

# Sécuriser et optimiser les budgets de développement des projets

## Olivier Saint-Esprit



Olivier est le référent d'IAC sur le sujet de la réduction des coûts de développement. Il supervise des projets dans des secteurs industriels variés : aérospatial, défense, médical, transport ferroviaire, etc.

Références clients :

**THALES**  **SAFRAN** **LIEBHERR**

**LATÉCOÈRE** **ZODIAC AEROSPACE** 

Partner  
olivier.saint-esprit@iacpartners.com  
+33 (0)6 28 72 07 67

# Focus sur les coûts d'étude dans l'aéronautique et la défense

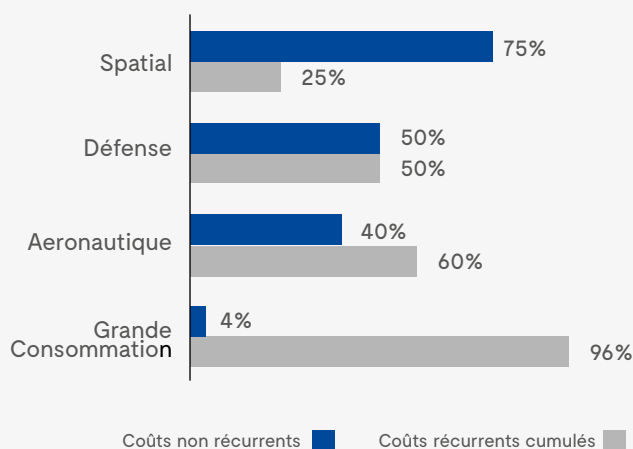
Dans les secteurs industriels à faible volume de production, tels le spatial, la défense, l'aéronautique, l'imagerie médicale ou encore les équipements high tech, **le montant des coûts non récurrents<sup>1</sup> dépensés par un industriel sur un nouveau programme est fréquemment similaire ou supérieur à la somme des coûts récurrents de fabrication**, cumulée sur toute la durée de production de l'équipement.

Le tableau ci-dessous propose quelques ordres de grandeur représentatifs, par secteur d'activité.

	SPATIAL	DEFENSE	AERONAUTIQUE	GRANDE CONSOMMATION
	Charge utile telecom	Système radar	Système de distribution électrique	Appareil électroménager
Coûts non récurrents	30 M€	100 M€	20 M€	5 M€
Coût récurrent unitaire	1 M€	0,5 M€	50 k€	50 €
Volume annuel de production	2	10	20	500 000
Durée totale de production	5	20	30	5
Coûts récurrents cumulés	10 M€	100 M€	30 M€	125 M€

Ainsi, **dans l'aéronautique, le spatial et la défense**, nous constatons que **les budgets de développement représentent en moyenne 40% à 80% du coût total** qu'une entreprise devra engager pour développer puis fabriquer un nouveau système ou équipement.

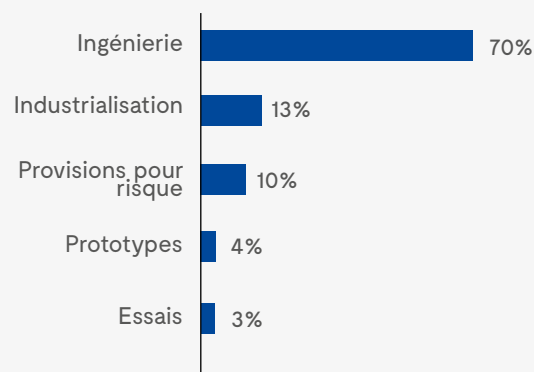
A titre de comparaison, un ratio extrêmement différent est constaté dans des industries moins capitalistiques comme le secteur des biens de grande consommation.



<sup>1</sup> Les coûts non récurrents correspondent aux dépenses réalisées durant un projet de développement, pour concevoir, tester et prototyper un nouveau système ou équipement. Ces coûts ne sont dépensés qu'une seule fois, à la différence des coûts récurrents de fabrication qu'il est nécessaire d'engager pour chaque unité lors de la phase de production série.

La structure typique d'un budget de développement dans l'aéronautique ou la défense est présentée ci-contre.

Les coûts d'ingénierie représentent environ 70% du total<sup>2</sup>.



Dès lors, la sécurisation de ces budgets représente un enjeu majeur pour les industriels, toute dérive ayant un impact sur la rentabilité des affaires et le cash-flow de l'entreprise. Dans certains cas extrêmes comme pour la filière nucléaire, des acteurs historiques se retrouvent en faillite en raison d'échecs technologiques et de retards non maîtrisés<sup>3</sup>.

**La compétitivité d'une entreprise vis-à-vis de ses dépenses de développement est donc clé,** qu'il s'agisse de remporter des marchés ou de

préparer l'avenir en préservant une capacité à mener des activités de recherche autofinancées. Néanmoins, la majorité des programmes phares du secteur aéronautique, spatial et défense connaissent des dépassements en matière de budget et de délais<sup>4</sup>.

Pour différentes raisons notamment liées à l'accroissement de la complexité technologique des matériels<sup>5</sup>, de très nombreux programmes voient en effet leur budget initial de développement exploser :

		Budget initial	Budget à terminaison
GALILEO	Système de positionnement par satellites	5 Md€	13 Md€ <sup>6</sup>
A400M ATLAS	Avion de transport militaire	20 Md€	31 Md€ <sup>7</sup>
B787	Avion long-courrier	5,8 Md\$	32 Md\$ <sup>8</sup>
F-35 Lightning II	Avion de combat multirôle	233 Md\$	> 400 Md\$ <sup>9</sup>

<sup>2</sup> Ne sont pas considérés ici les coûts de certification qui représentent un poste important dans l'aviation.

<sup>3</sup> <https://www.lecho.be/entreprises/energie/La-debacle-des-geants-du-nucleaire-Westinghouse-et-Areva/9880880>

<sup>4</sup> [http://www.cad-magazine.com/sites/default/files/articles/pdf/cad192\\_pp16-18\\_repere%20siemens.pdf](http://www.cad-magazine.com/sites/default/files/articles/pdf/cad192_pp16-18_repere%20siemens.pdf)

<sup>5</sup> Sophie LEFEEZ, « Toujours plus chers ? Complexité des armements et inflation des coûts militaires », IFRI Focus stratégique, n° 42, février 2013 <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/fs42lefeez.pdf>

<sup>6</sup> <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/aeronautique-defense/combien-va-couter-le-programme-galileo-a-l-europe-546146.html>

<sup>7</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_A400M\\_Atlas#Retards\\_et\\_surco%C3%BBts](https://fr.wikipedia.org/wiki/Airbus_A400M_Atlas#Retards_et_surco%C3%BBts)

<sup>8</sup> <https://www.seattletimes.com/business/boeing-celebrates-787-delivery-as-programs-costs-top-32-billion/>

<sup>9</sup> <https://www.usinenouvelle.com/article/le-couteux-chasseur-f-35-de-lockheed-martin.N498089>

En dépit de cette situation, il semble que l'attention et les efforts portés à la sécurisation et à l'optimisation des coûts de développement soient fréquemment moindres que ceux qu'une entreprise dédie à l'optimisation du coût récurrent de ses produits.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer cet état de fait :

- 01 Faute de méthodes de reporting des temps bien implantées,** les informations relatives au coût complet d'un projet, et au détail de ces coûts ne sont pas toujours disponibles ou de qualité ; cette difficulté est renforcée dans le cas où des volumétries d'heures importantes ont été sous-traitées en externe ;
- 02 Peu d'exercices de retour d'expérience et d'analyse des causes racines des écarts sont effectivement organisés.** Lorsqu'ils le sont, les projets concernés sont majoritairement ceux ayant connu des dérives. Les bonnes pratiques mises en œuvre sur les projets ayant tenu leurs engagements sont rarement clairement mises en évidence, car le respect des estimations initiales est considéré comme normal ;
- 03 Des méthodes prédictives de plus en plus élaborées sont aujourd'hui disponibles** pour l'évaluation des coûts de fabrication d'un produit (voir notre article récent sur ce sujet : Le costing prédictif au service de votre compétitivité<sup>10</sup>), mais ces méthodes font encore défaut pour ce qui concerne l'estimation des volumétries d'études des projets ;
- 04 Les coûts d'étude sont parfois sciemment sous-estimés en début de projet** dans le but d'emporter la décision d'investissement en affichant une rentabilité acceptable<sup>11</sup>. Lorsque ces biais sont remarqués, le manque de repères occasionné par les déficiences listées aux points précédents limite les possibilités d'objection ;
- 05 Notons enfin que l'optimisation des budgets d'étude reste un tabou dans certaines entreprises** car les équipes d'ingénierie rechignent encore à s'appliquer à elles-mêmes les principes d'efficacité hérités du Lean Manufacturing, aujourd'hui bien intégrés par les équipes de production<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> <https://www.iac.fr/publication/le-costing-predictif-au-service-de-votre-competitivite>

<sup>11</sup> Le cas de l'A400M est emblématique d'une sous-estimation volontaire acceptée par toutes les parties. Quand on regarde les fonctions demandées d'un côté, et les délais et les coûts sur lesquels les parties se sont engagées de l'autre, « le produit est impossible », affirme un spécialiste. Valérie Lion, « A400M rattrapé au vol », L'Express, n°25, 24-30 juin 2011, p. 84. 86

<sup>12</sup> Le Lean Engineering est une déclinaison, à destination des activités d'ingénierie, des principes techniques issus du Lean Manufacturing : produire exactement la connaissance nécessaire, au bon moment (la connaissance étant périssable), sans à-coups ni « stocks » inutiles et sans gaspillage de temps dans des activités sans valeur ajoutée.

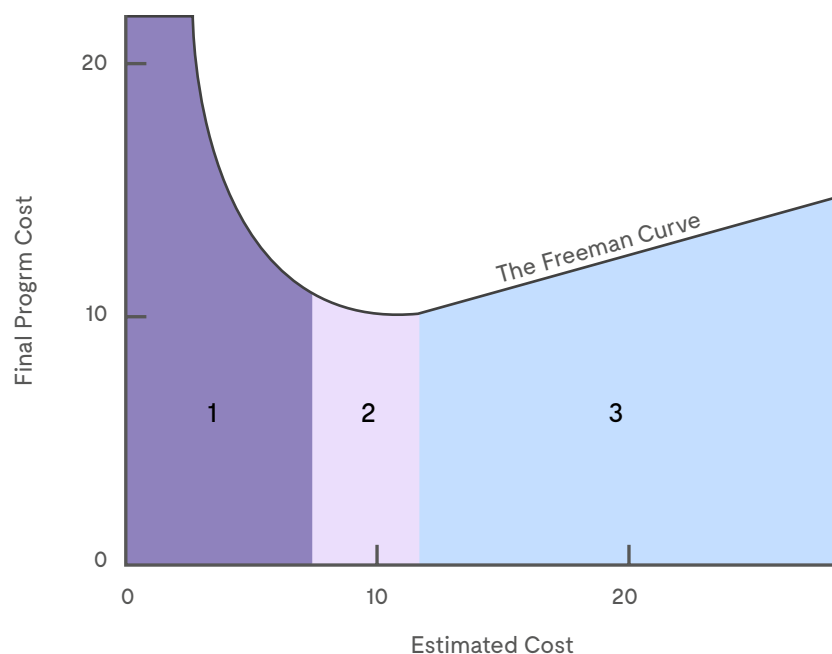
Néanmoins, les entreprises qui choisissent d'accorder une attention de plus en plus importante à l'estimation au plus juste et à la sécurisation de leurs budgets de développement sont chaque jour plus nombreuses.

En effet, les 2 premières étapes indispensables à toute démarche de progrès consistent à s'assurer du dimensionnement correct d'une provision initiale, et à surtout sécuriser celle-ci pour éviter les dérapages en phase d'exécution, ceci bien avant d'envisager la réduction en valeur des montants engagés.

L'estimation au plus juste des budgets en amont d'un projet constitue le 1er enjeu de compétitivité, car un budget mal estimé ou insincère porte en son sein les germes des dépassements à venir.

Frank Freeman a modélisé les impacts d'une mauvaise estimation en amont du budget d'un projet, à la hausse comme à la baisse. La courbe qui porte son nom illustre que :

- lorsque les coûts sont sous-estimés, les plans initiaux de fabrication, de planification se révèlent irréalisables. Le coût réel explose alors, car le projet doit être ré-orienté, ce qui se traduit par des travaux supplémentaires non prévus, des réorganisations et l'ajout de ressources additionnelles.
- la sur-estimation des coûts présente quant à elle un caractère auto-réalisateur, qui conduit à du gaspillage.



- 1 = Underestimates lead to disaster
- 2 = Realistic estimates minimize final costs
- 3 = Overestimates become self-fulfilling prophecies

Figure by MIT OCW. Adapted from Freeman, F. R. "The Fast Cost Estimating Models." AACE Transactions (1983).



En dépit de la qualité de l'estimation initiale, les facteurs de dérive des coûts d'un projet restent importants et les missions conduites ces dernières années par les équipes IAC ont permis d'identifier 3 causes majeures de dérives des coûts d'un projet après son lancement. Il s'agit :

- 01 Des évolutions dans l'expression de besoin après le démarrage du projet ;**
- 02 De l'évaluation fréquemment insuffisante de la maturité des briques technologiques mises en œuvre sur le projet ;**
- 03 D'une mauvaise estimation du niveau de carry over (on parle aussi de reuse) effectif des solutions d'un programme à un autre.**

Nous revenons plus en détail dans la suite de cet article sur ces 3 points.

« L'un des avantages de fixer des objectifs vagues à un projet, c'est que vous n'aurez pas de difficulté à estimer les dépenses correspondantes...<sup>13</sup>».

# 1. Les évolutions dans l'expression de besoin au cours d'un projet sont à la source de nombreux dérapages

En effet, dans les projets de développement de systèmes complexes, comme les programmes ferroviaires ou aéronautiques par exemple, des évolutions surviennent fréquemment ; il serait illusoire d'imaginer les supprimer totalement car elles sont intrinsèques aux méthodologies projet d'ingénierie concourante, et permettent, par exemple sur un programme avion, de débiter l'étude du système à carburant sans attendre la certification de la motorisation.

La flexibilité est également nécessaire pour s'adapter tardivement à des évolutions de marché, par exemple dans le secteur spatial où les cycles de développement sont de plus en plus courts.

De plus, les travaux de conception sont parfois initiés « en avance de phase » par rapport à la formalisation du besoin client, dans certains cas avant même que la notification ou le lancement officiels du projet n'aient eu lieu. Cette anticipation est réalisée dans l'espoir de « gagner du temps » ou de libérer des marges calendaires sur un planning jugé trop contraint. Lorsqu'elles se produisent, ces anticipations, pourtant fondées sur de bonnes intentions, se traduisent fréquemment par un taux de scrap<sup>14</sup> ou de rework<sup>15</sup> très élevé, voire des

impossibilités telles que le projet ne peut aboutir, comme ce fut le cas pour le logiciel de paie des armées LOUVOIS lancé en 1996 puis définitivement abandonné en 2013 sans avoir jamais fonctionné correctement<sup>16</sup>.

Néanmoins, les évolutions de spécification réellement imprévisibles sont marginales : la revue des spécifications en phase avant-projet permet de connaître la sensibilité de celles-ci et de quantifier leur risque d'évolution.

La meilleure approche consiste alors à anticiper la survenue de modifications, en aménageant la logique de développement en conséquence et en communiquant au client et aux entités internes potentiellement génératrices de demandes de modifications les dates au plus tard auxquelles elles doivent impérativement avoir été notifiées.

L'impact d'une évolution de spécification en cours de développement est fonction de 3 paramètres :

- a) avancement du programme
- b) typologie des activités du métier impacté (ingénierie système, conception mécanique, conception électronique hardware ou software, ...)
- c) interdépendances entre métiers.

<sup>13</sup> Loi n°2 de Golub, illustre informaticien inconnu.

<sup>14</sup> Scrap : déchet : les activités réalisées se révèlent inutiles pour le projet, et le temps passé constitue une perte sèche.

<sup>15</sup> Rework : moyennant un complément d'activités non prévu initialement (donc générant un surcoût), les travaux peuvent être ré-orientés pour répondre au besoin du projet.

<sup>16</sup> « Il apparaît également que la conception fonctionnelle de ce système d'information ait été insuffisante à modéliser une telle complexité. En effet, les spécifications fonctionnelles générales n'étaient même pas rédigées avec suffisamment d'acuité alors même que la réalisation du logiciel était entamée. En 2015, soit quatre ans après le premier déploiement, la maîtrise d'ouvrage déléguée doit rédiger en catastrophe des spécifications fonctionnelles d'indemnités pourtant calculées depuis le déploiement ». Logiciel unique à vocation interarmées de la solde. (2018, février 18). In Wikipédia. Consulté à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Logiciel\\_unique\\_%C3%A0\\_vocation\\_interarm%C3%A9es\\_de\\_la\\_solde&oldid=145631723](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Logiciel_unique_%C3%A0_vocation_interarm%C3%A9es_de_la_solde&oldid=145631723)



La matrice de flexibilité présentée ci-dessous est un outil pédagogique qui permet d'expliquer le niveau d'impact d'une évolution de spécification au fil du franchissement des jalons du projet.

### Engineering department impacted by a change in specification

	MECHANICAL design	HARDWARE design of electronic boards	WIRING	SOFTWARE modification of function	Addition of a SOFTWARE function
Before KOM	No Impact if relocation of mechanical interfaces (same volume & shape)	No impact if up to 10 signals modification on ICD	No impact if: - Pin allocation modification - Gauge modification - Routing modification - Add/removal of wire in the perimeter of the defined connector	No impact if modification can be achieved in current processing resources	
AFTER KOM					
AFTER PDR B1 standard					
AFTER CDR B1 standard					
AFTER PDR B2 standard	Low impact	Low impact	Low impact	Low impact	Low impact
AFTER B1 standard delivery	Strong impact	Medium impact	Medium impact	Low impact	Low impact
AFTER CDR B2 standard	Strong impact	Medium impact	Medium impact	Low impact	Medium impact
AFTER B2 standard delivery	Strong impact	Strong impact	Medium impact	Medium impact	Medium impact
AFTER B2 standard Flight Clearance	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact
AFTER CDR C-model	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact
After C-model delivery	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact	Strong impact

Impact on budget and planning

No impact
  Low impact
  Medium impact
  Strong impact

Exemple d'une matrice de flexibilité pour un programme de développement d'un système aéronautique de génération électrique

Cette matrice peut être mise en œuvre non seulement pour améliorer la communication entre équipes internes mais aussi de façon proactive à destination du client externe, pour mettre en visibilité l'impact d'un changement dans l'expression de besoin et contractualiser à l'avance le surcoût qui sera facturé en cas d'évolution tardive.

Cet outil est également déployable à destination des fournisseurs, pour flexibiliser ainsi l'ensemble du développement entre les partenaires du projet.

« Le danger, ce n'est pas ce qu'on ignore, c'est ce que l'on tient pour certain et qui ne l'est pas... ». Mark Twain

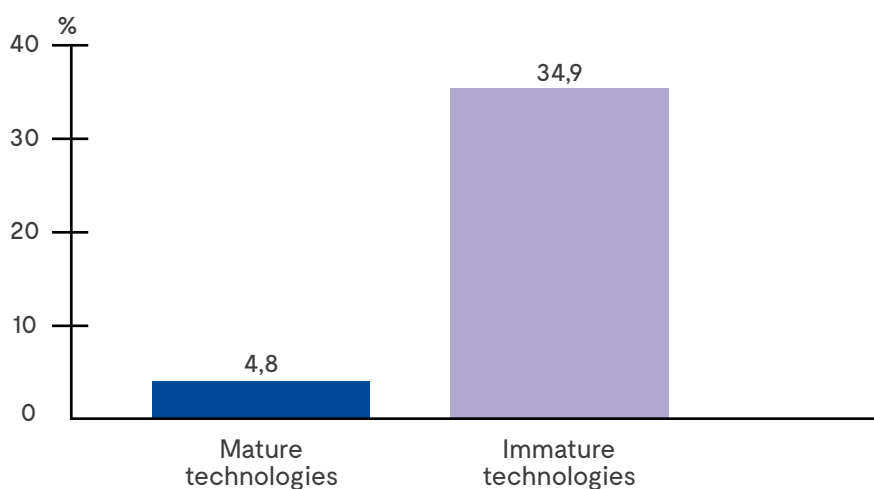
## 2. L'évaluation de la maturité des briques technologiques mises en œuvre sur le projet est également majeure

En effet, un programme de développement se construit généralement autour d'Éléments Techniques Clés<sup>17</sup> mis à disposition par les services de recherche amont de l'entreprise. La maîtrise du niveau de maturité technologique de ces briques constitue l'un des facteurs de succès du projet, car si le planning de développement se fonde sur l'emploi de briques matures, et que celles-ci ne le sont pas en réalité, alors elles se révèlent inutilisables par les équipes de développement et des compléments de travaux doivent en urgence être ajoutés. L'une des causes majeures de dérive des budgets réside dans une incorporation insuffisamment

préparée de ces briques au sein des plannings des programmes.

Le GAO (United States Government Accountability Office) a analysé 52 programmes d'armement. Il en ressort que la majorité de ces programmes a débuté avec des niveaux de connaissance et de maturité inférieurs à ce que recommandent les meilleures pratiques. Le tableau<sup>18</sup> ci-après indique que les programmes ayant débuté sur la base de briques immatures ont enregistré en moyenne 34,9% de hausse de leurs budgets de développement, ce qui n'a été le cas que de 4,8% des projets étayés par des briques matures.

### Average Program Research, Development, Test, and Evaluation Cost Growth from First Full Estimate

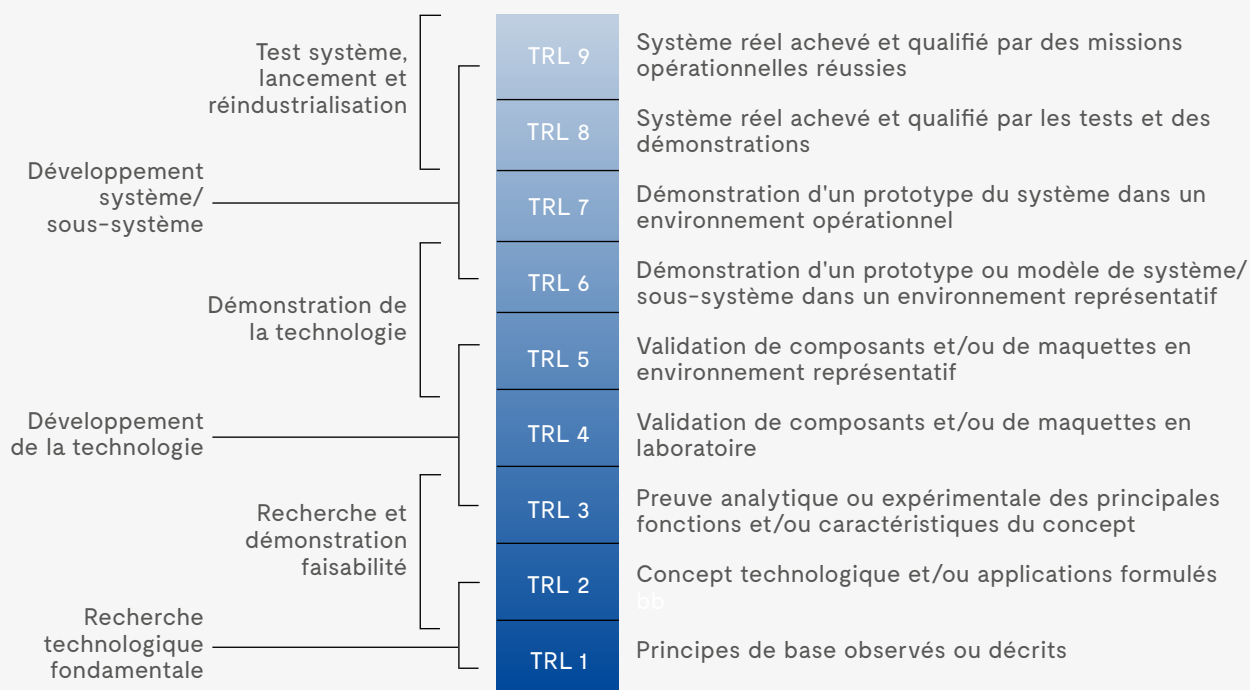


<sup>17</sup> Un élément technique est dit « clé » si le produit ou le système considéré pour l'évaluation dépend de cet élément technique pour atteindre ses fonctionnalités principales avec un coût et une durée de développement, ainsi que des coûts de production acceptables, et si cet élément technique ou sa mise en œuvre sont intrinsèquement nouveaux ou bien seulement nouveaux dans leur environnement de mise en œuvre.

<sup>18</sup> Office, U. S. G. A. (2006). Defense Acquisitions: Assessments of Selected Major Weapon Programs, (GAO-06-391). Consulté à l'adresse <https://www.gao.gov/assets/250/249468.pdf>

La connaissance de l'échelle TRL (Technology Readiness Level – mise au point par la NASA en 1974 pour disposer d'une base commune définissant le niveau de maturité d'une technologie) est aujourd'hui largement répandue, mais nous constatons que son usage effectif lors des phases de planification et de budgétisation des projets reste insuffisant.

Une mise en œuvre inappropriée de cet indicateur peut également conduire à de lourds surcoûts dans les projets car en dépit de la linéarité de cette échelle, les efforts à fournir pour dépasser le niveau 6 sont très conséquents<sup>19</sup>.



Echelle TRL issue du Plan stratégique de recherche et technologie de défense et de sécurité 2009 de la DGA<sup>20</sup>

<sup>19</sup> « En réalité, il y a une distance colossale entre être techniquement prouvé et réussir une implémentation. Cette difficulté dans la transition d'une nouvelle technologie est affectueusement appelée "La Vallée de la Mort". » Boeing: Technology Readiness and the Valley of Death. (s. d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse <http://www.boeing.com/features/innovation-quarterly/may2017/feature-thought-leadership-newman.page>

<sup>20</sup> Portail de l'armement : Le plan stratégique de recherche et technologie (PS R&T) 2009. (s. d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse [https://www.ixarm.com/sites/default/files/documents/PS\\_R\\_T\\_english\\_web\\_0.pdf](https://www.ixarm.com/sites/default/files/documents/PS_R_T_english_web_0.pdf)

Nous avons identifié 3 raisons principales pour lesquelles des erreurs sont commises dans l'évaluation de la maturité des éléments techniques clés, et ce malgré l'emploi de l'échelle TRL :

**01 Des incompréhensions persistent fréquemment entre les équipes**

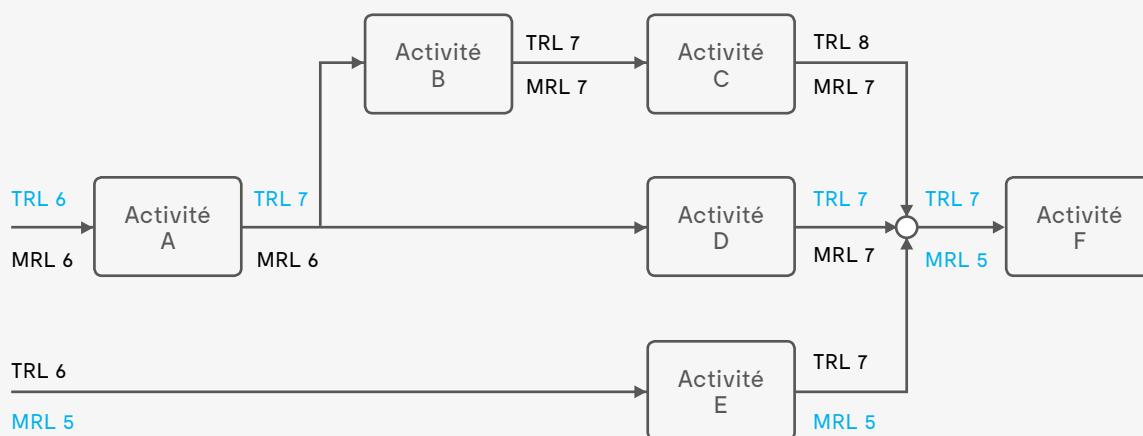
sur le niveau de maturité réel car les équipes de R&T en charge de l'étude et de la mise à disposition des briques technologiques ne sont pas celles qui réalisent le développement : une solution organisationnelle à cet écueil réside alors dans la constitution d'équipes intégrées Recherche ↔ Développement ;

**02 La notation TRL seule n'est pas insuffisante**

pour rendre compte de l'incorporabilité d'une brique au sein d'un développement : d'autres indicateurs doivent être évalués, a minima le MRL<sup>21</sup>, voire d'autres indicateurs capables de restituer la facilité d'intégration d'un composant au sein d'un système complexe<sup>22</sup>;

**03 Enfin, lorsque les niveaux de TRL et / ou de MRL sont correctement évalués en début de projet,**

la logique de développement et la planification détaillée des activités qui en découle ne sont pas toujours construites pour assurer une montée en maturité progressive. Un logigramme qui rend visible la contribution de chaque activité à ces montées en maturité (cf. schéma ci-après) permet d'organiser le développement en conséquence, par exemple en prévoyant des activités de levée de risques en amont, ou en « sortant » une activité du chemin critique.



Une représentation graphique simple de cette nature met en évidence le(s) chemin(s) critique(s) (en bleu) de montée en maturité sur les différents indicateurs retenus – il est à noter que le niveau de maturité résultant de plusieurs activités est toujours égal au plus faible niveau de maturité.

<sup>21</sup> There is an established Manufacturing Readiness Level (MRL) scale, adopted by the U.S. Department of Defense in 2005, that addresses the feasibility and affordability of producing the technology at the required scale and rate. There are also integration maturity metrics used to assess an Integration Readiness Level (IRL) scale. And both of these contribute to a System Readiness Level (SRL). Boeing: Technology Readiness and the Valley of Death. (s. d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse <http://www.boeing.com/features/innovation-quarterly/may2017/feature-thought-leadership-newman.page>

<sup>22</sup> Voir sur ce sujet : Garg, T., Eppinger, S., Joglekar, N., & Olechowski, A. (2017). Using TRLs and system architecture to estimate technology integration risk. Consulté en ligne le 11 avril 2018 à l'adresse : [http://web.mit.edu/eppinger/www/pdf/Garg\\_ICED2017.pdf](http://web.mit.edu/eppinger/www/pdf/Garg_ICED2017.pdf)

# 3. La mauvaise estimation du niveau de carry over effectif génère des risques

C'est enfin la mauvaise estimation du niveau de carry over (ou reuse) effectif des solutions d'un programme à un autre qui génère des risques d'écart entre la prévision initiale et le réalisé effectif.

En effet, il est rare qu'un nouveau développement soit réalisé entièrement de zéro, sans prévoir la ré-utilisation d'un élément physique ou logiciel. Des hypothèses de reuse ou de carry over sont alors prises en compte lors de la budgétisation des activités, afin de matérialiser l'économie du re-développement de ces fonctions ou sous-ensembles précédemment mis au point.

Les industries les plus matures ont défini, dans le cadre de réflexions Politique Produit, des briques élémentaires destinées à permettre la conception à moindre délai et moindre coût de futurs produits, dans une logique de conception modulaire (on parle aussi de Platforming<sup>23</sup> ou parfois de versioning). Dans les domaines de l'énergie et du ferroviaire, les acteurs les plus avancés de ces secteurs ont entamés leur transition du monde de l' « Engineering-to-order<sup>24</sup> » vers le « Configure-to-order<sup>25</sup> ».

Néanmoins, le carry-over d'une solution matérielle ou logicielle ne signifie pas que l'entreprise ne sera pas obligée de re-dépenser un budget très conséquent pour adapter et incorporer la solution ré-utilisée, si ce carry-over n'a pas été réfléchi lors de la conception initiale.

En effet, « les difficultés techniques se nichent précisément dans l'intégration des systèmes : le coût et les difficultés d'organisation sont exponentiels par rapport aux fonctions supplémentaires<sup>26</sup> », ce qui signifie que l'intégration d'une solution reuse dans un système complexe peut se révéler extrêmement complexe, et finalement coûter aussi cher qu'un nouveau développement, si cette intégrabilité n'a pas été prévue initialement.

L'indicateur de Reuse Readiness Level (RRL<sup>27</sup>) proposé par la NASA se fixe pour objectif d'explicitier le niveau de ré-employabilité d'un logiciel dans une application autre que celle pour laquelle il a été initialement développé.

<sup>23</sup> <https://www.iac.fr/publication/publication-platforming>

<sup>24</sup> Engineer-to-order (ETO) approach is one in which a company designs and manufacturers a product based on very specific customer requirements. Engineered-to-Order (ETO) | Arena Solutions. (s. d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse <https://www.arenasolutions.com/resources/articles/engineered-to-order/>

<sup>25</sup> Configure-to-order (CTO) represents the ability for a user to define the component make-up (configuration) of a product at the very moment of ordering that product, and a vendor to subsequently build that configuration dynamically upon receipt of the order. Configure To Order Manufacturing Software. (s. d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse [http://www.software4manufacturers.com/manufacturing/styles\\_configure\\_to\\_order.aspx?Styles\\_Shortname=CTO](http://www.software4manufacturers.com/manufacturing/styles_configure_to_order.aspx?Styles_Shortname=CTO)

<sup>26</sup> Sophie LEFEEZ, « Toujours plus chers ? Complexité des armements et inflation des coûts militaires », IFRI Focus stratégique, n° 42, février 2013 <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/fs42lefeez.pdf>

<sup>27</sup> ReuseReadiness Levels (RRLs)-Earth Science Data System Working Groups-ESDSWG-EarthdataWiki.(s.d.). Consulté 11 avril 2018, à l'adresse [https://wiki.earthdata.nasa.gov/download/attachments/49446977/RRLs\\_v1.0.pdf?version=1&modificationDate=1428606889506&api=v2](https://wiki.earthdata.nasa.gov/download/attachments/49446977/RRLs_v1.0.pdf?version=1&modificationDate=1428606889506&api=v2)



Il s'agit également du fondement de la méthodologie Design for Variety<sup>28</sup> qui vise à développer des architectures produit standardisées et modulaires. Cette approche met en œuvre deux paramètres :

- le Generational Variety Index (GVI) qui représente l'intensité de redesign nécessaire pour répondre aux futurs besoins du marché ;
- le Coupling Index (CI) indiquant l'intensité du couplage entre les composants d'un produit.

Cette méthodologie sera détaillée dans une prochaine publication IAC relative aux méthodologies de conception modulaire.

Nous constatons ainsi qu'une proportion significative des dépassements de budget sont relatifs à une mauvaise évaluation en amont du niveau de ré-employabilité réel des solutions précédemment développées. Une attention particulière portée à ces aspects en amont du projet et l'emploi d'outils d'évaluation objectifs permettent d'apprécier correctement les hypothèses de reuse sur lesquelles est bâti le budget du projet.

<sup>28</sup> Martin, M. V., & Ishii, K. (2002). Design for variety: developing standardized and modularized product platform architectures. *Research in Engineering Design*, 13(4), 213-235. Consulté 11 avril 2018, à l'adresse <http://web.mit.edu/deweck/Public/ESD39/Readings/GVImetrics.Martin-Ishii-2002.pdf>



## Pour conclure

Les secteurs de l'aéronautique, du spatial et de la défense voient aujourd'hui leurs cycles de développement se raccourcir, en raison de l'apparition de nouveaux acteurs et de bouleversements profonds dans les business models.

Cette accélération conjuguée à une frénésie technologique<sup>29</sup> met en danger la capacité des industriels à évaluer et à sécuriser de manière réaliste leurs budgets de développement.

Si divers facteurs d'incertitude ne pourront jamais être évacués, telles l'évolution du besoin en cours de projet ou les difficultés de

mise au point d'une nouvelle technologie, les bonnes pratiques consistent à évaluer au plus tôt et de façon objective les niveaux de risque encourus. Lorsqu'ils sont réalisés en amont, ces travaux préparatoires constituent un très bon investissement, permettant d'éviter de lourds dérapages.

Ils ouvrent également la porte à un déroulement serein du projet en augmentant le niveau de confiance des équipes dans le budget déposé.

**Des méthodes visant à optimiser l'exécution du projet, telles les méthodologies du Lean Engineering peuvent alors être déployées. Elles feront l'objet d'une future publication.**

<sup>29</sup> « Le F-35 Joint Strike Fighter contiendrait un « nombre démentiel » de puces d'après un expert en semi-conducteurs. « The Hunt for the Kill Switch », IEEE spectrum magazine, mai 2008. » cité dans Sophie LEFEEZ, « Toujours plus chers ? Complexité des armements et inflation des coûts militaires », IFRI Focus stratégique, n° 42, février 2013 <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/fs42lefeez.pdf>