

Préface

« On étudiera le système en négligeant les frottements » : c'est sur la base de cette hypothèse simplificatrice que, lycéen puis étudiant, j'apprenais à analyser et à modéliser la dynamique d'une machine ou d'un mouvement.

Mais en entrant dans la vie active, notamment dans la conduite de projets de défense et d'aéronautique, ce monde théorique sans frottements s'est effacé, cédant la place à une multitude de contraintes : exigences clients, réglementations, processus, organisations, etc. Par la suite, la complexité des systèmes à développer n'a cessé de croître, alors que l'on devait simultanément réduire les coûts, raccourcir les cycles, s'adapter en continu, innover davantage, et intégrer une approche plus sobre et socialement responsable. Cette complexité ne concerne d'ailleurs pas uniquement les marchés de défense, d'aéronautique et spatiaux.

Ce carcan contraste, d'un côté, avec l'innovation telle que nous la vivons, celle d'un monde connecté où la vitesse prime, rendant l'actuel vite obsolète, et le futur rapidement accessible, de l'autre, avec l'agilité qui s'impose aux projets, dont les cahiers des charges, les ressources et les technologies qui évoluent et se diversifient sans cesse.

« Agilité », le mot est lâché. C'est dans ce champ de contraintes, voire d'injonctions contradictoires, que l'agile est fréquemment cité comme un levier salvateur capable de faire avancer l'ensemble. Mais l'appliquer sans discernement ne saurait être approprié. D'autant plus que cette appropriation est attendue aux deux sens du terme : d'une part, comme un processus adaptant une solution précisément à un besoin et d'autre part, comme une démarche collective où les parties prenantes assimilent et prennent possession du projet et de son résultat.

Les projets complexes d'aéronautique et de défense imposent, eux, rigueur et structuration, selon un schéma prescriptif et un enchaînement formalisé du besoin à la

réalisation. Ils relèvent donc tout naturellement d'une gestion planifiée, reposant sur des approches comme le cycle en V ou la méthode PERT (*Programme Evaluation and Review Technique*). Rappelons que la méthode PERT a été inventée dans les années 1950 à la demande de la marine américaine pour piloter le programme Polaris, le premier missile mer-sol balistique. Conscient des limites de ce modèle dans le monde d'aujourd'hui, il y a désormais et pour l'ensemble des parties prenantes une recherche de rationalité dans la volonté de maîtriser la complexité de ces projets, leur durée et leurs coûts, ainsi qu'un besoin d'innovation, d'une réactivité et d'une agilité plus grandes. Agilité qui nous transporte vers le monde logiciel dont le fameux « manifeste agile » de 2001 qui a posé les bases avec ses quatre valeurs fondamentales (individus et interactions, logiciel opérationnel, collaboration avec le client, adaptation au changement) et ses douze principes directeurs. Cependant, le monde logiciel, même s'il peut être complexe et empreint de démarche d'architecture système, n'est pas celui de la matérialité de l'immense majorité des systèmes complexes en ingénierie aérospatiale et de défense.

En 2017, lors d'une année à l'IHEDN (Institut des hautes études de la défense nationale), notre comité « Kairos », regroupant des acteurs des forces, de la DGA et de l'industrie, avait mené une étude et rédigé un mémoire intitulé « Vers des programmes d'armement plus agiles et réceptifs à l'innovation ». Au-delà de nos recommandations, il est apparu essentiel de décomplexifier les problèmes en les caractérisant pour en donner des clés de lecture et permettre des décisions appropriées (toujours aux deux sens du terme).

Il fallait donc s'attaquer à la racine des problèmes, et creuser plus profondément. Comme le rappelle Michel Crozier, grand sociologue, dans son célèbre aphorisme : « Le problème, c'est le problème ! ». Cette formule, certes lapidaire, balaye l'application de solutions toutes faites, si souvent proposées dans bon nombre d'ouvrages de management. C'est ainsi qu'à la suite d'échanges avec Sylvain Lenfle, professeur et chercheur reconnu, rencontré lors de cette étude, qu'est née l'idée d'une thèse entre Safran Electronics & Defense et le Centre de recherche en gestion de l'École polytechnique. Mais qui oserait tracer un chemin entre complexité et agilité, recherche et industrie, innovation et systèmes ?

Estelle Rémondeau, jeune ingénieure, fut à la hauteur du défi, prête et volontaire à cheminer dans cet environnement ambidextre. Quelques années plus tard, force est de constater que l'histoire lui donne raison : sa thèse a été distinguée à plusieurs reprises, notamment par le prix *Honoris Causa* du Réseau de recherche sur l'innovation (RRI). Les typologies de modes agiles et les grilles d'analyse qu'elle a développées ont été intégrées et déployées avec succès. Je pense notamment aux quatre dimensions caractérisant la prédisposition d'un projet aux approches agiles : processus, organisation de l'équipe, caractéristiques du produit, écosystème des parties prenantes.

C'est parallèlement à sa thèse dans ma direction de projets, que nous avons adapté et mis en œuvre – d'abord localement puis à l'échelle de toute la direction technique – des démarches agiles sur des projets innovants et complexes. Un service dédié au prototypage, à l'agilité et au déploiement dans les projets s'est également constitué, ajusté et fortement développé au point de devenir ensuite un atout différenciant de la société.

Ainsi, lorsqu'Estelle m'a proposé de préfacer son ouvrage, j'ai accepté avec une certaine fierté et une vraie conviction. Cet ouvrage, né d'un parcours universitaire d'excellence, d'une immersion au sein de projets industriels particulièrement complexes et d'équipes multidisciplinaires, propose une réflexion profonde, structurée et opérationnelle sur ce défi majeur de notre monde industriel : comment aligner l'agilité, synonyme d'adaptabilité et de vitesse, avec la complexité inhérente à la conduite de projets ambigus en défense, aéronautique et spatial ?

À l'origine de cette aventure intellectuelle et humaine, il y a la volonté partagée de combler un manque flagrant en littérature et en pratique du management de projets. Trop souvent, les ouvrages s'en tiennent à des approches prescriptives : ils abordent la complexité par le prisme de modèles figés ou survolent l'agilité sans appréhender la réalité des environnements où s'imposent rigueur et exigence technique. Le travail d'Estelle se démarque nettement, associant rigueur scientifique et expérimentation de terrain au sein d'équipes et de projets variés. C'est cette rencontre entre recherche et industrie qui fait la force de son propos.

Dans la défense, l'aéronautique et le spatial, la complexité n'est pas un concept abstrait : elle s'incarne dans chaque choix technique, chaque exigence, chaque interface entre maîtrise d'œuvre et maîtrise d'ouvrage. Elle est la somme de la diversité des métiers à articuler, de la multiplicité des parties prenantes, de la gestion de risques inconnus et de la capacité à intégrer rapidement de nouvelles technologies ou usages. Trop souvent encore, l'agilité est perçue, à tort, comme une méthode réservée au monde logiciel et aux « petits projets », inadaptée aux systèmes critiques ou aux programmes d'envergure internationale. Il faut pourtant la comprendre, l'adapter, la réinventer (approches agiles *versus* méthode agile, par exemple) et la concrétiser dans des contextes où chaque erreur coûte double. L'appropriation est à ce prix.

Cet ouvrage n'est pas un recueil supplémentaire de bonnes pratiques ni un guide normatif. Il entraîne le lecteur dans une démarche d'analyse systémique : il propose des clés de compréhension du phénomène de complexité lui-même, en déconstruit les facteurs, puis identifie les conditions permettant à l'agilité de devenir un véritable atout stratégique et non un simple effet de mode managériale. Cette méthodologie, Estelle l'a bâtie à partir de cas concrets. D'une certaine manière, elle a elle-même mis en œuvre

les préceptes et outils de l'agilité dans son processus : preuves de concept (PoC), interactions (avec la communauté scientifique et industrielle), retours d'expériences (issues de projets complexes), et l'adaptation au changement dont elle a su et dû faire preuve, en particulier pendant la période de Covid-19. Sa thèse, couronnée de plusieurs prix, témoigne de cette reconnaissance académique et professionnelle.

Je ne sais s'il s'agit de mon aversion pour les frottements, ou d'une conviction d'ingénieur forgée au fil d'une carrière consacrée aux projets complexes. Mais depuis longtemps, j'avais l'intuition que le croisement de l'agilité et de la complexité pouvait provoquer un changement de paradigme dans la gestion des grands projets industriels. Mais il fallait un regard neuf, libre des dogmes et au contact de la réalité du terrain, le tout enrichi d'une recherche universitaire de haut niveau. Estelle, grâce à son écoute, son sens du questionnement, son analyse transdisciplinaire et son impressionnante capacité de travail, a su cristalliser ses ambitions dès les premières étapes du projet et en porter les fruits dans une contribution durable.

Je me souviens de nos premiers échanges sur la nécessité d'adapter les méthodes agiles à l'échelle des grands systèmes, là où la simple transposition de cadres existants ne suffit pas. Il s'agissait de repenser les principes pour qu'ils épousent les réalités industrielles, réglementaires et organisationnelles propres à la défense, à l'aéronautique et au spatial. Grâce à la collaboration étroite entre recherche et industrie permise par Safran, et à l'implication de nombreux praticiens et managers de projet, ce travail est devenu bien plus qu'une thèse : il constitue le socle d'une transformation profonde de nos savoir-faire et modes de pilotage.

Cet ouvrage nous apporte une triple promesse :

- offrir des outils concrets pour diagnostiquer, comprendre et maîtriser les ressorts de la complexité dans nos projets, bien au-delà des schémas classiques ;
- permettre d'expérimenter de nouveaux modes d'organisation et de pilotage en conciliant agilité et maîtrise des risques ;
- fournir le recul nécessaire pour aborder l'innovation avec responsabilité, en renforçant résilience et performance des équipes comme des programmes.

L'originalité et la profondeur de l'ouvrage résident dans cette capacité à dépasser les oppositions procédurales ou culturelles pour proposer une démarche à la fois holistique et pragmatique, fondée sur la preuve, l'exemple et le dialogue intermétiers. Il répond à une attente vive, tant du côté des étudiants et chercheurs que des ingénieurs, chefs de projet, directeurs opérationnels et décideurs confrontés à des défis stratégiques d'ampleur inédite dans notre industrie. Par ailleurs, le travail d'Estelle incarne un avant-gardisme aussi bien scientifique qu'opérationnel. C'est un signal fort adressé à la prochaine

génération d'ingénieurs et de managers : il nous faut sans cesse interroger, innover, tisser des liens entre savoirs et pratiques pour bâtir l'industrie du futur.

Cette industrie du futur, emblématique de la quatrième révolution industrielle, est un terrain fertile pour exploiter les analyses et outils proposés par cet ouvrage. L'industrie 4.0 vise à rendre les entreprises plus intelligentes, connectées, flexibles et efficaces, grâce à l'intégration des technologies numériques et de la donnée dans l'ensemble des processus industriels. Elle repose notamment sur l'ingénierie 4.0 qui englobe le pilotage collaboratif des projets, le développement basé sur des modèles (*Model-Based Engineering*) et la continuité numérique tout au long du cycle de vie des produits et services. Dans cette perspective mêlant agilité, ingénierie des systèmes, simulation, continuité numérique, gestion de données et intelligence artificielle, il y a fort à parier que d'autres ouvrages prendront appui sur celui d'Estelle.

En attendant, je vous invite à aborder cette lecture avec curiosité et exigence, animé par l'envie d'apprendre, de partager, de faire évoluer collectivement nos façons de penser et de piloter les projets de systèmes complexes. Plus que jamais, la différence viendra demain de ceux qui sauront embrasser la complexité avec méthode, intelligence, créativité et humilité, tout en restant guidés par des valeurs d'engagement, de rigueur et de responsabilité.

Puisse cet ouvrage donner à chacun de vous les clés pour relever, à son tour – et sans frottements – les défis ambidextres de notre temps.

Sylvain FAURE
Directeur technique au sein du groupe Safran

Remerciements

Cet ouvrage est tiré des travaux de thèse de doctorat de l'auteur, conduits au Centre de recherche en gestion (i3-CRG) de l'École polytechnique, sous la direction de Christophe Midler et de Sylvain Lenfle. Cette thèse, intitulée « De l'adaptation des approches agiles aux systèmes complexes industriels : une mise en œuvre contextuelle » a reçu le prix *Honoris Causa* du Réseau de recherche sur l'innovation – Promotion de la recherche en étude de l'innovation (ISTE Edition, Smart Innovation) pour le management de l'innovation en 2024. Elle a également reçu une mention d'honneur pour le prix de thèse 2024 de l'Association nationale des docteurs ès sciences économiques et ès sciences de gestion et du management (ANDESE).

Ces travaux ont originellement reçu le support de Safran Electronics & Defense (entreprise internationale de plus de 19 000 collaborateurs concevant des solutions de haute technologie pour les domaines de l'aéronautique, de la défense et du spatial). Cet ouvrage doit donc beaucoup à Sylvain Faure, Philippe Poyet, François Guillot et Mario Le Glatin. Il est également le fruit des échanges avec de nombreux praticiens et chercheurs. Merci à tous pour vos contributions.

Introduction

1.1. Origines de la conception agile de systèmes complexes

Le domaine de la gestion de projet s'est professionnalisé depuis des décennies en construisant au fil des années des référentiels méthodologiques qui se sont standardisés. Aujourd'hui, quel que soit le secteur industriel, l'activité de conception de produits de nombreux départements de recherche et développement (R&D) déploie ces référentiels pour cadrer l'activité de conception. Historiquement, les outils, pratiques, rôles dont ils sont composés se sont implantés à la suite des succès de grands projets de conception de systèmes complexes, notamment dans le secteur aérospatial ou celui de la défense (Sapolsky 2013). Nous considérerons comme complexes les systèmes de haute technologie à forte valeur ajoutée, faisant intervenir un grand nombre de disciplines et de métiers distincts comme l'électronique, le logiciel, l'optique, la mécanique, etc. De fait, ces systèmes comprennent un grand nombre de composants. Nous pouvons citer quelques projets qui ont participé à disséminer les pratiques de gestion de projets dans de nombreuses organisations. C'est notamment le cas du programme Apollo (Johnson 2002) ou le développement du premier missile balistique intercontinental¹ (Hughes 1998). À cette époque, les enjeux de la guerre froide et de la course à l'espace justifient un paradigme de conception centré sur l'atteinte des objectifs, quel qu'en soit le prix. Mais dans les décennies suivantes, autour des années 1960, la gestion de projet bascule vers la recherche d'une optimisation des coûts, sous l'égide de McNamara, secrétaire de la Défense des États-Unis (Lenfle et Loch 2010). Ce nouveau paradigme prône le modèle de pilotage par jalonnement, la définition complète du système avant le commencement de son développement (Johnson 2000). L'approche séquentielle par phase est alors reprise dans de nombreux secteurs. Le Project Management Institute (PMI) créé en 1969 poursuit l'institutionnalisation de ces pratiques de gestion de projets. Simultanément, le Department of Defense (DOD) et la NASA imposent à l'ensemble de leurs

1. Project Atlas.

fournisseurs le suivi de ces pratiques. Les secteurs de l'aérospatial, de l'aéronautique et de la défense sont alors régis par les mêmes processus, et ceux-ci se propageront par la suite à d'autres pays et secteurs industriels, touchant aujourd'hui la plupart des entreprises menant des activités de recherche et développement.

Pourtant, cette logique de conception dite systématique rencontre ses limites à la fin du XX^e siècle face au régime d'innovation intensive qui s'instaure (Le Masson *et al.* 2006). Les projets cherchent désormais à innover plus radicalement et plus rapidement, seul espoir de survie pour de nombreuses entreprises. Mais ces dernières se heurtent à la rigidité des standards de gestion de projets comme le jalonnement. De nombreuses alternatives sont alors explorées. À la fin des années 1980, les recherches sur l'ingénierie concourante (Takeuchi et Nonaka 1986 ; Clark *et al.* 1987 ; Nevins et Whitney 1989 ; Clark et Fujimoto 1991) proposent une logique de chevauchement des phases d'un projet permettant de réduire les délais de développement. À la fin des années 1990, la conception innovante se focalise sur les situations où il est impossible de donner une spécification complète de l'objet au sens de la conception systématique. Elle traite ainsi de la difficulté à définir un objet à concevoir, encore partiellement inconnu (Le Masson *et al.* 2017). Dans le même temps, de nouvelles formes de relations partenariales sont également explorées comme le codéveloppement (Midler *et al.* 1997) ou la co-innovation (Maniak et Midler 2008). Au début des années 2000, l'innovation ouverte (Chesbrough 2003) promeut la collaboration accrue des départements de R&D avec des entreprises plus innovantes. De nombreuses autres méthodes ont enrichi le modèle de conception systématique. Récemment, ce sont les méthodes agiles (Beck *et al.* 2001) originaires du secteur logiciel (Sammicheli 2018) qui proposent de renouveler la conception de produits physiques complexes. Néanmoins, leur utilisation dans ce nouveau domaine est encore exploratoire.

Dans cet ouvrage, nous aborderons la question de l'adaptation des méthodes agiles issues du secteur logiciel, au développement de systèmes physiques complexes, historiquement régi par la conception systématique. Nous passerons ainsi d'un secteur regroupant les activités de conception, de développement et de maintenance des programmes informatiques au domaine des systèmes complexes. Celui-ci regroupe la conception et la réalisation de systèmes intégrant plusieurs technologies et sous-systèmes interconnectés. Il implique souvent des contraintes fortes en termes de performance, fiabilité et sécurité et s'applique notamment à l'aéronautique, la défense, le spatial, l'énergie, le ferroviaire, les transports maritimes ou l'automobile. Dans cette perspective, nous nous interrogerons sur les modalités d'utilisation des méthodes agiles dans le cadre du développement de systèmes complexes. Pourquoi certaines entreprises cherchent-elles à appliquer ces méthodes pour le développement de systèmes complexes ? Ces méthodes sont-elles utilisables pour le développement de tels systèmes, et dans quels contextes ? Doivent-elles être adaptées et comment ? Sont-elles utiles et quelles sont leurs limites ?

I.2. L'adaptation nécessaire du développement agile

Comment définir les méthodes agiles ? Celles-ci naissent vers la fin des années 1980 et au cours des années 1990 lorsque plusieurs professionnels contestent l'efficacité des méthodes de développement logiciel traditionnelles comme le modèle cascade (Royce 1970) ou le cycle en V (Rook 1986) où les spécifications sont détaillées complètement avant que le produit soit développé, intégré et finalement testé. Tout comme dans le développement de systèmes complexes, l'aspect séquentiel et irréversible du modèle de développement traditionnel par phases est critiqué. L'adoption rapide d'Internet transforme l'environnement en faisant du délai de mise sur le marché un facteur-clé de succès. De plus, beaucoup d'applications doivent être conçues pour des utilisateurs dont les besoins changent rapidement.

Ces dernières mutations pressent les professionnels d'élaborer des méthodes pour répondre aux nouveaux enjeux de conception qu'ils rencontrent (Boehm 1988). La méthode Scrum (Sutherland et Schwaber 1995) naît ainsi. C'est le cas également de l'Extreme Programming (Beck 1999a, 1999b) et de bien d'autres méthodes. Ces dernières partagent toutes plusieurs points communs, comme l'implication du client dans le développement, l'adaptation des spécifications en cours de développement, la livraison régulière de logiciels opérationnels. En 2001, ceux-ci sont résumés dans le « Manifeste pour le développement agile de logiciel » (Beck *et al.* 2001) qui marque le début de l'expansion de ces méthodes.

Cependant, ce manifeste manque d'ancrage contextuel et ne précise pas le domaine d'application des pratiques qu'il met en exergue. Quelques rares auteurs mettent en relief les hypothèses sous-jacentes permettant l'application réussie d'un tel modèle de développement (Turk *et al.* 2002). L'utilisation du développement agile semble alors limitée à des logiciels aux caractéristiques précises.

Selon Kruchten (2013), ces projets ne requièrent qu'une douzaine de personnes dédiées. Ils ont une faible criticité en cas de défaillance, et ne dépendent d'aucun héritage contraignant. Il s'agit donc de développer un nouveau logiciel, souvent pour une utilisation interne, où le rythme de changement des spécifications peut être élevé. En revanche, l'architecture du logiciel reste relativement stable, malgré les différents changements occasionnés. Dans ce contexte particulier, nommé le *Sweet Spot* (Kruchten 2013), l'adoption² de pratiques agiles telles qu'explicitées dans le manifeste est alors facilitée, et ne nécessite aucune adaptation.

2. Nous différencions adoption et adaptation. L'adoption des méthodes agiles consiste à choisir d'appliquer ces méthodes à un projet. Dans une situation de Sweet Spot, les méthodes agiles n'ont pas besoin d'être modifiées. En revanche, en dehors du Sweet Spot, des adaptations, c'est-à-dire des modifications de ces méthodes, sont à prévoir.

Cependant, à l'heure actuelle, le développement agile a pourtant dépassé le périmètre du Sweet Spot, rendant dès lors nécessaire une certaine adaptation³ de ces méthodes au contexte dans lequel elles sont appliquées. C'est notamment le cas pour le développement agile de grands logiciels (Hobbs et Petit 2017a, 2017b), l'un des premiers domaines à avoir franchi la frontière du Sweet Spot. Cet ouvrage va encore au-delà et s'interroge sur l'utilisation du développement agile comme approche de conception de systèmes complexes. Les méthodes agiles sont-elles réellement utilisables dans ce nouveau secteur ? Comment sont-elles adaptées ?

3. En dehors du Sweet Spot, les méthodes agiles font l'objet de nombreuses adaptations pour être appliquées au contexte du projet qui les met en place. Ces méthodes étant donc transformées, nous les désignerons sous le terme d'approches agiles.