3, le niveau 10 se situerait en aval du TRL9. Nous l'évoquons pour signaler que l'outil de production lui-même peut faire l'objet d'un processus de maturation.

3. Relativiser le rôle de la recherche dans le développement technologique

Le développement technologique est intimement lié, dans une vision communément admise, au développement de la recherche scientifique et technique. L'usage courant, consiste par la suite à poser la problématique globale du niveau technologique d'un pays comme étant un problème de recherche, qui doit être réglé par les chercheurs.

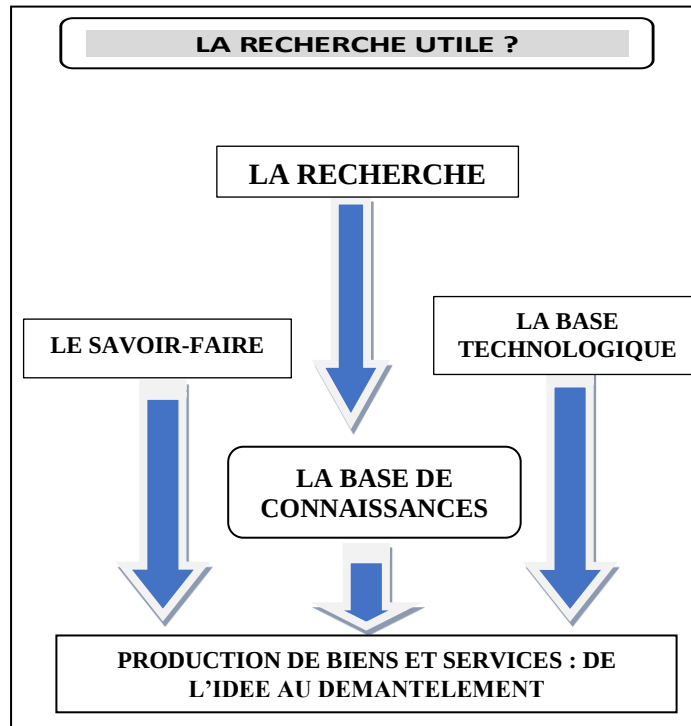
Il s'agit là d'un raccourci fortement erroné qui tronque le problème de ses parties les plus importantes et qui conduit à des propositions de solutions qui ne sont, ni suffisantes ni adaptées pour induire une véritable dynamique de développement. Un simple coup d'œil sur l'échelle des TRL suffit pour en prendre conscience. Nos précédents propos n'ont fait qu'étayer cette réalité très bien mise en évidence par la position de la recherche dans le processus de maturation d'une technologie : tout à fait en amont et uniquement sur l'étendue des TRL1 à 4.

Cette erreur de perception trouve son origine dans la transposition de la vision qui prévaut dans les pays industrialisés qui sont à fortes traditions technologiques. Ces pays disposent en effet d'une maîtrise des métiers de l'ingénieur et d'une main d'œuvre qualifiée qui assurent une prise en charge des besoins de tous les niveaux d'activités qui jalonnent le processus du développement de nouveaux produits : conception, fabrication, évaluation, certification, homologation et exploitation, ...etc.

Pour ces pays, les performances relatives des matériels, leurs supériorités technologiques et leur compétitivité sur le marché dépendent fondamentalement de l'intégration des dernières connaissances et résultats de la recherche. Aussi, et pour eux, la recherche est réellement le moteur du développement technologique et joue le rôle central qui lui est attribué. La structuration de l'échelle des TRL illustre cette lecture dans la mesure où sept niveaux de TRL sur neuf sont réservés pour jalonner le processus qui mène au démonstrateur.

Des étapes majeures restent pourtant à franchir avant de disposer du livrable attendu par le marché. Le processus d'industrialisation (méthodes, dossier de fabrication, engineering ;...) en est un et peut demander à lui seul plusieurs années et des investissements sans commune mesure avec ceux qui ont permis de développer le démonstrateur. Ces étapes sont supposées acquises et maîtrisées de longue date pour ces pays ; elles ne le sont pas pour les pays en développement.

Cependant, et à contrario, pour les pays sans tradition technologique en général, et sans expérience dans la fabrication de matériels complexes en particulier, le problème d'une ambition industrielle interpelle sur une dynamique dans tous les maillons de la chaîne de développement et de production des biens. L'effort attendu déborde donc largement du seul segment "recherche" qu'elle soit fondamentale, appliquée ou de développement. La recherche ne contribue en effet qu'à la compréhension précise des phénomènes et processus ; elle produit de la connaissance et conduit à des découvertes, des inventions ou des innovations. Elle doit être insérée dans un écosystème qui prend le relais pour la valorisation des connaissances qu'elle produit.

Figure (2) : La recherche et les conditions de valorisation des résultats.

Source : Contribution personnelle

La valorisation ultérieure des résultats dépend des capacités traditionnelles de conception – fabrication-évaluation ; elle renvoie sur la nécessité d'un tissu industriel et d'un savoir-faire qui est le résultat d'une pratique quotidienne du métier et sur le terrain : il ne peut être enseigné.

La figure 2 présente schématiquement cette double dépendance du processus de valorisation des résultats de la recherche avec la base technologique et le savoir-faire. La recherche ne peut pas produire le développement industriel à elle seule, le croire et y persister ne peut conduire qu'à la stigmatiser à tort. Elle doit cependant, et c'est son rôle, contribuer à dynamiser et à développer la performance des capacités industrielles déjà déployées. L'intégration des résultats de la recherche est source d'innovations qui peuvent être,

- ✓ des innovations incrémentales qui préservent le produit et l'outil de production : elles sont faciles à intégrer et comportent peu de risques ; l'avantage concurrentiel est cependant faible et limité dans le temps ;
- ✓ des innovations de rupture qui permettent des produits, ou des choix de solutions, en rupture avec les habitudes du marché : leurs intégrations bousculent aussi les habitudes de production, demandent plus de temps et d'investissements. Elles comportent des risques mais l'avantage concurrentiel est déterminant.

Avant de quitter cette partie recherche, il est utile d'aborder le concept "innovation" qui n'est à notre sens qu'un processus de conception osé et en rupture avec les solutions traditionnelles ou les caractéristiques habituelles d'un produit ou d'un service. Elle doit cependant conduire à un produit qui a un marché. On peut ainsi énoncer que : " *l'innovation est une rencontre du techniquement possible et de l'économiquement désiré*" (RST 1985)

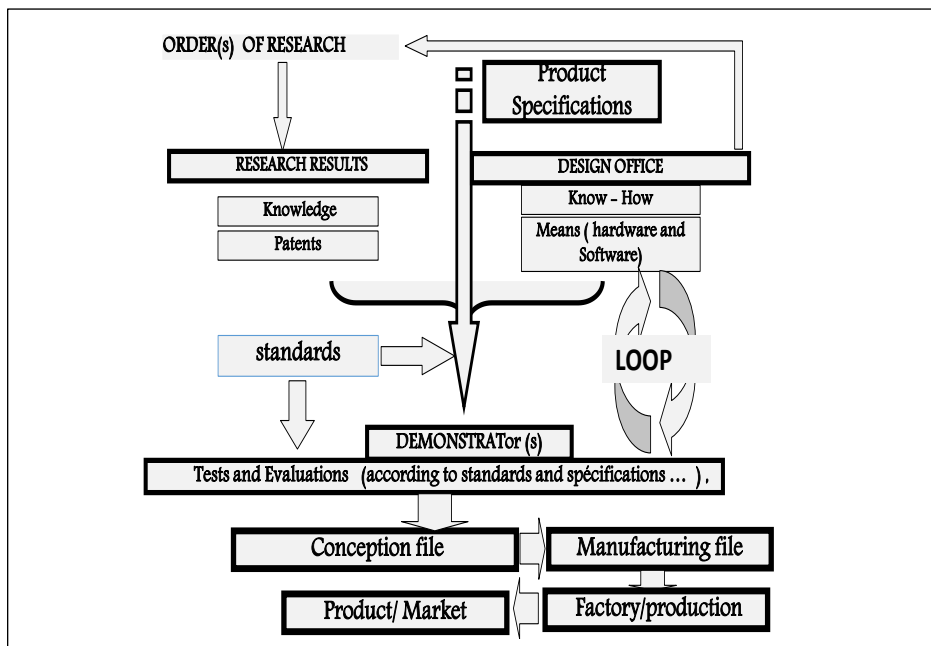
Le volet marketing n'est pas à négliger, il peut s'avérer nécessaire pour préparer le marché. Notons aussi que l'innovation n'est pas un éclair de génie à un moment béni dans la vie de quelqu'un. C'est plutôt l'effet de groupes, souvent pluridisciplinaires ; elle peut être managée et des théories existent (Théorie des C&K, entre autres) (Garel et Mock 2012). C'est un travail collaboratif de conception et de développement de produit.

4 Le rôle du bureau d'études

Le bureau d'études est dans une position charnière dans l'échelle des TRL, il englobe les TRL 5, 6 et 7, dits de développement technologique. Il est le moteur de tout le processus de maturation et il est vital dans le contexte actuel d'obsolescence rapide des produits et de circulation de l'information, des techniques et des technologies. *Il peut devenir transparent et sans objet dans une économie figée, protégée et donc sans concurrence comme c'était le cas de notre pays.*

L'échelle des TRL pose objectivement les jalons qui mènent vers un produit mature. Elle ne fait cependant référence ni aux moyens, ni au temps ni à la manière qui permet de satisfaire un niveau de TRL donné. La figure quatre, ci-après, déroule quant à elle le processus de conception – qui est toujours itératif- et situe les interactions avec la recherche en amont et le marché qui est l'émanation de tout besoin. Le rôle du Bureau d'études est de produire un démonstrateur (TRL 7). Ces TRL 5, 6 et 7 ne sont pas satisfaits de manière déterministe et linéaire. Le chemin est jalonné d'échecs-réussites partielles qui construisent progressivement la solution optimale qui doit être acceptable au regard des objectifs fixés dans le cahier des charges.

Figure (3) : Le Bureau d'études est au cœur du processus de maturation.



Le démonstrateur est évalué en conditions d'emploi sous la responsabilité du bureau d'études. S'il est jugé satisfaisant, le dossier d'études est formalisé et transmis au bureau des méthodes qui prépare son industrialisation.

Le travail du bureau d'études démarre avec la réception d'un cahier des charges produit qui précise les objectifs et les contraintes ; il est lui-même le résultat d'études amont sur la faisabilité et l'opportunité du lancement des études. Le processus de conception est alors initié. Il met en œuvre des cycles proposition-validation et peut conduire à explorer trois boucles principales :

Boucle 1: le BE met en œuvre son savoir-faire et son expérience pour développer un démonstrateur conforme aux exigences des normes et du cahier des charges (coût, délai, type de clientèle, ..). Il y arrive en s'appuyant sur des solutions matures traditionnelles et fortement réglementées qu'il maîtrise et qu'il a expérimentées ; les capacités de fabrication mobilisables sont présentes et suffisantes. Il valide le dossier de conception du produit et passe le relais au bureau des méthodes.

Boucle 2 : Les solutions et les acquis traditionnels et maîtrisés sont en échec face à l'une ou l'autre des exigences intangibles du cahier des charges, des normes techniques de fabrication ou d'emploi ; le bureau d'études est alors contraint de chercher et de puiser dans les résultats de la recherche (publications, brevets, communications, ...) pour dépasser son incapacité. Ce cas de figure comporte des risques et prend nécessairement plus de temps car les choix de solutions (nouvelles) doivent être validés. Ceci fait, elles intègrent le patrimoine des acquis, "ou recettes", du BE. Un laboratoire de recherche, qui fait référence dans le domaine technique concerné, est souvent associé dans la démarche.

Boucle 3 : Les résultats de la recherche accessibles ne permettent pas de dépasser la situation de blocage ; le BE émet alors un ordre de recherche appliquée pour la débloquent. Il est bien entendu préférable d'anticiper sur ce genre de situations qui risque d'allonger exagérément les délais. Il est raisonnable de recourir, en attendant et si possible, à des concessions sur les exigences du cahier des charges pour avancer dans le processus de développement. L'aboutissement de l'ordre de recherche est porteur d'innovation.

Les boucles 2 et 3 sont des porteuses de synergie entre la recherche et le développement de produits. La suite du processus de maturation de ce nouveau produit peut faire apparaître d'autres faillites des solutions traditionnelles de fabrication, d'exploitation ou de maintenance qui nécessitent l'activation d'autres voies de synergie avec la recherche. *Le développement de nouveaux produits est le vrai catalyseur de la recherche tant pour en valoriser les résultats disponibles que pour lui fixer de nouveaux défis.*

Cette présentation met largement en exergue la très forte interaction (ou synergie) entre la fonction recherche et la mission du bureau d'études quand il est contraint de sortir de ses acquis traditionnels pour développer des produits concurrentiels. Sans la pression du marché et sa demande en produits innovants et compétitifs, le BE jouerait la prudence technologique en "conservant" ses acquis traditionnels pour ne pas prendre de risques. Quelques remarques doivent être faites :

1/ le cas extrême, non viable dans les économies ouvertes, est de jouer le statu quo à l'extrême, de ne pas développer de nouveaux produits et de continuer à reproduire à l'infini celui qui est en cours de production et pour lequel les moyens et les process de fabrication sont réglés.

2/ Dans beaucoup de situations, la phase de fabrication en série qui suit la validation du démonstrateur est sous traitée entièrement : l'industrie électronique est particulièrement concernée ; c'est le cas des produits Apple et de beaucoup d'autres qui sont sous-traités en Chine. Les essais de qualification restent cependant internes et propriétaires

3/ L'industrialisation n'est pas systématiquement entreprise dès la finalisation du démonstrateur. L'industriel peut choisir de la différer pour différentes raisons : celle de ne pas tuer son produit équivalent qui tient encore la concurrence est la plus importante.

5-L'engineering industriel :

Notons tout de suite que l'engineering industriel est basé sur des technologies matures largement éprouvées et maîtrisées et dont l'emploi est fortement encadré et réglementé. Il est vu ici selon sa place dans le processus de développement de produit et non selon une lecture ciblant l'innovation dans l'outil de production ; celle-ci nous replacerait dans le processus de maturation de technologies au service de l'engineering. Notons aussi que le profil de compétences de l'ingénieur en génie industriel est différent de celui du chercheur et de celui de l'ingénieur de conception de produit. Ces trois catégories de profils sont positionnées à des niveaux d'observation différents des technologies :

1. Le chercheur travaille au niveau des matériaux, des procédés et des phénomènes qui régissent les comportements,
2. L'ingénieur de conception produit développe des composants, des organes, des sous-systèmes et des systèmes qui réalisent des fonctions de transformation ou de transfert,
3. L'ingénieur en génie industriel utilise des composants, des sous-systèmes et systèmes pour développer des sites industriels. Il s'appuie sur les caractéristiques techniques (input, output) et d'emplois fournies par les fabricants pour les choisir et les déployer de manière harmonieuse et cohérente et conformément aux objectifs de production. Il a un niveau d'observation macroscopique des technologies et il dispose d'outils de représentation et de simulations spécifiques.

Notons aussi que l'engineering industriel est associé avec,

1. Le besoin de produire en quantité industrielle dans un contexte de maîtrise des coûts, des délais et dans le respect des contraintes QHSE ; l'intervention de l'opérateur humain est réduite et/ou fortement encadrée.
2. Le déploiement de moyens de production fortement spécifiques qui permettent entre autres de manipuler des charges lourdes et dans le respect des mêmes contraintes.

L'exemple ci-après (du moulin artisanal à la minoterie industrielle) donne une lecture synthétique de la fonction engineering :

- *Le moulin artisanal* : il cerne le procédé de production de la farine par broyage du blé ; il n'a pas changé. L'usage est manuel pour un besoin personnel et sans relation client ;
- *La minoterie traditionnelle* : Le nettoyage est fait par le client. L'action de broyage est mécanisée. La manipulation, le transfert et la supervision sont assurés par un opérateur. Le niveau de production est plus élevé mais la qualité est aléatoire et les conditions restent pénibles.
- *La minoterie industrielle* : L'ensemble des opérations que sont la réception du blé, son nettoyage, sa transformation, la séparation son-farine, les transferts ainsi que le conditionnement et le stockage sont mécanisés, automatisés et supervisés. Ce qui permet des volumes de production sans communes mesures et dans le respect de contraintes de qualité, hygiène, sécurité et environnement (QHSE) sévères.

Dans ce cas, comme dans beaucoup d'autres, il n'y a innovation ni dans le produit ni dans son processus d'obtention : les apports de l'engineering sont dans la mécanisation, l'automatisation et la supervision des différentes phases de transformation et des opérations de transferts définies dans le processus de production.

5.1 Engineering de process et Engineering de produit

Dans l'exemple de la minoterie, on s'intéresse à industrialiser un processus connu de longue date et qui a intégré au fil du temps les technologies utiles pour améliorer la performance : C'est un cas d'engineering process dans lequel les opérations de transformation-transfert peuvent concerner des produits pulvérulents, liquide, pâteux ou gazeux. L'engineering produit concerne pour sa part des opérations sur des produits

solides ; les situations sont plus variées et ont de fortes spécificités liées à la nature du produit et des effets d'échelle.

L'engineering de process concerne en particulier les secteurs agro-alimentaire (minoterie, huilerie, biscuiteries, boissons, ...), des matériaux (aciéries, laminoirs, cimenteries, briqueteries, carrières, ...), Oil & Gaz, de la chimie (matières plastiques, aromes, ...), de la production pharmaceutique (par formes sèche, liquide, pâteuse ou gazeuse), etc.

L'engineering de produits quant à lui, couvre des situations non dénombrables qui peuvent être de complexités et de tailles très variables. Les industries automobiles, d'appareils électroménagers et électroniques en sont des exemples illustratifs de la variété technologique des situations.

5.1.1 L'engineering de process :

Dans le cas de l'engineering de process ; il s'agit d'industrialiser des processus souvent maîtrisés depuis longtemps. Les unités sont standardisées et n'exigent, une fois déployées, que des opérations de maintenance et de calibration durant leurs durées de vie qui sont élevées. La compétence acquise est n fois transposable, seul un effet d'échelle oblige à réajuster les capacités des postes de transformation et des moyens de transfert. Le même projet peut par ailleurs être dupliqué aux quatre coins du globe (minoterie, huilerie, etc.).

Dans ces cas, il n'est point besoin de maturation sauf si l'objet est de modifier la technologie au niveau d'un poste de transformation, d'un moyen de transfert ou de l'instrumentation et du contrôle. Quand il s'agit d'un produit nouveau (un nouveau produit chimique par exemple), l'échelle des TRL reprend toute son importance ; le démonstrateur est une unité pilote semi industrielle et qu'il faut déployer à l'échelle souhaitée une fois qu'elle validée.

L'engineering de process est plus facile à aborder et les actions d'appropriation peuvent cibler les études et la réalisation dans un premier temps. La saturation rapide du marché interne est à prendre en compte, elle oblige à s'inscrire dans une ambition à l'international et/ou à mettre en place des compétences intersectorielles. Des voies d'apprentissage sont à emprunter aussi bien par le déploiement d'unités simples que par l'appropriation de la maintenance des unités déjà déployées, leur mise à niveau, la calibration des instruments et leur modernisation.

Notons que la fonction engineering de process s'apparente à 'un jeu de lego' dont les pièces sont cataloguées par des fournisseurs et qu'il suffit d'assembler pour réaliser la succession des opérations de transformation et de transfert nécessaires. Les offres de logiciels du marché ainsi que les TIC ont largement contribué à rendre possible cette lecture de l'engineering. La difficulté est dans l'aménagement du site, son organisation et son adaptation aux moyens à déployer.

5.1.2 L'engineering de produit :

Dans le cas de l'engineering produit on peut distinguer deux cas de figure :

- L'engineering mono produit ou de produits standards de la même famille tels que les vis, les boulons et écrous HR, les roulements, les composants électroniques, qui sont fabriqués en très grandes quantités et qui ne peuvent pas être frappés d'obsolescence. Cette forme s'apparente à l'engineering de process dans la mesure où elle ne renvoie pas à des études amont, que les process sont maîtrisés et que les moyens de fabrication sont déployés pour de longues durées ouvertes. L'outil de production est néanmoins très spécifique et à base de machines spéciales conçues pour le produit en question. Chaque produit fait appel à des compétences et à un savoir-faire dédié. La visite d'une boulonnerie HR (Oued Rhiau) suffit à prendre toute la mesure de ces propos.

- L'engineering de produits non standards ou de systèmes : il s'agit ici de produits en développements qui ont atteint le TRL7. Il s'inscrit comme une étape dans le processus de maturation. Sur la base du dossier de conception, du volume de production estimé et de la cadence nécessaire, le bureau des méthodes formalise le dossier de fabrication (de série) que l'engineering doit traduire en site de fabrication. Le bureau des méthodes peut être amené, en concertation avec le bureau d'études à revoir les plans du démonstrateur sur des détails de forme, de cotation, de traitement ou de spécification sur surface fonctionnelle surtout quand l'option de machines spéciales ou de transfert est indiquée. Ces quelques lignes suffisent pour convaincre que, dans ce cas, le bureau d'engineering doit coller aux spécificités du produit et mener une étude dédiée ; il peut obliger à définir, étudier et faire réaliser des postes de transformation et/ou des lignes de transfert spécifiques (cas de l'industrie automobile).

Le poids de cette étape dans le processus de maturation est très variable et résulte d'un compromis entre les contraintes et les objectifs. Plus la série sera grande, plus il est possible d'investir dans des moyens spécifiques qui autorisent une réduction des coûts, des cadences élevées et de meilleures performances. Les pièces forgées, par exemple, ne peuvent pas être prescrites lors de la phase de développement du démonstrateur car elles nécessitent des outillages trop coûteux et elles ne sont pas encore dans leurs formes définitives ; elles peuvent cependant trouver place dans le dossier de conception final. La conception peut subir de légères modifications qui améliorent, ou du moins préserve, les performances validées du démonstrateur. Le lancement d'une présérie reste néanmoins nécessaire pour valider définitivement le produit et son outil de production.

Cette étape d'engineering, quasiment transparente dans l'échelle des TRL telle qu'elle est définie dans la littérature, peut devenir le vrai défi dans un secteur et pour un produit dans lequel on n'a pas de tradition technologique. A titre d'exemple et dans l'usine Renault de Douai et en 1980, la robotisation de la chaîne de montage de la carrosserie a été un vrai défi même pour un constructeur pourtant aguerri (Yousnadj 1983). Elle a obligé l'ajout d'un second plancher pour intégrer l'enchevêtrement des convoyeurs qui alimentent les différents postes et plusieurs mois de mises au point, de découverte et de maîtrise du nouvel outil de production qu'était le robot industriel.

Par-delà cette forte interaction produit – outil de production, l'engineering de produits est un défi continu du fait d'une obsolescence rapide et de la nécessité de s'inscrire dans une dynamique d'amélioration continue. Cette problématique est au centre de tout le processus d'engineering aujourd'hui : les technologies le permettent. Ce n'était pas le cas par le passé.

En effet, à titre d'exemples et dans l'industrie automobile, la Renault 4 (1961-1992), la Ford Lizzie (1908-1927) et la coccinelle de Volkswagen (1938-2003) ont été produits à plus de 8,16 et 21 millions d'exemplaires. Ces volumes de ventes et ces durées de vie de l'appareil de production ne sont plus de mise aujourd'hui : Un modèle, ou version, de véhicule dure en moyenne cinq à six ans et doit être produit autour 1000 unités/jour pour espérer rester compétitif. L'outil de production doit permettre de telles cadences et rester flexible pour une reconversion rapide et à moindre coût.

Aussi les machines de transfert fortement spécifiques à un produit sont éliminées, la main d'œuvre est réduite de même que les machines conventionnelles qui exigent un lent travail de reprise des réglages. Plusieurs mois d'arrêts étaient nécessaires pour adapter une chaîne de montage existante à un nouveau modèle de véhicule et une durée moyenne de cinq à six ans était dans le planning des constructeurs pour préparer l'industrialisation d'un modèle validé. Grâce à l'informatique et aux nouveaux outils de production que sont les Robots industriels, les MMT, les CNC, et les soft de conception à base de modèles 3D, les délais d'industrialisation ainsi que ceux nécessaires à la reconversion d'un site ont été fortement réduits. Des modèles de véhicules différents sont prévus nativement sur la même chaîne de montage. La dynamique actuelle du changement des modèles de véhicules et leur coût sont portés par la puissance de ces outils.

Ces mêmes outils, et d'autres, ont largement facilité le travail des ingénieurs en génie industriel. Le temps de la table à dessin et des catalogues sur papier est révolu pour laisser la place à des logiciels de plus en plus puissants et à une assistance en ligne par les fournisseurs de composants et systèmes (équipementiers) et fournisseurs d'équipements de production. La fonction engineering peut concerner une reconversion d'unité de production ou une création ex nihilo ; elle peut cibler un produit simple ou complexe pour le fabriquer en petite, moyenne ou grande série et sur des durées variables.

Ce large tour d'horizon donne divers aspects de la fonction engineering industriel qui est un niveau d'activité obligé dans le processus de maturation des technologies. L'industrialisation est " l'heure de vérité " pour tout le processus de maturation. Le produit développé ne peut avoir un marché que s'il est compétitif ; il peut être abandonné si ce critère n'est pas validé par les études ; c'est le cas de toute la division voiture électrique de Dyson dans laquelle il a pourtant investi plus de deux milliards d'euros (DYS 2019)

L'engineering est un métier ou un ensemble de métiers spécifiques qui donnent vie à l'outil de production selon trois phases : études, "procurments" et réalisation. Il a ses propres outils et se caractérise par de fortes spécificités par secteur, voire sous-secteurs, industriels. Il doit être promu et appuyé par des profils de formations spécifiques ; une véritable révolution est attendue dans notre système de formation.

6-L'infrastructure qualité (IQ) :

Elle regroupe la métrologie, la standardisation (normalisation), l'accréditation et l'évaluation de conformité. Un système IQ internationalement reconnu à l'international est une garantie de conformité aux standards inhérents aux produits et services. Pour rester dans le fil conducteur adopté dans cette contribution et qui l'échelle des TRL, rappelons qu'elle est basée sur des campagnes d'essai de validations expérimentales successives dès le TRL4 pour attester un niveau de maturation : la mesure est donc au centre de la démarche. La métrologie et les essais, définis par des normes, sont au cœur du processus de maturation et tout produit doit être certifié conforme par un laboratoire accrédité avant sa mise sur le marché. Les infrastructures qualité sont aussi des outils de promotion de la compétitivité et de lutte contre la concurrence.

Un système IQ porte le processus de maturation, constitue un prérequis pour l'accès aux marchés internationaux et participe à la protection des consommateurs et de l'environnement. Il est la pierre angulaire de tout l'écosystème technique. De nombreux pays en développement ne sont malheureusement que partiellement, ou pas du tout, pourvus. Ces pays n'ont pas de tradition de développement de produits et les opérateurs, éligibles à l'export doivent recourir à de complexes et coûteuses évaluations de conformité à l'étranger.

Le système IQ relève de l'Etat et il comprend trois institutions :

Le corps des standards national :

- Fournit un accès aux normes développées par les corps de standards nationaux ou internationaux comme base pour des réglementations techniques
- Développe les normes nationales basées sur les niveaux internationaux

L'IANOR (Institut algérien de normalisation) remplit cette fonction en Algérie et le gouvernement est conscient de son importance ; une nouvelle loi sur la normalisation est en cours de finalisation

L'entité nationale de métrologie :

- Établit et offre des mesures fiables et adaptées comme base de la performance pour les standards,
- Offre des services de calibration traçables et efficaces aux entreprises.

L'ONML remplit cette fonction en Algérie, mais sa vision reste dans l'esprit de la loi 1991 sur la métrologie nationale qui est limité au volet transactionnel. La nouvelle loi, votée en 2017, concerne la santé et la sécurité du citoyen ainsi que la protection de l'environnement. L'organe en charge de la métrologie devrait dépasser aussi bien le cadre que le statut actuel de l'ONML (Office nationale de métrologie légale).

Le corps d'accréditation national :

Autorité indépendante, et reconnue à l'international, elle approuve les compétences techniques des laboratoires de test et des corps d'inspection et de certification.

ALGERAC remplit cette mission mais des renforts en moyens et en experts lui sont nécessaires. Les besoins ne peuvent qu'augmenter avec la mise en application de la nouvelle loi sur la métrologie.

Ces infrastructures qualité concernent toute la chaîne des TRL, régulent leurs activités et veillent à leur cohérence pour porter une convergence progressive vers un produit mature, conforme aux attentes du marché et respectueux de l'environnement d'emploi.

Elles sont aussi d'un intérêt capital même dans la couverture des besoins laissés à l'importation. Elles guident la rédaction du cahier des spécifications et les phases contrôles de la conformité des livrables. En dernière illustration de l'importance de cette IQ, il suffit de relever que même pour les entreprises championnes de la sous-traitance, la phase contrôle et évaluation est gardée en interne pour préserver la force de leur label. Comme autre exemple, la délégation générale à l'armement (France) qui était un empire industriel a été amenée à se dessaisir des capacités de production qui ont fait sa renommée (DCN, Giat, ...) mais elle a gardé en interne tous les centres d'essai et d'évaluation malgré la baisse évidente de leur niveau d'emploi.

7 -l'exploitation

“ Qui veut aller loin, ménage sa monture ” : une exploitation conforme aux capacités, et fonctionnalités, du produit est le meilleur gage du maintien en condition et de réduction de la charge maintenance. D'un produit, on attend cependant une aptitude à répondre aux besoins de l'emploi pour lequel il est destiné ; il doit être capable de tenir les performances affichées comme arguments de vente. On se retrouve à nouveau dans l'engrenage de la *validation mais en conditions réelles d'emploi et par une variété d'utilisateurs qui n'ont pas la connaissance* de l'équipe de développement sur le produit.

Les recommandations d'exploitation, consignées dans un document spécifique, doivent permettre d'utiliser le produit au maximum de ses performances sans nuire à son caractère opérationnel. Elles doivent aussi prévenir l'utilisateur sur toutes les sources de danger tant pour le protéger que pour parer aux poursuites pour dédommagement en cas d'accident

Le suivi en exploitation en vue de la validation de l'adéquation performances/maintenabilité du produit fait partie du processus de maturation. Encore une fois la démarche n'est pas linéaire, les retours d'expériences de terrain sont pris en compte dans les dernières mises au point.

Une erreur de conception peut malgré tout traverser les niveaux de TRL, c'est déjà arrivé. Deux grands constructeurs automobiles en ont déjà fait l'expérience (Mercedes, Toyota, ...) (LINT 2011) ; ils ont dû rappeler en usine des centaines de milliers de voitures, voir des millions pour Toyota.

Cet exemple de rappel en usine démontre tout l'intérêt du respect de la validation de la succession TRL. La validation doit aussi concerner les intrants qui peuvent être des composants, des sous-systèmes ou des systèmes entiers.

8-La formation

Les précédents chapitres, en appui sur l'échelle des TRL, ont mis en évidence les types d'activités qui supportent le développement d'un produit. Il apparait clairement qu'ils renvoient sur des connaissances et

des compétences spécifiques. Trois profils de base, qui sont à des niveaux d'observation différents des technologies, semblent pouvoir couvrir les besoins ; ce sont :

- L'ingénieur en génie industriel qui est un intégrateur de composants, sous systèmes et systèmes au service de la conception et du déploiement de sites industriels ; il est spécialiste par branche d'activité.
- L'ingénieur de conception de produits qui a une compétence pluridisciplinaire et qui utilise des outils, des règles, des matériaux, des procédés et des composants standards pour produire des organes et des systèmes ;
- L'ingénieur de recherche qui est plutôt un spécialiste dans un domaine réduit pour y produire de la connaissance sur les matériaux, les procédés, les règles et les outils. Notre système de formation est plutôt calé sur cette catégorie.

Tableau (3) : Exemple de répartition des besoins en profils d'ingénieurs dans un pays industrialisé

Occupational Title	Employment, 2008	Projected Employment, 2018	Change 2008-2018	
			Number	Percent
Engineers	1,571,900	1,750,300	178,300	
Aerospace engineers	71,600	79,100	7,400	
Agricultural engineers	2,700	3,000	300	
Biomedical engineers	16,000	27,600	11,600	
Chemical engineers	31,700	31,000	-600	
Civil engineers	278,400	345,900	67,600	
Computer hardware engineers	74,700	77,500	2,800	
Electrical and electronics engineers	301,500	304,600	3,100	
Electrical engineers	157,800	160,500	2,700	
Electronics engineers, except computer	143,700	144,100	400	
Environmental engineers	54,300	70,900	16,600	
Industrial engineers, including health & safety engineers	240,400	273,700	33,200	
Health & safety engineers, except mining safety engineers	25,700	28,300	2,600	
Industrial engineers	214,800	245,300	30,600	
Marine engineers and naval architects	8,500	9,000	500	
Materials engineers	24,400	26,600	2,300	
Mechanical engineers	238,700	253,100	14,400	
Mining and geological eng., including mining safety engineers	7,100	8,200	1,100	
Nuclear engineers	16,900	18,800	1,900	
Petroleum engineers	21,900	25,900	4,000	
All other engineers	183,200	195,400	12,200	

Source : Minovski 2011).

On pourrait, bien entendu, élargir à d'autres profils d'ingénieurs et particulièrement vers ceux qui gèrent le site de production : les ingénieurs de production et de maintenance. A ce niveau, nous sommes

relativement dotés ; des compétences avérées sont disponibles et se suffiraient de renforcements dans des profils nécessaires aux fonctions connexes et/ou de soutien direct.

Nous avons choisi d'appuyer particulièrement sur les profils de la première catégorie qui sont quasi inexistants aussi bien sur le terrain que dans les programmes de formation. Les premières actions visant l'appropriation pérenne d'une branche technologique sont à ce niveau. La formation ayant un temps de latence de 3ans et 05 ans pour les licences et les masters, respectivement, il faut y agir au plus tôt, tout en continuant à murir la réflexion sur les autres briques du processus. Il faut cependant arrêter au préalable les secteurs et sous-secteurs dans lesquels le pays ambitionne une industrie nationale.

Une lecture rapide du tableau joint en figure 7 et qui résume une étude menée en 2008 sur les besoins aux USA montre que les besoins en ingénieurs en génie industriel sont parmi les plus élevés. Les USA sont pourtant un pays industrialisé. Toutes proportions gardées, les besoins nationaux dans cette catégorie seront importants relativement aux autres. Cette évidence est renforcée par le fait que notre pays est en phase de reconstruction industrielle et que notre système de formation ne produit plus ces profils depuis des dizaines d'années.

En conclusion, les infrastructures qualité et la formation ont un caractère transverse et concernent toute la chaîne des TRL. Elles fournissent les compétences, les moyens et le cadre de validation des TRL successifs qui jalonnent le processus de transformation d'une idée en produit. Les capacités nécessaires sont spécifiques par secteur ou branche, voir sous branche, industrielle pour chaque niveau de TRL

9. Retour sur l'échelle des TRL : identification des points d'entrée vers un système technique cohérent et efficient

Comme nous l'avons déjà souligné en introduction, la couverture de la chaîne des TRL sur toute sa longueur n'est pas une exigence pour produire de la valeur : il suffit que les maillons déployés soient raccordés au marché.

L'importation peut se suffire d'une infrastructure qualité adaptée et performante. L'ambition d'une intégration locale peut être portée par une remontée progressive de la chaîne des TRL en partant de l'infrastructure qualité complétée de proche en proche jusqu'à lui adjoindre une activité recherche dans les secteurs jugs porteurs et accessibles.

Cette chronologie renforce progressivement l'efficacité du système technique, dans une branche, au fur et à mesure de sa construction jusqu'à le doter de tous les maillons qui supportent les 09 TRL et lui permettre de développer des synergies qui assurent sa pérennité. Il est utile de rappeler que seuls quelques pays accordent un intérêt à tous les secteurs industriels et leur assurent le soubassement technologique nécessaire à la performance et à la compétitivité.

Le développement de produit est porté par les TRL5 à 8. Les techniques y évoluent et se perfectionnent notamment grâce à la recherche. Les applications innovantes se répandent de secteurs en secteurs à partir du domaine par lequel et pour lequel le progrès est apparu. Cette mise en cohérence, et en synergies, du système technique se traduit par l'assimilation progressive des derniers acquis du progrès. Elle permet de distinguer les pays industrialisés des pays non développés capables d'avoir quelques chercheurs de valeur mais non d'exploiter largement leurs connaissances.

La disponibilité de tous les maillons du processus de développement de produits, et d'une équivalence de performance entre eux, n'est pas une condition nécessaire pour afficher une ambition industrielle. Les exemples sont multiples. Certains pays ont adopté des choix judicieux en matière de stratégie industrielle et sont devenus de véritables puissances économiques sans grand effort d'investissement dans la recherche. Ils ont pour cela, pénétré la chaîne du développement de produits au niveau du maillon le plus proche de la

performance de leur système technique. La cohérence en aval de ce point d'entrée est vitale : les capacités disponibles doivent être suffisante alimenter le marché en produits finis.

Ainsi

- Le Japon a longtemps misé sur la valorisation des brevets achetés, souvent en toute exclusivité (Sabouret, 2007)

- Des pays émergents, ont construit leur développement technologique, "dans le sens inverse du Japon" en s'appuyant sur le reverse-engineering (ou la rétro conception) ;

Remarque : il est entendu que ces deux voies supposent que les capacités de développement de produits et de leur industrialisation sont disponibles dans la branche technologique ciblée.

- L'Algérie a adopté très tôt le système d'achat de licences pour fournir le marché en produits et se doter d'une base industrielle capable de produire du développement ; le système de formation et recherche bénéficiait en parallèle de toute l'attention nécessaire. Malheureusement la jonction nécessaire pour produire les inductions latérales vertueuses entre ces deux axes d'effort n'a pas eu lieu.

- Le repli sur les industries du montage (CKD, SKD) a été une voie royale pour plusieurs pays fortement pourvoyeur en main d'œuvre peu qualifiée et ayant peu de ressources financières. La formule SKD est cependant porteuse d'une très forte ambiguïté et les phases de montage sont devenues aujourd'hui de "véritables industries du montage" complexes et fortement adossées à des technologies de pointe. Le cas de la construction automobile est très représentatif de cette mutation.

- le développement en partenariat, tend à devenir le meilleur point d'entrée du fait de sa position centrale dans la chaîne dans la chaîne des TRL et en connexion avec la recherche. Les étapes d'engineering et de fabrication peuvent être incluses en interne ou externalisées partiellement, voir totalement.

- Le point d'entrée extrême, totalement en aval, et qui se résume à des opérations d'acquisition directe de produits du marché existera toujours pour certains secteurs ou sous-secteurs ; il doit néanmoins être encadré par une IQ performante. La formation à l'exploitation et à la maintenance sont des champs d'inscription des activités techniques à prévoir en soutien.

Nous terminons avec la recherche, qu'on pourrait assimiler à un point d'entrée en amont. Elle ne peut pas être un facteur de développement technologique que si elle est prolongée par la succession des TRL qui lui permettent d'atteindre le marché avec des produits finis qui en intègrent les résultats. Ce n'est pas encore le cas sur la quasi-totalité des disciplines au niveau national. Aussi, et en phase actuelle

- Elle devrait initier sa mue pour sortir du cadre purement académique et aller vers plus de développements dans des problématiques de terrain recensées et/ou pressenties,
- Elle doit vivre par elle-même et viser à capitaliser compétences et connaissances pour les mettre, en temps opportun, au service de toute la chaîne.

Il faut veiller cependant à ce que les exigences de formation ne l'amènent pas à subsister par et pour elle-même. La progression de son niveau de crédibilité restera néanmoins intimement liée au développement des capacités industrielles de valorisation.

CONCLUSION

Cette conclusion sera très succincte, le souhait est de faire ressortir les actions structurantes pour développer l'écosystème technique national :

- 1- L'infrastructure qualité (IQ) est la pierre angulaire de tout l'écosystème technique ; elle concerne tous les secteurs et tous les produits importés ou locaux. Elle relève de la responsabilité de l'Etat et elle est une priorité absolue.
- 2- Les activités de soutien à l'exploitation, la maintenance (au sens large), au démantèlement et le recyclage concernent tous les produits et constituent un vaste champ d'appropriation de compétences qu'il convient d'encourager ;
- 3- Les compétences en développement de produits (conception, fabrication-engineering) sont à promouvoir dans les secteurs que l'état juge prioritaires et/ou accessibles et générateurs de valeur ; plusieurs approches peuvent être mises en œuvre : accueillir des sites de production de sociétés étrangères, promouvoir le développement en partenariat, réhabiliter la formule de l'achat de licences produit en main en veillant à y intégrer la formation de capacités de développement de nouveaux produits. Il faut aussi encourager les produits locaux et promouvoir les capacités en engineering.
- 4- La formation et la recherche constituent le premier levier d'action dans la situation actuelle :
 - a. La formation doit produire tous les profils qui portent la chaîne des TRL et conformément aux choix opérés
 - i. Les profils d'ingénieurs doivent être variés : de recherche, de conception et fabrication, en génie industriel, métrologie et essais, exploitation et maintenance, environnement ;
 - ii. Les effectifs formés sont à mettre en conformité avec les besoins
 - b. La recherche serait plus crédible si elle vient à se caler sur les besoins réels de terrain et les capacités de valorisation-utilisation des résultats. Elle doit se diversifier pour concerner des problématiques issues de tous les niveaux de TRL et dans une lecture par branche ou secteur industriels. Les problématiques liées à l'exploitation, la maintenance, le recyclage et les questions environnementales sont très actuelles et peuvent être très pertinentes comme sujets.

Références

De Bernis, G.D.(1971) Les industries industrialisantes et les options algériennes, *Revue Tiers Monde* pp. 545 - 563.

CEA (2014) : Plaquette "Echelle des TRL" ; CEA Saclay.

<http://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/Defis-du-CEA-infographie-echelle-trl.pdf>

DGA (2009) : Quelques explications sur l'échelle des trl (Technology Readiness Level) d'après le plan stratégique de recherche & technologie de défense et de sécurité –pp. 2-5.

https://www.entreprises.gouv.fr/files/files/directions_services/politique-et-enjeux/innovation/tc2015/technologies-cles-2015-annexes.pdf

DYS (2019) : Automobile propre ; <https://www.automobile-propre.com/dyson-abandonne-son-projet-de-voiture-electrique>.

EARTO (2014): The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool, European association of research and technology organizations); Recommendations 30 April 2014.

<http://www.horizon2020.gouv.fr/cid79154/publication-sur-l-utilisation-de-l-echelle-t.r.l.-en-recherche-et-innovation.html>

Garel, G. et Mock, E. (2012) : " La fabrique de l'innovation " ; Dunod, Paris

Husniaux (2015) ONR Future Forces Expo, 5 February 2015, NATO Science and Technology., Major-General, NATO Chief Scientist NATO and STB Chairman

OSD (2011) : Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook Version 2.0 May 2011 pp.19-22; By the OSD Manufacturing Technology Program In collaboration with The Joint Service/Industry MRL Working Group ; http://www.dodmrl.com/MRL_Deskbook_V2.pdf

RST (1985) : Rapport sur l'état de la technique 1985- La révolution de l'intelligence ; Chap "Points de repère" pp 36. Revue sciences et Techniques, Numéro spécial 1985

LINT (2011) : [Rappel auto : les rappels de voitures par les constructeurs \(linternaute.com\)](http://linternaute.com)

Minovski , R.: "The Future of Industrial Engineering", European academy for industrial management Skopje, 09/2011; www.europe-aim.eu/?page_id=62

Sabouret, J.F. (2007), « La politique scientifique et technologique au Japon: une perspective historique.

[L'empire de l'intelligence - CNRS Éditions \(openedition.org\) Chap.1](http://openedition.org)

USDOE (2013) Technology Readiness Assessment (TRA) / Technology Maturation Plan (TMP) Process Implementation Guide Revision 1 August 2013; U.S. Department of Energy Office of Environmental Management.

<https://energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/ATTACHMENT-TRA%20Guide%20%20%209-pp.3-13.>

Yousnadj A (1983). : "Modélisation et comportement dynamique des chaînes de corps ouvertes : application en simulation numérique ; contribution à la résolution de problèmes de fretting-corrosion en robotique industrielle". Thèse de Doctorat, ENSAM, Paris