



Augmentation de la productivité des projets de R&D sous-traités, sous fortes contraintes, une inférence des approches Earned value et agiles

Florian Pereme

► To cite this version:

Florian Pereme. Augmentation de la productivité des projets de R&D sous-traités, sous fortes contraintes, une inférence des approches Earned value et agiles. Gestion et management. Université de Strasbourg, 2019. Français. NNT : 2019STRAD022 . tel-02510996

HAL Id: tel-02510996

<https://theses.hal.science/tel-02510996>

Submitted on 18 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

*ÉCOLE DOCTORALE MATHÉMATIQUES,
SCIENCES DE L'INGÉNIEUR (ED269)*

Conception, Système d'Information et Processus inventifs (ICube UMR 7357)

THÈSE présentée par :

Florian PEREME

Soutenue le : 10 avril 2019

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Génie Industriel

**Augmentation de la productivité des
projets de R&D sous-traités, sous fortes
contraintes, une inférence des
approches Earned value et agiles.**

THÈSE dirigée par :

**Pr. Bertrand Rose
Dr. Virginie Goepp**

Professeur, Université de Strasbourg
Maître de conférences HDR, INSA Strasbourg

RAPPORTEURS :

**Pr. Laurent Geneste
Pr. Marija Jankovic**

Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieur de Tarbes
Professeure, Ecole Centrale SupElec

AUTRES MEMBRES DU JURY :

**Dr. Jean Pierre Radoux
Dr. Corinne Jouanny
Dr. Gabrièle Breda
Pr. Eric Bonjour**

Directeur scientifique, Altran Division Est
VP – Technology & Innovation, Groupe Altran
Responsable Programme Recherche E-Santé, Altran
Professeur, Université de Lorraine

INVITE :

Dr. Jean-Jacques Bernardini

Responsable Pôle Europe et financements, Grand E-nov

« Bien que libres de penser et d'agir, nous sommes tenus ensemble, comme les étoiles dans le firmament, avec des liens inséparables. Ces liens ne peuvent être vus, mais nous pouvons les sentir. ».

N Tesla.

Remerciements

Ces quelques lignes, en guise d'introduction m'autorisant à sortir du protocole de rédaction du manuscrit de thèse, je n'en profiterais donc non pas pour remercier, mais pour réellement témoigner ma gratitude envers ceux et celles qui ont été présents de près ou de loin, professionnellement, personnellement, souvent les deux, à accomplir ce travail pour les 4 années qui viennent de s'écouler.

L'opportunité d'accomplir cette thèse je la dois à Fabien Prémaor, directeur de division Altran Est. Je te remercie donc d'avoir cru en moi et d'avoir pris le risque ou eu le brin de folie de me laisser dérouler mon sujet au sein de la division, sincèrement merci pour ta confiance.

Mes chers directeurs de thèse, le plus grand de ma gratitude vous revient. Merci Virginie tes conseils précis et avisés, toujours pertinents, m'ont je l'espère permis d'être aujourd'hui bien meilleur chercheur que je ne l'étais il y a 4 ans. Bertrand j'envie ton calme ta patience et ta résilience. Tu as su canaliser l'énergie qui me caractérise et me faire entrer avec douceur et bienveillance dans cet univers au combien intrigant et passionnant qu'est la recherche. Jean Pierre, ma boîte de pandore de savoirs et de connaissances ; nous ne sommes pas fous... pas tout le temps. Nos débats tardifs sur le sens de toute cette histoire, mélangeant méta physique, bio mimétisme, sciences cognitives et humaines ont été d'une richesse. A prendre à ton compte et sur tes épaules une bonne partie du stress qui devait m'incomber. Tu ne t'imagines pas comme tu m'as fait grandir. Je prends ton travail d'une vie et ton savoir comme un héritage, je tâcherais de m'en montrer digne.

Ces années de travaux je les ai vécues avec passion, émotions et dévotion. Non pas comme un exercice ou une expérience, mais comme une aventure. Comme toute bonne aventure, elle regorge de protagonistes de premier comme de second plan.

Jésus, Audrey, Yannick, Mirko, Nicolas, mes comparses du we.lab, pour sévir à distiller nos travaux dans le groupe. Vous êtes je pense, sans aucune objectivité,

la meilleure équipe de chercheurs/chefs de projet que l'on pouvait espérer avoir, ce fût un plaisir et une joie de travailler à vos côtés.

Mes collègues et camarades du biz, Max, Antho, Loïc, Genséric, Thibault, on ne s'est pas toujours compris, mais j'ai tellement appris grâce à vous. Grâce au ciel les afterworks ont toujours été d'une grande aide pour aligner les esprits et les planètes.

Amis d'hier ou de toujours, encore à mes côtés ou plus depuis un moment. Yto, Zouzouille, Junior, Tranbert, Jérôme, Sarah, Marion, Julie, Caro, K-mo, Justine, Anissa, Eric, les GIPI pour ne citer qu'eux. Ne doutez pas une seconde, vous y êtes aussi pour beaucoup. Simplement être là à m'écouter avec un intérêt plus ou moins dubitatif, m'écouter lâcher ma passion et raconter mes travaux. Supporter et je l'espère aimer, le personnage haut en couleur et dans tous ses extrêmes que je suis. Si vous avez laissé une trace dans ma vie, peu importe laquelle, votre nom mérite sa place dans la liste.

The last but not the least, je souhaite remercier ma famille, car après tout, tout est de leur faute. Je leur dois le fait de ne jamais avoir bridé mon imaginaire et mon inventivité, et ce souvent au détriment de l'état de l'atelier. De m'avoir fait saisir qu'apprendre c'est avant tout comprendre, qu'il fallait vivre et expérimenter pour s'approprier le monde qui nous entoure. À y réfléchir, les membres de ma famille feraient de bons chercheurs. Je vous remercie au fil des années d'avoir contribué à faire de moi celui que je suis.

A tous ceux que j'aime et qui savent me le rendre, je vous dois ma force et mon courage. Mon cœur aurait voulu que cette thèse dure toujours, mais mon karma attend ce moment depuis bien longtemps.

Je dédie ces travaux à mon grand-père, mon héros. Je regrette que tu ne sois plus là pour voir ça.

Contenu

1	INTRODUCTION GENERALE	11
1.1.	CONTEXTE ET MOTIVATIONS	11
1.2.	PROBLEMATIQUE DE RECHERCHE ET QUESTIONS DE RECHERCHE	18
1.3.	METHODE DE RECHERCHE UTILISEE	20
1.4.	GUIDE DE LECTURE	22
	PARTIE I : FONDATIONS	23
2	TRAVAUX ANTERIEURS	25
2.1.	PREMIERES TENTATIVES INDUSTRIELLES	26
2.1.1	1ère période : genèse de la R&D chez Medic@	27
2.1.2	2 ^{ème} période : alignement des processus hétérogènes par une approche qualité	28
2.1.2.1	Contexte et déroulement	28
2.1.2.2	Résultats d'expériences et discussions	30
2.1.3	Troisième période : production d'artefacts	32
2.1.4	Quatrième période : vers l'intégration	32
2.2.	APPROCHES EXISTANTES DANS LA LITTERATURE	35
2.2.1	Positionnement général du use case dans les sciences de la conception	35
2.2.2	Modèles de R&D standards	36
2.3.	APPROCHE HUMAINE DE LA R&D	38
3	POSITIONNEMENT ONTOLOGIQUE ET BESOIN DE FRAMEWORK DE R&D INTEGRES	40
3.1.	POSITIONNEMENT ONTOLOGIQUE	41

3.2. BESOIN DE FONDATIONS DU FRAMEWORK.....	47
--	-----------

PARTIE II : METHODOLOGIE.....57

4 ANALYSE DES VARIANTES EARNED VALUE59

4.1. CADRAGE DE L'ANALYSE.....60

4.1.1 Historique EV.....	60
--------------------------	----

4.1.2 Objectif	61
----------------------	----

4.1.3 Pourquoi se baser sur EV	62
--------------------------------------	----

4.1.4 Difficultés d'adoption d'EV	63
---	----

4.2. APPROCHES ADOPTEES.....65

4.2.1 Approche directe.....	65
-----------------------------	----

4.2.2 Approche par briques	67
----------------------------------	----

4.2.2.1 <i>Processus en trois étapes</i>	67
--	----

4.2.2.2 <i>Analyse croisée des variantes EV</i>	69
---	----

4.3. EV DANS LA LITTERATURE71

4.3.1 Construction de l'échantillon représentatif.....	71
--	----

4.3.2 Variations sur les concepts	76
---	----

4.3.2.1 <i>Variations Earned Value</i>	77
--	----

4.3.2.2 <i>Variations Earned Schedule</i>	78
---	----

4.3.2.3 <i>Variations Earned Duration</i>	79
---	----

4.3.3 Variations sur les usages d'EV	79
--	----

4.3.4 Variations sur les techniques de calcul dans EV	80
---	----

4.4. EV DANS LE PMO ALTRAN EST82

4.4.1 Structuration des offres de services	83
--	----

4.4.2 Etat de l'art interne, les lois de comportement EV	86
--	----

4.4.3 Etat de l'art interne, la typologie des données EV	100
--	-----

4.4.3.1	Construction des trajectoires.....	101
4.4.3.2	Classification automatique des profils.....	106
4.4.3.3	Interprétation des clusters.....	113
4.4.3.4	Nouvelles interviews et analyses des clusters	119
4.5.	SYNTHESE DE L'ANALYSE DES VARIANTES EV	126
5	DECONSTRUCTION	130
5.1.	CONCEPT DIRECTEUR D'EV	132
5.2.	LA COUCHE SIGNAL	136
5.2.1	Signaux de type « production ».....	136
5.2.2	Signaux de type « coût » et « délai »	143
5.2.3	Autres types de signaux.....	145
5.3.	LA COUCHE MODELISATION	146
5.3.1	Modélisation des signaux.....	147
5.3.1.1	Modélisation du signal production.....	147
5.3.1.2	Modélisation des signaux coûts généralisés	150
5.3.1.3	Earned Value	152
5.3.2	Modélisation des indicateurs de performance	153
5.3.2.1	Généralisation de CV et CPI	153
5.3.2.2	Que deviennent SV et SPI ?	155
5.3.2.3	Nouvel indicateur entre planifié et réalité ?	159
5.3.3	Modélisation des calculs de prédiction.....	160
5.3.3.1	Catégoriser les variantes	160
5.3.3.2	Recenser les variantes.....	161
6	PROPOSITION POUR RDI.....	167
6.1.	DES PRECEDENTES TENTATIVES A NOTRE PROPOSITION RDI	168
6.2.	L'ARCHITECTURE STATIQUE.....	171

6.2.1	Les éléments fondamentaux.....	171
6.2.2	IDD	172
6.2.3	EDC.....	173
6.2.3.1	Unité temporelle et spatiale d'un EDC.....	174
6.2.3.2	Structure d'un EDC	176
6.2.4	DEV	178
6.2.5	AT.....	179
6.3.	L'ARCHITECTURE DYNAMIQUE.....	181
6.3.1	Les actions principales.....	182
6.3.2	Maintenir à jour l'objectif et les EDC d'une IDD.....	183
6.3.3	Rechercher la carte la plus exploratrice des futurs EDC	185
6.3.4	Appairer Verrou et Projet externe	186
6.3.5	Produire un EDC.....	188
6.3.5.1	Phasage d'un EDC.....	188
6.3.5.2	Bonnes Pratiques d'un EDC.....	190
6.3.6	Faire émerger des assets	192
6.4.	UNE ILLUSTRATION EN CONTEXTE	193
6.5.	PERSPECTIVES KPI.....	197
6.5.1	KPI : plusieurs périmètres	198
6.5.1.1	KPI : périmètre fonctionnel	198
6.5.1.2	KPI : périmètre opérationnel.....	200
6.5.1.3	KPI : Périmètre structurel	202
6.5.2	KPI pour chaque élément RDI	203
6.5.2.1	Cas de l'élément « l'organisation RDI au global »	204
6.5.2.2	Cas spécifique de l'élément « Asset Technologique »	205
6.5.2.3	Cas spécifique de l'élément « DEV »	210
6.5.2.4	Cas spécifique de l'élément « EDC »	210

6.5.2.5	Cas spécifique de l'élément « IDD »	212
6.5.3	Principes RDI relatifs aux KPI	215
6.6.	APPLICATION EXPERIMENTALE COMPARATIVE.....	221
6.7.	SYNTHESE DE LA PROPOSITION RDI.....	227
PARTIE III : CONCLUSION.....		233
7	DISCUSSIONS ET CONCLUSION.....	235
7.1.	PRODUIT DE LA THESE : LA METHODE RDI	235
7.2.	LIMITES DE LA METHODE RDI.....	238
7.3.	SOUS-PRODUITS DE LA THESE	241
7.4.	LIMITES DES SOUS-PRODUITS DE LA THESE.....	243
7.5.	LA R&D IDEALE	246
7.6.	LES LIMITES DE LA R&D IDEALE.....	247
7.7.	CONCLUSION FINALE	248
8	REFERENCES.....	250
9	ANNEXES.....	264
9.1.	INDEX DES ABREVIATIONS	264
9.2.	INDEX DES FIGURES	267
9.3.	INDEX DES TABLEAUX	269
9.4.	INDEX DES PRINCIPES RDI.....	269
9.5.	INDEX DES DOCUMENTS ANNEXES	270
9.6.	PRODUCTION SCIENTIFIQUE DURANT LA THESE	270
9.7.	DOCUMENTS ANNEXES.....	272

1 INTRODUCTION GENERALE

Nous présentons dans ce chapitre le contexte tant scientifique qu'industriel dans lequel ont été menés ces travaux de thèse, la problématique générale traitée ainsi que les questions afférentes. Les deux derniers sous-chapitres de cette introduction générale présentent la méthodologie de recherche utilisée ainsi que le cheminement des chapitres suivants sous la forme d'un « reading manual » qui sera régulièrement détaillé au lecteur tout au long du manuscrit.

1.1. Contexte et motivations

Développer de nouveaux produits et procédés, améliorer leur qualité et leur performance afin de satisfaire les attentes des clients : telles sont pour les entreprises les finalités des efforts de recherche et développement (R&D) et d'innovation.

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont pour vocation de fournir à un service de R&D le moyen d'augmenter sa maîtrise, sa visibilité et sa performance sur les projets internes et plateaux. Il s'agit de proposer un support méthodologique dédié à la modélisation de ses processus permettant de prendre des décisions en vue d'augmenter la productivité des projets.

Pour ce faire, nous avons tout d'abord observé comment les concepts de Recherche et Développement, d'un point de vue théorique et historique, ont pu coexister et s'interfacer et quelle est l'essence même de la R&D dans les sociétés actuelles.

Ainsi, dans l'histoire de l'industrie, l'intégration de la recherche au développement (recherche et développement) par des entreprises industrielles au début du XXe siècle (par exemple, Kodak, Bell, GE) a constitué la première étape de la recherche et du développement industriel (Barge-Gil & López, 2011). La notion d'intégration est généralement induite par la complexité croissante de la technologie, aux coûts et aux processus de demande de brevet. Cette intégration a permis d'orienter davantage la recherche vers le développement de nouveaux produits. Ainsi, le

concept d'innovation de produit a pu voir le jour. Cependant, la notion d'innovation se révèle complexe et ubiquitaire, étant à la fois un processus, une finalité, mais également un état d'esprit (Kahn, 2018).

Parallèlement, la notion d'innovation s'est révélée comme primordiale pour pouvoir mener une dynamique de croissance au sein d'une économie. Ainsi, selon Schumpeter, le caractère cyclique de l'économie ne provient ni des transformations sociales, ni des évolutions démographiques, ni des variations de la monnaie. Il trouve son origine dans l'innovation. Schumpeter définit l'innovation comme « les nouveaux objets de consommation, les nouvelles méthodes de production et de transports, les nouveaux marchés, les nouveaux types d'organisation industrielle » (Schumpeter, 2008).

Cependant, la question de pourquoi innover pour créer de la croissance peut également se poser. Ainsi, il y a 47 ans, les économistes du club de Rome lançaient leur rapport « Halte à la croissance » (Barge-Gil & López, 2011; Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972), pointant les limites imposées par la finitude des ressources naturelles. En réponse à ces actions du club de Rome, différents auteurs tels que Dasgupta, Heal, Solow et Tiglitz (Dasgupta & Heal, 1974) ont proposé de prendre en compte les effets du progrès technique ou de substitution entre le capital physique et les ressources épuisables. Ces auteurs démontrent ainsi que les limites de la croissance portent moins sur l'épuisement des ressources que sur la capacité du progrès technique à assurer la poursuite de la croissance. Leurs théories reposent ainsi sur des hypothèses de substitution qui peuvent, à moyen terme, être validées et plausibles pour des ressources non renouvelables, mais beaucoup plus hypothétiques si on prend en compte un point de vue plus holistique considérant la diversité des écosystèmes ou encore le changement climatique.

Aussi, en matière d'innovation, l'intégration de considérations environnementales, humaines et matérielles, joue un rôle essentiel. L'OCDE stipule ainsi que « Loin d'être limité aux laboratoires de recherche, le champ de l'innovation englobe l'ensemble des utilisateurs, des fournisseurs et des consommateurs – que ce soit

dans les administrations publiques, les entreprises ou les organismes à but non lucratif – et elle transcende les frontières entre pays, secteurs et institutions ».

La mondialisation des grands groupes les contraint à s'inscrire dans une logique d'adaptation permanente aux évolutions des marchés et à la conquête de nouveaux débouchés. L'innovation y participe grandement. Les efforts de recherche et développement et d'innovation permettent donc aux entreprises, des petites aux grands groupes, de marquer des points face à la concurrence sur leur marché local comme sur les marchés mondiaux.

Les activités de R&D sont définies par le manuel de Frascati (OCDE, 2015) : « La R&D englobe les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances, y compris la connaissance de l'homme, de la culture et de la société ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissance pour de nouvelles applications. ». Les travaux de création se définissent non par la nature des activités, mais par l'objectif suivi.

Par ailleurs, le concept d'innovation est défini par le manuel d'Oslo de l'OCDE (OECD & Eurostat, 2005). On distingue : l'innovation de produit caractérisée par « l'introduction sur le marché d'un produit (bien ou service) nouveau ou nettement modifié », et/ou l'innovation de procédé définie par « l'introduction dans l'entreprise d'un procédé de production, nouveau ou nettement modifié. »

Aujourd'hui, le modèle le plus populaire de l'innovation est le modèle de l'innovation incrémentale (Christensen, 2013). Un autre type de modèle d'innovation de produit est l'innovation disruptive (Wan, Williamson, & Yin, 2015). Nous sommes surtout intéressés par ce type d'innovation principalement sur son aspect technologique. *Disruptive innovation* n'est pas qu'un slogan. Elle a plusieurs avantages pour les entreprises et les consommateurs dans tous les secteurs tels que l'industrie du dispositif médical dans lequel notre institution (Altran Technologies) fonctionne. Elle assure l'amélioration continue et pousse vers des marchés stables pour les entreprises et pour des produits moins chers, des services plus riches en fonctionnalités et avec une plus grande performance pour les consommateurs (Christensen, 1997). De nouveaux modèles de type

Open innovation voient également le jour (Gault, 2018; Kahn, 2018; Silviana, 2018).

Du point de vue industriel, ces travaux ont été menés dans le cadre particulier de la branche Recherche de la Division Est du Groupe Altran. Cette entité, véritable laboratoire interne, se positionne comme un acteur de l'innovation de rupture (Chanal, Martin, Breda, & Bergantz, 2017), mais qui est soumise aux mêmes contraintes de productivité et d'efficacité que les autres entités du groupe.

La Recherche & Innovation France est organisée en 6 pôles. Le programme Medic@ fait partie du pôle e-santé. Medic@ est le principal périmètre dans lequel la plupart des projets et expérimentations de ces travaux de thèse ont été menés.

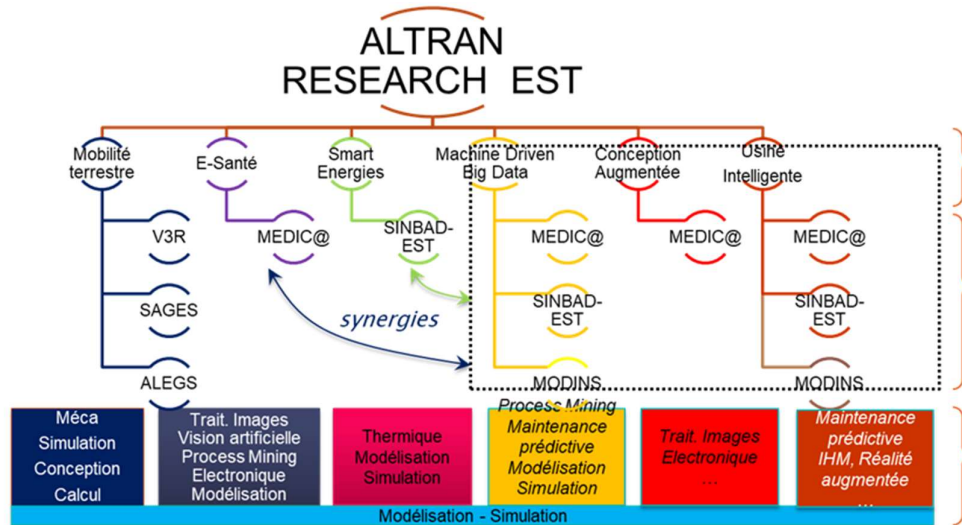


Figure 1. Organisation des projets de la Recherche Altran Est au sein des 6 pôles Recherche & Innovation Altran France, 2016

Depuis son origine, Medic@ a souvent eu recours aux techniques de gestion issues des méthodes Agiles, techniques également mises en œuvre ailleurs dans l'entreprise. Les méthodes Agiles ajoutent un paradoxe supplémentaire à l'activité de R&D. En effet, la vision classique et traditionnelle de la gestion de projet (y compris pour les projets de R&D) est basée sur un modèle purement prédictif. Elle est séquentielle, s'appuyant sur une définition successive d'activités et est centrée sur le déroulement dans le temps. A l'instar de la révolution inaugurée par

l'industrie japonaise en production manufacturière, de nouvelles méthodes de gestion de projet sont apparues ces dernières années (Scrum, OpenUP, Extreme Programming (XP),...) (Céret, Dupuy-Chessa, Calvary, Front, & Rieu, 2013; Tarhan & Yilmaz, 2014). Dans ces méthodes, la notion même de « gestion de projet » est remise en question au profit de « gestion de produit » ; de façon à raisonner davantage « produit » que « projet ». Cette vision est adaptative. Ainsi, les méthodes Agiles proposent de donner davantage de visibilité que les méthodes traditionnelles, en impliquant le client du début à la fin du projet et en adoptant un processus de développement itératif et incrémental. Elles considèrent que le besoin ne peut être figé et propose au contraire de s'adapter aux changements de ce dernier. Cette vision est cependant également paradoxale avec le cadre normatif et figé prôné par la mise en œuvre de la norme ISO 13485 :2003.

Pour bien cerner le périmètre de l'entreprise de conseil Altran, il s'agit de noter que les résultats du Département Recherche n'ont pas uniquement pour vocation de venir satisfaire des exigences client court terme pour la constitution d'un produit ou service. Ils ont 3 outcomes principaux, 2 externes et 1 interne : des prototypes ou produits d'innovation, des publications scientifiques ou des brevets, des assets pour les projets clients.



Figure 2. Périmètre des résultats de la recherche

1. Une des sorties externes, est la réalisation de certains prototypes ou produits d'innovation permettant de lever un verrou technique et ou scientifique. Cette sortie est à destination des partenaires de recherche.
2. L'autre sortie externe est l'enrichissement de la littérature scientifique. Les travaux réalisés pour aboutir à la levée de verrous sont transformés et diffusés à l'attention de la communauté scientifique.
3. La sortie interne, est la conversion du savoir acquis lors des projets de recherche en *assets* vers les centres de compétence. Les *assets* regroupent tout nouveau bien, technologie, produit, service, compétence. Il s'agit ici du lien entre le département recherche et les autres entités Altran, qui a pour but de permettre à Altran de développer ses offres en ingénierie innovante.

Une première particularité est l'alimentation des *outcomes* vers les centres de compétences autant « en connaissances » qu'en « produits palpables ». Dans le contexte d'activités de type recherche traitant de sujets techniquement complexes, les délais de création, d'acquisition et d'appropriation du savoir nécessitent plus de temps que dans un contexte d'activités de conseil ou de conception classiques via les centres de compétences. Ce fonctionnement à deux vitesses est la seconde particularité à prendre en compte. D'où l'intérêt de disposer d'un modèle *ad hoc* incrémental et collaboratif de gestion du savoir selon les théories de (Hatchuel, Le Masson, & Weil, 2002).

Cette situation se complexifie d'autant plus au sein d'Altran : dans les centres de compétences, l'organisation en « plateforme » est stable pour chaque projet ; au contraire, au sein du département recherche, les compétences varient rapidement au cours des programmes aussi bien en termes de besoin que de disponibilité.

Enfin, au sein même du département recherche, et en particulier Medic@, les questions de contingences exigent des formes d'intégration de R&D particulières :

1. Le contexte de la sûreté de fonctionnement, matérialisé au minimum par la prise en compte de la norme ISO 13485 (contexte dispositifs médicaux). Ce contexte pousse notamment à une rigidification des processus. La

documentation exigeante et gigantesque nécessaire pour prouver tout ce qui va se passer et tout ce qui s'est passé (« ce qui n'est pas écrit n'existe pas ») freine au quotidien les activités de recherche et de développement proprement dites (McHugh, Cawley, McCaffery, Richardson, & Wang, 2013).

2. Le contexte recherche qui, au contraire, a besoin à tout instant de déceler les ouvertures, les nouvelles pistes.
3. La souplesse adaptative (mise en œuvre avec des méthodologies telles que Lean/Agile et le Knowledge Engineering) devient une nécessité de par les utilisateurs finaux. Pour illustrer le besoin de souplesse adaptative, les chirurgiens ne prennent le temps d'évaluer une nouveauté que lorsqu'elle est à un niveau de produit fini ; c'est souvent seulement à ce moment-là, c'est-à-dire très en aval de la R&D, que des refus ou des modifications majeures sont détectables.
4. La prise en compte d'un contexte tant de technologies changeantes rapidement que de combinaisons complexes multi-technologiques.
5. Le contexte de concurrence avec des contraintes de délais planifiés pour les innovations

Ces contextes étant posés, il convient désormais de présenter la problématique de recherche et les questions associées.

1.2. Problématique de recherche et questions de recherche

En regard du contexte industriel et scientifique présenté précédemment, la finalité des recherches sur « R&D Intégrés » est de pouvoir raccourcir les temps de mise sur le marché (« time to market ») tout en apportant des solutions technologiques de plus haut niveau, dans des contextes fortement contraints. Il s'agit ainsi de fournir à un service R&D le moyen d'augmenter sa maîtrise, sa visibilité et sa performance sur les projets internes et plateaux.

Pour ce faire, il convient donc de se poser la question de comment augmenter la productivité des projets R&D sous-traités ?

Cette question est la **problématique phare** de ces travaux de recherche. La réflexion menée ici permet de positionner les réponses à cette question selon différents points de vue, tant du point de vue du positionnement sémantique et de la synchronisation cognitive entre les différents participants à ces activités complexes et à valeur ajoutée supposée importante que du point de vue de l'évaluation de ces activités.

Pour ce faire, nous avons structuré les réponses à cette problématique générale de recherche autour de 2 questions de recherche :

- **QR1 : Quels sont les concepts sous-jacents à la RDI ?**
- **QR2 : Comment mesurer la production de la RDI ?**

En premier lieu, il est important de se poser la question de comment normaliser les activités de R&D intégrés. Les différences culturelles et méthodologiques entre Recherche, Développement et Commercialisation sont un facteur crucial dans la chaîne de transformation de valeur entre un verrou scientifique et sa mise sur le marché. Ce frein limite de façon évidente la capacité d'innovation d'une organisation. Etre en mesure de normaliser l'ensemble des activités sur leurs aspects sémantiques offre une compréhension globale entre tous les acteurs de

l'innovation et fluidifie les transferts d'information et de valeurs entre tous ces acteurs.

Une fois cette synchronisation sémantique réalisée, il est nécessaire de définir, dans un cadre, les échanges entre les différents acteurs de l'innovation (Recherche, Développement et Commercialisation).

La seconde question de recherche constitue le véritable cœur des apports de ces travaux de thèse tant dans l'originalité des réponses apportées à la spécificité de l'évaluation et des apports de la Recherche et Développement intégrée que dans l'approche et la philosophie de l'évaluation qui y est adoptée.

En effet, dans nos recherches, nous nous sommes principalement intéressés à l'amélioration de l'efficacité globale et de la productivité de la division R&D, dans un contexte industriel. Aujourd'hui, les différentes mutations liées à la mise en œuvre des technologies et concepts de l'industrie 4.0 nécessitent de complètement changer les référentiels de mesure. Le moyen de mesurer cette amélioration constitue donc un défi crucial. En effet, les outils méthodologiques pour évaluer l'impact du développement de ces nouveaux concepts manquent à l'appel aujourd'hui (Sanchez, Monticolo, Bonjour, & Micaëlli, 2019). L'enjeu est d'accélérer voire d'entrelacer plus finement les travaux et résultats de recherche et les réalisations de prototypes, afin de correspondre aux stratégies d'entreprise de R&D dédiées aux gestionnaires de projets de R&D.

Pour ce faire, nous avons suivi un protocole de recherche classique, mais néanmoins performant au regard des situations dans lesquelles ces travaux ont été menés.

1.3. Méthode de recherche utilisée

Notre méthodologie de recherche est une approche croisée menée autour de 2 vecteurs : le « case study » et la « grounded theory ».

La démarche « case study » d'une part. Cette démarche est considérée dans le cadre de la définition de (Yin, 2008). En effet, la démarche « case study » a pour objectif de permettre aux chercheurs de conserver les caractéristiques globales et significatives d'événements de la vie réelle (processus organisationnels et de management, niveau de maturité des industries ...) ; ce contexte étant tout à fait pertinent en regard du panel d'entreprises que nous pouvons observer. D'autre part, l'essence même d'une étude de cas, sa tendance centrale parmi tous les types d'étude est qu'elle tente d'éclairer une décision ou un ensemble de décisions : pourquoi sont-elles prises, comment sont-elles été mises en œuvre, et avec quel résultat (Schramm, 1971). Ainsi, notre objectif est clairement ciblé vers la construction de théories permettant de mixer l'élaboration et la configuration d'un cadre d'observation et de réflexion pour pouvoir mener une description dense et précise des situations; avec l'ambition de pouvoir être réutilisées à terme dans d'autres études avec des configurations différentes de manière à vérifier des théories et des hypothèses nouvelles nécessitant des tests plus importants (George & Benett, 2005; Lijphart, 1971).

Parallèlement, nos travaux empruntent une démarche issue de la « grounded theory ». La « Grounded theory » se réfère à un ensemble de méthodes inductives systématiques pour effectuer une recherche qualitative visant au développement d'une théorie. La « Grounded theory » désigne deux facettes : un procédé constituée de stratégies méthodologiques flexibles d'une part, et d'autre part les produits issus de ce type d'enquêtes. De plus en plus, les chercheurs utilisent le terme pour désigner les méthodes d'enquête pour la collecte et, en particulier, l'analyse des données (Charmaz, 2006).

Ainsi, à travers différentes études et expériences passées au sein de la division Est du groupe Altran, nous avons collecté et capitalisé un certain nombre de données. Basée sur une analyse qualitative de ces données, notre démarche se

rapproche plus de la vision proposée par (Strauss & Corbin, 1990) de la « Grounded theory ». Ainsi à la différence des premiers écrits sur cette démarche, les modèles que nous proposons ne sont pas fondés uniquement sur les données. Dans cette vision, à l'instar des propositions faites par (Engward, 2013) ou encore (Seidel & Urquhart, 2013), les données sont structurées de manière à révéler les théories et concepts sous-jacents. La théorie est interprétée par le chercheur et la première phase de codification est réalisée de manière active par le chercheur.

La Figure 3. Méthodologie de recherche adoptéeFigure 3 présente de manière schématique la méthodologie de recherche adoptée en partant des études de terrain et des sources bibliographiques pour aboutir à des modèles ainsi que des prescriptions d'utilisation dans un environnement donné. Ceci nous permettant ensuite de préconiser une méthodologie globale intégrant le déploiement, sans oublier une boucle de retour (et de validation) via d'autres études industrielles.

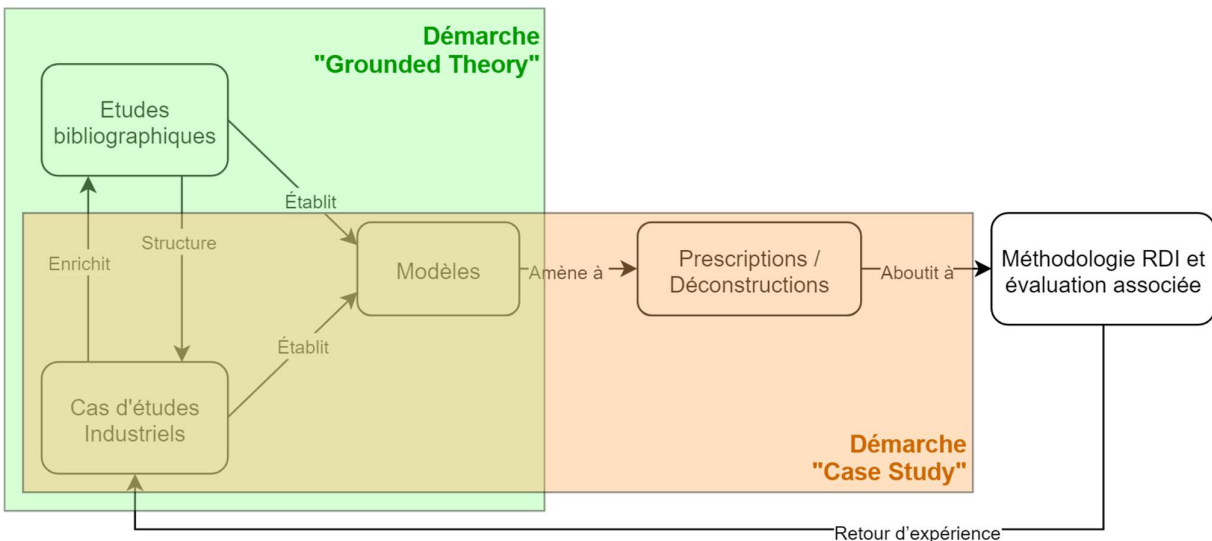


Figure 3. Méthodologie de recherche adoptée

1.4. Guide de lecture

La figure ci-après présente le programme général développé dans ce document. Dans le but d'accompagner le lecteur dans son cheminement, ce type de « reading manuel » sera fourni pour chaque partie et chaque chapitre.

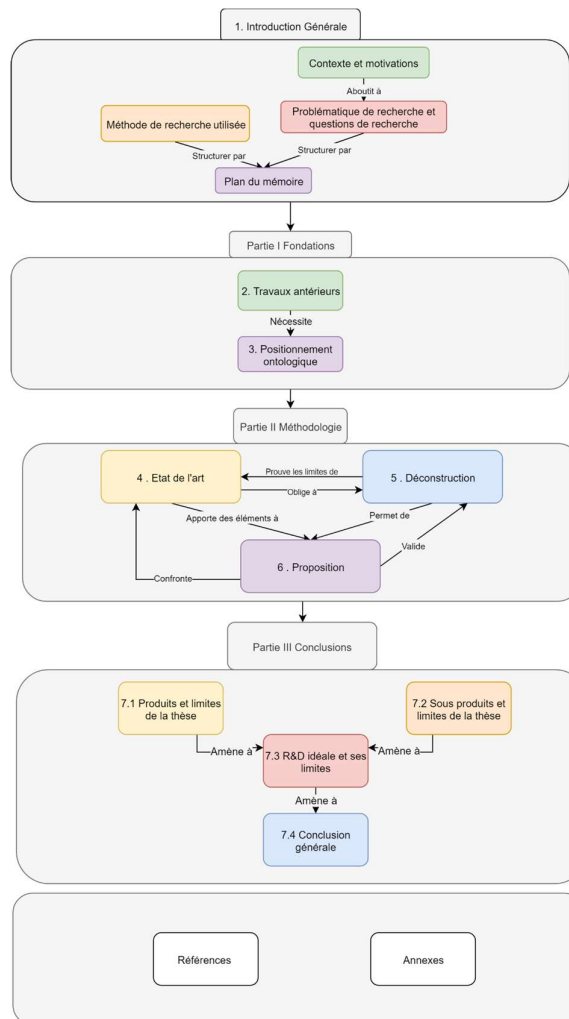


Figure 4. Reading manual global

PARTIE I : Fondations

« Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

Lavoisier.

La partie I « Fondations » présente au chapitre 2 les premiers retours d'expériences industriels concernant la mise en œuvre des méthodes de R&D dans une entité dédiée, en mixant les approches « bottom/up » et « top/down ». Ensuite, au chapitre 3, ces analyses déboucheront sur une proposition de positionnement et les besoins de framework pour une R&D performante.

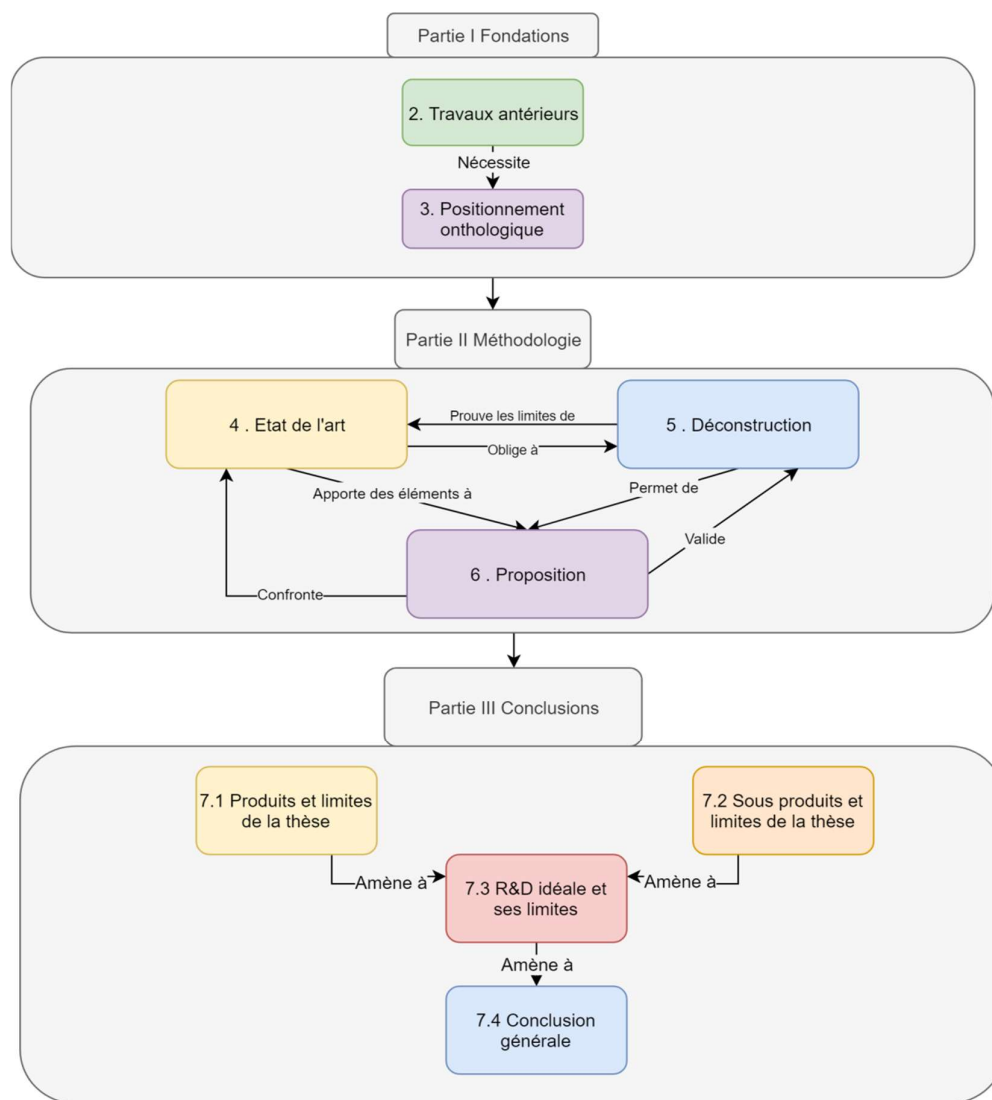


Figure 5. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III.

2 TRAVAUX ANTERIEURS

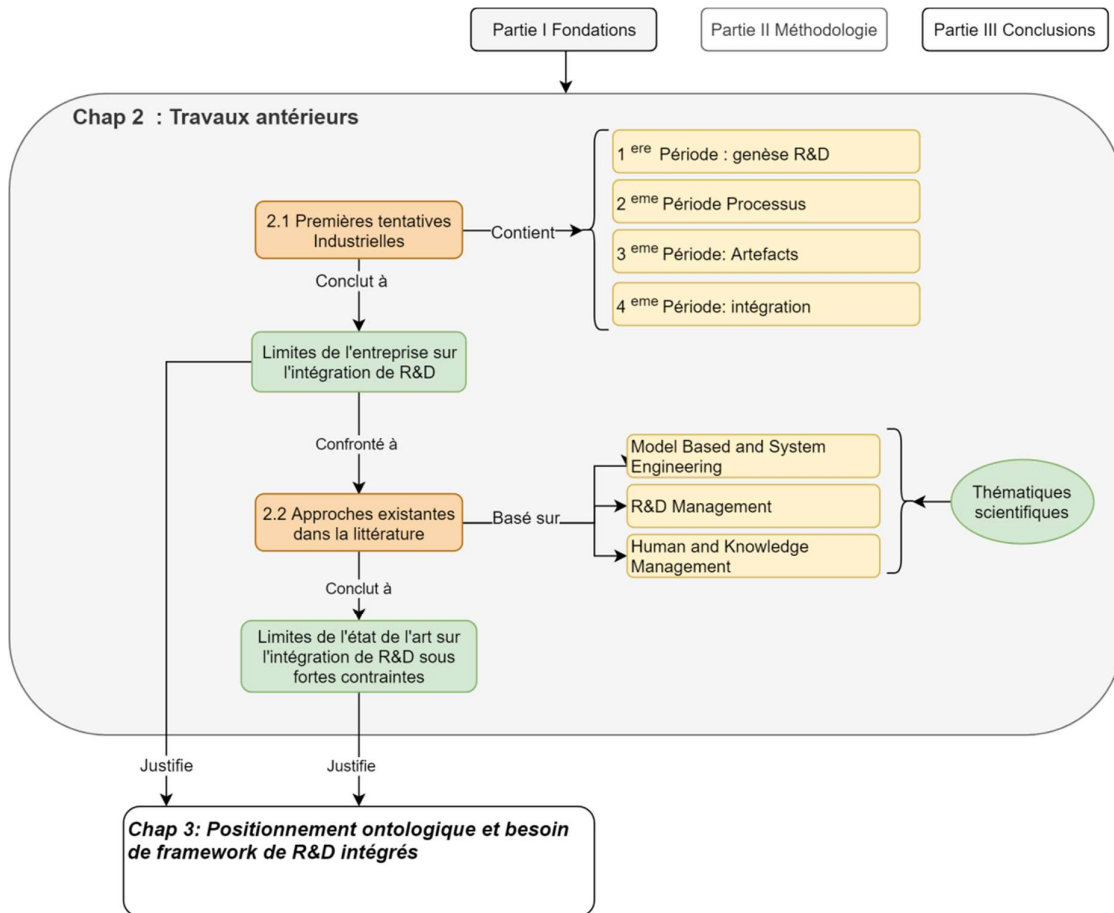


Figure 6. Reading manual. Partie I. Chapitre 2.

Le chapitre 2 commence par un focus sur le cadre de travail, les aspects génériques et spécifiques des conditions de travail des retours d'expérience, puis détaille dans une démarche bottom/up les premières tentatives de déploiement d'une R&D efficiente. Il préconise ensuite une vision de l'état de l'art confrontée à ces retours d'expériences industriels.

2.1. Premières tentatives industrielles

L'étude de la R&D dans un contexte industriel doit fonder les hypothèses de recherche sur des expériences réelles. Conformément à la méthodologie de recherche présentée dans l'introduction générale de ce manuscrit, nous avons appliqué notre recherche et notre prospection à l'un des projets de R&D appelé Medic@ au sein du Département Recherche Altran. Comme présenté précédemment, ce département est une unité de la société de technologie Altran. Selon un format matriciel, le Département Recherche gère des projets avec une direction centralisée indépendante en s'appuyant sur les ressources de la division géographique locale, telles que les RH, la force de vente ou encore les outils et les processus standards de l'entreprise. Ce type d'organisation est délicat à mettre en œuvre dans la gestion et l'organisation de l'équipe de recherche en ce sens que les objectifs et les rapports sont établis avec une équipe de direction centrale qui combine à la fois la production scientifique et le développement de produits innovants. Ce modèle crée un ensemble de contraintes auxquelles l'équipe de recherche doit faire face. De plus, une partie des ressources humaines sont partagées entre les projets de recherche internes et les projets clients. La part des ressources volatiles est importante. Cependant, le contexte adaptatif et en évolution rapide est plus une opportunité qu'un frein pour les projets de recherche. Il peut en quelque sorte être considéré comme une "open organisation" à petite échelle, du moins sur les caractéristiques d'inclusion et de collaboration au sens de (Whitehurst, 2015).

D'un point de vue historique, l'évolution de l'entité de recherche et développement Medic@ peut être divisée en 4 périodes s'étalant sur huit ans. La quatrième période est en cours.

2.1.1 1ère période : genèse de la R&D chez Medic@

La première, la genèse, ne peut pas être comparée aux autres périodes car les facteurs externes et internes sont trop différents, en taille, complexité et dépendances avec des organisations externes. La première période est néanmoins instructive pour définir certains principes fondamentaux pour nos travaux ultérieurs. Au début, la portée était limitée à un seul projet. Cependant, les ressources étaient déjà à temps partiel, c'est-à-dire une moyenne de 1,4 ETP (équivalent temps plein) répartie sur 19 personnes. De plus, le département était interfacé avec une autre R&D externe. Afin d'éviter toute confusion quant à la nature des expériences menées dans l'organisation de la R&D, il convient de noter qu'Altran a pour métier de travailler pour ou avec des clients externes de la R&D, de prendre des risques différents, tels que les contrats à prix fixe. La différence avec Medic@ et tous les autres projets de recherche internes réside dans le fait que les thèmes de recherche sont choisis par l'entité géographique et financés sur fonds propres. À la fin de la première période, nous étions en contact avec deux autres sociétés de R&D externes, en concurrence sur certains sujets et complémentaires sur d'autres. Dans le même temps, nous avons également ressenti le besoin de devenir plus indépendants et de développer notre propre modèle, correspondant à notre problématique, afin de produire des résultats de recherche (connaissances scientifiques) sans rivaliser avec le milieu universitaire ni avec des produits d'ingénierie. Mais également de ne pas rivaliser avec le degré de finition apporté par la technologie de fabricants ou constructeurs d'équipements. L'objectif de notre entité dès le départ a été de réduire les délais de mise sur le marché de nos clients, sur des sujets qu'ils ne nous ont pas encore proposé et avec un niveau suffisamment élevé de valeur scientifique et technique pour créer un effet de rupture suffisamment durable. Jusque-là, notre organisation était en amélioration continue comme toute organisation. Il est devenu nécessaire

de considérer notre R&D comme une expérience de recherche. C'est le début de la deuxième période.

2.1.2 2^{ème} période : alignement des processus hétérogènes par une approche qualité

2.1.2.1 Contexte et déroulement

Maîtrisant les techniques et savoir-faire tels que CMMI ou le Lean en matière de gestion de projet et suivant une grande variété de modèles de livraison, la deuxième période de notre R&D était naturellement axée sur les processus. À ce moment-là, le nombre de projets en cours était compris entre 3 et 5, avec une fourchette de 3,5 à 9,2 ETP sur 196 personnes pour cette période. L'idée était simple : à partir du plan qualité ISO utilisé, nous avons défini un cas spécifique pour le programme de recherche Medic@. Tous les processus actuels jugés compatibles avec nos activités sont utilisés tels quels, sans aucune modification. De nouveaux processus sont créés et ajoutés pour les activités sans équivalent dans le plan actuel. Enfin, les processus actuels partiellement adaptés à nos besoins sont modifiés pour mieux correspondre au mode de fonctionnement.

Ces processus étant hétérogènes, dans leur nature comme dans leur opération, le déroulement habituel de l'activité est un processus séquentiel et constitue par conséquent une phase relativement longue du cycle de vie des produits innovants, pouvant aller jusqu'à une décennie.

Cette seconde phase cherche à améliorer l'efficacité des R&D par l'alignement des processus. L'idée est d'utiliser un système qualité commun pour la recherche et le développement.

Le cadre du programme Medic@ étant des travaux de R&D dans le domaine métier des logiciels de dispositifs médicaux, le référentiel qualité est légalement défini pour ces activités comme suit :

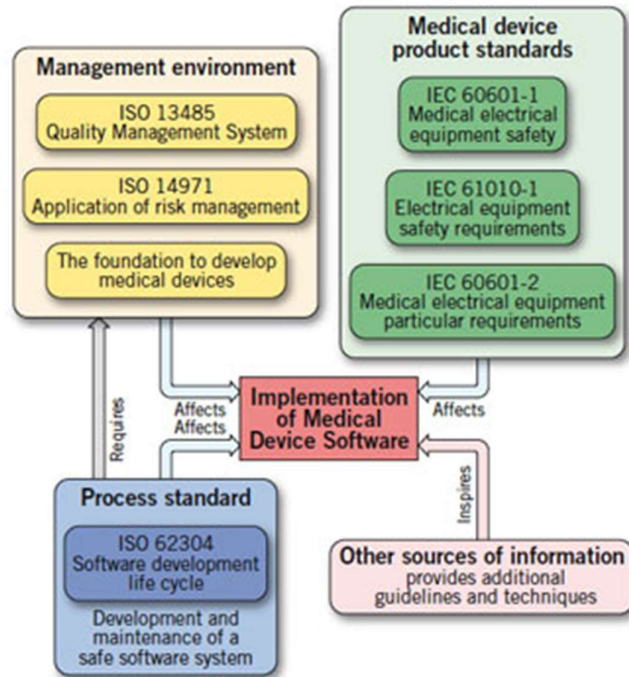


Figure 7. Référentiels qualité pour les dispositifs médicaux

L'ensemble du référentiel qualité adéquat pour Medic@ est :

- ISO 13485:2003 Dispositifs médicaux -- Systèmes de management de la qualité -- Exigences à des fins réglementaires
- IEC 62304:2006 Logiciels de dispositifs médicaux -- Processus du cycle de vie du logiciel

Ces 2 aspects abordent la partie générique du moyen et du produit, pour pouvoir produire un logiciel de dispositif médical.

La première itération a porté sur le référentiel ISO 13485. Les travaux se sont déroulés comme suit :

- Mapping des processus de recherche et de développement, tels qu'implémentés au sein du programme Medic@, en suivant les référentiels et bonnes pratiques en place.
- Audit complet des systèmes comme une succession de 2 processus (Recherche puis Développement) dans un seul système.
- Gap analysis et proposition de plan de mise en conformité.
- Mise en place des actions corrective en priorisant selon un schéma méthodologique "Quick Win"
- Observation et retour d'expérience sur le déploiement.

2.1.2.2 Résultats d'expériences et discussions

La mise en conformité sur des aspects management des ressources et engagement de la direction n'est pas un verrou en soi, le taux de conformité atteignant respectivement 65% et 68 %, des taux satisfaisants pour une structure jeune comme le programme Medic@ qui a engagé une politique de gestion de la qualité de moins de 3 ans, dans un environnement de ressources humaines à fort turnover de personnel.

En revanche les aspects de mesure d'amélioration et de gestion des produits présentent des taux de conformité très faibles. Une analyse critique de la confrontation des prérequis normatifs vis à vis des pratiques en place pour le déroulement des opérations, a permis de mettre en perspective un certain nombre de paradoxes (Tableau 1. Paradoxes de l'alignement top down des systèmes.

Pratiques	Aspect	Paradoxe	Aspect	Pratiques
Agile	La documentation est accessoire	Ne pas perdre de temps en documentations, tout en retraçant l'information	Documenter les entrées et sorties processus, planification et revues d'activités	ISO 13485
Altran Excellence	La satisfaction du client est prioritaire	Satisfaire le client au détriment du produit, ou sécuriser le produit au détriment du client	La sécurité du produit est prioritaire	ISO 13486
CMMI	Approche par pratiques applicable aux processus	Vision orthogonale de la maîtrise des réalisations	Approche par processus contenant les pratiques	ISO 13485
Agile	Le changement est inhérent aux réalisations	Le changement ne doit pas forcément être maîtrisé, seul le produit qui en résulte compte, mais il doit en même temps être parfaitement documenté	Le changement doit être pensé, planifié, et documenté	ISO 13485
Staffing	Les contributeurs peuvent être variables en dehors des sprints, du moment qu'ils sont compétents pour être productifs	Les contributeurs doivent avant tout pouvoir apporter de la valeur au projet, mais doivent également et avant tout être formés	Les contributeurs doivent avant tout être formés à la qualité, à leurs métiers et au processus	ISO 13485
Altran Excellence	en référence à ISO 9001, il faut continuellement améliorer les processus	Stabiliser les processus tout en les améliorant	Il faut apporter la preuve que les processus sont stables	ISO 13485
Recherche	Il est plus important de lever les verrous que de tracer les moyens d'y parvenir	Se concentrer sur le but de levée de verrou, tout en retraçant l'enchaînement d'activités, permettant d'y aboutir	L'approche processus, et la nécessité de documentations, impose de retracer l'enchaînement des étapes aboutissant au résultat	ISO 13485

Tableau 1. Paradoxes de l'alignement top down des systèmes

L'ensemble de ces paradoxes mis en évidence permet de conclure qu'il n'est pas possible d'obtenir une conformité normative par rapport aux méthodes de recherche et de développement employées sur Medic@. L'application "Top down" d'un référentiel aligné contraint les 2 processus sur un schéma non adapté, aboutissant soit à une structure de R&D ne faisant que de l'ingénierie de projet de développement, ou soit une structure de R&D sans maîtrise. L'alignement sur le référentiel IEC 62304 a été également mis de côté car basé sur la même approche.

Nous ne dirons pas que c'était un échec, mais le résultat était décevant. Comme on pouvait s'y attendre, la créativité n'a pas été privilégiée, comme peuvent en témoigner la seule production de papier scientifique et la preuve de concept industrielle. L'une des causes est l'hypothèse qu'un chercheur effectue une recherche et qu'un développeur crée un développement, c'est faux. Une même personne peut mener des activités de recherche et de développement ... sans savoir comment les distinguer.

2.1.3 Troisième période : production d'artefacts

La troisième période s'est concentrée non pas sur les processus, mais sur la production d'artefacts. Certains processus avaient été mis en œuvre de manière continue, mais l'accent était mis sur le résultat plutôt que sur le moyen de le réaliser. Les processus minimisés ont été conduits dans une approche agile. L'objectif était de remédier aux lacunes de la période précédente. L'idée principale étant la suivante : s'il est difficile de discerner les activités de recherche et de développement, il est probablement plus facile de discerner leurs produits finis. Plusieurs participants expérimentés en R&D y ont contribué.

Comme en deuxième période, le résultat fut également un peu décevant, même si l'équipe et la taille du projet ont constamment augmenté : entre 6 et 12 projets, avec une moyenne de 302 personnes formant 16,5 équivalents temps plein. Et il en va de même pour la production de publications et la production de POC (preuves de concept) industrielles. Le ratio production d'artefacts scientifiques et de développement par personne nous semble encore très léger. Cependant, ce type d'organisation dépend beaucoup trop du comportement des individus et ne peut pas dépasser le niveau 1 du CMMI (Selleri Silva et al., 2015). L'intégration de la recherche et du développement n'est pas totalement résolue, même si elle ajoute enfin la commodité des deux. De plus, pendant cette période, la production de chacun était difficilement transmissible, ce qui est paradoxal pour un processus qui se voulait orienté-documentation.

2.1.4 Quatrième période : vers l'intégration

Toujours dans une démarche itérative, la quatrième période a commencé à traiter les défauts des périodes précédentes. En effet, si ni l'approche processus ni l'approche artefact ne fonctionnent, il est tout à fait logique de dire que nous ne

puissions les fusionner. Tenter de résoudre le paradoxe, c'est l'affaiblir. Il faut donc le garder. Notre paradoxe peut être simplement décrit.

- Vous pouvez imaginer travailler sur un nouveau développement de produit. La phase de recherche fondamentale est à faire.
- Vous êtes maintenant à l'étape du premier prototypage de produit. En utilisant ces nouvelles connaissances scientifiques, l'espace de conception que vous utilisez actuellement pour établir votre produit est toujours de la recherche (NB: précisément entre la recherche opérationnelle et le développement expérimental, selon le manuel de Frascati (OCDE, 2015).
- Étant donné que vous l'exécutez uniquement avec les processus de développement de produit, (les KPI), vous perdez la valeur scientifique majeure liée à la production de connaissances génériques.
- De la même manière, vous ne pouvez faire exactement les mêmes activités qu'avec des méthodes de recherche. Dans ce second cas, vous perdez des artefacts de prototypage de produit et des connaissances pratiques.

Cet espace spécifique regroupe à la fois des activités de recherche et des activités de développement de produits, selon le paradigme choisi. Cela a été clairement identifié au cours de notre troisième période comme un élément clé pour la mise en place d'un cadre organisationnel intégratif pour la R&D externalisée (Figure 8). Ceci est tout particulièrement vrai dans notre contexte de R&D en génie industriel, où nos activités sont étroitement liées à cet espace.

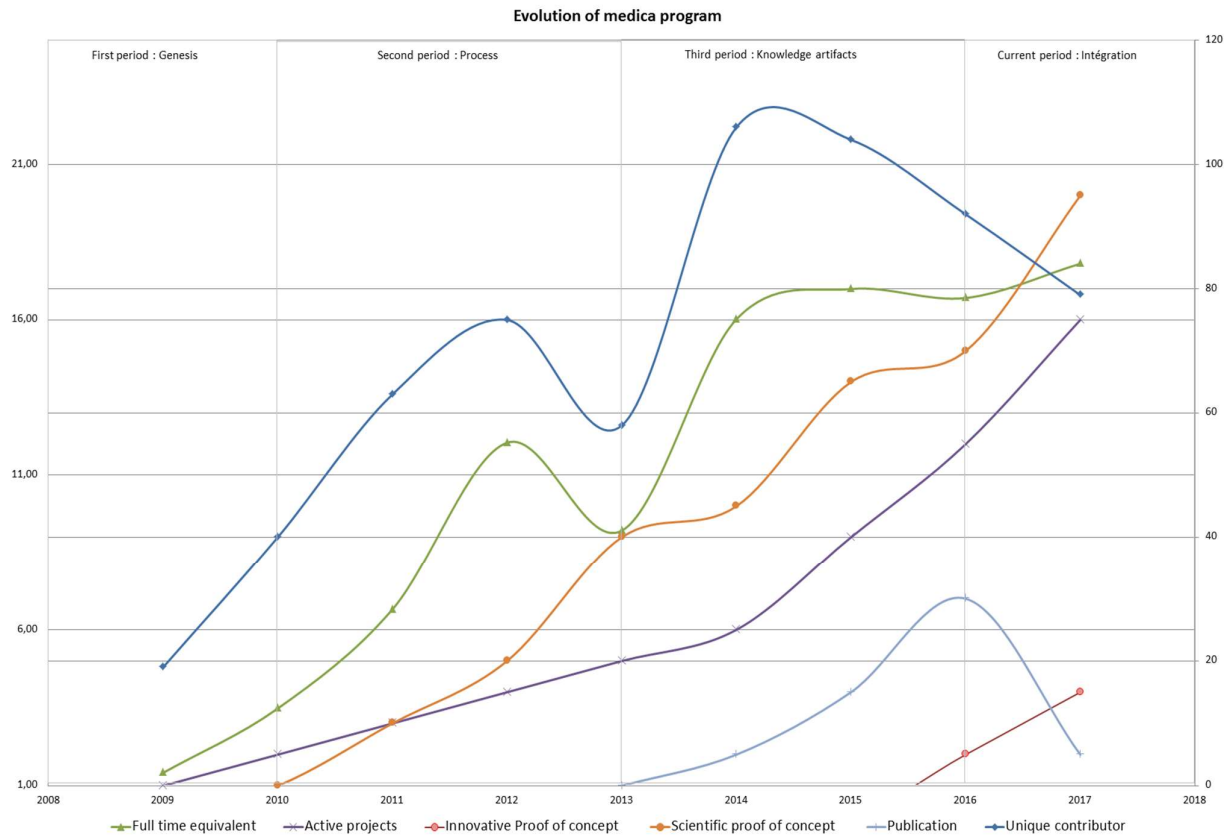


Figure 8. Variations des productions Medic@ sur les 4 périodes

La quatrième phase se terminera avec les travaux de thèse. La cinquième phase qui s'en suit sera celle de l'intégration industrielle.

2.2. Approches existantes dans la littérature

2.2.1 Positionnement général du use case dans les sciences de la conception

Ces dernières années les travaux en engineering design ont mis l'accent sur la nécessité d'intégrer de manière unifiée le produit, le processus et l'organisation. Cela est le cas du modèle FBS-PPRE (Labrousse & Bernard, 2008) ou encore du modèle PPO (Noël & Roucoules, 2008) qui s'articule autour de ces trois entités. Ce dernier pourrait servir à enrichir le modèle d'alignement stratégique « classique » SAM (J. C. Henderson & Venkatraman, 1993) soit en y ajoutant un nouveau domaine, celui de la R&D, soit en particulierisant les composants du domaine business interne avec les éléments structurants du modèle PPO. Cependant, l'alignement stratégique vise à articuler les niveaux externe et interne. Alors que les modèles de type PPO sont centrés sur le niveau interne, il s'agit aussi de particulariser le niveau externe. Ici, les travaux sur la performance en innovation qui exploite les balanced score card (Ivanov & Avasilcăi, 2014) peuvent s'avérer pertinents pour répondre au besoin. L'idée serait de passer d'une logique « classique » d'alignement stratégique centrée sur l'articulation entre le business et les opérations à une logique d'alignement des activités R&D qui nécessite non seulement « d'aligner » chaque projet individuellement, mais aussi d'aligner les projets entre eux. Cela est d'autant plus complexe pour les projets R&D que l'outcome (au sens de (Kahn, 2018)) n'est pas connu à l'avance.

A ce cadre d'alignement stratégique pour les projets R&D il faut ajouter l'évaluation de l'efficience de ceux-ci. Les travaux de (O'Donnell & Duffy, 2005) ou encore de (Robin, 2005) pourraient être exploités. En effet, ces travaux structurent la performance en conception autour de vecteurs locaux et vecteurs globaux

permettant de prendre en compte non seulement la performance du produit conçu, mais aussi son organisation. Ici, une vision sur les ressources mobilisées durant les projets de R&D permet d'aborder la productivité de manière pertinente. Cependant, l'outillage même de ces concepts pour mesurer la productivité n'est pas adapté aux nouvelles formes d'organisation agiles de la R&D, et d'autant moins dans le cas d'une R&D outsourcée.

Une première particularité du cas d'études est l'alimentation des outcomes vers les centres de compétences autant « en connaissances » qu'en « produits palpables ». Dans le contexte d'activités de type recherche traitant de sujets techniquement complexes, les délais de création, d'acquisition et d'appropriation du savoir nécessitent plus de temps que dans un contexte d'activités de conseil ou de conception classiques via les centres de compétences. Ce fonctionnement à deux vitesses est la seconde particularité à prendre en compte. D'où l'intérêt de disposer d'un modèle ad hoc incrémental et collaboratif de gestion du savoir selon les théories de (Hatchuel et al., 2002).

Cette situation se complexifie d'autant plus au sein d'Altran : dans les centres de compétences, l'organisation en « plateforme » est stable pour chaque projet ; au contraire, au sein du département recherche, les compétences varient rapidement au cours des programmes aussi bien en termes de besoin que de disponibilité.

2.2.2 Modèles de R&D standards

Les modèles de R&D standards (Ivanov & Avasilcăi, 2014; Kerzner, 2015; Pillai, Joshi, & Rao, 2002) considèrent le développement de produits et la recherche de manière linéaire. En conséquence, la R&D est définie comme la séquence successive de recherche et développement. Les entreprises industrielles peuvent, selon leur propre stratégie, inclure plus ou moins de recherche dans leur propre département de R&D, mais restent néanmoins massivement centrées sur le développement de produits.

Pour le développement de produits, le cycle de vie correspondant est généralement déterminé par des contraintes de coût, de qualité et de délai. En

conséquence, le modèle de processus le plus approprié est un modèle linéaire (par exemple, modèle en V – standard de l'industrie logicielle depuis les années 1980, le modèle en cascade). (Desmoulins, 2009).

Ce type de modèle est prédictif et convient à la gestion de ce type de projet. Une autre façon de mieux s'adapter aux inconnus et aux changements consiste à envisager des modèles de développement de produits agiles. Celles-ci reposent sur le transfert de facteurs humains et de connaissances tacites (Nonaka & Takeuchi, 1995). Le premier type de modèles est basé sur la robustesse du système et des processus, tandis que le second type repose sur le produit et l'adaptabilité aux besoins du client.

Les modèles de recherche ne sont basés ni sur le produit ni sur le moyen de le réaliser, mais sur des phases exploratoires et de réduction. Ils sont généralement définis comme des moyens créatifs itératifs et incrémentaux de résoudre le problème de la recherche.

La Figure 9 ci-après présente trois modèles de R&D industriels devant conduire au développement de produits innovants.

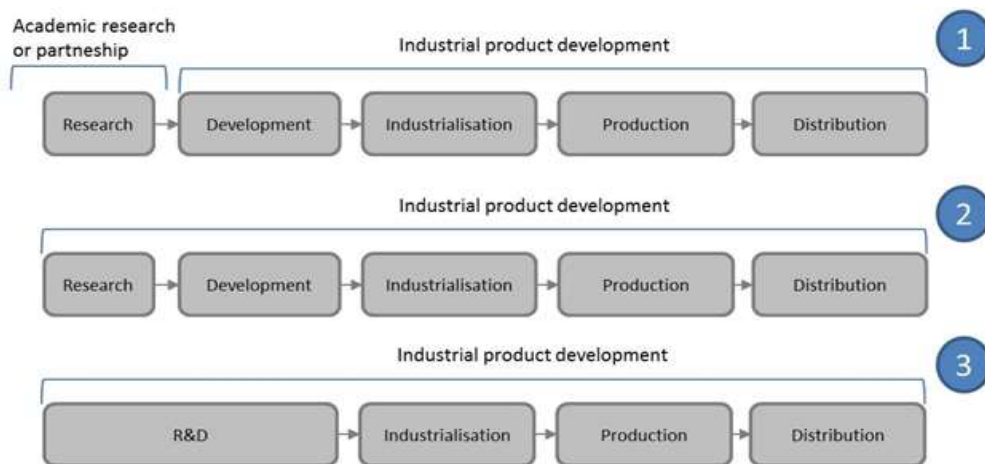


Figure 9. Modèles types de R&D

Le premier sépare les phases de recherche des phases de développement. La recherche est laissée au monde universitaire et des partenariats sont conclus pour introduire les résultats de la recherche dans le développement d'un produit. Cette séparation et cette divergence des objectifs pour chaque acteur ralentissent le transfert de valeur de la recherche au développement et impliquent un grand nombre de phases récursives.

Le second modèle intègre le processus de R&D dans l'entreprise. Il considère clairement les phases de recherche en dehors des phases de développement. Ce modèle permet de se concentrer sur l'objectif de « développement de produit innovant », puis le décalage entre les phases de recherche et de développement améliore le délai de mise sur le marché.

Le troisième est le modèle le plus couramment utilisé dans les entreprises de haute technologie. Ici, la recherche et le développement sont considérés comme un seul processus. Ce modèle permet la réactivité, mais la relation floue entre recherche et développement rend la gestion difficile. En effet, dans ce cas, les activités de R&D sont gérées comme un projet classique, avec des métriques de projet classiques. En conséquence, afin de répondre aux exigences en matière de métriques, la R&D a tendance à adopter le comportement d'un processus de développement, réduisant ainsi la part d'innovation et de rupture apportée par la recherche.

2.3. Approche Humaine de la R&D

L'approche humaine est souvent abordée à la frontière de l'intégration entre la R&D et les autres fonctions de l'entreprise. Deux aspects sont principalement abordés.

L'aspect économique où le coût des ressources est le principal élément qui influe sur le coût de la R&D. Par conséquent, le retour sur investissement de l'activité de R&D a un lien de causalité direct avec les ressources. (Paul et al., 2010; Zhang, Zhang, & Zhao, 2003). Cette approche homme / économie permet, d'une part, d'élaborer une stratégie coûts / revenus. D'autre part, cela permet de faire de la

R&D sous un angle macroscopique, où les résultats de développement sont un moyen de mesurer l'ensemble du processus, à la fois la recherche et le développement.

L'aspect sociologique pris sous un angle managérial propose des alternatives de gestion méthodologique aux gestionnaires de projets de R&D (Hendriks, Voeten, & Kroep, 1999) ou du point de vue de la culture organisationnelle (Wang & Huang, 2007). Cet aspect permet d'identifier des leviers d'action pour renforcer les interactions entre humains en tant que source de valeur indirecte.

La question se pose désormais de rassembler l'ensemble de ces différents aspects en une seule approche, de manière imbriquée et sans amalgame.

A travers les différents items abordés dans les sections précédentes, cette partie de nos travaux a donc visé à établir la limite des méthodes et modèles de gestion de projet actuellement utilisés ; en comparant certains principes fondamentaux et avec une approche case study. En tant qu'acteur majeur de cette tendance (Friedlander, 2011; Tsikis, 2016), Medic@ au sein des programmes de recherche propose une nouvelle approche pour mener les activités de recherche et le développement en créant une nouvelle «compétence» dans le processus d'innovation traditionnel. Nous avons appelé cette brique « R&D intégrés ». Cela correspond à un sous-ensemble du concept de R&D externalisée, mais vu du point de la chaîne de valeur de la R&D et non uniquement de celui des clients du département R&D qui associe les activités à des boîtes noires. La principale voie de valorisation de la « R&D intégrés » consiste ainsi à pouvoir échanger rapidement des valeurs entre la science et le prototypage de produit. La définition de la valeur transférable est également la pierre angulaire de ces questions et sera traitée dans les chapitres suivants.

3 Positionnement ontologique et besoin de framework de R&D intégrés

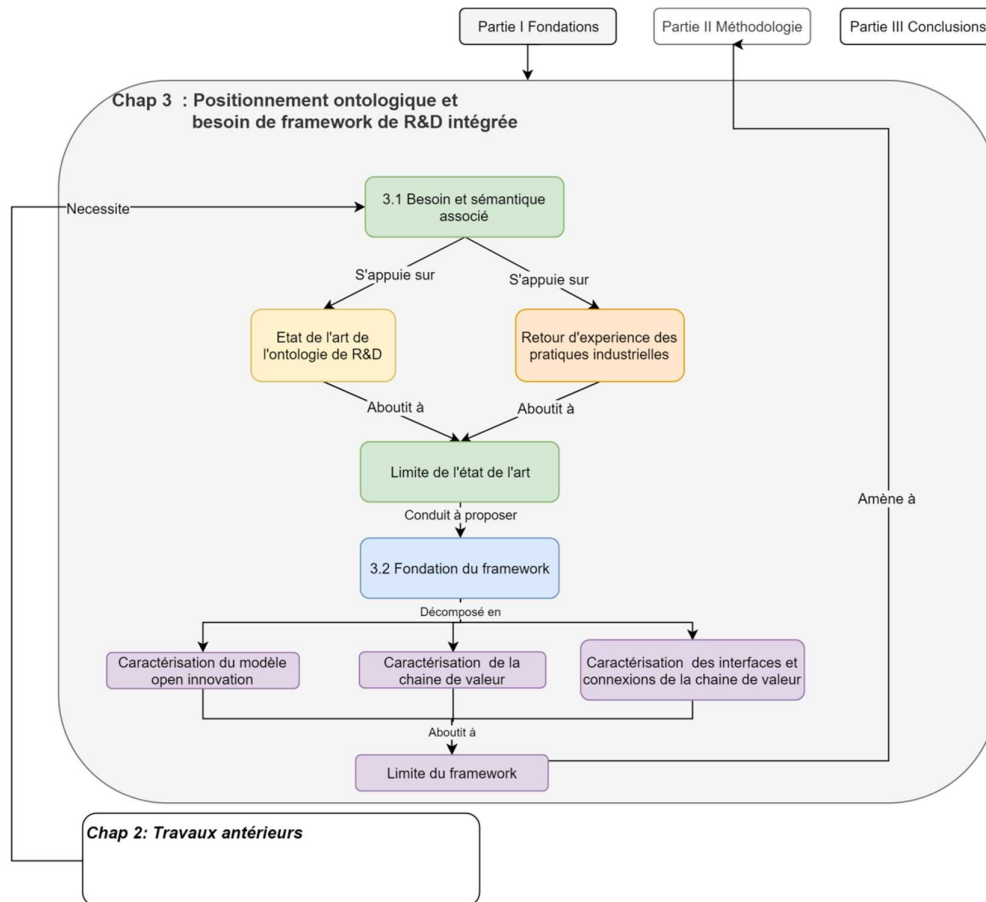


Figure 10. Reading manual. Partie I. Chapitre 3

3.1. Positionnement ontologique

Nos travaux précédents ont permis d'identifier les limites, aussi bien internes à l'entreprise, pour la construction d'un département de R&D outsourcé dans une société de service, que la littérature disponible à ce propos. Ce constat n'est pas surprenant en soi. Confier une partie de ses activités n'ayant pas attrait à son cœur de métier ni à sa source de valeur primaire se fait depuis de nombreuses années, la gestion RH et Paie en est le meilleur exemple. Le cas est bien différent lorsqu'il s'agit d'activités aussi sensibles, valorisables et volatiles que la R&D. Les attributs ne manquent pas pour qualifier un domaine aussi critique et fragile que la R&D industrielle et pourtant nous essayerons de construire un modèle permettant cette sous-traitance.

Cette ambition doit évidemment commencer par une compréhension de ce pan du tissu technico-économique. Dans tout système physique, les points sensibles sont les points de jonctions, que ce soit de matériaux, d'assemblages, ou autres. Ce constat est le même en ingénierie des systèmes. Les interfaces nécessitent d'être attentifs pour ne pas mettre en péril l'ensemble, le global.

C'est précisément une jonction que nous souhaitons observer et comprendre. Une jonction complexe, multi dimensions. D'une part la jonction entre institution publique et institution privée. D'autre part une jonction entre produits de recherche et produits techniques.

Dans ce chapitre, nous nous emploierons donc à poser un certain nombre de fondations, qui caractérise l'environnement et le périmètre de nos travaux. Ces fondations deviendront par la suite axiomatiques dans nos travaux.

La première chose frappante lorsque l'on commence à ouvrir la boîte noire de la R&D est le désordre qui y règne. Il est très compliqué même en surface d'obtenir une harmonie des définitions de Recherche et développement. Chaque structure, organisation déclinent les principes de Recherche et de Développement en fonction de sa réalité. Cela se complique d'autant plus lorsque l'on creuse et que

l'on rentre dans les modèles qui les gouvernent. Ce désordre nous le pensons est la résultante d'une faible connexion entre ces activités. (cf page 36 et Figure 9)

Ce premier point étant en soi une première limite et un premier verrou qu'il nous faut lever.

Altran technologies en tant que prestataire de solutions d'ingénierie avancée est bien placée pour observer et caractériser le périmètre de la R&D industrielle, de par la nature même de ses activités. Nous avons donc profité de ses entrées pour nous pencher sur les questions suivantes :

- Qu'est-ce que la R&D ? Est-elle ontologiquement définie ?
- La vision d'un système de R&D est-elle la même pour tous les acteurs de cet environnement ?

Notre démarche nous amène dans un premier temps à évaluer l'état de l'art disponible à ce sujet. Plusieurs constats s'en dégagent :

- L'ontologie en R&D existe en tant que sujet dans la littérature. Ce premier constat doit se montrer rassurant. Certains auteurs ont ainsi pu analyser ce phénomène en montrant que les recherches en cours sur la gestion de projets de R&D montrent certains intérêts dans le développement de modèles de décision et de méthodes composants du processus de gestion de projet ; tels que la sélection (Lee, Park, & Shin, 2009) (H. Sun & Ma, 2005) ou l'ensemble du processus (Józefowska, Blazewicz, & Slowinski, 2009; Y. Chen, P. Hsu, & Y. Chang, 2008). Mais beaucoup de méthodes ne sont pas utilisées ou ont des impacts limités sur la gestion de projets de R&D dans le monde réel (Y.-H. Sun, Ma, Fan, & Wang, 2008). Et les systèmes présentés supportent difficilement le traitement de l'information multilingues et le partage des connaissances entre des parties d'horizons et de cultures différentes ; d'où la nécessité de mettre en œuvre une ontologie relative à la R&D. C'est ce qui a été fait dans les travaux de (Liu & Ma, 2010) dans un contexte de R&D académique, utilisant une organisation et une planification traditionnelle de type stage/gate

difficilement compatible avec une R&D industrielle intégrée fonctionnant en mode agile.

- La R&D est un champ technologique comme un autre. En effet nombre de publications autour de l'ontologie de la R&D semble se tromper de cible, ou de titre de publication (Batzias & Siontorou, 2012). Le parti pris est effectivement bien tourné autour de l'ontologie, cependant pas sur l'activité de R&D mais sur le domaine d'application. On retrouve donc ainsi dans de nombreuses productions, des propositions de structures ontologique sur des produits de capteurs, ou autre solutions techniques ou encore organisationnelles (dans le domaine des systèmes qualité par exemple (Boehm & Kukreja, 2015). Ceci implique tacitement qu'il y'a autant d'ontologies possibles que de projets de recherche et pas de réponse à nos questions qui cherchent à comprendre la R&D elle-même et non son application. On se retrouve ainsi dans le cas de figure d'une impossibilité d'utilisation de l'ontologie, à l'instar des travaux présentés dans (Fernandes, Moreira, Araújo, Pinto, & Machado, 2018) : "Why are ontologies not reused?"
- La R&D est une activité de Gestion de projet. Un autre pan des publications au sujet des productions ontologiques adresse l'ontologie de R&D, mais cette fois-ci vue sous un angle d'outils de pilotage. La R&D n'est pas vue comme une structure particulière, mais comme un projet, comme n'importe quel projet, la difficulté étant d'arriver à qualifier les processus de production et les artefacts qui en sont issus. Bien que les travaux de (Fernandes et al., 2018) ou encore de (Kostalova, Tetreova, & Svedik, 2015) sont notamment intéressants à ce sujet, nous avons-nous mêmes expérimentés lors de notre troisième phase (cf 2.1.3) qu'une approche par les processus de gestion n'était pas la bonne piste à suivre.
- L'utilisation d'outils sémantiques permet de construire l'ontologie de la R&D.

L'utilisation d'outils sémantique permet de construire l'ontologie de la R&D.

Un certain nombre de productions ne cherche pas à saisir ce qu'est la R&D et par la suite en constituer une ontologie, mais cherche plus à appliquer une méthode

ou un modèle outillé, via un applicatif. Dans ce contexte la R&D devient un cadre d'application comme un autre. Le parti pris dans ce périmètre de production et de dire que l'intérêt est de vérifier l'applicabilité des outils (OWL – Protégé) (Huang, Trappey, & Wu, 2008; Kwon, Ryu, Kim, & Ha, 2006).

L'analyse de la littérature pourtant prolifique sur la notion de R&D et de management de projet de R&D ne nous a donc apporté aucune réponse satisfaisante dans l'état de l'art. On relève ainsi un certain vide dans le cadre d'une prise de recul pour un positionnement ontologique générique de la R&D. De même, on relève un certain manque en termes de positionnement entre les concepts générés par Frascati et dans le manuel OSLO et les opérations de R&D décrites dans la littérature. La couche générique et stratégique de la R&D qui pourrait être formalisée à l'aide d'une ontologie n'existe pas en tant que tel et est un point de limite de l'état de l'art sur ces aspects en regard de nos attentes et objectifs.

Si la littérature ne nous a pas apporté de réponse, il n'est pas impossible que certaines bonnes pratiques issues de l'expérience et du terrain soient applicables et appliquées de façon tacites dans des contextes industriels (Stapleton, Smith, & Murphy, 2005). Lors de ses travaux nous avons eu l'opportunité d'être sollicités par des clients du groupe Altran souhaitant être audités sur des thématiques de performances industrielles. Nous avons répondu à ces sollicitations dès lors que le périmètre impacté, impliquait un département de R&D.

Nous présentons ici le cas qui nous semble être le plus représentatif de notre problématique de recherche. Un fournisseur automobile de rang 1 dispose de 3 entités.

- La première en Chine conçoit de nouvelle loi de commande mécatronique. Cette entité représente le département recherche, sa finalité est d'imaginer de nouvelles façons d'asservir les systèmes et de simplement prouver la faisabilité de mise en œuvre de leur proposition.
- La seconde aux Etats-Unis implémente ces lois de commande dans les « Product line » du groupe et s'assure de l'interfaçage avec tous

les autres composants logiciels. Cette entité fait office de département de développement ; elle reçoit en entrée les livrables « POC » (Proof of Concept) de l'entité de recherche et s'assure de la viabilité de ses composants dans l'écosystème de logiciels embarqués des systèmes en place.

- La troisième entité en France garantit les aspects de mise en production des composants, en s'assurant de la mise en conformité normative et du déploiement sur les systèmes embarqués. Cette entité traite la pré-industrialisation et a les responsabilités du bureau des méthodes.

Le constat fait de cet audit est tout d'abord que la problématique sous-jacente est typiquement le reflet des verrous de R&D et d'innovations de l'époque. Des équipes distribuées sur l'ensemble du globe doivent mettre en harmonie des compétences et des organisations différentes pour faire évoluer et mûrir une chaîne de valeur technologique dans un même continuum. Cette problématique est donc un cas d'école idéal afin d'évaluer si une bonne pratique d'intégration des fonctions de R&D existe hors bibliographie, dans un cas réel d'industrialisation.

Puis en poursuivant notre audit nous avons cherché à identifier en quoi un souci de performance avait été identifié. La réponse des donneurs d'ordre est sans appel. Sur la quantité de sujets lancés par le département de recherche en Chine, bien trop peu arrivent jusqu'à la production ; de plus pour ceux qui y arrivent, le delta de temps est infiniment trop long ; jusqu'à une année pour chaque composant technologique. Les ressources coût et énergie mises en œuvre ne sont plus rationnelles par rapport à la valeur acquise. Notons ici que bien que la valeur acquise n'est que rarement sujet à grosse rupture, il s'agit plus souvent d'optimisations extrêmes qui doivent passer par certains changements de paradigme technologique plutôt que d'optimisations logicielles.

Poursuivons notre audit. Des représentants des 3 entités sur différents postes métier (chercheurs développeur – chef de projet – chef de département – AMOA – ingénieurs méthode) ont été interviewés et audités, afin d'établir les RCA de cette « perte en ligne de productivité ». De la même façon le constat ne laisse que peu de doute et est listé ci-dessous :

- Le manque d'alignement de la structure des livrables. Il n'y a en effet pas de formalisation claire sur ce que les entités attendent les unes des autres.
- Le manque d'alignement des exigences et des spécifications. Il est notable de remarquer qu'en fonction des points de vue la chaîne de valeur primaire n'est absolument pas positionnée au même endroit. Le chercheur estime que la connaissance produite est la source de valeur primaire. Le développeur estime que le code source est la source de valeur primaire. L'intégrateur estime que le cahier des charges et la traçabilité des opérations est la source de valeurs primaires. Chacun cherchant à faire son mieux porte ses efforts sur ce qu'il estime être sa valeur ajoutée, ce qui génère la fâcheuse conséquence de complexifier d'autant plus son successeur dans la chaîne de valeur industrielle.
- Le déphasage temporel. La durée de contribution représente un gap important entre la partie R très longue, la partie D très courte et la partie industrialisation elle aussi plutôt longue. Cette succession de déphasage entraîne des goulets d'accumulation et de tampons lors de la chaîne de réalisation, d'autant plus que les verrous d'alignement et de spécifications entraînent de très récurrentes boucles de feedback et rétro conceptions.

Malheureusement à cette époque des travaux nous n'étions pas en mesure de proposer des solutions systémiques à ces verrous, mais seulement un accompagnement classique de lean management et d'accompagnement au changement.

Nous noterons néanmoins comme apport à nos travaux de cet audit que même des grands groupes industriels à la pointe de l'optimisation ne sont pas en mesure d'intégrer de façon efficiente leur propre département de R&D dans la production de valeur.

Il n'existe pas à notre connaissance de bonnes pratiques issues du terrain pour réaliser cela.

Nous concluons donc que suite à cette analyse sémantique devant évaluer les limites de la connaissance disponible pour tenter de définir un positionnement ontologique du concept de R&D, tant d'un point de vue de l'analyse de l'état de

l'art que d'un point de vue des usages industriels, le constat est que cette analyse débouche sur un certain manque pour caractériser la R&D sur ses aspects systémiques. La prochaine section visera à présenter et proposer les bases d'un framework de R&D pouvant répondre à ces manques.

3.2. Besoin de fondations du framework

De notre première analyse des fondations, peu d'éléments nous permettent de comprendre nos verrous et nous projeter vers des solutions existantes. Nous avons donc décidé d'entreprendre de poser nos propres bases de fondation pour constituer un Framework, nous permettant de maîtriser la productivité de nos projets de R&D outsourcée.

Au vu de nos contraintes et de nos environnements, les modèles, aussi conceptuels soient-ils, correspondant le plus sont ceux du courant Open Innovations.

Le concept d'open innovation existe depuis le 18^{ième} siècle. Le premier succès industriel d'open innovation a été réalisé par la société pharmaceutique Eli Lilly (2001), qui externalisait certaines de ses recherches à la communauté des chercheurs (Huff, Möslin, & Reichwald, 2013).

L'open innovation consiste à réduire et à optimiser le lien entre le développement de produits et les besoins des clients. De cette manière, le modèle de processus de R&D n'est pas linéaire, mais triangulaire, avec des interactions réciproques (Figure 11).

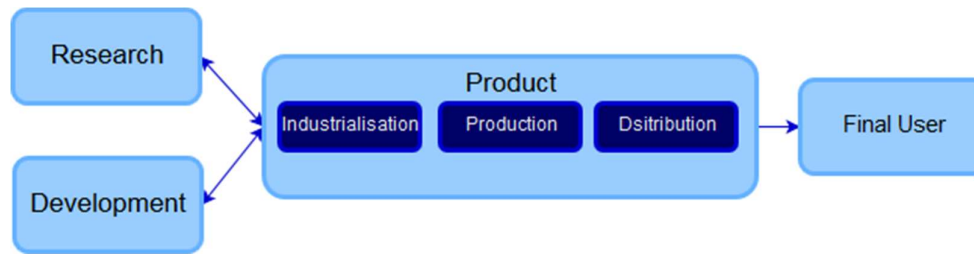


Figure 11. Réduction de chemin

Ce nouveau modèle nécessite de reconsidérer la relation entre recherche et développement. Ce n'est plus un processus poussé ou tiré. Il doit s'agir d'un lien bidirectionnel, basé sur les mêmes objectifs, avec un ensemble d'entrées hétérogènes et le même résultat.

En effet, comme vu en section précédente, l'étude de l'état de l'art a mis en relief le vide scientifique concernant l'interfaçage entre recherche et développement dans un contexte industriel. Cependant, les observations terrain et de littérature permettent de définir un modèle classique d'interactions R&D linéaire (cf Figure 12). L'axe Complexity est générique pour décrire aussi bien la complexité en recherche qu'en développement, bien qu'elle soit de nature différente. En recherche, le démarrage est exploratoire et très incertain. La quantité de pistes est potentiellement très grande. Il s'agit de plus de ne pas brider cette exploration. Plus les travaux de recherche avancent, plus cette complexité diminue. Des pistes peuvent être mises de côté voire être prouvées inopérantes, une piste se dégagera. D'où l'allure de la courbe où la complexité de la recherche tend vers une limite basse. En développement, c'est au contraire en fin de cycle que les difficultés sont les plus grandes. C'est à ce moment-là que les tests d'intégration boîte blanche et la validation fonctionnelle boîte noire présentent la difficulté la plus grande de résolution. Toutes les approches (cycles en V, en spirale, agiles, ...) tentent de réduire au maximum et par anticipation cette fin de cycle de développement.

Bien que l'axe Complexity soit commun aux deux types d'activités, les moyens de les gérer sont distincts.

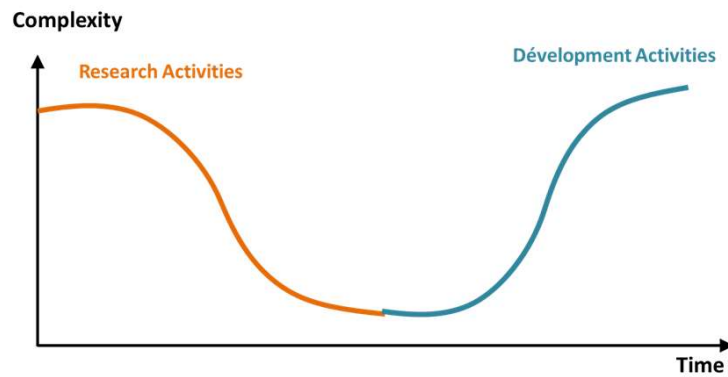


Figure 12. Modèle classique d'interaction R&D

Les méthodes itératives et incrémentales permettent quant à elles de réduire la phase de transition, entre les travaux de recherche et les activités de développements, mais uniquement lors de la phase de transfert. Cf. Figure 13

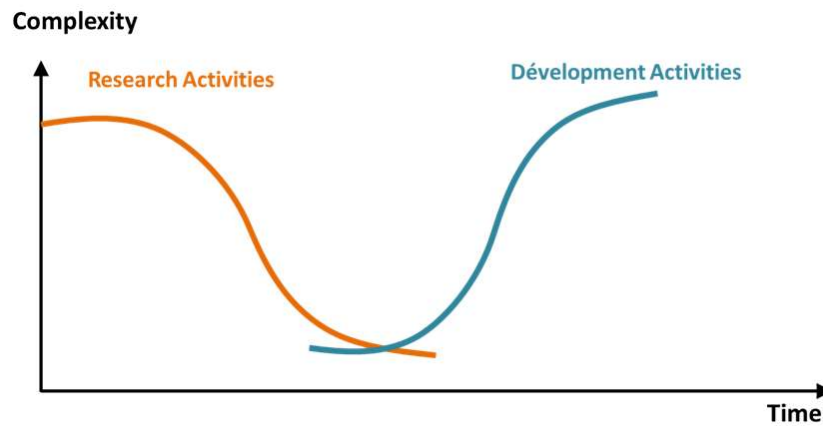


Figure 13. Modèle itératif – incrémental d'interaction R&D

La question scientifique est donc comment aligner les phases de recherche et de développement, aussi bien temporellement que stratégiquement. L'état de l'art confirme le verrou scientifique sur ce sujet.

Notre hypothèse est donc énoncée ainsi : pour pouvoir faire interagir deux processus hétérogènes tels que la recherche et le développement, nous devons travailler sur le transfert d'informations. Notre modèle propose donc d'exécuter deux processus de manière indépendante, mais avec des liens et échanges forts (voir la Figure 14).

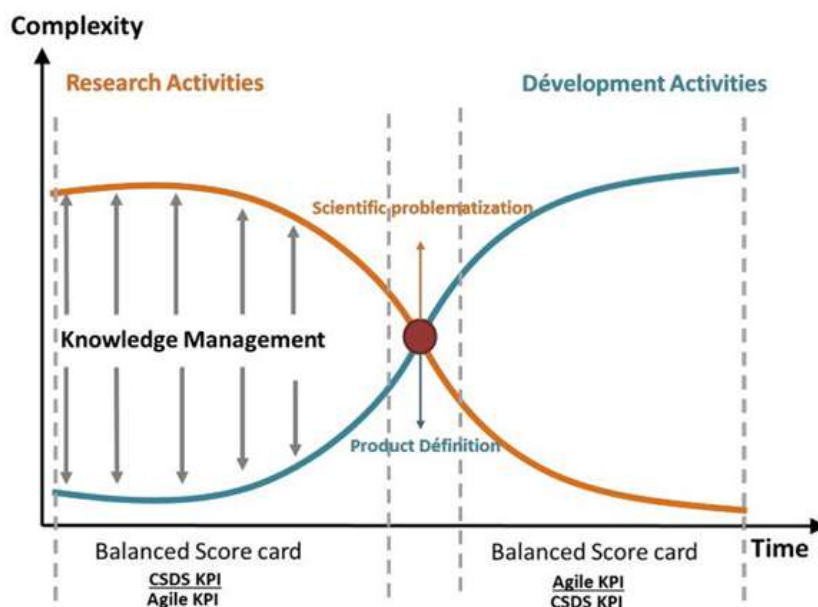


Figure 14. Parallélisations de la Recherche et du Développement

Pour identifier le type de processus à utiliser dans le cadre de la capitalisation et du transfert de valeur de la recherche au développement, nous avons établi une correspondance entre plusieurs processus et systèmes de développement de produits et de nouveaux produits afin de définir 3 bras de leviers.

1. Le premier est fondateur dans notre réflexion. Il s'agit de **paralléliser et d'entrelacer** les interactions fines entre les activités de recherche et celles de développement. Il s'appuie notamment sur (Barge-Gil and López, 2011) qui décrivent les interactions et les effets sur l'innovation.

2. Notre approche bottom up nous invite également à considérer un second bras de levier, **les outils**. Par outil, nous entendons aussi bien les outils conceptuels (des processus vers les modèles), que les simulateurs.
3. Un troisième bras de levier, également issu des conclusions de la première tentative, est **l'aspect humain**. Ce dernier bras de levier n'est pas orienté par les aspects économiques et sociaux largement abordés dans la littérature, mais par les aspects systémiques internes à la R&D.

Ensuite, l'idée est de se poser la question de distinguer ce sur quoi ces trois bras de levier s'appliquent pour générer de la valeur.

Une deuxième approche découle d'une approche ascendante, selon la Grounded theory (Glaser et Strauss, 2009). Les expériences de terrain issues de nos projets, en partenariat avec des laboratoires de recherche universitaires, des start-up dans les technologies médicales et les grandes entreprises montrent 3 types d'assets importants (cf. 2.1.).

Orthogonalement, nous distinguons donc :

- Le savoir, en tant que contribution scientifique ou propriété intellectuelle (PI), est un asset externe brut ; dans l'objectif de prouver la capacité d'une division de R&D industrielle à produire des produits techniques ou scientifiques de haut niveau et de grande valeur.
- Le savoir-faire est un asset externe et interne. En tant qu'asset interne, il est le levier pour introduire la valeur de la recherche et du « monde extérieur » dans le prototypage de produit. En tant qu'asset externe, le partenaire est principalement tenu de produire un produit en série.
- Le produit est un asset externe et l'objectif principal du processus de développement. Il est généralement considéré comme le principal asset de valeur d'une division de recherche et développement industrielle.

Ces trois éléments ont été identifiés sur la base des travaux en ingénierie des systèmes sur la thématique produit-processus-service et produit-processus-organisation. L'élément de valeur de savoir est quant à lui défini par le manuel de Frascati. Il est à noter que le savoir-faire est polymorphe : **savoir-faire recherche** et **savoir-faire développement**. Actuellement, nous avons décidé de ne pas les distinguer, les différences n'étant pas de même nature qu'entre produit, savoir-faire et savoir.

Sur la base de ces observations, de la littérature (Barge-Gil et López 2011), et de l'objectif de parallélisation des processus, nous avons construit une matrice pour définir la portée de notre enquête.

Cette matrice est composée d'un axe transversal basé sur le transfert de valeur, caractérisé ici par la gestion des connaissances et la manière de la mesurer ainsi que par les indicateurs de performance. Ces deux axes sont instanciés pour les 3 éléments à valeur ajoutée (Produit, savoir-faire et savoir) et en 3 éléments opérationnels que sont la parallélisation des processus, les outils et les aspects humains (voir Figure 15. Matrice d'interactions).

En résultante, nous aboutissons à une matrice 2x3x3, chacune des 18 cellules pouvant potentiellement subir/agir l'une avec l'autre.

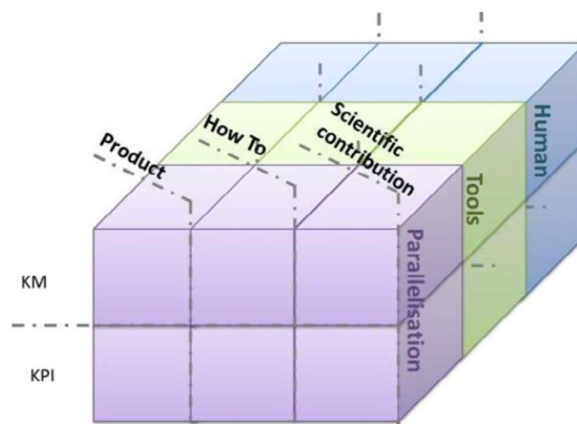


Figure 15. Matrice d'interactions

Cette matrice ne doit pas être vue comme un système rigide avec une interaction fixe pour chaque interface de cellule, mais plutôt comme une sorte de Rubik's cube où chaque interface de cellule peut interagir avec les autres.

Chaque « cellule » de la matrice devient donc potentiellement un axe de recherche.

Le premier axe à étudier est la contribution scientifique des KPI et correspond aux phases descendantes du processus de parallélisations (voir Figure 15).

Pour la recherche, le modèle de KPI classique, basé sur les paramètres de production, ne convient pas au changement de paradigme (Samsonowa, Buxmann, & Gerteis, 2009). Ne considérant pas la recherche comme une suite d'activités prédéterminées, mais plutôt comme un art de la problématisation, nous avons admis que la recherche devait être considérée fondamentalement comme une activité créatrice (Arnold, 2012; Corbin & Strauss, 2014). L'ajout de modèles non adaptés, avec une couche de KPI non adaptés, limite la recherche et développement aux produits centrés sur les produits appliqués au lieu de produits avec une valeur ajoutée plus importante, tels que les innovations, les verrous techniques, etc.

Ces différentes réflexions nous ont amené à discuter de la possibilité de créer un framework basé sur de nouveaux modèles d'organisation et d'évaluation afin d'autoriser un bon déroulement de la R&D et de la R&D outsourcée.

Ainsi, en prenant un point de vue idéal, les deux acteurs principaux de la R&D devraient contribuer chacun par leur force à la réussite de l'entreprise ; à savoir par une approche qui génère des perturbations et une nouveauté pour la Recherche et une approche qui rend les produits efficaces et efficients pour le développement. La difficulté émerge une fois que l'approche de neutralisation en termes de temporalité et de ciblage des valeurs est intégrée. Pire encore, la recherche est souvent affaiblie par un ensemble de causes systémiques et procédurales qui conduisent à un manque de créativité et d'intuition pour de nouvelles propositions de voies d'exploration. De la même manière, le développement est affaibli par la crainte a priori de dépenser de l'énergie pour le déploiement de la production d'artefacts de transition.

En ce sens, globalement, la R&D devient plus pauvre que la somme des actifs individuels. Il ne s'agit donc pas uniquement d'intégrer la recherche et le développement dans deux approches hétérogènes, mais d'obtenir un comportement émergent qui produit une nouvelle valeur qui ne peut être générée ni par une approche de recherche exclusive ni par une approche de développement. Ce changement de paradigme (Baldwin & von Hippel, 2011; Petty, Thomson, & Stew, 2012) ne peut être proposé que par une revue bibliographique de l'état de la technique, sinon ce serait au mieux une solution basée sur l'assemblage et le réglage de modèles (Watson, 1966). Au lieu de, nous proposons de tracer une voie reposant sur trois piliers pour y parvenir.

Le premier pilier de cette voie consiste à établir une ontologie de tous les éléments constitutifs d'une R&D intégrés, des politiques de gouvernance à la production d'actifs en passant par les propriétés intellectuelles.

Parce que, pour collaborer et rivaliser efficacement dans un monde en mutation, les différentes parties prenantes d'un projet doivent partager une vision commune de celui-ci. Cela pourrait être fait par une ontologie générique permettant à ces experts multidisciplinaires de partager les mêmes concepts. Cette ontologie générique est donc la base d'une collaboration fructueuse et efficace.

Le deuxième pilier consiste à proposer une méthodologie de transition, en partant de la théorie enracinée et de la mise en œuvre rapide pour obtenir un raffinement pas à pas, déterminé par des cas d'utilisation concrets et des verrous, afin de définir un cadre méthodologique final.

De plus, nous pouvons ici décliner les enjeux de base et les besoins pour un tel nouveau modèle. Par conséquent, nous sommes aujourd'hui confrontés à de nouvelles considérations tout en traitant de la R&D dans un contexte industriel. Par conséquent, la manière classique d'organiser un projet ne convient plus dans de nombreuses situations. À titre d'exemple, diverses organisations quittent leur manière traditionnelle de diriger un projet tout en adoptant une organisation agile. Cela entraîne des changements majeurs dans l'organisation, mais cela tient au fait que les modèles normatifs ne sont plus adaptés : il existe aujourd'hui un modèle agile et adaptatif capable de réagir face à ces nouvelles situations.

Par ailleurs, ce changement est conduit par une autre tendance du projet de R&D. Aujourd'hui, la multidisciplinarité est un mot clé dans tous les nouveaux projets de R&D. Cela implique de rassembler des experts aux compétences diverses dans un spectre plus large qu'auparavant. Cela conduit à un changement majeur en termes de prise en compte des activités de recherche. Par conséquent, les activités de recherche sont principalement considérées dans un but individualiste. Le patrimoine issu des politiques de recherche publique (comme le premier promulgué avec fierté par Gambetta en 1871) ne convient pas de manière aussi nouvelle : ce modèle, basé sur les individus, dans un contexte disciplinaire ne peut intégrer le besoin de pluridisciplinarité et l'efficacité requise activités de R&D modernes. Par conséquent, au lieu de se concentrer uniquement sur la rationalisation de la compréhension, les modèles de R&D intégrés doivent faciliter la collaboration entre ces différentes expertises de manière efficace (rationalisation de l'énergie dédiée pour correspondre aux objectifs des projets). De cette manière, l'utilisation d'un système de gestion pouvant être piloté par un ensemble d'indicateurs de performance clés contrôlant la valeur ajoutée des différents actifs créés de manière dynamique et agile est indispensable pour piloter correctement le projet. Nous devons donc utiliser ou créer un ensemble d'indicateurs de performance clés qui nous permettent de lier et de projeter objectivement dans la même dimension des données hétérogènes.

Le troisième pilier consiste à établir l'infrastructure de mesure appliquée à ce modèle. Le premier défi consiste à définir un ensemble d'indicateurs de performance clés permettant d'évaluer les symptômes du système. Le deuxième défi consiste à tester le modèle dans une structure à fortes contraintes comme la nôtre, avec un taux de rotation élevé, des partenaires divers avec des attentes hétérogènes des utilisateurs finaux, prouveront la robustesse du modèle et donneront plus de confiance pour la poursuite des travaux sur la généralisation du modèle.

De manière transversale à tous les éléments ci-dessus, il est crucial d'établir un système de validation indépendant. Cependant, ce modèle a ses limites. Ce modèle ne peut être appliqué qu'aux structures qui souhaitent diriger des activités de recherche et de développement. Une entreprise qui conduit sa propre R&D uniquement avec un processus d'innovation tiré par des opportunités

commerciales ne peut pas utiliser ce modèle. La Figure 16 propose un schéma conceptuel résumant notre proposition de framework.

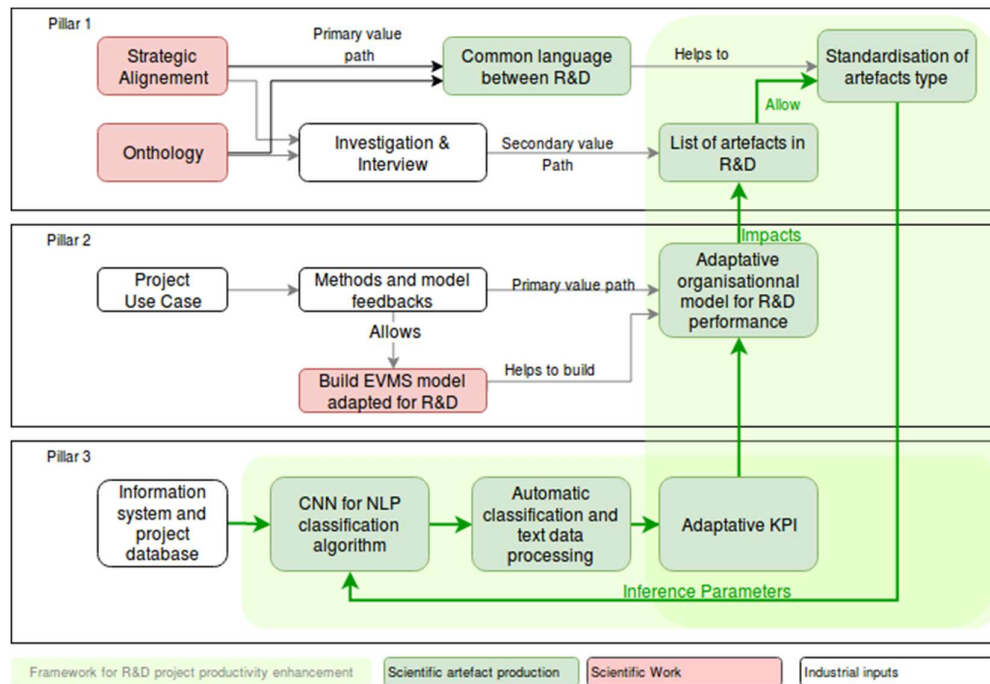


Figure 16. Proposition de framework

Conclusion Partie I. Fondations :

Dans ces 2 chapitres, nous avons démontré, par une approche bottom up et top down, les besoins existants en termes de positionnement ontologiques de la R&D et la nécessité d'intégrer ses aspects R&D de manière entrelacée. Les différentes réflexions et analyses concernant les fondations de nos travaux ont ensuite permis de définir une proposition de framework de la R&D intégrés.

PARTIE II : Méthodologie

« Ça commence par une idée et puis ça devient tout autre chose ».

P. Picasso.

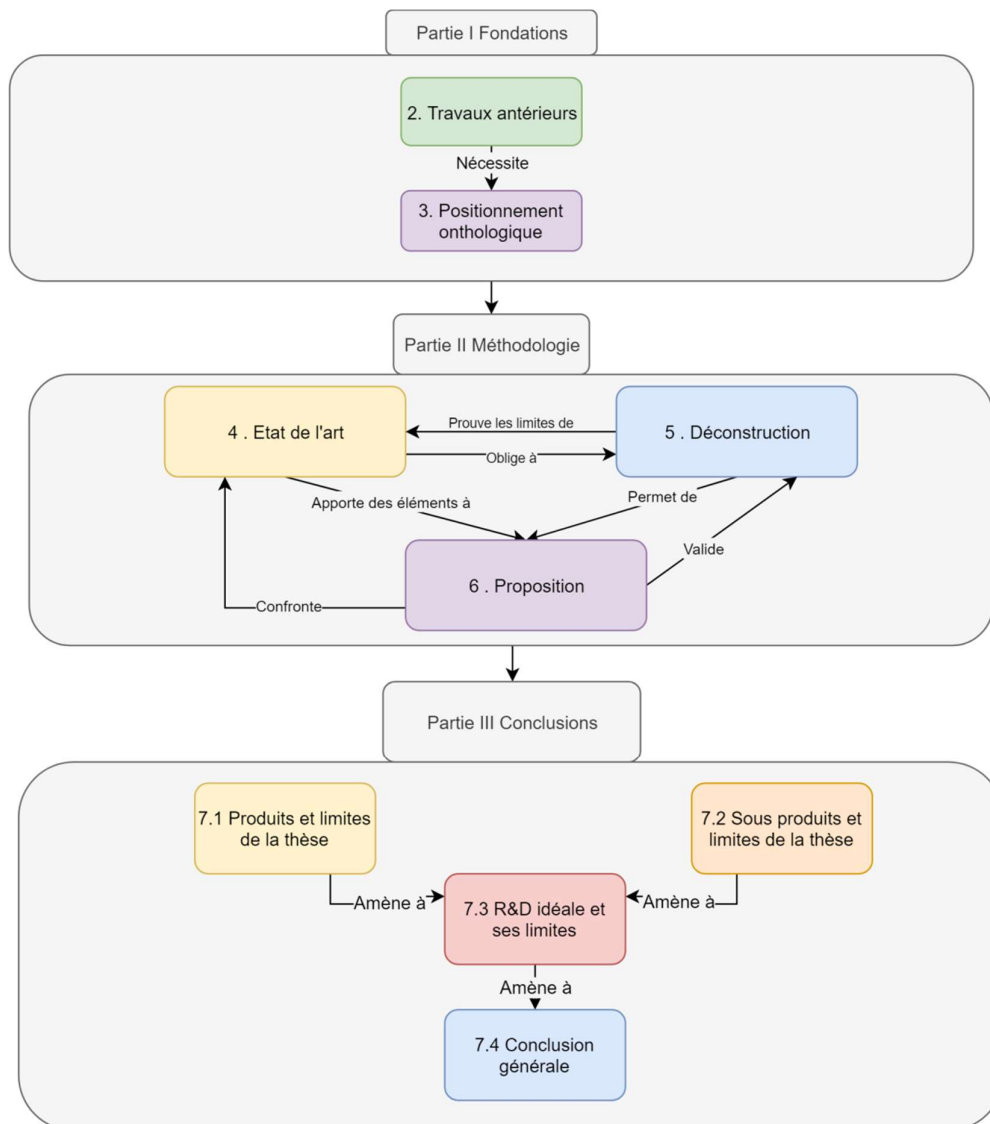


Figure 17. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III.



4.1. Cadrage de l'analyse

4.1.1 Historique EV

Commençons par donner un bref aperçu historique du modèle Earned Value. Conceptuellement, EV est un modèle de pilotage de projet qui date du 19^e siècle (Forman & Somerville, 2009)

La force d'EV est sa capacité à mesurer et à anticiper tôt la production et les dérives de projets d'ingénierie complexes, dont le déroulement est difficile à prévoir. Les prémices d'EV ont été initialement décrits par le *Department of Defense* américain dans un travail de recherches en 1992 (Erik G. Cummings & Kirk A. Schneider, 1992) sous le nom de « Cost / schedule Control system ». Puis une première formalisation a été publiée en 2003 sous forme du modèle EV dans l'instruction du département de la défense « Operation of the Defense Acquisition System » (Department of Defense, 2003). L'objectif était de rationaliser la mesure de la performance d'un projet et de pouvoir évaluer en continu les projets confiés en sous-traitance (Zimmerman, 2014). EVMS est devenu un standard ANSI "A standard for Earned Value Management Systems Intent Guide" (National Defense Industrial Association & Integrated Program Management Division, 2014; National Defense Industrial Association & Program Management Systems Committee, 2005). Ce standard a complété EV par une liste de 32 bonnes pratiques et une liste de plus de 300 critères standards pour en cadrer les usages.

Depuis, EV a été étendu dans de multiples directions. Un inventaire a récemment été dressé (Willems & Vanhoucke, 2015).

Ces auteurs ont traité des attributs tels que le problème traité, l'originalité de la contribution, les éventuels apports en matière de méthodologie, d'analyse, validation et d'usage. Il en ressort quelques extensions à des applications autres que l'ingénierie des R&D, plusieurs variantes méthodologiques et surtout des propositions d'alternatives des calculs d'estimation des prédictions. L'intention des articles reste toujours la même, être en mesure en temps réel de prédire les

éventuels écarts entre la planification initiale prévue et l'estimation des coûts et délais terminaux. L'enjeu constaté des évolutions de l'état de l'art est principalement l'amélioration des calculs des prédictions.

D'un point de vue opérationnel, Earned Value est aujourd'hui largement utilisé et répandu dans les outils de gestion des projets d'ingénierie. A noter que les méthodes de calcul implémentées effectivement sont souvent élémentaires. Nous constatons en sus que les concepts EV sont intégrés dans plusieurs systèmes majeurs de management projet, notamment ceux du PMI (Heinlein et al., 2012).

4.1.2 Objectif

L'objectif ultime est de concevoir une méthode permettant d'appréhender la complexité de la mesure de la productivité des divisions de R&D intégrés.

Nous nous sommes également fixés les contraintes suivantes issues de notre expérience quotidienne de service d'outsourcing de R&D :

1. La méthode outillée doit être orientée par l'objectif d'augmenter la créativité et pas l'inverse qui serait d'asservir la créativité à une planification d'une production préétablie, ce qui serait d'ailleurs une façon de l'appauvrir voire de l'anéantir. Nous préciserons ce qui peut être planifié et ce qui ne doit pas l'être.
2. Une autre contrainte est de rendre la méthode outillée avant tout utile et accessible pour les petites structures aux moyens limités (TPE, TPI, PME, PMI). Cette volonté est issue de notre constat que ces structures sont les moins bien loties en termes de mécanique de production de R&D et d'innovations. Il est bien facile avec une débauche de moyens d'accéder à la production de nouveauté originale, production faite par les grands groupes internationaux, qui poursuivent des stratégies centrées sur eux-mêmes et non vers l'ouverture et le partage de création. Cela requiert donc que la méthode soit facile d'usage et rapide à mettre en œuvre sans nécessiter un bataillon de qualitiens.

Ces contraintes sont également issues des appels à projets des GDR CNRS auxquels nous avons participé et qui vont dans le sens de l'accessibilité des méthodes et outils aux petites structures (ANR Usine du futur, projet « PROGEST »).

Nous avons choisi de nous baser prioritairement sur les concepts « Earned Value », ceux-ci étant les plus proches en termes de définition par rapport à nos attentes surtout sur l'aspect de caractérisation de la valeur.

L'objet de ce chapitre est de balayer les variantes EV pour comprendre comment s'articulent analytiquement les variantes sur les fondements du modèle. Plus spécifiquement, il s'agit d'identifier la meilleure stratégie d'adaptation à des cas d'usage proches de notre besoin en matière de mesure de la productivité de R&D intégrés.

4.1.3 Pourquoi se baser sur EV

« Earned Value Management System » prend en compte la nature systémique du dispositif ou de l'organisation qu'il mesure. Il contrôle la valeur acquise d'une production en croisant les coûts et délais réels des activités avec les coûts et délais prévus projetés sur la valeur acquise. Un modèle classique de suivi de la performance de la productivité est obtenu par une extrapolation entre réel et planifié. EV, quant à lui, réintègre les variations du projet au cours du temps via la valeur acquise projetée sur les coûts et objectifs initialement planifiés pour adapter le nouveau comportement du projet en termes de coûts et délais. Ce comportement fait du modèle EV un système adaptatif et réflexif. Le choix d'EV comme guide pour concevoir une méthode outillée de mesure de la productivité d'une R&D est également basé sur le constat que dans le domaine du suivi de projet complexe, EV reste depuis longtemps un concept utilisé qui résiste aux réalités très versatiles du quotidien des opérations.

L'originalité d'EV par rapport à d'autres modèles de suivi et de pilotage est qu'EV permet une double lecture avec le même ensemble de données. La première est un recalage temps réel de prédictions de lois de comportement du projet dans un

espace de coûts. Autrement dit il permet à tout instant de visualiser et comprendre le mode de fonctionnement spécifique du projet en se basant sur l'historique des productions, et ainsi en fonction de l'horizon temporel choisit de prédire le comportement futur. Le second, orthogonalement à cet espace de coûts, est le pilotage de ce cheminement par la validation du cumul de la valeur acquise. Cette prise en compte orthogonale entre coûts et valeur acquise fait d'EV sa spécificité. C'est précisément pour cette notion d'orthogonalité d'EV entre coûts et valeur acquise que nous avons choisi EV comme base de travail pour la mesure de la productivité d'une R&D intégrés.

4.1.4 Difficultés d'adoption d'EV

Si nous avons l'intuition que d'un point de vue opérationnel, EV pourrait résoudre la difficulté de mesurer la productivité d'une R&D intégrés, il n'existe pas de méthode formelle d'adaptation d'Earned Value sur laquelle nous appuyer. Quelques articles sur des cas d'usage illustrent la façon spécifique avec laquelle les auteurs s'y sont pris, mais pas d'approche méthodologique générale.

La question n'est pas d'outiller EV, voire d'utiliser EV tel quel pour répondre au contexte de la production d'une R&D intégrés. En effet, ce contexte est loin d'être simple à adapter. La partie 1 a déterminé les éléments fondateurs et le sens à donner à la mesure de la production d'une R&D intégrés. Il a été constaté que les valeurs des produits de sortie d'une R&D sont difficiles à caractériser, autant en termes de recherches qu'en termes de développements. Et d'autre part, quand bien même nous y arriverions, il n'est ni évident ni automatique que cette mesure puisse servir à orienter les actions pour influencer sur la productivité, étant donné le haut degré d'imprévisibilité de production de créativité d'une R&D.

Disposer d'un EV pour les activités de recherche et d'un EV pour les activités de développement ne fait pas significativement progresser la maîtrise de la production d'une R&D intégrés. Et même envisager deux dispositifs isolés pose déjà un problème. En effet, si la partie activités de développement n'en pose pas, EV est conçu pour cela, la partie activité de recherche n'est pas envisageable avec EV sans transformation. Les index et facteurs d'impacts bibliographiques peuvent faire

office d'indicateur de valeur acquise pour la recherche, mais avec la contrainte d'un grand déphasage dans le temps qui provoquera un effet tunnel que nous voulons éviter, et une planification non fiable. Une production scientifique, articles de conférence ou de journaux, ou même un manuscrit de thèse sont des éléments ponctuels qui traduisent une longue durée de travaux. Du coup, les progressions des performances CPI (Cost Performance Index) et SPI (Schedule Performance Index) ne pourraient pas être interprétées correctement, car elles sont conçues pour suivre une production de valeurs avec une granularité temporelle fine et continue. Les coûts quotidiens des activités de recherche vers un objectif initialement planifié sont encore plus aléatoires que le contexte des projets d'ingénieries soumis aux risques internes et externes de perturbation de la production planifiée.

Cumuler arithmétiquement les coûts des activités de recherche et celles de développement n'est pas non plus une approche convaincante. Certes, EV permet sans difficulté d'ajouter des coûts planifiés de recherche et des coûts planifiés de développement. Cependant, cela n'aide en rien au pilotage de leurs spécificités et de leurs dépendances mutuelles dans un système intégré.

En résumé, si d'une part prendre les aspects d'ingénierie isolément des aspects de recherche n'est non seulement pas aisé pour la partie recherche, mais surtout pas judicieux. En effet, c'est justement leur intégration que nous tentons de résoudre ; si d'autre part le cumul indistinct des activités de recherche et de développement ne répond pas non plus à notre attente puisque c'est le pilotage de leurs *dépendances* que nous tentons également de résoudre, alors quelle pourrait être l'approche à suivre ?

Notre première approche a été de partir des questions posant problème dans le quotidien des opérations et de chercher dans l'état de l'art si le verrou avait déjà été posé et solutionné.

4.2. Approches adoptées

4.2.1 Approche directe

Les questions majeures que nous nous posons ici sont :

- Gérer en distinguant des productions rythmées par des cycles de vie différents (comme le sont les activités de recherche et celles de développement),
- Gérer avec l'impossibilité de planifier une production finale (par exemple impossible de planifier des découvertes)
- Gérer l'augmentation d'une performance non basée sur des activités propres (par exemple mesurer l'augmentation de la créativité).

Nous avons cherché dans l'état de l'art si de tels verrous avaient déjà été posés et solutionnés. Cette approche directe a été la première approche adoptée.

Nos premières observations de l'état de l'art nous ont permis de constater des efforts limités de compréhension des concepts du modèle EV au sens où la majeure partie des contributions scientifiques adresse des refactorings autour des calculs de prédiction en ajoutant des paramètres. On retrouve une tendance où dès lors qu'un projet présente des singularités dans son périmètre il est plus aisé de construire un nouveau modèle de calcul ou jouant sur les combinaisons arithmétiques pour produire de nouveaux indicateurs qui ne sont rationnellement produits que pour forcer l'adéquation modèle / projet et offrir un confort spécifique de mesure et d'analyse. On observe également une complexification algorithmique de l'obtention de ces mêmes indicateurs, en ajoutant des constantes, ou paramètres. Ils ajouteraient une surcouche de données qui peut générer des effets négatifs de bruitage. En somme, produire de la donnée pour de la donnée.

Nombre de ces contributions concluent avoir renouvelé plus au moins fondamentalement le modèle EV avec cette couche de calcul. Nous ne pensons pas qu'il s'agisse d'une évolution du modèle, mais d'une nouvelle variante du

calcul des prédictions. Cette impression s'est confirmée dans la suite de nos recherches avec l'identification de variantes d'EV autour de nouvelles méthodes de calcul. L'essor des méthodes et techniques de machine learning et deep learning ont forcément amplifié cette tendance.

Par ailleurs, il a été également observé que le domaine métier prépondérant de la quasi-totalité de ces productions est celui des « T.I. » (Technologie de l'information). Cette dernière observation nous a amenés à reprendre l'état de l'art en focalisant sur les usages. Nous avons observé que bien que la majeure partie des cadres d'usage du modèle EV soit effectivement celui des T.I et de leurs environnements en silos, il existe des variantes du modèle EV pour des projets plus exotiques, tels que dans le domaine du bâtiment et la gestion des parcs forestiers. Ces variantes d'usages sont très sporadiques, mais néanmoins existantes. Nous ne rentrerons pas dans une analyse exhaustive de toutes les variations d'usages, qui ne sont pas le cœur de ce sujet de thèse. Le plus intéressant pour nous est de savoir qu'ils existent dans un cas concret opérationnel. Notre volonté étant d'aboutir un modèle adapté à l'intégration de la R&D dans les départements de recherche Altran, nous proposerons forcément un modèle qui pourra aussi être catégorisé comme variante d'usage. Notre souhait n'est bien évidemment pas de cibler sur ce seul aspect d'usage, mais bien une compatibilité avec notre volonté de piloter et mesurer la valeur de production d'une R&D.

De ces premiers travaux d'analyse de l'état de l'art, nous avons identifié deux classes de variantes. Celle sur les techniques de calculs et celle sur les usages du modèle. Ces deux catégories nous limitent néanmoins dans la façon de reconstruire un tout nouveau modèle issu d'EV, car elles ne traitent pas les fondamentaux du modèle.

Pour élaborer une nouvelle variante satisfaisant nos contraintes, l'idée est alors de s'appuyer sur les fondations les plus élémentaires possible d'EV. L'inventaire de (Willems & Vanhoucke, 2015) très instructif, n'a néanmoins pas été mené dans une optique de recherche des fondamentaux. Une recherche bibliographique complémentaire nous a montré que la description de ces fondations n'existe

qu'incomplètement. La norme fondatrice (« DOD I 7000.2 : PERFORMANCE MEASUREMENT FOR SELECTED ACQUISITIONS », 1967) ou les différentes versions du PMI (Project Management Institute, 2012) ou encore la version ISO la plus récente (International standard organisation - ISO, 2018) décrivent le modèle EV et son usage. Cependant, si les pratiques sont bien détaillées, en revanche les fondamentaux se limitent à la définition de BCWP qui identifie les coûts planifiés avec la valeur acquise. Il n'y a pas de discussion sur des concepts plus en amont.

Par ailleurs, Lipke (Lipke, Zwikael, Henderson, & Anbari, 2009) ont critiqué l'utilisation du SPI en début et fin de projet dans l'approche temporelle d'EV. Cela a donné naissance à ES (Earned Schedule). Mais si cette démarche a remédié à des obstacles rencontrés en ajoutant de nouveaux concepts, elle les a ajoutés sans généraliser les concepts existants.

L'avis de plusieurs chefs de projets et directeurs techniques de la division EST d'Altran qui utilisent le modèle EV est clair ; "Pour mieux répondre à nos deux cas d'usage de pilotage, le niveau macro et le niveau micro, il faudrait revoir les concepts et les outils.

Il nous faut donc également identifier dans la littérature des articles qui bien que leur propos principal ne soit pas l'étude des concepts fondamentaux du modèle, les traitent néanmoins en partie.

En conclusion, l'approche directe, la première approche adoptée, n'a pas permis d'extraire une base adéquate pour résoudre notre problème. Il est nécessaire de mettre en place une autre approche.

4.2.2 Approche par briques

4.2.2.1 Processus en trois étapes

Nous avons défini l'approche par briques en trois étapes.

1. Procéder à une analyse croisée de variantes d'EV, tant dans la littérature qu'en interne à l'entreprise :

Cette partie nous permettra d'avoir une vision étendue de la connaissance autour du savoir scientifique disponible pour la création d'un modèle de pilotage basé sur EV. Cette première étape sera détaillée ci-après.

2. Procéder à une déconstruction des modèles EV :

Comme dans beaucoup de domaines scientifiques pour appréhender et comprendre les mécanismes qui opèrent à un niveau macroscopique, il est nécessaire de comprendre le microscopique, cette démarche est la même en physique, en science des matériaux ou en encore en biologie. Le cadre de notre étude n'échappe pas à cette loi. La déconstruction du modèle EV vient satisfaire cette nécessité de compréhension.

Il nous est apparu lors de la première approche qu'aucune variante existante ne pouvait venir satisfaire nos attentes vis-à-vis du cadre opérationnel d'intégration de R&D dans les départements Recherche d'Altran. Nous espérons que notre déconstruction des modèles EV pourra aboutir à des briques élémentaires aptes à répondre à notre besoin. A la façon d'un maçon construisant des bâtiments, il pourra construire un grand nombre de structures différentes avec ses briques, à condition que leur taille soit suffisamment petite et leurs usages suffisamment variés pour permettre de grandes combinaisons de structures différentes. Alors qu'utiliser des panneaux de béton préfabriqué, augmentera la vitesse de construction, mais limitera grandement les possibilités d'adaptation de formes. Cette analogie démontre pour nous la nécessité de déconstruire le modèle EV, afin d'en saisir un certain nombre de briques fondamentales et constitutives du modèle. La flexibilité qui nous sera offerte dans la construction d'un nouveau modèle augmentera nos chances d'aboutir à un nouveau modèle utilisable.

3. Procéder à la construction d'une solution à la problématique de mesure de la production de créativité d'une R&D :

Le cœur de notre contribution consistera dans la création d'une architecture système combinant les briques élémentaires obtenues dans la déconstruction du modèle associée aux contraintes additionnelles et spécifiques au périmètre des projets du département recherche d'Altran.

4.2.2.2 Analyse croisée des variantes EV

Pour obtenir des briques élémentaires à la fois fondamentales et opérationnelles, notre démarche est de comprendre comment les variantes existantes sont structurées. Un objectif préalable est donc de déterminer comment répertorier et analyser d'une façon telle que ces variantes, *y compris notre propre future variante*, puissent être reconstruites à partir de ces briques.

Suite à notre première analyse de l'inventaire effectué en 2015 par Willems et Vanhoucke, complétée par une analyse complémentaire de l'état de l'art, analyses que nous avons menées dans l'approche directe initiale, nous avons dégagé 3 tendances.

- *Les techniques de calcul d'EV*

La tendance la plus importante sur les variations dans la littérature réside dans la façon de calculer. Par exemple des approches linéaires simples à des calculs statistiques massifs et des modélisations non linéaires des estimations.

- *Les concepts d'EV*

La seconde tendance moins forte que nous avons constatée concerne les variations sur les concepts mêmes d'EV. Par exemple

ES "Earned Schedule" qui place le focus sur le temps gagné plutôt que sur la valeur gagnée en termes d'activités.

- *Les usages d'EV*

Enfin la troisième tendance qui s'est dégagée, même si elle est faible, concerne les variations sur les cibles projets autres que des projets d'ingénierie T.I. Par exemple : des projets en écologie, en génie civil.

Plus précisément, il s'agit de distinguer et de relier ces trois aspects comme suit :

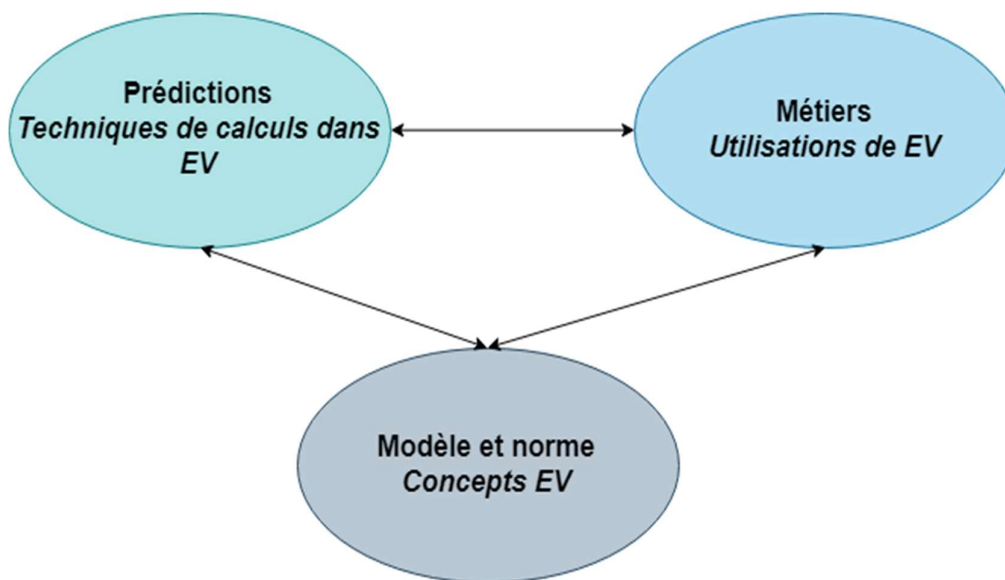


Figure 19. Relation des concepts d'EV

Notre analyse étudiera de façon isolée et à plat ces 3 variantes, ce choix permet de réduire la complexité. Il faut néanmoins comprendre que ces 3 variantes sont dans la réalité à voir comme un empilement de couches d'abstractions. Ou les variantes sur les techniques de calcul représentent le plus haut niveau d'abstraction, le plus simple à s'approprier, et le niveau sur les concepts et la couche la plus profonde.

Notre analyse portera sur deux espaces distincts

- *L'état de l'art dans la littérature. Ce sera l'objet du chapitre 4.3.*
- *L'état de l'art industriel dans le Program Office de la division EST d'Altran. Ce sera l'objet du chapitre 4.4.*

Concernant l'état de l'art dans la littérature, l'intention n'est pas l'exhaustivité des variantes, mais plutôt de choisir celles qui soient représentatives des usages réels de pilotage et donc susceptibles de déterminer les meilleures briques élémentaires répondant à notre besoin.

Par rapport à notre objectif, le manque d'alignement des variantes vis-à-vis de ces trois angles de vue nous empêche d'utiliser tel quel l'état de l'art disponible.

Pour atteindre notre objectif, nous mènerons une analyse de l'état de l'art focalisée sur ce système à 3 niveaux majeurs. L'analyse sera ensuite enrichie par l'état de l'art interne de nos bonnes pratiques de maîtrise des projets d'ingénierie au sein de la division EST d'Altran. Le résultat sera utilisé comme base de la déconstruction du modèle EV.

4.3. EV dans la littérature

4.3.1 Construction de l'échantillon représentatif

L'étude des variantes d'EV que nous allons entreprendre ne cherche pas ou ne vise pas à faire un état de l'art exhaustif de la littérature à propos d'EV. Nous avons déjà traité ce point dans l'approche directe initiale construite à partir de l'excellent inventaire de Willems et Vanhoucke en 2015 et quelque peu complétée.

Author(s)	Journal	Title	Problem (P)	Contribution (C)	Methodology (M)	Analysis (An)	Validation (V)	Application (Ap)
Narbaev and De Marco (2014a)	J CONSTR ENG M	Combination of growth model and earned schedule to forecast project cost at completion	ACCearl y	Cost	CurveD Bayes	Det	HisS	Constr
Narbaev and De Marco (2014b)	INT J PROJ MANAG	An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion	ACCearl y	Cost	EVM CurveD	Det	HisS	Constr

Tableau 2. Extrait de l'inventaire de Willems & Vanhoucke

La difficulté que nous avons rencontrée lors de l'approche directe est que la plupart du temps, les articles mélangent très souvent les trois aspects qui nous intéressent, à savoir les usages, les concepts et les techniques de calcul. De plus, les concepts ne sont pas, et de loin, la cible principale des articles. Cependant, même si un des aspects n'est que secondaire dans l'article, ce qu'il en est dit nous intéresse.

Afin de procéder à la meilleure déconstruction d'Earned Value, il nous faut disposer de l'échantillon le plus représentatif de la littérature, structuré d'une façon telle qu'il facilite, l'identification d'éléments critiques, éventuellement invariants d'une proposition à l'autre.

Et pour catégoriser en fonction de nos trois aspects clé, nous souhaiterions trier l'échantillon selon l'arborescence illustrée ci-dessous, même si dans le corps des articles, ils ne sont pas organisés ainsi. L'importance ou l'absence d'un aspect clé ne doit pas empêcher de dresser la liste.

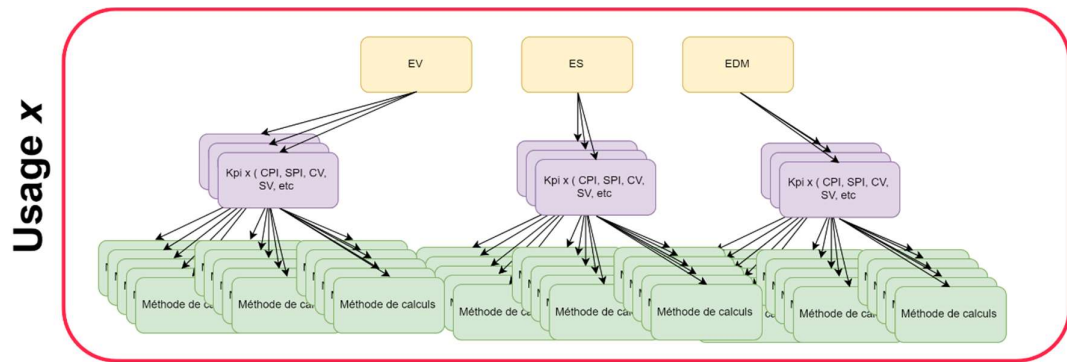


Figure 20. Structuration de l'état de l'art EV

Pour obtenir un tel échantillon, il s'agit de réinterpréter la base des articles et la classification de Willems & Vanhoucke en suivant les 3 paramètres que nous avons définis précédemment (*Domaine d'application métier, Type de contribution méthodologique au modèle EV, Apport technique sur les modes de calculs*)

Nous avons utilisé une approche par text-mining afin de sélectionner les articles les plus appropriés à notre évaluation. Le modèle algorithmique utilisé pour cette sélection est le modèle rake ("*Rapid Automatic Keyword Extraction*") proposé par (Rose, Engel, Cramer, & Cowley, 2010).

L'implémentation de l'algorithme a été intégrée à la création de dictionnaires selon les 3 classes définies (concept, méthode, calcul) puis chaque document est à nouveau analysé à la recherche des entrées de chaque dictionnaire. La somme cumulée pour chaque dictionnaire donne une note finale à chaque document, le processus de sélection est repris dans le diagramme ci-dessous (Cf. Figure 21)

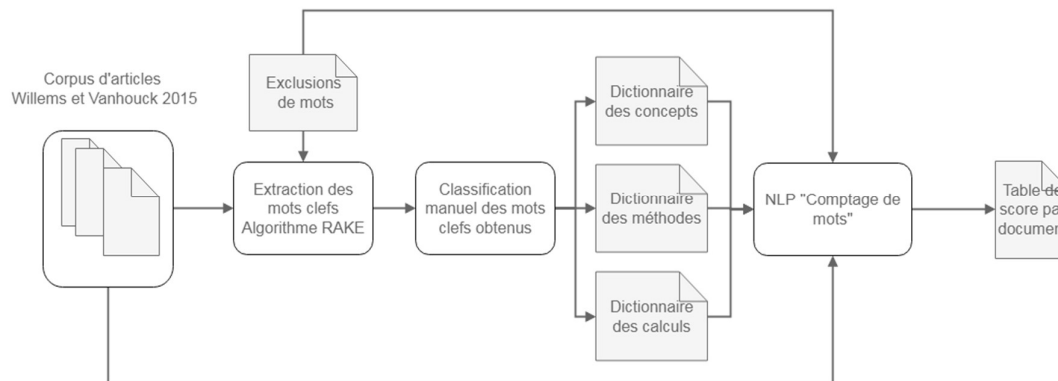


Figure 21. Processus de traitement automatique de la littérature

111 articles ont été sélectionnés puis catégorisés automatiquement. Une validation manuelle, en double aveugle, sur les articles issus du tri a été réalisée pour confirmer les résultats algorithmiquement obtenus. La taille du sous-échantillonnage des articles pour réaliser cette validation manuelle est obtenue en sélectionnant les articles avec une distance représentative de score entre les 3 classes. Ce sous-échantillonnage porte à 21 les articles sélectionnés.

Les deux analyses, l'une par text mining et l'autre manuellement par l'homme ont été opérées sur la base d'une méthode de classification à 4 facteurs ABCD. La première étape du tri différencie les articles AB de ceux CD, selon un critère relatif « est plutôt dans le thème », de « n'est plutôt pas dans le thème ». La deuxième passe de classification différencie « est tout à fait dans le thème » de « reste dans le thème malgré tout » pour les classes AB ; enfin, pour discriminer les classes D et C, les critères sont « n'est définitivement pas du tout dans le thème » de « n'est malgré tout pas dans le thème ». Ce tri par importance relative nous permet de classer les articles en 4 catégories d'importance (cf. Tableau 3).

La classification automatique donne un poids absolu numérique. Pour pouvoir comparer le traitement automatique du traitement humain nous avons discrétisé en quartile les poids de chaque classe.

L'interprétation étant subjective au dire d'experts nous avons apporté à notre classification automatique humaine une logique floue établie sur la base d'un intervalle 6σ par rapport à la population globale d'une classe. Ceci explique que certains articles ont une notation double pour certaines classes. Voir ci-dessous un extrait de ces résultats (cf. Tableau 3)

Article	Eval Homme Concept	Eval Homme Usage	Eval Homme calcul	Eval auto Concept	Eval auto Usage	Eval auto calcul	Mapping concept	Mapping usage	Mapping calcul	mapping par article	Pourcentage de mapping
Final Costs Estimates for Research & Development Programs Conditioned on Realized Costs	B	B	A	D	D	D	0	0	0	0	0,00%
Setting tolerance limits for statistical project control using earned value management	C	D	A	A	A	A	0	0	1	1	33,33%
Combination of Project Cost Forecasts in Earned Value Management	C	C	A	A	BC	AB	0	1	1	2	66,67%
EDM Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement	A	C	A	A	A	A	1	0	1	2	66,67%
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tableau 3. Extrait de la validation de la classification automatique

L'analyse des résultats de validation est mitigée. Elle nous permet toutefois de dire que le traitement automatique par l'algorithme est relativement cohérent. D'une part le traitement pour chaque classe fait ressortir un pourcentage de mapping entre l'analyse humaine et algorithmique deux fois supérieur à un comportement totalement aléatoire (25% de mapping). D'autre part, pour l'ensemble de l'analyse 64% des articles analysés présentent un mapping de 2 classes sur 3.

Pour la suite de nos travaux d'état de l'art, nous nous baserons en partie sur les articles issus du traitement automatique réalisé par text mining et en partie sur les choix opérés classiquement lors de l'approche directe classique. Ce corpus permet de poursuivre l'analyse croisée des variantes selon le découpage prévu selon les trois classes les concepts, les usages et les calculs.

En ce qui concerne la démarche basée text mining, bien que très limitée dans la taille de l'échantillon et avec des résultats insuffisamment robustes pour avoir pu être pleinement utilisée dans notre analyse croisée des variantes EV, nous préconisons que cette approche continue à être investiguée dans de futurs travaux.

4.3.2 Variations sur les concepts

Le périmètre que nous nous sommes fixé pour les variantes, que ce soit sur les concepts d'EV, sur les cas d'usage ou sur les types de calcul de prédiction est précis. Il faut au minimum que l'article parle, challenge ou soit basé sur la notion de valeur gagnée par rapport à une référence.

Tout article qui ne correspond pas à ce critère est écarté. Dans l'inventaire de Willems & Vanhoucke, plusieurs ont ainsi été éliminés. Pour l'illustrer, citons notamment "scheduling technique for project control" (Hegazy & Menesi, 2012) , ou "Revisiting the Golden Triangle of Cost Time and Quality the Role of NPV in Project Control Success, and Failure" encore (Gardiner & Stewart, 2000). C'est bien entendu le contenu et non le titre qui a été balayé pour vérifier le critère. Le titre ne fait que suggérer le jugement hors périmètre.

Une fois cette opération effectuée, un second critère vient délimiter le périmètre spécifique des variantes sur les concepts d'EV. Nous allons voir qu'il est assez restreint. Il faut au maximum que l'article parle, challenge, ou soit basé sur les notions de base de la méthodologie Earned Value. Tous ceux qui concernent les usages et surtout l'ensemble de toutes les discussions sur les calculs de prédiction sont écartés. L'immense majorité des auteurs considèrent que ce socle est un axiome et ne le remette pas en question.

Le socle n'est pas simple à définir puisque c'est un des grands enjeux de l'opération de déconstruction. Il faut justement collectionner les articles qui vont permettre de le cerner. De façon approximative, il s'agit des discussions autour des données brutes telles que BCWS, ACWP et bien sûr BCWP qui permet de construire la valeur gagnée. Il s'agit des articles sur la production et sur la maîtrise

des risques via la valeur gagnée. Sont inclus également, non exhaustivement, les index de performance tels que CV et CPI, SV et SPI.

Généralement, les auteurs parlent de ce socle en tant qu'« EV traditionnel ». Derrière l'adjectif traditionnel se cache un point commun : l'approche linéaire du calcul des prédictions. Or notre segmentation opère en deçà des calculs. Que les calculs soient linéaires ou non linéaires, probabilistes ou quoi que ce soit d'autre, les articles traitant de ces sujets sont regroupés hors du périmètre sur les concepts. Ce qui nous intéresse, c'est la spécificité de la notion de valeur gagnée qui va au-delà de la simple comparaison entre réel et prévu.

Les variantes des concepts selon le critère que nous en avons donné sont essentiellement fondées sur les gains en valeur, en planification et en durée.

Voici un aperçu des articles sélectionnés pour la déconstruction.

4.3.2.1 Variations Earned Value

- Le standard EVMS historique formalisé par le *Department of Defense* américain (DODI 7000.2, 1967) a historiquement été conçu pour rationaliser la mesure de la performance d'un projet et pouvoir évaluer en continu les projets confiés en sous-traitance. Cette fondation est intéressante non seulement pour la compréhension de la base du modèle Earned Value, mais aussi pour les bonnes pratiques d'utilisation qui sont décrites dans ce standard. Un des intérêts pour notre étude est de déterminer si l'une ou l'autre de ces pratiques pourraient utilement intégrer le socle du modèle lui-même :
- D'un point de vue industriel international, un des principaux promoteurs d'EV et de ses concepts reste depuis de nombreuses années le PMI et ses revues techniques. C'est l'approche « EV traditionnel » qui y est représentée. Le deuxième article fournit une présentation succincte, mais complète de l'approche « EV traditionnel » : (Project management institute, 2013), (Anbari, 2003)

- L'article suivant analyse les liens entre le système Earned Value et un système de gestion des risques : (Pajares & López-Paredes, 2011)
- Dans le domaine du génie civil, et plus précisément dans le cadre de la maîtrise du dégagement du CO2 lors de la construction de bâtiments, cet article montre comment les paramètres de bases ACWS, BCWS, BCWP et les indicateurs dérivés permettent de prévoir et superviser simultanément les émissions de CO2 et les coûts de construction. Ce qui nous intéresse ici, ce n'est pas le cadre du génie civil, mais la gestion de deux productions à la fois conjointes et distinctes : (J. Kim, Koo, Kim, Hong, & Park, 2015)
- L'aspect intéressant du premier des deux articles suivants est la mise en avant de la modélisation de la production. Aux U.S. et dans la plupart des pays, la décomposition habituelle est le « Work Breakdown Structure » (WBS). En Corée, c'est le « Budget Breakdown Structure » (BBS) qui est habituelle. Une combinaison de BBS et de Cost Breakdown Structure est également étudiée. Le second article initie la recherche en matière de WBS flexible : (S. Kim, Park, Lee, & Son, 2008), (Jung & Woo, 2004)

4.3.2.2 Variations Earned Schedule

- Earned Schedule a été introduit par Lipke. L'article fondateur : (Lipke, 2003)
- L'article suivant en est une critique. Ce qui nous intéresse dans la critique, c'est le lien vers des recherches alternatives au verrou soulevé par Lipke : (Jacob, 2006)
- Tous les modèles Earned Value / Schedule / Duration sont sensibles aux fluctuations des données d'entrée. Dans l'article d'Elshaer, Earned Schedule semble le plus intéressant (Elshaer, 2013). Ce qui importe ici, c'est la compréhension de l'approche Schedule sur les deux autres en ce qui concerne la prise en compte des délais : (Elshaer, 2013)

4.3.2.3 Variations Earned Duration

- L'article suivant présente les fondamentaux de l'approche Earned Duration. (Khamooshi & Golafshani, 2014)
- Dans l'article suivant, les discussions portent sur la fiabilité de prédiction des approches Earned Schedule et Earned Duration. Dans cette section, ce qui nous intéresse en deçà des calculs, c'est de comprendre la distinction de concept entre les deux approches : (Batselier & Vanhoucke, 2015)
- Une expérimentation intéressante d'EDM a été menée à l'Université de Ghent. Outre l'illustration intéressante d'EDM en termes de rapidité temps réel à intégrer et à prendre en compte les données, et que cette expérimentation met également en relief la facilité d'apprentissage de ce modèle : (Vanhoucke et al., 2017)

4.3.3 Variations sur les usages d'EV

Deux sous-catégories sont apparues lors de l'étude de ces variantes : les secteurs d'usage et les usages proprement dits.

- Earned Value étant conçu et promu par l'administration américaine, l'état de l'art montre spécifiquement des cas d'usage d'EV dans les secteurs publics. Cet article montre que le surcoût de management engendré par l'application stricte d'EVMS a un retour positif sur investissement. (Hunter, Fitzgerald, & Barlow, 2014), (Kwak & Anbari, 2012)
- En termes de nombre d'articles sur les usages d'EV, c'est le secteur de la construction en génie civil qui est largement prépondérant au même niveau que les autres projets d'ingénierie. Ce n'est pas étonnant, étant donné la forte planification a priori des projets de génie civil. Le premier article ci-dessous a été cité dans les variantes des concepts et son intérêt est son cas d'usage mixte : maîtriser conjointement les coûts de construction et les

émissions de CO₂. Le second article étudie un ensemble de méthodologies, dont Earned Value, pour déterminer les meilleures approches pour la construction. Les questionnaires sont particulièrement riches et leur intérêt dépasse le domaine de la construction de bâtiments. (J. Kim et al., 2015) , (Olawale & Sun, 2015)

- Les systèmes de hautes technologies et les systèmes complexes représentent une cible spécifique des usages d'Earned Value. L'article suivant englobe, mais n'est pas spécifique à EVMS. Son intérêt est dans son approche des projets complexes. Dans le second article, c'est la spécificité de l'incertitude des projets R&D. (Farris, Groesbeck, Van Aken, & Letens, 2006), (Pillai et al., 2002)
- EV s'applique parfois à d'autres secteurs tels que la supervision des forêts, ou la planification de la production de gaz à effet de serre. (Cioffi, 2005), (Abdi, Taghipour, & Khamooshi, 2018)
- Orthogonalement aux secteurs, parmi les usages proprement dits, on trouve non exhaustivement, les démarches itératives intégrant l'analyse root cause lors de l'acquisition de valeur et l'analyse multiprojets en termes de performances et de caractéristiques externes/internes permettant d'affiner ses prédictions pour les projets suivants. Le premier article est tiré d'une conférence du PMI. Le second article étudie un ensemble évolutif d'un grand nombre de projets de production(Fouché & Rolstadås, 2010; Hillson, 2004)

4.3.4 Variations sur les techniques de calcul dans EV

Des trois catégories sur Earned Value que nous avons délimitées, celle-ci est la plus dense dans la littérature. La préoccupation majeure en gestion EV des projets

d'ingénierie est la fiabilité des prédictions des coûts et délais par rapport à une planification initiale. Dans notre contexte R&D intégrés, nous nous intéressons d'abord à la confrontation des approches fortement planifiées aux approches plus adaptatives, notre enjeu étant l'augmentation de la productivité en matière de créativité. Ultérieurement, lorsque le modèle que nous aurons défini sera expérimenté en vraie grandeur dans des contextes industriels variés, nous aborderons l'optimisation des calculs. Cependant, cette catégorie de variations d'EV nous intéresse, car il est possible que les techniques de calcul puissent donner des idées sur la définition de notre modèle, principalement sur la façon de prendre en compte la modélisation du réel. C'est en ce sens que nous avons opéré notre sélection.

- L'originalité du premier article ci-dessous est de prédire la loi de comportement EV par des adaptations de la planification. Les corrélations recherchées sont entre les séries temporelles du couple planification-valeur effectivement gagnées et celles du couple planification-coût réel. Le second article présente une intéressante comparaison et même intégration entre les Growth Models et les Index-Base Models. (H. L. Chen, 2014), (Narbaev Timur & De Marco Alberto, 2014)
- De nombreux articles sur les techniques de calcul de prédiction s'appuient sur les statistiques. Parmi les sous-catégories les plus importantes, on trouve les approches traditionnelles, probabilistes, bayésiennes et les filtres tels que Kalman. Le premier article discute d'une approche stochastique des S-curves. Le second a été cité dans la catégorie des usages EV. Il nous intéresse ici pour la mise en œuvre directe de l'approche statistique. Le troisième article propose une approche probabiliste avec un filtre de Kalman avancé. Une implémentation est décrite et donne des idées sur des stratégies basées-erreurs. L'intérêt du quatrième article est d'introduire la capacité de la logique floue à aborder des incertitudes. Dans l'article, il s'agit d'impacts de causes financières externes sur le projet comme la dévaluation, les délais et les environnements incertains de paiement. Ce n'est pas l'objet de nos

travaux, mais par abstraction, on peut y voir une analogie avec les incertitudes en recherche.

(Barraza, Back, & Mata, 2004), (Farris et al., 2006), (Kim Byung-Cheol & Reinschmidt Kenneth F., 2010), (Salari, Bagherpour, & Kamyabniya, 2014)

- Durant la thèse, les articles qui proposent les outils d'intelligence artificielle pour améliorer les calculs Earned Value progressent constamment. Par exemple, il est question de remplacer les paramètres classiques EV par des réseaux de neurones. Nous avons nous-mêmes expérimenté plusieurs techniques, notamment en traitement naturel de la langue (TAL ou NLP) en utilisant différents réseaux de neurones CNN RNN LSTM. Les résultats sont probants, car nous obtenus pour des tests des résultats supérieurs à 90% de détection sur des lots de texte entre 35 et 400 mots en appliquant le modèle de (Y. Kim, 2014) sur 3 classes de texte très différentes . Nous sommes donc confiants en notre capacité de classifier la connaissance pour en faire de nouveaux jeux de données d'entrées au modèle EV RDI, pour distinguer en temps réel les produits des activités en termes d'artefacts de recherche et d'artefacts de développement. Nous avons décidé de retirer ces recherches du périmètre de la rédaction, car un grand nombre d'expérimentations doit venir compléter nos premières tentatives avant de pouvoir donner des conclusions significatives. De plus à ce niveau de travaux, l'absence d'un modèle nécessitant des données dérivées de texte nous a fait remettre ce pan d'exploration à de futures perspectives. Nous préférons nous focaliser sur les fondamentaux et la déconstruction du modèle.

4.4. EV dans le PMO Altran Est

Nous analyserons ici les cas d'usage du PMO (Program Management Office) de la division Altran Est.

4.4.1 Structuration des offres de services

Les offres sont structurées en niveaux de risque de telle façon que chaque niveau soit conçu spécifiquement pour respecter l'obligation de chaque projet à être rentable isolément, peu importe la classe de risque à laquelle il appartient. Il ne s'agit pas de production où le retour sur investissement peut être réparti. En conséquence, le ROI doit être prédictible à chaque instant, selon la granularité d'observation appliquée à chaque projet, afin d'être en mesure de vérifier les obligations.

Certes, certains projets sont menés en dehors de cette règle stricte, par exemple ceux caractérisés par un chiffre d'affaires non linéaire (royalties, licences) ainsi que les recherches sur fonds propres. Justement ces projets font l'objet de recherches en termes de « *delivery* » dont cette thèse est une des expérimentations.

En ce qui concerne les modes de « *delivery* » classiques au sein d'Altran, noté ADM (Altran Delivery Model), il en existe à l'heure actuelle 4 (cf. figure ci-après). Ces modes de prestations historiquement issues de l'assistance technique "ADM1" ont évolués au cours du temps, pour satisfaire les changements d'engagement attendus par les clients.



Figure 22. Offres de service Altran

Nous nous intéressons à trois d'entre eux, classés par ordre de prise croissante de risques et d'engagements. Le mode de prestation ADM1 "Assistance technique" engage en termes de moyens. Ce mode est traité entre les équipes commerciales, managériales et les clients. Le Program Office n'intervient que si le niveau d'engagement présente un risque de ne pas satisfaire les exigences du client. Nous présenterons donc ici brièvement les solutions de prestations où le PMO prend systématiquement parti, prestations appelées dans l'ensemble ADM2+.

- **ADM2** garantit la disponibilité de moyens et de compétences. Typiquement, dans ce type de projet il existe 2 grandes complexités.

- Les transitions.

Montée progressive en charge en début de projet, diminution progressive en fin de projet.

- Le maintien des disponibilités.

Malgré les aléas (maladie, congés, ...) lors du déroulement nominal et les changements de type de compétences en fonction des besoins évolutifs.

Pour les aspects de planification et de supervision des projets de ce mode, *Earned Value* confronte la planification au réel, anticipe et corrige. Dans ce mode il n'y a par contre pas de prise en compte sur la validation des livrables, au sens où tout jour travaillé est validé. La validation de

l'adéquation des compétences est gérée par un autre processus qu'Earned Value. En revanche, le risque qui est particulièrement analysé, mitigé et supervisé est la dérive calendaire potentielle du plan de charge prévu. A noter que pour certains projets ADM2 la re-planification est fréquente.

- **ADM3** garantit les résultats en coût, délai et qualité. Cette garantie est fournie par une plus rigoureuse gestion et donc moins flexible qu'en ADM2. Dans ces projets, la réalisation du cahier des charges fonctionnelles et/ou des spécifications détaillées ainsi que les coûts, les délais et différents aspects qualité sont garantis. A noter que la littérature EV cible essentiellement ce type de projet. Deux grandes catégories peuvent être dégagées : développement en cycle en V et développement agile (Scrum).
- **ADM4**, qui combine ADM2 et ADM3. Les résultats et/ou des niveaux de service sont garantis. Plusieurs variantes peuvent être dégagées :
 - Des services forfaitaires dont les niveaux de service sont garantis, sans connaissance a priori des périodes de sous-charge ou de surcharge ;
 - Des ensembles de projets type ADM3 se déroulant en parallèle et dont la définition (taille, démarrage, ...) ne sont connus qu'au fil de l'eau, le cadrage global étant fixé.

Le PMO est composé de ressources humaines spécifiques, ainsi que de processus et d'outils spécifiques, qui sont interconnectés. Financièrement, les coûts et les revenus sont supervisés à différentes granularités. La précision est totale, par exemple, l'évolution des coûts des ressources humaines au jour près en tenant compte des augmentations de salaire, ou encore la facturation réelle et anticipée, etc. *Earned Value* fait partie des outils. Cependant le propos de cette thèse n'est pas la gestion de projet, il est d'investiguer les concepts et les bonnes pratiques industrielles sur l'usage d'*Earned Value* dans des circonstances les plus proches possibles des organisations R&D intégrés où la part de recherche, et donc d'imprévus, est importante, voire encouragée.

4.4.2 Etat de l'art interne, les lois de comportement EV

Nous avons focalisé l'analyse de l'état de l'art du PO Est en matière de maîtrise des risques des projets à engagement de résultat sur les Earned Value entre 2010 et 2015. Deux angles de vue structurent cette analyse : A. les lois de comportement et B. la typologie des données. Nous traitons dans ce chapitre le premier point.

En ce qui concerne les lois de maîtrise des risques, outre les préoccupations classiques d'une mise en œuvre du système de management avec Earned Value sur les coûts en jours, les jalons et les coûts en euros, le PMO a ajouté 2 nouveaux paramètres que sont la marge et la qualité. Ces 2 paramètres sont directement liés aux finalités des projets menés par le PMO.

Là où dans son aspect historique EV sert à mettre en relief une énergie investie et un coût pour piloter les risques de dérive, le PMO prend dans ses offres de solution un engagement sur la qualité des livrables. Cet aspect n'est pas pris en compte dans le modèle EV. Il est nécessaire de le traiter par des activités et des processus de validation des éléments de production. Dans ce cadre les différents livrables sont à inclure dans le pilotage, d'où l'introduction de l'aspect qualité.

En ce qui concerne le pilotage par la marge il est le reflet des processus internes d'une société de service. De la même façon que les solutions de type ADM1 sont validées par la marge dégagée, le processus standard s'applique également aux solutions à engagement de résultat où la marge est suivie en temps réel tout au long du projet.

a) Focus sur le coût exprimé en jours travaillés.

En suivant la méthode classique EV, le coût est caractérisé par :

- **Le coût prévu :**
Appelé le plan, ou encore BCWS (Budgeted cost of work scheduled).

- **le coût réel :**
Appelé ACWP (Actual Cost of Work Performed)
- **Le coût gagné :**
Appelé BCWP (Budgeted Cost of Work Performed)

A chaque instant (t), pour un jour donné (j), le coût gagné BCWP correspond au nombre de jours de production de valeur réellement acquis par rapport au nombre de jours planifiés initialement en tant que prévision pour ce même jour donné.

Ces trois données, BCWS(j), ACWP(j) et BCWP(j) permettent notamment de calculer l'indicateur de la performance en coût(j) :

CPI (j). (Cost Performance Index du jour j)

L'évolution dans le temps du CPI (j) est un élément majeur dans l'analyse de risque. Il permet par sa seule valeur d'évaluer la dérive des coûts. La PMO a couplé EV avec la gestion des risques. Les seuils de sévérité sont programmables par type de projet. Dans les bonnes pratiques du PMO, on peut généraliser des seuils d'actions par exemple mineur si CPI est compris entre 0.95 et 0.98 ; élevé si CPI est compris entre 0.90 et 0.95 ; catastrophique si CPI est inférieur à 0.90.

Ces différentes données sont d'une part un élément de lecture autoporteur pour un instant donné, mais ils permettent également de construire par calcul et de différentes façons une estimation du coût final prédit. A chaque instant, le PMO utilise un des calculs classiques pour prédire le coût final théorique, comme :

$$ACWP(j)(t) + \frac{BAC(j) - BCWP(j)(t)}{CPI(j)(t)}$$

ACWP(j)(t) = le coût réel en jours cumulés jusqu'à l'instant t

BCWP(j)(t) = le coût gagné jusqu'à l'instant t

BAC(j) = le coût total en jours planifié initialement

On notera que $BAC(j) - BCWP(j)(t)$ correspond au reste à faire, soit l'évaluation de la charge restante jusqu'à la fin prédite du projet.

De la même manière, on notera l'influence forte de l'indicateur de performance CPI dans l'évaluation de la fin prédite du projet. Cet effet est voulu dans le choix de ce mode de calcul, car il intègre volontairement l'historique des variations de coût dans la projection de prédiction de fin théorique du projet.

La prédiction de l'estimation du coût final est clé pour la maîtrise des risques financiers. C'est cette prédiction du coût final qui sert de donnée d'entrée dans le mécanisme des seuils de déclenchement d'actions du management des risques et non les valeurs à l'instant t . Cependant notre analyse de l'état de l'art interne ne porte pas sur l'efficacité d'EV à prédire si le réel s'écarte plus ou moins fort du prévu initial. Elle porte sur les lois qui caractérisent l'évolution des coûts du projet en tant que signature du projet. Nous choisissons plus précisément l'évolution de la performance en coûts du projet, c'est-à-dire $CPI(j)(t)$ comme signature majeure de notre analyse, tant pour sa valeur finale qui résume la performance globale, que surtout pour l'évolution de l'intégration dans le temps de la performance depuis l'instant initial jusqu'à l'instant final.

b) Focus sur la loi de comportement en termes de délai

Il existe dans le modèle historique d'EV un second indicateur appelé SPI (Schedule performance index) qui évalue la performance en délai par rapport à la planification initiale. Cependant, la performance en délai SPI ne fournit pas une estimation correcte. Sa modélisation dans le système Earned Value ne permet pas de réaliser des calculs de prédiction. Le PMO Est, au lieu d'utiliser le $SPI(j)$ historique, a construit un indicateur alternatif à la performance en temps. Il caractérise correctement à chaque pas de temps et il permet de calculer une prédiction de la date de fin.

Rétrospectivement, nous nommerons cet indicateur de performance « CPI (w cal) » pour Week CALENDAR. Ce choix est motivé par le fait que les formules mises au point traitent en réalité le délai comme étant un coût. Sur la période indiquée entre 2010 et 2015, la désignation a été SPI* pour désigner qu'il s'agissait d'une alternative au SPI standard d'Earned Value. SPI* construit par le PMO Est est intuitivement une performance de type coût et non comme une performance de type délai. Les bases de la formulation historique de la problématique qu'EV

cherchait à résoudre était bien d'exprimer autant les coûts que les délais en unités financières. Cependant la solution proposée par Earned Value non seulement distinguait le traitement des performances en coût et en délai, mais de plus, le traitement des délais n'était pas satisfaisant.

Nous allons voir dans une rapide étude l'utilisation du modèle EV faite par le PMO. Pour les notations, G désigne la valeur gagnée. ES fait référence à la notation Earned Schedule, mais ce sont les calculs de SPI* qui sont utilisés et non ceux de SPI(t) de Earned Schedule.

- I représente le début du projet
- F représente la fin du projet prévue correspondant au temps final $t_{100\%}$ et au coût gagné final $G_{100\%}$
- O représente le coût planifié à l'instant t
- G_1 et G_2 représentent deux cas différents de coût gagné à l'instant t
 - G_1 représente un coût gagné inférieur au prévu
 - G_2 représente un coût gagné supérieur au prévu
- ES_1 et ES_2 représentent les temps coorespondants aux coûts G_1 et G_2 au même t
- ES'_1 et ES'_2 sont des approximations de ES_1 et ES_2

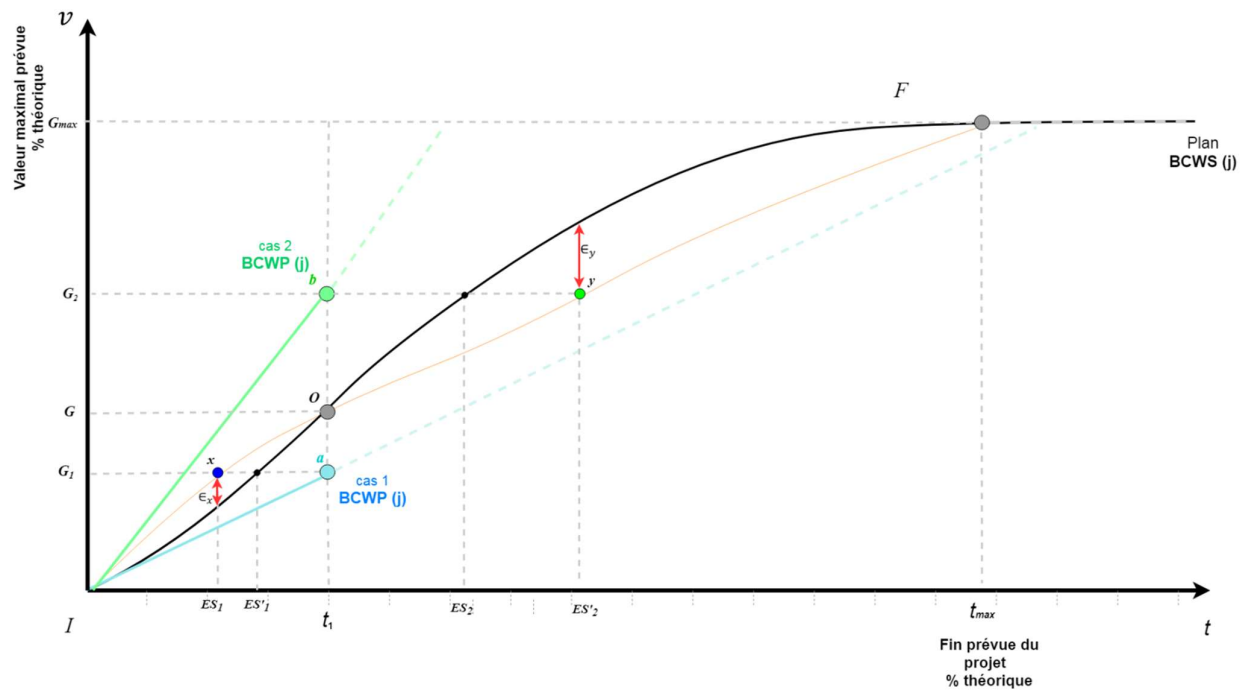


Figure 23. Modèle EV du PMO Altran Est

Cas 1 : Le coût gagné G_1 à l'instant t est inférieur au coût planifié G .

On obtient l'état du système suivant :

- G_1 est le coût gagné à l'instant t .
- G_1 est inférieur à G
- IO est une approximation linéaire de la courbe Plan BCWS(j) entre I et O
- ES_1 est calculé comme

$$ES_1 = \frac{G_1}{G} \cdot t$$

Cas 2 : Ici le coût gagné G_2 à l'instant t est supérieur au coût planifié G

On obtient donc l'état du système suivant :

- OF est une approximation linéaire de la courbe planifiée BCWS(j) entre O et F

$ES_2 - t$ est calculé comme la proportion $\frac{(G_2 - G)}{(100\% - G)} \cdot (t_{100\%} - t)$

- D'où ES_2 :

$$ES_2 = t + \frac{(G_2 - G)}{(100\% - G)} \cdot (t_{100\%} - t)$$

- Les cas 1 et 2 peuvent être combinés en une seule fonction, qui prend également en compte la situation où le projet se déroule au-delà de la fin planifiée :

$$ES_t = \frac{\min[G_{réel}(t); G_{plan}(t)]}{G_{plan}(t)} \cdot T(t) + \frac{\max[G_{réel}(t) - G_{plan}(t); 0]}{\max[1 - G_{plan}(t); 1]} \cdot 1 - T(t)$$

avec $T(t)$ qui exprime le temps en % du temps total planifié,

$G_{réel}(t)$ qui exprime le coût gagné

$G_{plan}(t)$ qui exprime le coût planifié

On notera que le premier terme équivaut à ' $\frac{G_1}{G} \cdot t$ ' dans le cas 1 et vaut ' t ' dans le cas 2. On notera également que le second terme vaut 0 dans le cas 1, et en particulier lorsque la fin réelle intervient au-delà de la fin prévue du projet, puisqu'à partir de cet instant particulier, le coût gagné sera toujours inférieur au coût planifié.

Voici un exemple d'application.

ES (t), le coût calendaire gagné, équivaut à BCWP, associé à ACWS et ACWP. Dans l'exemple, le triplet BCWP, ACWS et ACWP sont exprimés en fonction de la semaine calendaire (w cal).

- **ACWP (w cal)** – *coût réel en termes de durée calendaire*

C'est le temps qui passe indépendamment du projet. C'est donc une droite passant par l'origine dont la pente dépend seulement des conventions pour les axes X et Y.

Soit $ACWP = 100\%$ pour $t = \text{fin du projet}$.

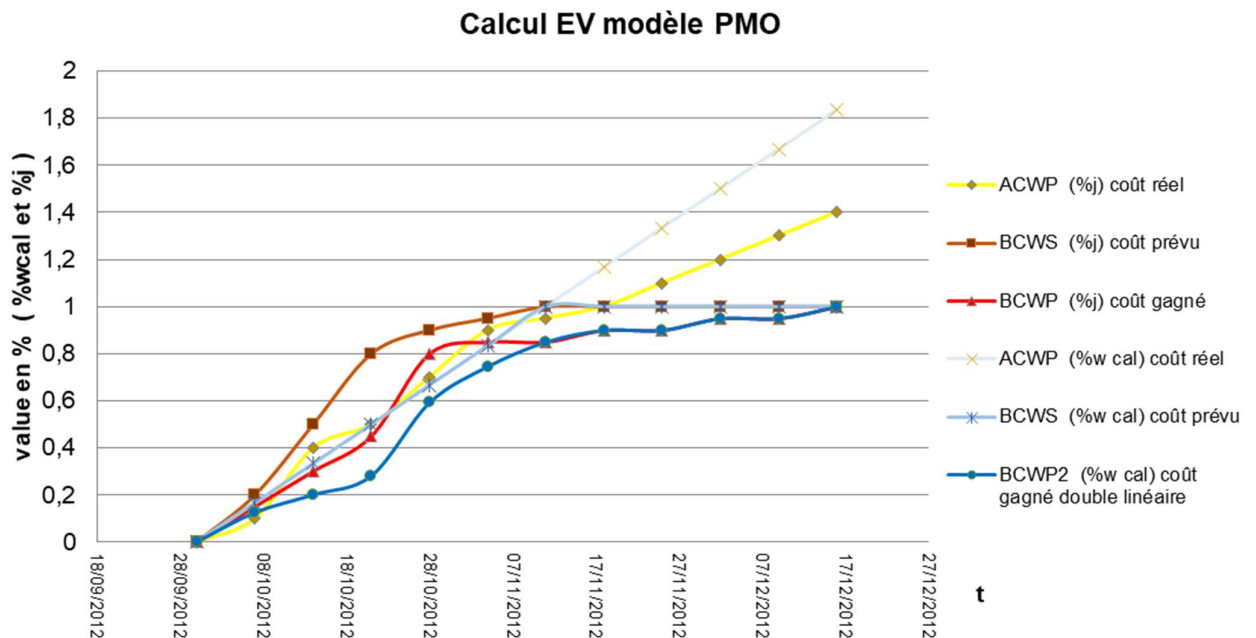
- **BCWS (w cal)** – *planification en termes de durée calendaire*

C'est une fonction identique à ACWP (w cal) jusqu'à la fin prévue du projet, suivie à partir de cet instant par une autre droite horizontale à l'axe des X : $BCWS = 100\%$.

- **BCWP (w cal)** – *temps gagné en termes de durée calendaire*

C'est une combinaison de ES1 et de ES2

G (t), le coût gagné équivaut à BCWP, associé à ACWS et ACWP. Dans l'exemple, le triplet BCWP, ACWS et ACWP sont exprimés en fonction du nombre de jours-homme travaillés (j). On pourrait utiliser un autre coût, par exemple le coût en euros. **BCWP (j), ACWS (j) et ACWP (j)** sont classiques.



Les trois lois ACWP, BCWS et BCWP en fonction du "% coût" en jours suivent les comportements classiques d'Earned Value. On voit notamment le coût gagné (BCWP(%J) courbe rouge clair, en forme de S (forte accélération le 28-10-2012.). Le coût réel ACWP est depuis le début en dessous de la planification BCWS, mais repasse au-dessus des coûts prévus le 17-11-2012 pour finir avec un surcoût de 40% le 17-12-2012.

Les trois lois ACWP, BCWS et BCWP en fonction du % de durée calendaire suivent également les comportements classiques d'Earned Value, mais en fonction cette fois de la durée calendaire. Nous voyons que le coût gagné en délai (courbe BCWP2 %w cal en bleu foncé est faible depuis le début du projet. Nous allons montrer que ce nouveau triplet en durée calendaire va permettre de calculer la performance CPI (w cal) dans notre modèle EV mieux que le SPI(j) de la version EV classique.

Avant de passer à l'analyse de ce nouveau triplet « w cal », revenons à la Figure 23. Modèle EV du PMO Altran Est. Les points ES'1 et ES'2 sont les points utilisés

par Earned Schedule (cf. 4.3.2.2), approche inexistante à l'époque où le système propre au PMO Est a été mis en place. Rétrospectivement, que donnerait Earned Schedule ?

- D'une part, Earned Schedule donnerait une plus grande précision.

L'imprécision due aux approximations linéaires du PMO est cependant négligeable par rapport aux seuils de déclenchement en place pour d'analyse des risques. Une précédente version du PMO, non pas basée sur les 2 droites IO et OF, mais sur une seule approximation linéaire globale IF a effectivement parfois montré des conséquences non négligeables sur le management de l'analyse des risques.

- D'autre part, si nécessaire, le PMO peut rendre SPI* aussi précis que Earned Schedule.

Il suffit pour cela que nous appliquions notre fonction linéaire à chaque pas de temps. Mais ce n'est pas nécessaire dans le contexte. A noter que la méthode de calcul est générale, et que la sommation de termes linéaires pourrait être remplacée par un calcul non linéaire dans le but de dépasser la fiabilité d'Earned Schedule.

La déconstruction qui sera opérée au chapitre 5 identifiera et généralisera cette analyse de l'état de l'art interne. Cette généralisation est importante dans notre appropriation d'Earned Value dans un but d'en évaluer l'intérêt d'application d'un modèle pour les projets de recherche.

Reprenons l'étude des deux triplets, ACWS-BCWS-BCWP, appliqués respectivement au coût jour « j » et au coût en durée calendaire « w cal ». Dérivons-en les index de performance associés.

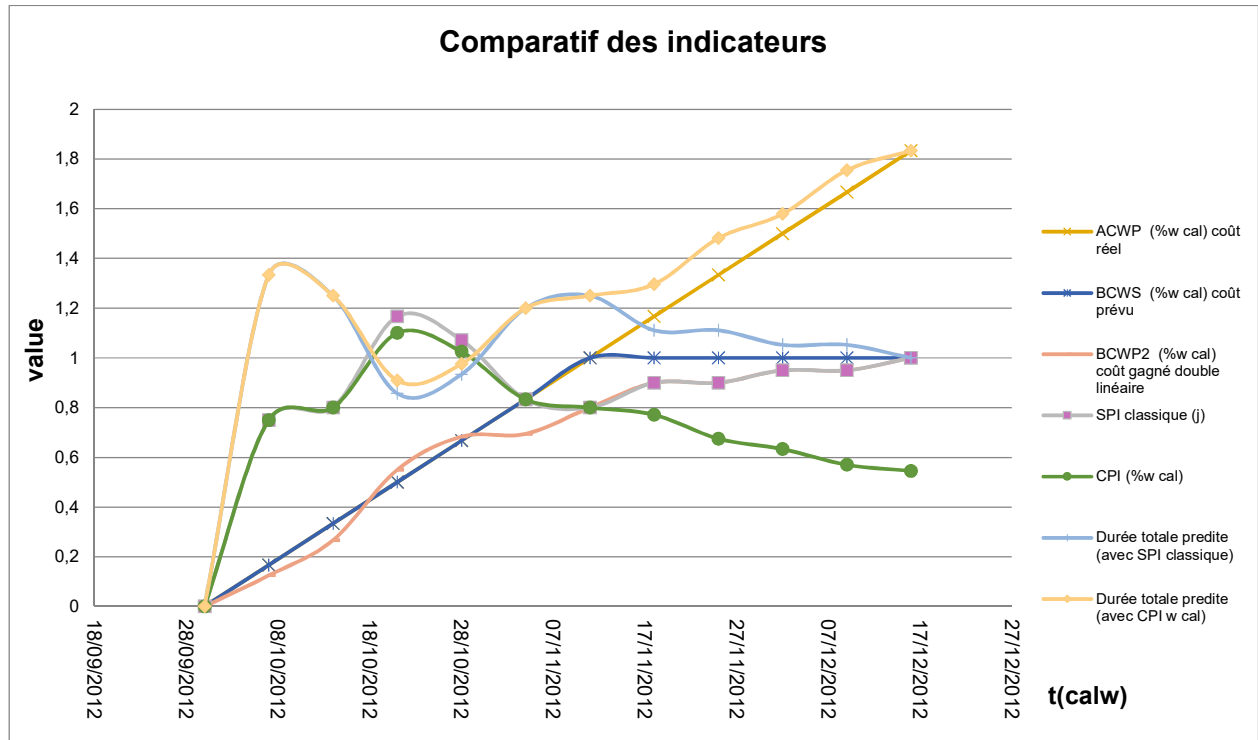


Figure 25. Comparaison entre SPI standard et SPI* (ou CPI % wcal) du PMO

Le graphique illustre pour le même jeu de données, que l'indicateur SPI (en violet) issu du modèle classique EV est largement incorrect. Notamment, il converge vers une performance à 100% le 17-12-2012 alors que le projet est très en retard. Du coup, la durée totale prédite à chaque pas de temps en fonction de SPI est incorrecte (courbe bleu ciel). Par exemple, à partir du 10-11-2012, elle « n'arrête pas de dire », à chaque pas de temps que le projet est presque terminé.

En revanche, SPI* (ou CPI (w cal)) est correct et efficace tout le long du projet. En fin de projet, CPI (w cal) (courbe verte) indique correctement une mauvaise performance de moins de 60%, ce qui entraîne dans cet exemple une durée totale prédite de 1,8 fois la durée prévue. Très tôt au début du projet, depuis le 18-10-2012, la performance CPI (w cal) ne cesse de chuter. Le calcul de la date de fin prédite (courbe orange) ne cesse d'augmenter.

Le constat à propos de SPI est relevé dans la littérature depuis Earned Schedule. SPI* ou CPI (w cal) caractérise correctement la performance en durée calendaire, sans tenir compte du nombre d'intervenants, ni du pourcentage de leur effort individuel, ni de la distinction des jours travaillés et des jours non travaillés.

Le couple CPI (j) et SPI* (ou CPI (w cal)) caractérise correctement l'évolution des performances de chaque projet. Nous utiliserons ces couples pour étudier l'ensemble des trajectoires de l'ensemble des projets de la PMO.

c) Focus sur le coût en Euros, sur la marge financière et sur la qualité

En parallèle aux deux premiers triplets « j » et « w cal », le PMO met en œuvre un troisième triplet basé sur les coûts en euros. Le calcul du coût en euros revient au nombre de jours de chaque intervenant multiplié par le coût jour correspondant, en tenant compte des revalorisations et des primes, auquel est ajouté les coûts en ressources matérielles.

L'index CPI (euros) associé n'est pas décrit dans cette analyse, car il brouille davantage notre analyse dans une optique d'appropriation et transposition aux projets de recherche qu'il n'apporte un éclairage. En effet, les questions d'investissement répondent à des conditions et des objectifs trop spécifiques. Quant à l'organisation du travail, les variantes de sourcing qui génèrent des différences de lois de comportement entre CPI (jours) et CPI (euros) dépendent de données externes aux équipes projet. Le cas des départements de recherche Altran est en grande partie lié à des contraintes d'environnement externes et internes, aussi bien en ressources humaines qu'en ressources matérielles. Il s'agit de paramètres constitutifs très distincts à chaque contexte sur lesquels nous n'avons pas de possibilité d'influence. Introduire le paramètre de performance CPI (euros) serait dans nos circonstances ajouter un biais de forte influence, qui n'apporterait rien dans notre recherche de pilotage avec un modèle EV transposé.

CPI (j) est une abstraction de CPI (euros) qui élimine ces perturbations. Bien que mentionné et conscient de son existence, nous ne retiendrons pas CPI (euros) dans notre analyse.

Un quatrième triplet du PMO porte sur la marge financière. Dans les sociétés de services (ESN ou SSII), le projet est en sous-traitance pour un client tiers, aucun des potentiels économiques du produit développé n'a de répercussions sur le chiffre d'affaires de la société. La source de revenus est celle de la facturation de la prestation. La gestion de la marge par projet est donc le garant de la source de valorisation économique pour les projets du PMO. Les indicateurs suivants permettent la valorisation économique et le « DSO » (Days Sales Outstanding).

- **ACWP (marge) :**
Cumul des factures honorées moins les coûts réels (coûts euros)
- **BCWS (marge) :**
Plan de facturation moins les coûts planifiés
- **BCWP (marge) :**
Marge gagnée

Nous avons également décidé d'exclure ce jeu d'indicateurs de notre périmètre d'analyse. En effet, la façon dont sont financés les projets d'ingénierie du PMO n'est par essence pas compatible avec la façon dont sont financés les projets de recherche. Là où un projet du PMO doit être rentable et dégager de la marge, non seulement à la fin du projet, mais également de façon continue à chaque itération du projet. Dans notre contexte définir une marge pour des sujets de recherche n'a pas le sens donné au projet d'ingénierie du PMO. La recherche a pour objectif d'apporter une connaissance originale. Celle de la recherche appliquée au sens de Frascati précise une finalité au sens produit. Mais aucune des définitions de la recherche n'introduit la viabilité économique. En cela on différencie la R&D de l'innovation. L'innovation apporte en plus l'élément de définition, d'avoir une place dans un marché économique. Bien que notre vision de R&D intégrés et « outsourcée » soit de trouver une place originale dans le marché économique, le modèle de marge du PMO n'est pas approprié. Dans un premier temps, nous n'incluons pas les indicateurs de marge du PMO dans notre étude. Nos travaux resteront centrés au plus proche de la définition du manuel de Frascati.

A noter également que la transformation R&D vers innovation, avec toutes les problématiques associées de design et de "time to market", est une problématique connue et traitée au sein du groupe.

Dans de futures perspectives, nous pourrions introduire l'alignement entre notre contribution de modèle de pilotage et les méthodes et modèle de transformations en place actuellement.

Un cinquième et dernier axe d'usage géré par le PMO et incorporé dans l'analyse EV, porte sur les aspects de qualité. Cette variation se présente sous la forme d'une BSC (Balanced Score Card). Cette dernière combine des aspects de processus et de livrables, sous-entendu le quoi et le comment, et ce, aussi bien en interne que du côté du client, dans les dimensions de production et de management. La Figure 26. Représentation BSC du PMO montre une représentation de cette BSC.

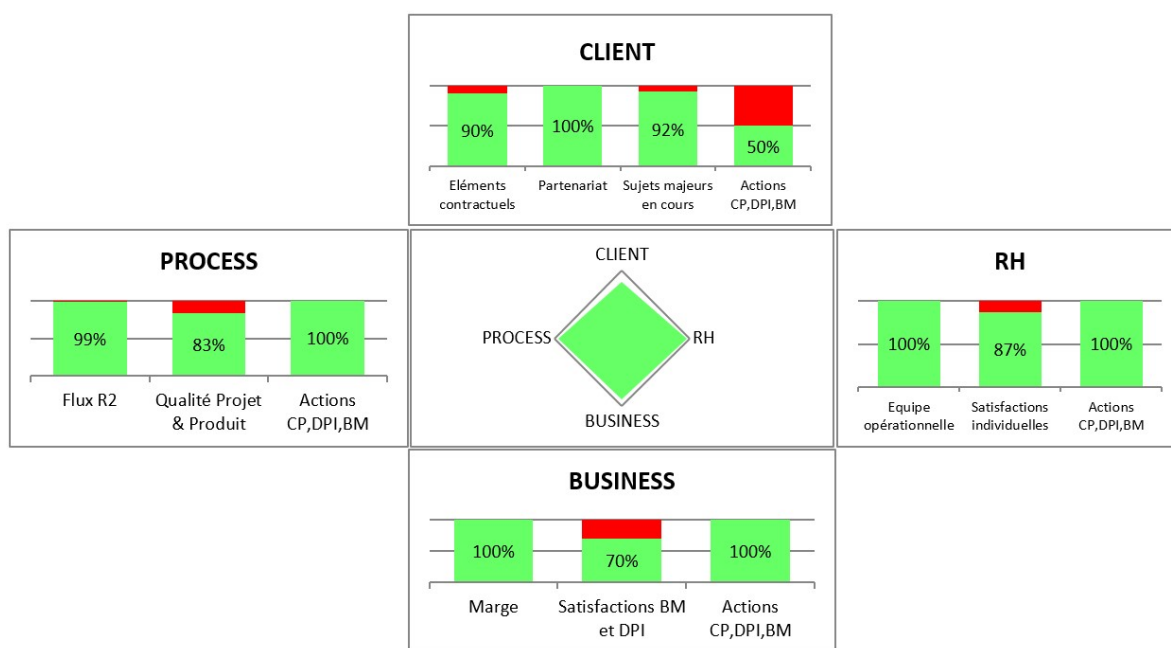


Figure 26. Représentation BSC du PMO

En réalisant l'état de l'art interne, nous nous sommes aperçus que ces données n'étaient pas capitalisées dans le temps. Une capitalisation est réalisée, mais pas sous une forme quantitative que nous pourrions utiliser. Seul l'état du système à l'instant t est disponible. Il nous est donc impossible de mettre en relief ces informations par rapport aux variations d'EV et de ces indicateurs au cours d'un projet. Ces valeurs sont d'autant plus difficilement analysables qu'elles sont propres aux :

- Aux processus internes Altran :
La mesure qualitative est intimement liée à la manière dont le PMO et la division ont construit son modèle qualité. Le type de ces données est spécifique à chaque PMO et il dépend également des contextes sectoriels.
- Aux acteurs du projet :
Comme tout système qualité, celui-ci dépend en grande partie des acteurs influant sur le projet. Contrairement à un système de production de routine où il est faisable et souvent nécessaire de verrouiller l'influence humaine sur le système par l'ajout de processus plus ou moins complexes et/ou plus ou moins fermés, nos projets sont trop différents.

Ces valeurs et mesures ne sont pas généralisables et transposables à notre contexte. Nous n'incluons pas les indicateurs qualité du PMO dans le périmètre de notre étude. Même s'il existe un potentiel de regroupement et de standardisation basé sur des logs de type mail, compte rendu, et autre trace écrite, par traitement naturel de la langue, text mining et intelligence artificielle, les travaux sont trop importants pour ouvrir cette voie d'exploration dans le cadre de la thèse. Les analyses réalisées sont néanmoins conservées dans des perspectives futures.

En conclusion de cette première partie d'état de l'art interne visant à comprendre et s'approprier le fonctionnement et les variations du modèle EV dans le cadre des projets du PMO de la division Altran Est, nous retiendrons deux lois de mesures :

- CPI (jours)
- CPI (w cal) (ou SPI*)

4.4.3 Etat de l'art interne, la typologie des données EV

Pour rappel, nous avons focalisé l'analyse de l'état de l'art du PO Est en matière de maîtrise des projets à engagement de résultat sur les Earned Value entre 2010 et 2015. Deux angles de vue structurent cette analyse :

A. les lois de comportement et B. la typologie des données. Nous traitons dans ce chapitre le second point.

Ayant accès à l'ensemble des historiques et "logs" des projets réalisés entre 2010 et 2015, les deux lois CPI (coût en jours) et CPI (week calendar) (ou SPI*) vont nous permettre de construire une base de données des trajectoires des projets. Pour y arriver, nous avons dû préalablement d'abord collecté, nettoyé et normalisé les données. Nous avons ensuite structuré la base des trajectoires via une classification automatique. Nous avons alors exploité cette base dans le but de détecter et d'interroger des comportements d'ensembles de projets ayant un rapport possible avec les comportements des projets de recherche. Par exemple identifier s'il se dégage un comportement singulier dans la gestion des projets. Pour ce faire, nous avons sélectionné la classe qui rassemble le plus de comportements proches de notre problématique. Enfin, nous avons établi des liens entre ces trajectoires et des usages du PMO pour extraire les projets ressemblants en termes de contraintes, à nos propres projets de recherche. Nous avons interviewé les chefs de projet et leurs pratiques, face à des situations intrinsèquement imprévisibles, telles que :

- Projets en déroulement agile ; adaptation versus prévisibilité
- Projets en replanification continuelle ; plateau de projets de durées faibles (quelques jours à quelques mois) ; spécifications détaillées non connues *a priori*
- Projets classiques ADM3 mais dans des contextes où la confiance dans la faisabilité technique est faible

Enfin, nous avons synthétisé les conclusions de cet état de l'art interne sur la gestion des projets pouvant aider à modéliser notre méthodologie R&D intégrés.

4.4.3.1 Construction des trajectoires

Dans un premier temps nous avons collecté les données brutes de tous les projets ADM2+ (ADM2, ADM3, ADM4) en nous basant sur les données enregistrées individuellement par les PM (Project Manager). De cette collection, nous avons procédé à une réduction par filtres successifs. L'objectif est d'aboutir à une collection entre 100 et 200 projets. Les filtres successifs appliqués ont été :

- Jeux de données complets et exploitables
- Plage de temps de 2010 à 2015
- Retrait des projets avec trop de similitudes.

Les projets adressent indifféremment tous secteurs industriels, dont le secteur automobile, le ferroviaire, la santé, la finance, l'avionique, sur tous les types d'engagements ADM2+.

Un travail de nettoyage des données et de normalisation a été nécessaire. Une fois nettoyées, les données ont été « processées » pour recalculer les indicateurs du modèle EV. Les xPI (Indice de performance) et xV (indice de variances) pour le coût jours et pour le coût délai calendaire, ont été recalculés pour chaque projet, afin d'en reconstruire le profil. Cette étape nous a été utile pour parfaire le nettoyage et normaliser les données pour tous les projets.

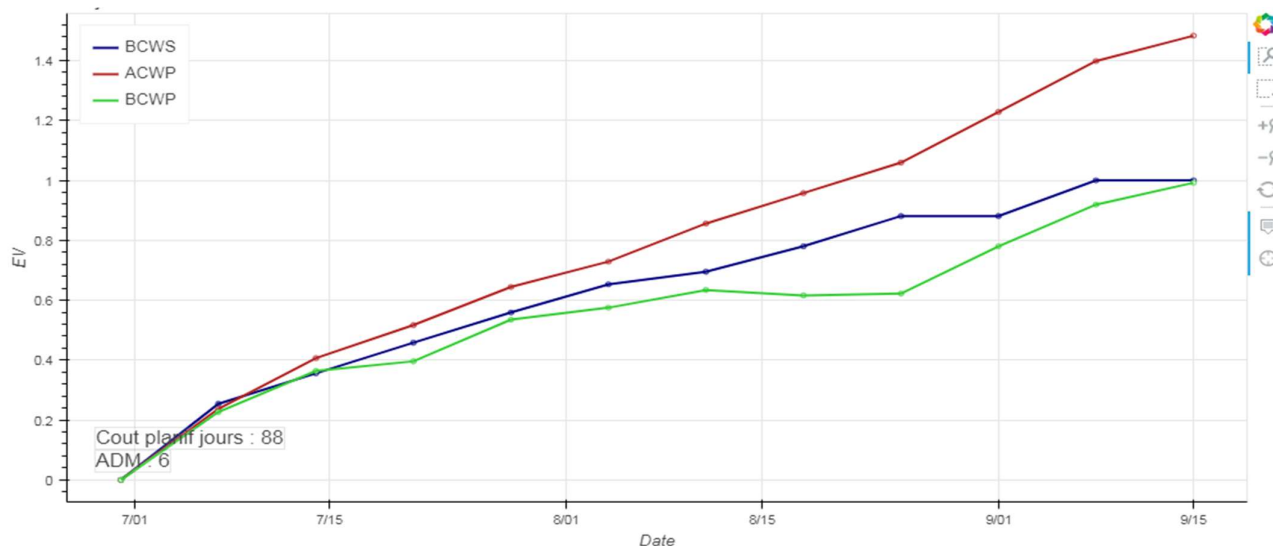
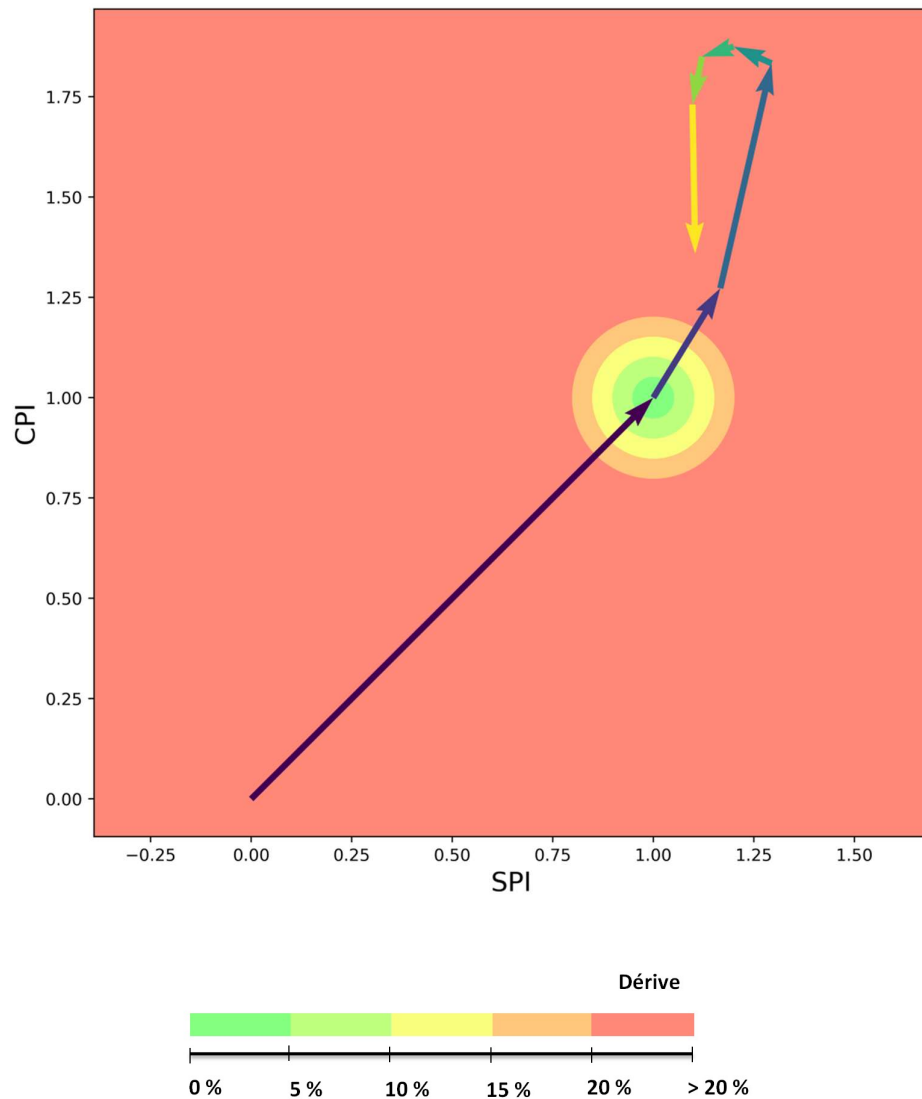


Figure 27. Extrait EV projet du PMO Altran Est

Le résultat de la projection d'EV comme présenté permet pour un projet de mesurer la valeur acquise et de prévoir le comportement futur. Mais cette représentation pose des limites. Notamment pour un *Project Office* qui gère des centaines de projets très différents. Cette représentation ne peut mettre en relief des projets les uns par rapport aux autres. Pour y remédier, nous avons choisi de croiser les indicateurs pour les mettre en relief les uns par rapport aux autres. Le choix s'est porté sur les 'xPI', car il s'agit d'un ratio, contrairement aux indicateurs de variances qui sont en valeur absolue. Le modèle obtenu présente l'évolution des « xPI » en fonction du temps, cf. Figure 28. Cartographie du ratio CPI* SPI*.

Noter que dans les graphiques, CPI désigne CPI (jours) et SPI désigne CPI (w cal).

Figure 28. Cartographie du ratio $CPI \cdot SPI$

Le pourcentage de dérive représente l'écart au plan aussi bien en termes de coût qu'en termes de délai. Dans cette représentation, les écarts sont sous forme de courbes de niveau. Usuellement, un écart de moins de 5 % est dit normal ou admissible, plus l'écart grandit plus des mesures de mitigation doivent être prises. Un écart supérieur à 20 % (représenté par la zone rouge sur la figure) n'est plus

considéré comme un risque, mais comme une non-conformité grave de gestion du projet.

Dans notre représentation, nous n'incluons pas la variance. Ce choix est dans un premier temps un choix de simplicité. En réalité, inclure les variances dans le calcul peut s'avérer apporter une vision plus fine et plus précise en servant comme coefficient de pondération. En effet, même si les indices de performance permettent de mettre en relief les projets les uns par rapport aux autres, car étant une mesure de ratio, ils n'incluent pas la typologie propre du projet dans la comparaison. Pour donner un exemple, prenons un projet de 20 jours à 30 K€ pour un équivalent de 2 ETP et un projet de 218 jours à 400 K€ pour un équivalent de 3 ETP. Les pas de temps, les montants engagés, et la valeur acquise sont comparables par les indices de performance. Mais dans les faits un faible écart dans un projet long, en planification ou en coût, peut avoir des effets de bords opérationnels bien plus impactant qu'une grande variation, dans un projet court. L'introduction des variances, relative à la volumétrie propre du projet comme facteur de pondération sera envisagée dans des travaux futurs.

En réalisant cette représentation (avec uniquement les indices de performance), sur l'ensemble des projets il est intéressant de constater que le profil de dérive du ratio CPI /SPI donne une empreinte singulière pour chaque projet, à la manière d'une empreinte digitale. Ci-dessous Figure 29, quelques types de profils singuliers.

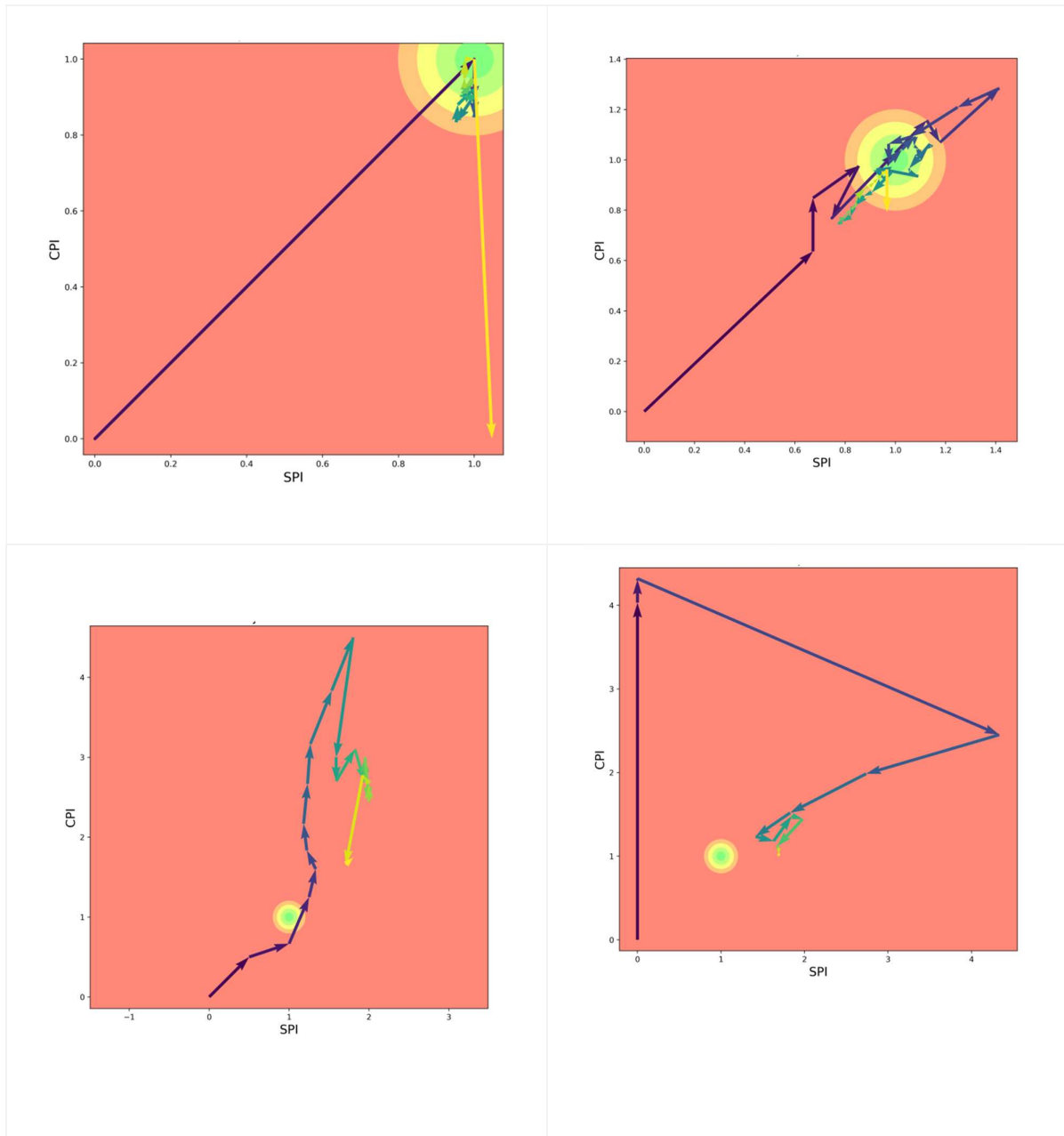


Figure 29. Empreintes singulières des projets

4.4.3.2 Classification automatique des profils

a) Intérêts de la construction de profils

Nous cherchons désormais à pouvoir procéder à une analyse plus fine de ces données graphiques et ne pas uniquement nous cantonner à une projection de ce rapport d'indicateur de performances dans le temps. Nous cherchons in fine à classer de façon automatique les projets selon un certain profil. Nous pensons qu'il existe un type de profils parmi les projets du PMO ayant rencontré des états ou des contraintes qui peuvent s'apparenter aux activités de notre organisation de R&D intégrés.

Il existe un deuxième enjeu. Il n'est pas exclu que ces travaux d'état de l'art interne nous permettent par effet de bord de construire un système d'analyse par machine learning, capable d'identifier dans un modèle prédictif :

- les projets qui prennent une dérive de fond (autre que des écarts de gestion aboutissant à une perte de valeur),
- ainsi que les projets qui dérivent vers un mode exploratoire, aboutissant à une perte de valeur selon les références d'ingénierie.

Ce deuxième enjeu présente un intérêt particulier pour tout département de recherche réparti en sous-départements selon des règles. Ce type d'organisation requiert une distribution collective des connaissances et des savoir-faire, ces dernières étant disséminées à travers des géographies, pour lesquelles les gouvernances sont locales. Un avantage des sous-départements est la proximité des acteurs et personnes clé, mais le désavantage est un frein important à l'augmentation du potentiel de l'ensemble des R&D disséminées prises comme un tout. Le problème peut être en partie levé via une stratégie mettant en avant la mutualisation et les transferts de projets en co-recherche et co-innovation entre les divisions. Bien que des moyens relativement importants soient consacrés à cette mutualisation, nous sommes convaincus de l'intérêt de trouver des moyens autres que les leviers classiques de gestion et de communication. Avoir une capacité d'automatiser l'identification des projets ADM2+ prenant une orientation exploratoire, permettrait aux chercheurs transrégion d'avoir accès à la

connaissance de ces projets et d'identifier une potentielle contribution. Cette proposition décorrèle connaissances et organisations afin de rendre plus agiles et réactifs les différents programmes de R&D entre eux. Par ailleurs, il s'agit d'encourager en recherche autant le mode « push » que le mode « pull ». La question est de trouver comment faciliter au niveau du pilotage une “basculer” des sujets d'ingénierie présentant un potentiel en recherche vers l'ensemble des recherches en cours. Il faut bien noter ici le besoin d'une relation bidirectionnelle. Les réussites observables sont quasi exclusivement le fruit d'individus isolés ayant eu la capacité d'identifier et de transformer des WP (Work Package) en sujets de recherche. Il n'existe pas de mécanismes systémiques à la transformation. Pour y contribuer, la piste d'un modèle algorithmique d'identification des sujets potentiels de R&D dans les sujets des différents PMO nous paraît intéressante.

b) Enrichissement du jeu de données.

Comme mentionné au point 4.4.3.1, la visualisation représente le circuit d'évolution dans le temps des indicateurs vers une cible idéale CPI/SPI, avec pour valeur cible $CPI = 1$ $SPI = 1$. Les données sont typiquement collectées à date fixe (chaque semaine). Le cheminement du profil de ces indicateurs est donc riche d'enseignement pour :

- la distance parcourue relativement à un point d'une semaine à l'autre ;
- la distance absolue à l'objectif.

Les distances nous permettent d'extraire l'information sur la précision entre Earned Value réel et planification, sur les aspects Cost et Schedule. Nous pouvons également interpréter, graphiquement et avec une granularité fine, l'orientation prise en CPI ou en SPI. cf. Figure 30

De façon absolue, nous sommes en mesure d'évaluer par rapport au repère du plan :

- 1) Si la nouvelle valeur d'EV se rapproche du plan aussi bien en coût qu'en planification

- 2) Si la nouvelle valeur d'EV se rapproche du plan en termes de coût, mais s'éloigne en termes de planification
- 3) Si la nouvelle valeur d'EV se s'éloigne du plan tant en termes de coût que de planification
- 4) Si la nouvelle valeur d'EV se rapproche du plan en termes de planification, mais s'éloigne en termes de coût.

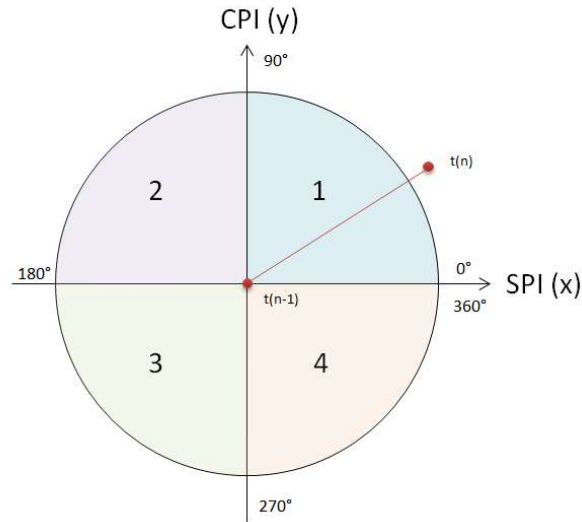


Figure 30. Indicateur du vecteur de données absolu

Suivant la même approche que pour la création de données sur l'aspect de distance, entre des valeurs relatives et absolues, nous avons appliqué la même logique pour la mesure de l'angle. L'angle absolu donne une orientation par rapport à l'objectif final de (1,1), mais les changements de direction au cours des semaines sont également un facteur définissant l'empreinte du projet cf. Figure 31.

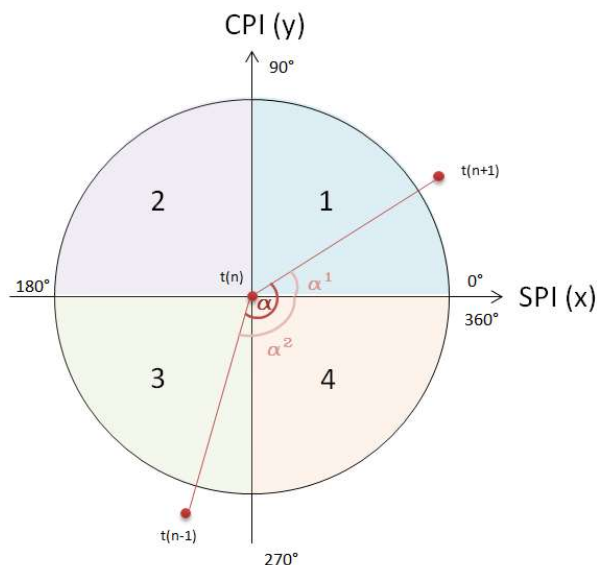


Figure 31. Indicateur du vecteur de données relatif

L'augmentation des jeux de données nous permet d'aboutir à un jeu à 8 dimensions de données dérivées et 3 dimensions de données brutes pour chaque pas de temps. Cf. 9.7. Documents Annexes. Vecteur de features pour l'analyse PCA.

c) Calcul et création des profils.

Le but de la création de ces profils est de classifier l'ensemble des 141 projets retenus dans l'analyse. Pour ce faire nous avons dans un premier temps procédé à une réduction de dimensionnalité. Nous faisons appel à la méthode de PCA (Sammur & Webb, 2017) Chaque projet possède 8 dimensions de données calculées pour chaque pas de temps. Nous n'avons pas pris en compte les données brutes dans notre analyse, car elles n'apportent pas d'information sur le comportement des projets. La première étape a été de normaliser l'ensemble des pas de temps sur le projet le plus long. Il en résulte pour tous les projets une table à une seule dimension de somme X_n ou X représente la longueur du vecteur de données générées, jusqu'à la limite du projet le plus long.

Dans un second temps, la PCA a été définie pour réduire les données à 2 dimensions, afin de pouvoir être visualisée sur un plan 2D. Cf. Figure 32. Résultat de la PCA.

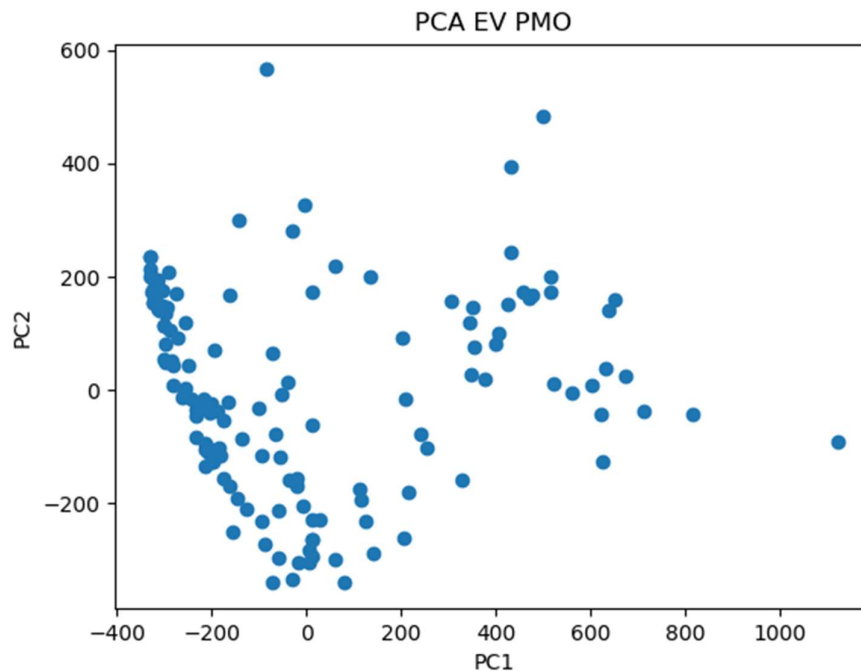


Figure 32. Résultat de la PCA

On note une zone de densité forte sur un comportement similaire par rapport aux composantes principales. Le reste des projets est ventilé sur toute la zone. Nous allons désormais regrouper ces projets en clusters par la méthode DBSCAN (Kotu & Deshpande, 2019), cette méthode à contrario des méthodes K-means et autres plus proche voisin, n'a pas besoin d'un nombre de clusters a priori (Chakraborty, Nagwani, & Dey, 2014). Il fonctionne sur un pur regroupement spatial en prenant comme données d'entrée un epsilon (diamètre de prise en compte) et un nombre de noyaux minimum (densité minimum pour créer un nouveau cluster ou ajouter un élément à un cluster. Nous avons eu une approche exploratoire pour évaluer le nombre de clusters potentiellement observables (Chakraborty & Nagwani, 2014).

De manière générative, nous avons balayé une plage d'epsilons et de nombre de noyaux suffisamment grande pour obtenir des données représentatives. Cf. Figure 33. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °1.

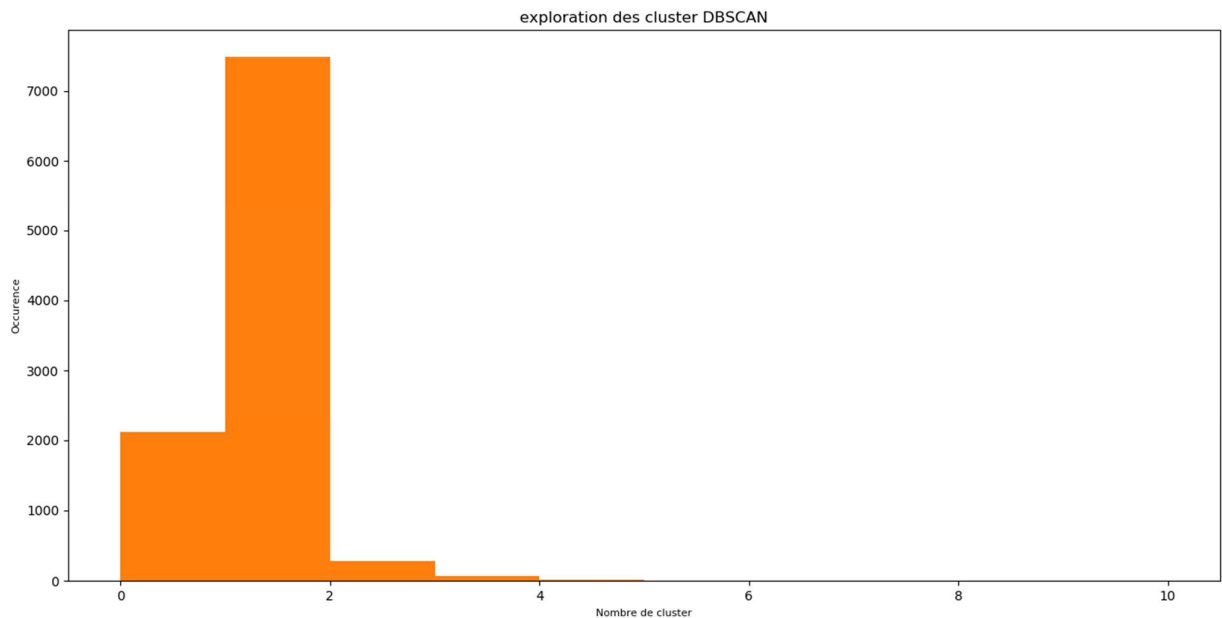


Figure 33. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °1

Il n'est pas surprenant par rapport au nombre de données et leur répartition spatiale, de voir apparaître un grand nombre de résultats sans clusters ou avec un seul cluster. Un couple epsilon / noyau trop faible ne trouvera aucun cluster, alors qu'un couple epsilon / noyau trop important associera tous les points dans un seul cluster.

Nous cherchons à trouver la quantité de clusters la plus importante ayant des occurrences représentatives. Cf. Figure 34. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °2.

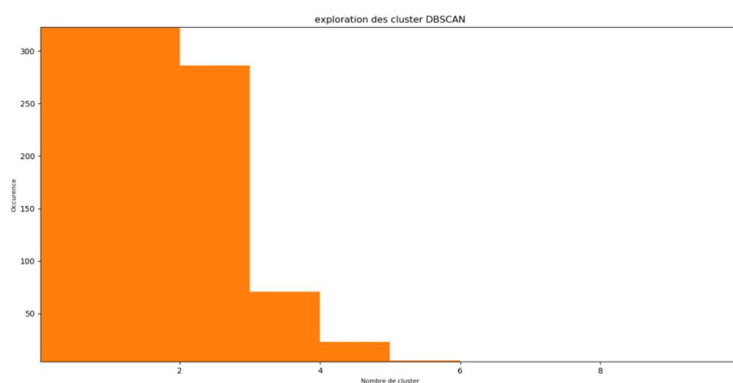


Figure 34. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °2

Il s'avère que le maximum de clusters non nuls est de 5. Ce résultat issu d'un traitement automatique correspond à une évaluation préliminaire faite par des experts métier.

Nous avons extrait tous les couples epsilon / noyau retournant un nombre de clusters égal à 5, pour nous représenter la distribution des clusters. Cf. Figure 35. Résultat du clustering DBSCAN sur la PCA des projets.

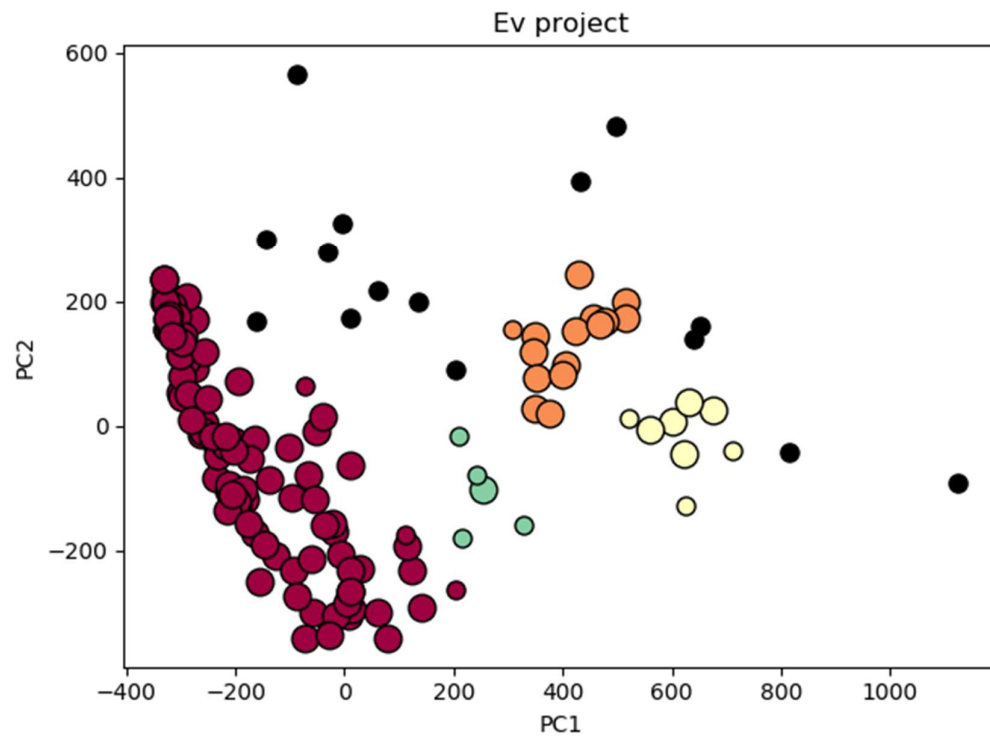


Figure 35. Résultat du clustering DBSCAN sur la PCA des projets

On obtient 4 clusters groupés, et un dernier cluster d' « outliers ».

4.4.3.3 Interprétation des clusters

De ce regroupement nous avons procédé à une analyse qualitative des projets en interviewant les membres du PMO afin d'évaluer dans quelle mesure l'historique et le déroulement des projets peuvent déterminer un facteur commun aux clusters.

Ces interviews ont été réalisées en aveugle, les personnes interviewées ne connaissant pas le résultat de l'organisation des projets répartis par cluster. Ils ont été menés sur un large échantillon des 141 projets soumis à l'étude. L'intention était d'en obtenir quelques mots clés caractéristiques des projets interviewés. Il s'est dégagé des critères quantitatifs mesurables intéressants à croiser avec les clusters. Ces critères sont :

- Le poids économique des projets (<50 K€ ; 50K€<=200K€ ; >200K€).

- La durée du projet et la charge homme des projets, ainsi que le ratio charge homme / durée des projets.
- La notion de projet terminé techniquement.
- Le mode de « Delivery ADMx » (chapitre 4.4.1) qui dénote des caractéristiques propres de difficultés à résoudre et d'explorations de solution.

Ces critères ne sont pas à prendre en compte isolément les uns des autres.

- ✓ Le poids économique est fortement dépendant de la quantité « Mois travaillés » équivalent au nombre de personnes membres du projet multiplié par la durée en mois du projet. Néanmoins, il est à prendre en compte sans supprimer le critère du poids du projet en termes de durée et de membres parce qu'il porte également un niveau de complexité en sus de la charge de travail. Par exemple, un projet complexe de longue durée peut être référencé avec une quantité « Mois travaillés » faible s'il est caractérisé par de brèves interventions d'un seul expert ; ce projet peut cependant avoir un poids économique plus important que « Mois travaillés ». C'est la raison pour laquelle nous avons préféré prendre en priorité le critère « poids économique ».
- ✓ La notion de « projet terminé techniquement » versus « le projet terminé administrativement » est à prendre en compte dans les calculs. En effet les activités liées au PV de livraison finale, de validation finale et de facturation faussent la durée des activités techniques du projet.
- ✓ Enfin, la combinaison entre le mode de Delivery ADMx et le poids économique s'est révélée structurante au cours des interviews. Le type de difficultés rencontrées, la façon d'explorer les solutions ont souvent des rapports avec cette combinaison.

Dans de futures perspectives d'affiner notre modèle de classification des projets ADM2+ du PMO, nous pourrions inclure ces données quantitatives dans un nouveau traitement par PCA.

Dans le cadre de l'interprétation de la clusterisation actuelle, l'ensemble des résultats ont été agglomérés dans une matrice croisée avec les résultats des

premières interviews afin d'en faire l'interprétation. Les 3 dimensions principales de cette matrice sont définies par les critères suivants :

- Critère 1. Le type d'engagement.
Le type d'engagement ADMx est déterminant dans la façon dont se déroule le process et les livrables sous la responsabilité d'Altran.
- Critère 2. Le poids économique.
Ce facteur présente aussi des particularités en termes d'acteur du projet et de suivi.
- Critère 3. Le cluster.

Les autres critères ont été considérés comme des attributs. L'ensemble de l'étude est des résultats bruts est présenté dans le tableau ci-dessous.

cluster		forfait (ADM3)	plateau de suite de forfaits (ADM4)	plateau de compétences (ADM2)
0	Type	Forfait	Plateau et forfait	Plateau de compétences
	Poids économique moyen	1,5	3	3
	Durée	court 0 à 6 mois	moyen 6 à 15 mois	Gros 15 mois
	Avis	1/3 de forfaits de tout poids...	1/3 de plateaux : gros plateaux techniques (PSA, EID, FM2...), de 6 à 15 mois et jusqu'à 13 ETP/mois.	1/3 de plateaux de compétences, généralement gros, jusqu'à 15 mois et jusqu'à 7 ETP/mois.
1	Type	Forfait	Null	Null
	Poids économique moyen	1	Null	Null
	Durée	Court 1 à 6 mois	Null	Null
	Avis	Que des forfaits principalement : de faible poids, souvent de 1 à 6 mois, -de 0.2 à 2 ETP/mois.	Null	Null
2	Type	Forfait	Plateau et forfait	Null
	Poids économique moyen	1	2	Null
	Durée	court de 1 à 6 mois	moyen 12 mois	Null
	Avis	Bcp de forfaits principalement de faible poids, souvent de 1 à 6 mois, -de 0.5 à 2 ETP/mois.	Quelques plateaux plutôt style 'suite de forfaits', d'un an mais avec seulement 1 à 2 ETP/mois.	Null
3	Type	Forfait	Plateau de maintenance applicative	Plateau de compétence
	Poids économique moyen	1	2	2
	Durée	Court 1 à 6 mois	Moyen 12 mois	Moyen 12 mois
	Avis	"F-1" Bcp de forfaits principalement : de faible poids, souvent de 1 à 6 mois, -de 0.2 à 2 ETP/mois.	Quelques plateaux adm4 en tma, (c-a-d le risque est dans le process), principalement d'un an de 1 à 8 ETP/mois.	Quelques plateaux de compétences de poids moyen, principalement d'un an de 1 à 8 ETP/mois.
4	Type	Forfait	Null	Plateau de compétences
	Poids économique moyen	2	Null	3
	Durée	moyen 6 à 12 mois	Null	Moyen 12 mois
	Avis	50% de forfaits de poids moyen: plutôt longs de 6 à 12 mois, de 1 à 3 ETP/mois.	Null	50% de plateaux de compétences lourds, d'un an de 5 à 7 ETP/mois.

Tableau 4. Analyse du clustering DBSCAN sur la PCA

Il est intéressant de rappeler que les axes de la matrice ont été construits indépendamment. En particulier, la construction des critères de distance à la base de la clusterisation a été réalisée sans liens avec les modes de « delivery » et les autres attributs. La classification en poids économique et en ADM a été menée sans connaissance ni de la façon avec laquelle l'étude de clusterisation a été réalisée ni des résultats obtenus. Les personnes qui ont travaillé sur la clusterisation ne sont pas les mêmes que celles qui se sont occupées de la classification basée sur les attributs des projets. Or on constate dans le Tableau 4. Analyse du clustering DBSCAN sur la PCA, que la matrice est creuse par endroits.

Nous avons alors repris la matrice résultante pour mettre en relief l'importance des pleins et des creux de la matrice.

- La colonne « Forfait versus Plateau » a été établie sans prendre en compte le poids économique. Forfait = ADM3 et Plateau = ADM2 + ADM4. Le ratio vaut 100% si la collection ne contient que des forfaits.

- Les colonnes suivantes expriment le pourcentage du nombre de projets du cluster ayant un poids économique respectivement faible, moyen, élevé, et ce, peu importe le type de projet.

<i>cluster</i>	<i>forfait versus plateau</i>	<i>% de projets de poids économique faible</i>	<i>% de projets de poids économique moyen</i>	<i>% de projets de poids économique élevé</i>
0	40%	40%	30%	30%
1	100%	70%	10%	20%
2	60%	50%	0%	50%
3	60%	60%	10%	30%
4	50%	30%	20%	50%

Tableau 5. Synthèse d'analyse du clustering DBSCAN

Nous avons enfin reconstruit la matrice pour tenter de mieux mettre en évidence les creux et les pleins constatés précédemment. Les clusters seront confrontés avec le type de projet plus précis que le niveau ADM :

- 'F' = Forfait isolé
- 'BE' = Plateau réalisant des forfaits avec des techniques récurrentes
- 'TMA' = Tierce Maintenance applicative
- 'PDC' = Plateau de compétences

Les clusters seront également confrontés au poids économique du projet de la façon suivante :

- Nul.
Il n'y a pas ou peu de projets de ce type dans le cluster.
- Lourd.
Il y a une majorité de projets lourds. En termes de charge de travail, il s'agit la plupart du temps de projets supérieurs à '4 personnes sur 6 mois' jusque 10x plus gros. Certains projets de la classe inférieure sont reclassés en lourd si le contenu technique est très complexe.

- Petit.

Il y a une majorité de petits projets. En termes de charge de travail, il s'agit la plupart du temps de projets inférieurs à '2 personnes sur 2 mois'. Même remarque pour le reclassement.

- Moyen.

Entre petit et lourd.

La matrice résultante :

#cluster	F	BE	TMA	PDC
4	LOURD	LOURD	nul	nul
3	PETIT	nul	nul	MOYEN
2	PETIT	PETIT	PETIT	nul
1	PETIT	nul	nul	nul
0	<i>tous poids</i>	LOURD	LOURD	LOURD

Tableau 6. Matrice clusters

Les plateaux lourds nous semblent intéressants. En effet, dans un plateau, chaque projet y est traité isolément, l'ensemble des projets sont traités comme un tout, et enfin l'objectif du plateau est traité en partie initialement et en partie au cours du temps. L'ensemble de ces caractéristiques se rapprochent des organisations R&D intégrés.

Combiner les trois types de plateaux est également intéressant, le 'BE' apportant l'orientation expertise technique, la 'TMA' pour la non-prévisibilité des pannes et le 'PDC' pour spécifiquement la gouvernance de la diversité et de la densité des compétences individuelles.

Si l'on doit choisir un seul cluster, c'est le cluster 0 qui répond le mieux à ces propriétés. De plus, en balayant rapidement les projets de ce cluster, on voit que plusieurs projets forfaits isolés sont en réalité réalisés par la même équipe ; donc même si contractuellement ils ne sont pas menés en plateau 'BE', on pourrait, d'un point de vue technique et organisationnel, les ranger dans notre classement en tant que 'BE' important, ce qui renforce l'intérêt de focaliser sur le cluster 0.

4.4.3.4 Nouvelles interviews et analyses des clusters

4.4.3.4.1 Nouvelles interviews et analyses

Nous avons interviewé plusieurs "senior project managers" dont les projets correspondent à notre focus sur la combinaison d'expertises techniques fortes, de non-prévisibilité de comportement des systèmes et de gouvernance de la diversité et de la densité des compétences individuelles.

- 1) Interviews « périmètre 1 ». Echantillon de plusieurs projets caractérisés par la recherche de pannes. Des entreprises de secteurs différents : Logistique et Pharma
 - Le périmètre de ces projets est caractérisé par une gestion basée sur la probabilité de différentes sources de pannes, par une volonté d'adopter une direction globale capable d'envisager les projets d'amélioration sans connaître précisément à l'avance l'orchestration des différents projets associés, et enfin par une contractualisation d'une méthodologie d'augmentation de la productivité.

2) Interviews « périmètre 2 ». Echantillon caractérisé par la fabrication de systèmes complexes. [Des entreprises de secteurs différents : Automobile et Terminaux publics]

- Le périmètre de ces projets est caractérisé par des bouclages et rebouclages entre verrous/difficultés techniques et spécifications. Il est également caractérisé par des systèmes fortement multitechniques. Citons en particulier, la coexistence de problématique client/serveur, réseau, IOT, système embarqué, interactions multiples, sécurité, métrologie, métiers électroniques, logiciel et mécanique.

Cette analyse suggère des pistes d'analogie fructueuse à approfondir entre ces projets et les projets de R&D Intégrés.

1) Analyse « périmètre 1 » ➔

- Les projets analysés ont en autres choses les missions de débloquer le système suite à une panne et de le corriger pour que la panne ne se reproduise plus à l'avenir. Il est intéressant de noter que des pannes restent non élucidées sur de longues périodes jusqu'à plusieurs années bien qu'elles se reproduisent régulièrement et malgré les efforts d'investigations, ce qui permet de faire une analogie entre ces projets et le domaine de la recherche où l'inconnu n'est pas borné. Il est à noter qu'un projet de recherche dédié sur le sujet de Tierce Maintenance applicative tente de passer de l'approche dite « directe », c'est-à-dire avec des diagnostics menés métier par métier ainsi que globalement avec les experts clé de chaque domaine, à une approche dite « automatique » basée sur du process mining. Ce qui nous intéresse ici, c'est la méthode de compréhension de la problématique et la manière dont l'organisation est structurée en conséquence, et ce, quel que soit le domaine des experts. Dans tous les cas, il faut d'abord visualiser que la métaorganisation dans ces différents projets est décomposable en quatre ensembles distincts : l'ensemble des utilisateurs, l'ensemble des systèmes et leurs environnements techniques, l'ensemble des experts qui ont fabriqué ces systèmes, l'ensemble des experts de la maintenance. Ces derniers ont donc trois sources, éventuellement combinables, de causes de pannes.

L'inconnu à éclaircir est distinct pour chacune de ces sources. Les problématiques sont taguées en fonction de plusieurs estimateurs. Dans le cadre de notre analyse, nous nous sommes limités aux attributs (pouvant varier au cours du temps) sur la source de la panne, sur le degré de difficulté/faisabilité et sur la taille de la charge de travail. D'autres attributs existent, notamment sur l'étendue de l'impact et la sécurité, mais nous ne les avons pas retenus dans le cadre de notre analyse de compréhension de méthodologies traitant de l'augmentation de la productivité dans des systèmes ouverts. On a pu mettre en évidence des KPI qui mesurent l'augmentation de l'expertise de recherche de pannes et des KPI qui identifient les zones qui résistent à la compréhension.

- Pris sous l'angle de vue des activités de recherche, nous n'avons pas encore expérimentés dans des projets de recherche les indicateurs de type de ceux utilisés dans ces projets. Ils sont composés d'Earned Value dont la planification initiale évolue et d'indicateurs ad hoc à l'évolution de la capacité à comprendre les pannes. Les retours d'expérience que nous retenons soigneusement pour notre future méthodologie RDI est justement qu'il est possible de « méthodologiser » l'expertise recherche, indépendamment des domaines d'expertises scientifiques et technologiques.

2) Analyse « périmètre 2 » ➔

- Dans un contexte fortement multitechnique, il est courant de dérouler une planification dûment établie. En effet, les cycles de vie des différentes technologies et domaines sont différents : la mécanique est lente, le logiciel est rapide et l'électronique est entre les deux. D'où il semble logique de prévoir finement les interactions entre les métiers et de construire une planification en approche en V. Pourtant les projets analysés ont été rythmés par l'approche agile et non par l'approche en V. S'il est vrai que ces projets étaient en parallèle constamment supervisés et ajustés en vue globale avec un focus sur les contraintes intermétier et sur l'objectif final, ce n'est pas du tout la même chose que de rigidifier cette vue globale dans une planification initiale. Les itérations vues comme un mini-projet, avec

l'exigence de début et de fin, ont parfois été vues comme un surcoût, ou c'était vécu comme une crainte par certaines personnes clés tant côté client que côté fabricant. Cependant, à l'arrivée, la productivité était bonne alors que les difficultés techniques non prévisibles étaient nombreuses.

Pris sous l'angle de vue des activités de recherche, nous avons expérimenté les projets de recherche en deux modes. Les uns avec une approche agile, en particulier en mettant en œuvre les principes d'itération rapide (suite de mini-projets) et de démonstration réelle à chaque itération ; les autres par une planification pert/gantt basé sur un "work breakdown structure". Ces deux modes présentent des résultats clairement identifiables. Les premiers présentent une richesse plus importante que les seconds en nouvelles idées dues aux bifurcations permises à chaque fin d'itération, ainsi qu'une accumulation plus rapide et diversifiée de cas d'usage. Les premiers sont des recherches clairement exploratoires, les seconds sont proches de développements d'ingénierie, le WBS rigidifiant la réflexion pour une longue période. La pratique montre que l'adaptabilité promue par l'approche agile est pour les RDI plus intégrative que la prévisibilité promue par l'approche en V. Toutefois, nos expérimentations sur plus de 2 ans de projets de recherche en approche agile appliquée stricto sensu ne fonctionnent pas correctement, aucun principe agile ne traitant de la créativité. Un chercheur peut amener individuellement son savoir-faire de chercher en dehors de l'état de l'art, mais il manque une méthode pour aller au-delà de ce niveau que CMMI qualifie de niveau 1 ou niveau héroïque.

4.4.3.4.2 Focus projets « web »

Les projets « web » sont très minoritaires dans l'ensemble des projets. Cependant ils ont en commun la réputation d'être des projets présentant des difficultés de gestion récurrentes. Effectivement, les projets Web du cluster 0 font partie des projets présentant des difficultés de réalisation. En balayant les autres clusters, l'ensemble des projets Web partage le trait commun de difficultés. Nous avons enquêté sur les retours d'expérience d'un échantillon de ces projets sur les pratiques de maîtrise des exigences fonctionnelles et non fonctionnelles. Parmi les solutions de mise en œuvre, nous avons quasiment toujours identifié des pratiques de réalisation tôt dans le projet de preuves de concept, ergonomie et robustesse

inclues, et des livraisons itératives par la suite. Malgré la prise en compte quasi systématique des bonnes pratiques, la gestion de ce type de projets reste étonnamment critique. Le top 3 des causes racines résiduelles rencontrées sont :

1. Constat1. Une équipe avec des experts forts et une bonne gestion n'y arrive pourtant pas.
 - Dans le domaine Web, les expertises sont relativement à la portée de tout le monde. Du coup, dans ce type de projet, le degré d'expertise est fort et l'on note alors le manque suivant : savoir mettre son expertise de côté pour être orienté-problème client à résoudre et non pas « imposer » son expertise.
2. Constat 2. L'homogénéisation des pratiques et des frameworks au sein de l'équipe demande plus qu'une bonne gestion.
 - Chacun a de bonnes pratiques, mais pour un ensemble de personnes, elles se révèlent contradictoires. Même une solide gestion de projet peine à aligner les pratiques tant la technicité individuelle est forte.
3. Constat 3. Les méthodologies vertueuses en intégration et en architecture système butent sur des situations paradoxales.
 - Comment promouvoir une décomposition méthodologique vertueuse (horizontale et verticale), avec des sous-systèmes et des briques les plus indépendantes possible, et résoudre la complexité due à l'assemblage de ces nombreux éléments ? C'est un problème connu, mais qui est exacerbé dans le domaine Web.

Ces constats suggèrent également des pistes d'analogies fructueuses à approfondir entre ces projets Web et les projets de R&D Intégrés.

1. Analyse du constat « Une équipe avec des experts forts et une bonne gestion n'y arrive pourtant pas » ➔
 - Distinction plus cruciale qu'il n'y paraît entre compétences recherche et compétences expertises ?

- Pris sous l'angle de vue des activités de recherche, il paraît incongru de mettre en évidence un manque de compétence recherche dans un projet Web. Pourtant l'expérience montre que ce serait pertinent. En pratique il s'agit d'admettre qu'il y aura une toujours une part d'inconnu très impactant sur le projet dans son déroulement, et qu'une analyse de risques ne suffit pas à mitiger cet inconnu. En recherche, il paraît incongru de souligner la nécessité de la compétence de caractérisation des verrous. Pourtant l'expérience montre que de nombreux projets de recherche sont basés exclusivement sur les expertises métier et non sur la capacité à investiguer l'inconnu.

2. Analyse du constat « L'homogénéisation des pratiques et des frameworks au sein de l'équipe demande plus qu'une bonne gestion »



- Imposer des pratiques (de développement, de technologies) à la fois dans le temps et pour l'ensemble des différents projets de recherche est souhaité pour les futurs produits qui en seront déduits. Voire pour les interactions entre projets de recherche. C'est en contradiction avec les phases amont de la recherche où ne pas imposer ces contraintes est parfois intrinsèquement nécessaire, et en tout cas, facilite les plans d'expérience et les preuves de concepts.
- Pris sous l'angle de vue des activités de recherche, les environnements et outils de prototypage rapide montrent que malgré les efforts colossaux (en dizaines d'années) de construction de ces frameworks, le prototypage ne se révèle pas rapide. Il y'a souvent confusion et mélange entre la brique d'ingénierie qui définit le moyen et la caractérisation des verrous que le moyen doit atteindre. Cela demande donc d'avoir une approche scientifique et une vision globale

des verrous pour être simple usager des briques d'ingénierie.

- Pris sous l'angle de vue des activités de recherche et à l'opposé du point précédent, des projets Web type PaaS sur architecture Docker ont pu focaliser sur les réels besoins fonctionnels est utilisateurs, car la définition des verrous scientifiques a été traité dans un périmètre distinct.

3. Analyse du constat « Les méthodologies vertueuses en intégration et en architecture système butent sur des situations paradoxales » →

- Les projets Web subissent cette contradiction alors qu'elle est annoncée. Difficulté à intégrer un système à partir de briques pourtant soigneusement conçues en tant que brique d'un système donné.
 - Pris sous l'angle de vue des activités de recherche, plusieurs grandes entreprises constatent ce problème au sein de leurs R&D. Nous avons l'expérience de méthodes classiques mises en œuvre autant en architecture système qu'en organisation (CMMI, Lean, ...). Elles amènent des améliorations, cependant elles butent, surtout si un maximum de rupture est visé. Elles butent dès que la recherche est réellement exploratoire. Les outils collaboratifs sont de plus en plus répandus et utilisés, les méthodes classiques outillées sont poussées au maximum pour ne pas borner l'exploration tout en préservant une productivité à tous les niveaux de maturité de l'idée au produit fini. Mais l'intégration et la fluidité entre les niveaux n'existent pas de façon méthodologique.

4.5. Synthèse de l'analyse des variantes EV

Le concept de Recherche & Développement Intégrés a été introduit en 2.3. sous un angle ontologique. La partie 2 est consacrée à l'angle méthodologique. Le but étant d'améliorer la productivité d'une R&D intégrés, il faut donc savoir la mesurer. Ce chapitre 4 a démarré l'étude méthodologique par une analyse des variantes de l'approche Earned Value. Nous avons commencé par expliquer pourquoi nous avons choisi Earned Value dans notre contexte de R&D intégrés. Nous avons vu que pour l'aspect « Développement » d'une R&D, EV s'est révélée depuis plus de 50 ans performante à mesurer et à guider la productivité des projets d'ingénierie complexe. Fondée sur la notion de valeur gagnée, l'approche Earned Value est un outil excellent de maîtrise des risques et des dérives. Le risque qui caractérise l'aspect « Recherche » d'une R&D est, de façon caricaturale, le risque de manquer d'imagination. D'où l'idée que l'approche EV pourrait intégrer au sein d'une R&D les risques de dérives des développements et les risques de manquer d'imagination en recherche.

Une première analyse de l'état de l'art sur Earned Value a montré qu'aucune investigation n'avait été envisagée dans cette direction. Plus précisément, nous avons constaté que les variantes proposées ne se prêtaient pas à une ramification en familles de problèmes. Une variante devenant systématiquement une spécificité terminale, partir d'une d'entre elles est vouer à l'échec. Une cause plus problématique est la tendance, ou la volonté, du milieu de la gestion de projet à abstraire la nature du projet et à ne pas remettre en cause la conviction que tout doit être prévisible, et donc que tout écueil lors du projet aurait dû être prévu. S'il y a échec alors que tout avait été fait dans les règles de l'art est une situation intéressante d'un point de vue de la recherche. Les écueils sont les bienvenus en recherche ! Cependant, les variantes EV dans la littérature sont majoritairement orientées par la sophistication des calculs et peu par les concepts de base et les concepts méthodologiques, et lorsque c'est le cas, le propos est souvent secondaire et imbriqué avec les calculs.

Nous avons alors décidé d'une nouvelle approche en trois étapes : une analyse approfondie des variantes EV, une décomposition en briques élémentaires et une reconstruction propre à nos besoins à partir de ces briques. L'analyse approfondie a été menée dans la littérature ainsi qu'en contexte industriel. Trois catégories d'analyse ont été distinguées, les variations EV sur les concepts, sur les usages et sur les calculs.

Pour extraire dans la littérature ces variations malgré leur imbrication dans un même article, nous avons mis en œuvre des techniques de text mining. Une validation manuelle d'un échantillon a montré que la fiabilité de notre méthode était limitée. Nous sommes arrivés tout de même à un mapping entre l'analyse humaine et automatique deux fois supérieur à un comportement aléatoire. Ce n'est pas suffisant, mais prometteur. Le corpus d'articles a alors été constitué en partie manuellement et en partie par le biais de la sélection automatique. Sur les concepts, trois variantes majeures d'Earned Value ont été traitées : value, schedule et duration. Sur les usages, nous avons pu analyser notamment des expérimentations en multiprojets, en projets complexes, ainsi que des expérimentations intéressantes en génie civil, dont une qui distingue et intègre à la fois l'aspect avancement des travaux et l'aspect maîtrise de l'émission de CO2. Sur les calculs, nous avons pu extraire des approches intéressantes. Une approche sur les séries temporelles qui confrontent les growth models aux index-base model. Une approche qui utilise des probabilités et les filtres de Kalman selon une stratégie basée-erreur. Ou encore une approche en logique floue qui prend en compte les incertitudes de causes financières externes sur le projet comme la dévaluation, les délais et les environnements incertains de paiement, où nous pouvons y voir une analogie avec les incertitudes en recherche.

Pour l'état de l'art interne, nous avons considéré le périmètre des projets à engagement de résultats de notre entité géographique entre les années 2010 et 2015. Nous avons commencé par présenter les différentes modes de *delivery*. Nous avons ensuite analysé les projets selon deux angles de vue : les lois de comportement earned value et la typologie des données des projets. Concernant les lois de comportement, nous avons dégagé des variantes EV qui nous intéressent dans le contexte de la R&D intégrés : une façon originale de traiter les

performances en termes de délai et une ébauche de généralisation des coûts. Ce sont des variantes pragmatiques qui résolvent des erreurs de modélisation. Concernant la typologie des données, nous sommes partis de l'idée qu'un projet est caractérisable en fonction du temps par le couple

- Performance en charge de travail.
- Performance en durées calendaires.

Des notions de distance ont été mises en place, la distance parcourue relativement à un point d'une semaine à l'autre et la distance absolue à l'objectif et nous avons ajouté des notions d'angle témoignant des changements de direction. Ces changements sont la traduction de ruptures ou des biais dans la maîtrise de la valeur acquise. L'ensemble de ces notions définissant ainsi l'empreinte du projet nous a permis de générer une base de données des trajectoires abstraites des projets. Nous avons utilisé la méthode de PCA (Principal Component Analysis) pour réduire le nombre de dimensions. Puis nous avons ensuite opéré une segmentation automatique à l'aide de la méthode DBSCAN. Parmi les cinq classes de profils obtenus, nous avons sélectionné celle qui s'approchait le plus des situations de R&D intégrés. Enfin, les interviews avec les chefs de projet sur des projets de cette classe ont abouti à l'identification de pratiques intéressantes : des pratiques Earned Value mises en œuvre conjointement avec des approches agiles et des pratiques où la planification globale initiale évolue, pratiques que nous pourrions relier avec

- L'incertitude de l'exploration de la recherche
- Des indicateurs sur la capacité à comprendre les pannes que nous pouvons relier avec la capacité à comprendre des verrous en recherche
- Des situations d'expertises fortes qui mettent en évidence la nécessité supplémentaire d'une capacité à chercher en dehors du connu
- Des situations de frameworks de prototypage rapide qui montrent paradoxalement un temps très important de prise en main.

L'addition de ces deux collectes d'information, la littérature externe et les pratiques industrielles vont servir de matériel de base pour l'opération suivante de notre démarche, la déconstruction en briques élémentaires.

5 DECONSTRUCTION

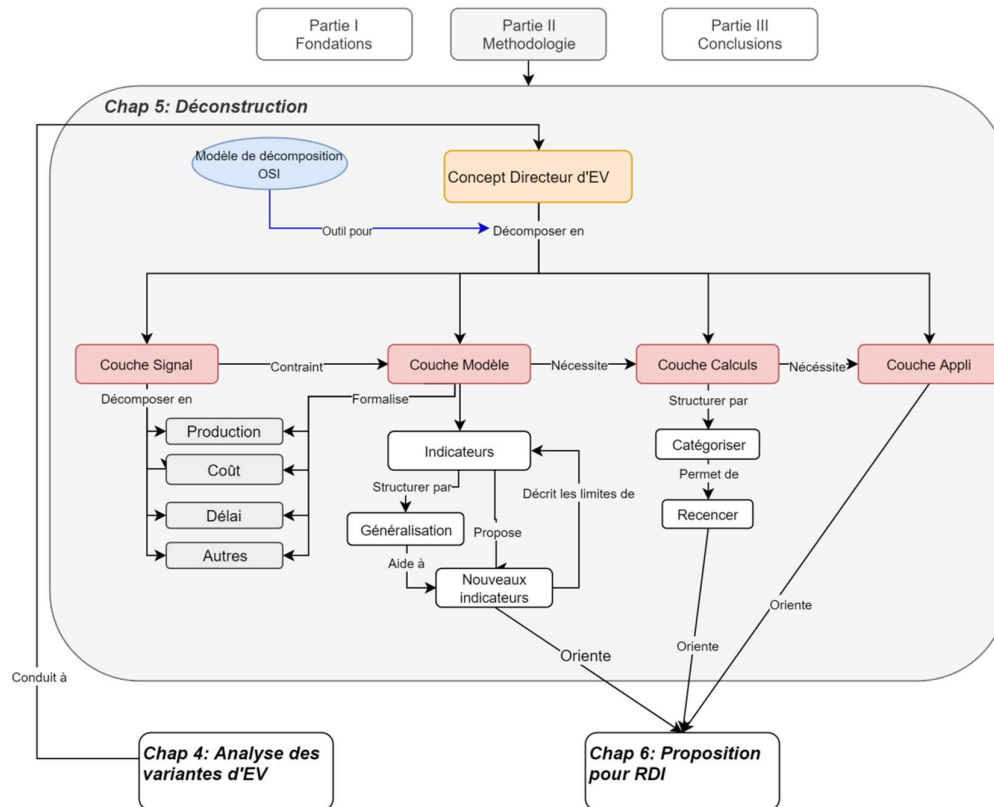


Figure 36. Reading manual. Partie II. Chapitre 5

Nos travaux aux limites des états de l'art sur EV, ses concepts, ses usages et ses modèles de calcul, nous ont permis de mieux comprendre ce qu'est ce système, mais malheureusement pas suffisamment en profondeur à notre goût. La principale information qui ressort de notre état de l'art externe est qu'EV comme de nombreux modèles (PM-book - CMMI) est construit de façon heuristique, à la façon « grounded theory » (Charmaz, 2006). La méthode puise donc de solides fondations dans le retour d'expérience terrain. La preuve en est qu'EV continue d'être massivement utilisé et décliné. Cependant, nous avons été frappés par le manque de travaux autour de la caractérisation des fondamentaux du modèle. Il persiste une zone d'ombre non élucidée par l'état de l'art sur la question de fond, de ce que constitue EV.

Un autre constat vient renforcer cette conclusion : les modèles sophistiqués de calcul qui viennent en remplacement du modèle linéaire de base d'EV sont régulièrement proposés dans la littérature (W.-S. Chen & Du, 2009; Feylizadeh, Hendalianpour, & Bagherpour, 2012; Iranmanesh & Zarezadeh, 2008). Pourtant ils ne se retrouvent pas dans les usages et les outils industriels. Si ces nouveaux modèles de calcul visent une plus grande précision des prédictions, cet objectif s'avère illusoire, car les causes d'incertitudes hors du périmètre de maîtrise EV ont des impacts plus importants que la finesse de précision gagnée. Le recours aux techniques d'apprentissage profond non supervisé apportera possiblement une solution plus pratique, mais sans apporter d'éclairage sur les fondations d'EV dont une meilleure compréhension devrait permettre des usages nouveaux.

Rappelons que nous avons pris le parti d'axer notre modèle sur EV pour piloter des systèmes complexes tels que celui de la R&D que nous étudions. (cf. 4.1.3). Ce chapitre décrit l'approche rigoureuse de caractérisation et compréhension que nous avons suivi pour déconstruire les modèles EV issue de la littérature dans leurs éléments les plus fins, afin d'être en mesure ensuite de rebâtir à partir des fondations un modèle adapté et spécifique à nos besoins.

Pour une question de terminologie, nous nommerons “ *EV°* ” l'opération de déconstruction d'EV. L'intention avec *EV°* va au-delà d'obtenir un modèle adapté aux RDI. Elle n'est pas de construire une dérivation d'un nouveau modèle EV. Au

contraire, EV° vise une compréhension et une généralisation suffisantes pour contenir toutes les variantes EV connues et pour faciliter de nouvelles variantes, voire étendre les concepts de base d'EV.

5.1. Concept directeur d'EV

Fondamentalement, EV est un outil de mesure. C'est un thermomètre. Qui mesure à proprement parler l'écart entre un comportement prévu initialement et le comportement issu du comportement réel, dans le déroulement d'un projet.

Le diagnostic ou la prise de décision ne sont initialement pas dans le périmètre fonctionnel strict d'EV.

Il est néanmoins possible et d'usage de le faire évoluer vers le diagnostic, par exemple en segmentant les sources de données pour permettre d'investiguer les causes en projetant EV sur les différents segments. La segmentation peut porter sur le pas de temps ou sur le type d'activité. Par exemple en projetant sur un type d'activité, disons la documentation, l'analyse EV ne prendra en compte que ce type à l'exclusion de tous les autres types d'activités. Ce diagnostic pourrait mettre ainsi en évidence que la valeur ajoutée de la documentation n'évolue pas du tout de la même manière ni avec les mêmes ratios de coûts réels/prévus que l'ensemble des activités du projet.

D'autre part certaines mesures et variations de lecture et de calculs rendent possible de le transformer d'un outil informationnel en un outil décisionnel, par exemple en corrélant les indices de performance avec des seuils déclencheurs d'un plan d'action issu d'une analyse de risques. Ces deux axes de prolongation amont et aval d'EV vers un analyseur de cause et vers un outil de prise de décision seront étudiés. Cependant nous allons nous tourner d'abord sur la fondation et l'utilisation basique d'EV.

En effet, la base d'EV est d'emblée orientée vers une prise en compte de la nature systémique du système qu'il mesure. C'est ce qui nous intéresse précisément dans ce travail.

Le système EV est caractérisé sous 2 aspects principaux.

- Le premier est une loi de comportement qui prévoit son évolution au cours du temps. En parlant de ce comportement prédictif, on parle plus concrètement de planification. En admettant l'hypothèse que cette planification a priori du déroulement sera réaliste, elle définira bien un comportement propre au projet qui aura pu être défini sans tenir compte des variations et aléas qui s'introduiront au cours du projet. C'est en ce sens que l'on peut parler de "loi" du comportement prévu.
- Le second élément donné en entrée est le comportement réel. Il est matérialisé par la succession des états effectivement mesurés dans l'acquisition de valeur dans le système. On aura donc à tout moment un système constitué au minimum par l'état initial, les états historiques et l'état en cours.

EV a été conçu pour rester un moyen de mesure dynamique et non pas statique. En fonction du comportement réel, le comportement prédit est ajusté pour s'adapter plus finement dans la prédiction du comportement futur, dont en particulier l'état final.

Au paragraphe précédent il était annoncé qu'EV était orienté vers une prise en compte de la nature systémique du système mesuré. Cette approche systémique intervient méthodologiquement dans EV avec l'introduction d'une boucle de rétroaction. Cette rétroaction est ré - intégrée dans le système par une personne qui mesure et qui agit sur le système pour que le prédit converge à nouveau vers le prévu. D'où l'intérêt d'être informé fréquemment et le plus tôt possible pour que la correction puisse avoir le temps de se propager avant l'état final prévu. Cela suppose aussi que la loi du comportement prévu soit réaliste.

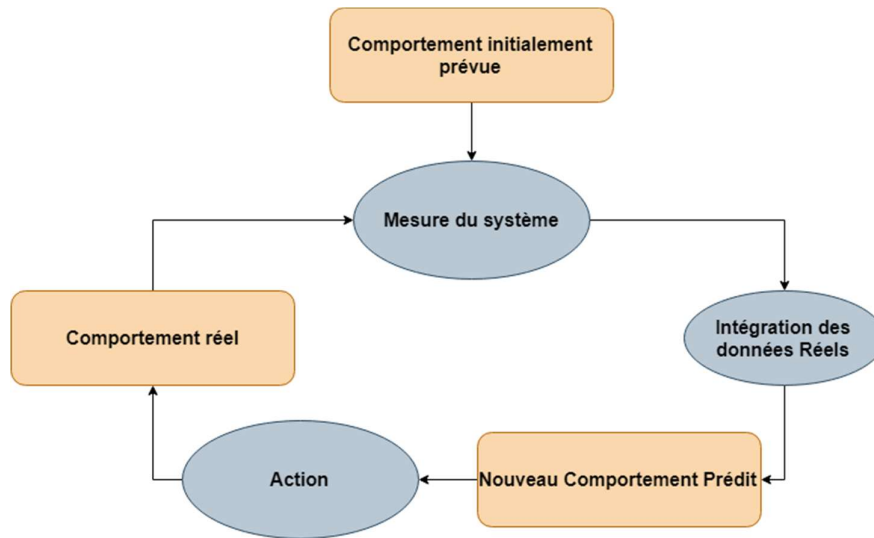


Figure 37. Système de rétroaction du modèle EV

Un deuxième aspect singulier de la capacité d'EV à délivrer une métrique systémique est dû à la structure de la mesure. Elle est constituée de plusieurs paramètres caractéristiques du système, exprimés dans une même unité, et dont les écarts relatifs fournissent des informations supplémentaires que chacun des paramètres ne peut pas donner isolément. Par exemple, EV standard fournit trois paramètres évoluant au cours du temps le coût réel (ACWP), la valeur à acquérir (BCWS) et la valeur acquise (BCWP), tous trois exprimés en termes financiers. Supposons que la valeur acquise soit inférieure à la valeur à acquérir. Cela traduit un retard. Ensuite, selon que le coût réel est supérieur ou inférieur à la valeur acquise, cela traduira un le retard accompagné d'un surcoût ou d'une marge. Cet exemple comme beaucoup d'autres est visuellement clair sur la représentation graphique EV (cf. Figure 38. Représentation EV) et les valeurs numériques sont porteuses d'une analyse de risque et d'opportunité, car non seulement le coût réel et la valeur acquise, mais aussi le temps qui passe sont tous trois exprimés, normalisés et comparables sur une même unité financière, ce qui fait justement la puissance du modèle.

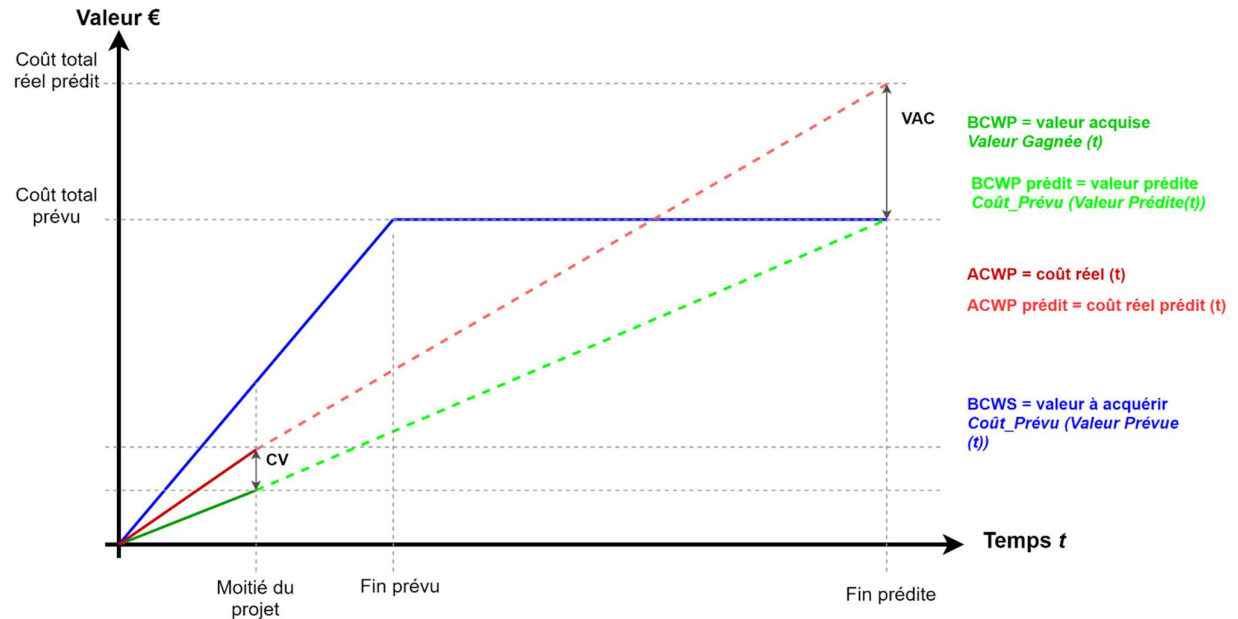


Figure 38. Représentation EV

Pour nous permettre de construire notre méthodologie d'analyse par déconstruction / reconstruction du système étudié, nous avons considéré EV sous un angle de système d'information et de communication basé sur une modélisation de la réalité et sur des capteurs qui donnent des mesures de différents signaux. D'après une analogie et une réduction avec le modèle OSI (Day & Zimmermann, 1983), nous décomposons ce système en trois couches :

- Couche SIGNAL :
 - C'est la couche physique, elle correspond dans notre cas à la collecte et au nettoyage des données brutes.
- Couche MODELISATION :
 - Ce sont les modélisations des phénomènes. Analyses et prédictions
- Couche APPLICATIVE :
 - Ce sont les utilisations du modèle. Interprétations, diagnostics et décisions.

5.2. La couche Signal

L'évolution d'une production peut être vue comme un point qui se déplace sur une carte avec des lieux spécifiques tels que départ, étapes et arrivées. Pour situer ce point, à la façon de checkpoint dans une course, plusieurs signaux se révèlent nécessaires, chacun étant caractérisé par une fiabilité et une disponibilité.

Etant donné une carte qui dresse les positions des lieux connus – et surtout qui facilite l'imagination des lieux inconnus –, trois types d'informations sont distinguées :

- Un premier ensemble de signaux pour localiser la production et établir les meilleurs chemins ;
- Un second ensemble de signaux ou d'attributs pour superviser les actions et activités vers l'étape et le but souhaité ;
- Un troisième ensemble donnant des informations diverses complémentaires.

Ces ensembles d'informations vont être investigués dans le contexte strict d'EV, puis généralisés ou adaptés de façon à s'approcher au mieux du contexte de la production d'une R&D.

Il faut cependant constater d'emblée que EV traite partiellement ces signaux : la cartographie des activités de production est vue en termes de coûts. Déconstruire EV en matière d'aide à la conduite de la production autrement que par les coûts va demander d'abord d'étoffer la notion de production.

5.2.1 Signaux de type « production »

EV° définit plusieurs signaux de type « production ». EV n'en définit aucun explicitement et laisse le choix à l'utilisateur d'associer n'importe quel événement de production à une valeur absolue. Nous caractérisons donc dans EV° :

- La production réelle.

- La production planifiée.
- La production prédite.

Dans EV, les données de production sont dérivées des coûts. Dans EV°, la production réelle est une série temporelle de données de base. Les productions planifiées et prédites sont virtuelles, mais peuvent être considérées comme des signaux d'entrée. A noter que la production prédite est considérée comme signal d'entrée uniquement pour formaliser que le système de mesure est rebouclé sur lui-même. Enfin, la production planifiée peut être déclinée en plusieurs versions. Il en est de même pour la production prédite, en fonction d'algorithmes différents.

a) Décomposition de la production en éléments

La production est préalablement décomposée en éléments de « valeur à produire » qui seront à transformer en « valeur acquise ». Cette décomposition, qu'elle soit discrète ou continue, est une condition nécessaire.

Dans le cas discret, la production totale est un agrégat cumulatif de production d'éléments ; peu importe qu'ils soient de même nature ou de natures différentes, pourvu que chaque élément puisse être mesuré individuellement et sommable collectivement. Dans le cas continu, il doit être possible de quantifier la production en tant que pourcentage de la production globale. Dans les deux cas, EV considère la production dans un système axiomatique :

- La production globale prévue est une constante
- Un élément de production est soit à produire, soit acquis définitivement
- La production globale est acquise dès que tous les éléments sont acquis.

Pour EV, ce système axiomatique est nécessaire pour prédire l'événement "production globale terminée" en tant que cumul d'éléments de production terminés, chacun mesuré en coût planifié, dont la somme est égale au coût total planifié.

EV° étend ce système axiomatique en intégrant des expériences au sein du Program Office d'Altran EST où EV a été adapté à des contextes de système

ouvert au sens où la production globale terminale est variable. Néanmoins, la prédiction a pu rester modélisable aussi bien dans une perspective court terme "météo" en se basant sur les éléments récemment produits que dans une perspective "climat" en se basant sur un corpus beaucoup vaste.

b) Type de donnée pour mesurer la valeur d'un élément de production

Dans EV°, le type de données pour mesurer la valeur de chaque élément de production est basé sur le résultat produit. Dans EV standard, le type de donnée est le coût planifié des activités nécessaires pour l'obtenir, typiquement en unité monétaire. Une contrainte clé d'EV est que tous les signaux soient exprimés dans une même unité et normalisés dans un même cadre temporel. Les mécanismes de prédiction et d'interprétation d'EV dépendent de cette contrainte. Pour faciliter la prise en compte de cette contrainte, le type de donnée pourra être sans unité et exprimée comme un pourcentage de la valeur globale.

Une limite à cette approche est que même dans le contexte d'un système fermé, mesurer un élément de production de façon quantifiable, comparable et sommable restera approximatif. Pourtant l'architecture méthodologique et computationnelle d'EV réside dans la mesure cumulative précise des éléments de production tels que planifiés. Une façon de borner l'erreur est de prendre soin de décrire et respecter le contexte opérationnel spécifique de la mesure. En particulier se poser les questions telles que : Quels sont précisément les aspects pris en compte et éventuellement ceux ignorés ? Comment et quand sont-ils collectés ? Cette approche est celle référencée par la practice area « Mesure et Analyse » du référentiel CMMI(Software Engineering Institute, 2011).

Que la mesure de la production soit intrinsèque au résultat produit ou indirect via le coût planifié, il est nécessaire d'être en mesure de recalibrer la réalité par rapport à une référence standard afin de prédire la production future. Des attributs qui caractérisent la production peuvent contribuer à la finesse du recalage et à la pertinence des prédictions déduites. Par exemple, un degré de confiance ou encore par la nature des tâches (conception, test, ...).

c) Méthodes pour construire la valeur d'un élément de production

La capacité à mesurer un élément de production au cours de sa réalisation dépend du type de données sous-jacent disponible. Comme nous l'avons indiqué, il est préférable de disposer de données qui décrivent le « résultat » et non des données qui décrivent « les activités produisant le résultat ».

Dans tous les cas, la méthode la plus simple est de donner la valeur nulle tant que l'élément de production n'a pas atteint la valeur prévue. D'autres règles arbitraires peuvent être basées sur les activités comme le % du reste à faire appliqué au coût planifié. Ou encore, à la fois dans le but de simplifier et d'éviter les oscillations, appliquer une règle de discrétisation : 10%=commencé, 50%=en cours, 80%=presque terminé. A souligner que l'influence du choix de ces règles est d'autant plus faible dans les calculs du modèle que les éléments de production sont petits et nombreux.

En ce qui concerne une règle de discrétisation des activités par le % du reste à faire, nous pensons que ce n'est pas une bonne pratique, car elle peut provoquer des régressions, qui sont incompatibles avec EV. Les filtrer demande au maximum d'imposer une mesure qui stagne, mais ne régresse pas. Dans tous les cas, la situation la plus critique est en fin de construction de l'élément de production. Décréter que les activités sont terminées contient une dose d'arbitraire pouvant être très grande. En effet, rien ne dit que la fin des activités induit que le résultat sera accepté et/ou combinable avec les autres éléments de production.

d) Validation d'une production : quelles données spécifiques ?

EV ne mesure pas la production autrement que par évaluation de coût, élément par élément.

De notre point de vue, cette mesure ne suffit pas, plus. Plusieurs mesures manquent. En particulier :

- Celle pour attester de la validité d'un élément de production du point de vue de l'utilisateur.

- Celle pour s'assurer du point de vue constructeur que l'assemblage des éléments de production terminés conduit à la production finale.
- Celle pour la production finale, vue par l'utilisateur, car rien ne laisse supposer qu'une mesure de l'évolution de la validation puisse être croissante (c'est-à-dire sans régression possible) et sommable comme le sont les coûts.

Ce n'est pas tout. Ces mesures devraient autant constater le passé qu'estimer le futur : quel est le risque que les éléments de production ne soient pas combinables ? Quel est le risque que la production finale ne soit pas acceptée par l'utilisateur final ?

Nous pourrions exclure ces considérations du périmètre traitable par EV sous prétexte qu'EV n'est pas conçu pour cela. Il faut cependant remarquer que dans EV des événements tels que "des activités sont terminées" signifiant que la production associée est validée, sont implicitement des mesures ! Et que leur impact sur les prédictions est considérable, une activité pouvant être rejetée et générant du "rework". Autrement dit la question n'est pas tant d'élargir le périmètre d'EV que d'en comprendre et en maîtriser tous les ingrédients. En particulier, il s'agit d'intégrer dans EV une solution au problème de la validation de la production au lieu de le laisser en dehors.

Une première décision est de définir une mesure "Production" qui soit indépendante des coûts planifiés. Dit autrement, un élément de production est une émergence des activités que l'on construit. Par analogie avec un voyage en voiture, la distance parcourue est une mesure indépendante du carburant disponible. Certes elle est une conséquence du profil de la circulation, des déclivités et des aménagements des routes, du profil du moteur et du profil du conducteur. Mais en tant que mesure, la distance en mètre est une émergence du système et des coûts de carburant. Une deuxième décision est de définir une mesure "Produit final" qui soit indépendante des éléments de production et qui en est une émergence. Ces différentes mesures et propriétés sont issues de notre processus de production (cf. Figure 39. Process et signaux de production) et de la

caractérisation des signaux d'états et de transitions (cf. Tableau 7. Attribut des activités de production)

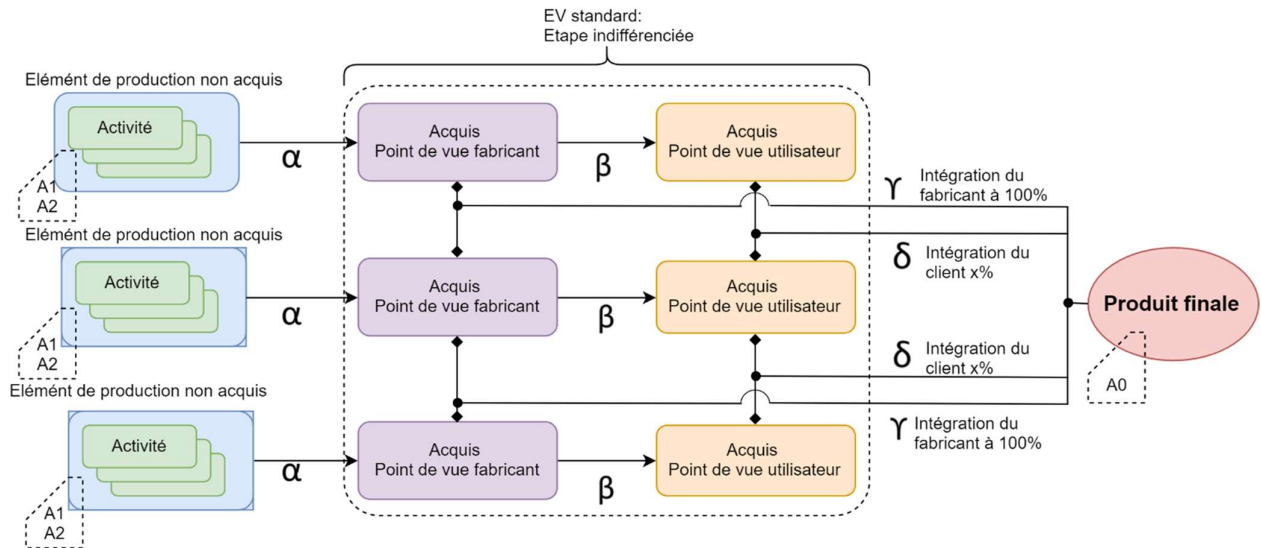


Figure 39. Process et signaux de production

Dans cette vue d'état transition du processus de production et pour l'élément de production dans son état initial, défini comme non acquis, nous pouvons caractériser 2 attributs qui se différencient entre le modèle EV standard et notre modèle EV°.

	EV Standard	EV°
A1	Les éléments de production sont systématiquement vus par addition successive et additive	Prise en compte d'une pondération faite par les transitions.
A2	Le seul coût intégré est celui de la charge	Le temps est intégré comme un coût au même titre que la charge.

Tableau 7. Attribut des activités de production

De la même façon pour l'élément terminal de produit final nous caractérisons les attributs.

	EV standard	EV°
A0	Contenu uniquement défini à priori. Le produit est considéré comme une constante.	Contenu défini une première fois à priori. Le produit accepte des variations, il est considéré comme une variable.

Tableau 8. Attribut de produit fini

Intéressons-nous maintenant aux transitions qui permettent de passer d'un état à l'autre. Nous avons identifié 4 transitions au long de notre processus de production.

	EV standard	EV°
α	Transition implicite, toute activité finie est validée d'un point de vue du fabricant, cette validation est probabilistique et définitive.	Transition implicite, une activité finie n'est cependant pas validée, la validation se fait lors de l'état transition d'intégration. Ceci implique d'accepter le « rework ».
β	Transition implicite, toute activité finie est validée d'un point de vue du fabricant, cette validation est probabilistique et définitive.	Transition implicite, une activité finie n'est cependant pas validée, la validation se fait lors de l'état transition d'intégration. Ceci implique d'accepter le « rework ».
γ	La notion de transition d'intégration du point de vue du fabricant n'existe	Notre modèle EV accepte le paradigme des systèmes complexes. La notion d'intégration

	pas dans le modèle standard. Il considère comme axiomatique le fait que les activités et productions soient combinables et assemblables.	est une activité en soi. La mesure d'une notion de « distance » avec le produit fini est un moyen de mesurer cette transition d'intégration. Cette distance ne se substitue pas à un pourcentage d'intégration, mais vient le compléter.
δ	La notion de transition d'intégration du point de vue de l'utilisateur n'existe pas dans le modèle standard. Il considère comme axiomatique le fait que les activités et productions soient combinables et assemblables.	De la même façon que pour l'intégration fabricant, l'intégration utilisateur est considérée. La notion de distance au produit fini avec des descripteurs propres aux spécifications d'usage permet de prendre ce point de vue en compte. Là où une simple notion de pourcentage ne permet pas d'aborder sous un angle différents intégration du fabricant et intégration de l'utilisateur, la notion de distance paramétrisable le permet.

Tableau 9. Signaux de transitions

5.2.2 Signaux de type « coût » et « délai »

Le coût réel dans EV est un signal d'entrée. Les coûts planifié et prédit sont considérés également comme des signaux d'entrée même s'ils sont virtuels.

EV° considère plusieurs types de coûts, chacun décliné en réel, planifié et prédit. De plus, le temps est pris en compte comme faisant partie de ces types de coûts.

La notion de coût est ainsi généralisée pour regrouper d'une façon homogène tout ce qu'il est jugé nécessaire de mesurer pour générer la production.

a) Coûts en charge de travail et en dépense

Dans EV, la question du coût focalise surtout sur sa mesure et non sa nature. Il s'agit principalement du coût des activités, auquel se cumule des coûts fixes, des coûts d'achat de matériaux ou d'activités réalisées par des entités externes, et ainsi de suite. Le coût d'une activité est mesuré en unité monétaire ou en pourcentage du coût total.

Dans le modèle EV standard, un seul type de coût est traité. Si plusieurs types de coûts sont pris en considération, tout se passe comme si l'entière du modèle était dupliquée autant de fois qu'il y a de types de coût. Il n'y a pas de fusion des signaux des différents coûts.

Pour chaque type de coût, dans la partie calcul de prédiction du coût futur, il y aura fusion de données entre différents scénarios de ce coût : le réel, le planifié, le prédit.

Au-delà de cette modélisation séparée pour chaque type de coût, la cohérence du traitement de plusieurs coûts différents requiert d'harmoniser la notion de "valeur acquise" associée spécifiquement à chaque coût. Ou encore, au lieu d'un objectif de cohérence, on peut compléter des données manquantes. Par exemple se servir de l'évolution conjointe de signaux différents pour les valider les uns les autres, ou pour réduire l'incertitude des mesures.

A noter que d'autres signaux de type coût souvent non pris en compte sont intéressants à considérer. Par exemple des coûts planifiés au-delà de la date de fin prévue. Ce sont en particulier les frais de pénalités.

b) Temps : durées en charge de travail, durées calendaires

Le signal temps est souvent mesuré en jours travaillés. Dans ce cas, il ne s'agit donc pas de délai au sens temporel, mais au sens charge de travail. Fidèlement au modèle classique, nous transformons et classons ce type de signal parmi les

coûts. Il est d'ailleurs fréquent dans les outils de pouvoir projeter le modèle EV en jours ouvrés ou en unité monétaire. Les prédictions en fonction d'une projection temps ou coût sont différentes car il n'existe pas de relation linéaire, le taux journalier en dépense pouvant varier au cours du temps et en fonction des personnes. Les deux modélisations EV en jours et en euros sont distinctes, les prédictions sont calculées indépendamment l'une de l'autre.

Dans EV, le signal 'durée calendaire' est implicite. Il rythme l'échantillonnage et gouverne les lois de comportement. Il est mesuré en date, en numéro de semaine ou de mois.

5.2.3 Autres types de signaux

Dans EV, que ce soit les concepts fondateurs (EV standard, ES) ou notre proposition d'EV généralisé, aucun autre type de signaux n'est nécessaire.

Dans notre réflexion et pour confirmer l'aspect généralisation de notre proposition, nous aborderons la possibilité d'étendre EV à de nouveaux types de signaux, nous allons d'abord passer en revue les domaines de la production et des coûts, puis nous investiguerons le champ des possibles en dehors de ces deux domaines.

Discussion. Vis-à-vis de la production, l'opération de déconstruction permet déjà de distinguer production et coût. Les informations telles que le type d'activité ou la granularité d'un élément de production ne sont pas des candidats à de nouveaux types de signaux, car nous les considérons comme des attributs d'un élément de production. En revanche, il pourrait y avoir de nouveaux signaux non déductibles des données de base et qui pourraient rendre dynamiques en temps réel les lois de composition de la production. Ou encore un nouveau concept de distance entre la production en cours et la production finale qui soit autre que le reste à faire ou la valeur restant à gagner. Ce signal prend du sens dans les cas de projet où la fin est arbitraire et virtuelle, typiquement les centres de services ou les projets de recherche. La fin n'est valable qu'à l'instant 't', et seulement jusqu'à ce que de nouvelles activités soient commandées ou qu'un nouveau verrou soit identifié.

La généralisation des coûts que nous avons proposée, et qui rappelons-le englobe les signaux de type temps et durée calendaire, permet d'anticiper de nombreux futurs signaux pourvu qu'ils puissent être modélisés comme un coût.

Dans EV°, la généralisation des concepts de production et de coût permet un grand nombre de variantes d'EV. Nous pensons qu'il faut d'abord exploiter et expérimenter cette potentialité. Prenons par exemple un objectif de mesure sur la probabilité d'augmentation de la créativité. Cet objectif peut tout aussi bien être vu comme une production que comme un coût associé, et ce dans un système fermé. La mesure sera modélisée dans les différents repères habituels, la planification, la réalité et de prédiction. Le concept de valeur gagnée (EV) s'appliquera, ainsi que les prédictions. C'est seulement si le cadre généralisé EV° ne satisfait pas les besoins qu'il sera nécessaire de modifier les éléments de base et les mécanismes de calculs d'EV°.

5.3. La couche Modélisation

Notre proposition d'EV° généralisé est reconstruite à partir d'EV sur la modélisation suivante :

Modélisation des signaux

1. Modélisation du signal production
2. Modélisation des signaux coûts généralisés
3. Modélisation Earned value

Modélisation des indicateurs de performance

1. Généralisation de CV et CPI
2. Que deviennent SV et SPI ?
3. Nouvel indicateur entre planifié et réalité

Modélisation des calculs de prédiction

1. Catégoriser les variantes
2. Recensement des variantes

5.3.1 Modélisation des signaux

5.3.1.1 Modélisation du signal production

5.3.1.1.1 Conditions

Dans EV Standard comme dans ES, la production est planifiée en termes de coûts. Dans EV°, nous distinguons le signal production des signaux coûts. La « production à obtenir », qu'elle soit de production, planifiée, prévue, ou de référence, est possiblement mesurée avec une métrique différente de celle des coûts. Cependant, les conditions suivantes sont à respecter :

- Les lois de comportement tant de la production que des différents coûts doivent être additives et cumulatives.
- Les événements début et fin des coûts planifiés doivent être synchrones avec début et fin de production. L'événement « Production planifiée atteinte à 100% » coïncide avec les événements « Coûts planifiés à 100% ». En particulier, si le coût calendaire fait partie des coûts mis sous contrôle, alors l'événement « Coût calendaire atteint à 100% » correspond à la date finale prévue.

Dissocier production et coûts de production, permet en particulier de ne pas imposer que la production planifiée progresse au même rythme que les coûts planifiés. Pour des questions de simplification, nous adopterons l'hypothèse que les lois de comportement de production et de coût soient strictement positives, de façon à assurer à ce que leur association soit bijective. L'hypothèse de loi strictement positive ne peut être assouplie qu'à condition d'établir une règle spécifique de résolution des indéterminations afin de maintenir une bijection opérationnelle.

5.3.1.1.2 Motivations à modéliser la production

Même si EV° permet des métriques de coût et de production différentes, EV° reste fondé sur la notion de la valeur acquise, et cela requiert que pour chaque valeur de production à obtenir correspond une valeur de coût planifié. Et ce, pour chacun des coûts planifiés sous contrôle, y compris le coût calendaire s'il est pris en compte. Supprimer ces associations bijectives supprimerait le calcul systémique d'EV. En ce sens, la modélisation de la comparaison des productions planifiée et réelle ne doit pas être utilisée isolément pour produire des prédictions, mais intervenir comme données à fusionner avec celles des coûts pour que les calculs de prédictions puissent rester dans le paradigme d'EV.

D'un point de vue opposé, EV° permet que les métriques de coût planifié et de production planifiée soient identiques, ainsi que les coûts et les productions réelles. La motivation dans EV° d'enrichir le modèle en distinguant la métrique production de la métrique 'coûts planifiés' est en effet multiple. Du point de vue du producteur, cela va permettre de traiter du rythme de la production autrement que comme effet des coûts. Du point de vue du réceptionnaire de la production, cela va permettre de juger de la valeur de la production autrement que comme le cumul des coûts planifiés. EV° invite à considérer la production comme un signal et une modélisation à part entière alors qu'EV ne traite pas de la production de façon explicite.

Prenons le cas de l'approche agile, Scrum en particulier. Il est primordial de produire avec un rythme dont la période est fixe et plutôt faible vis-à-vis de la durée du projet. A l'étape de planification d'un sprint, cela requiert de dimensionner la production de chaque sprint pour qu'elle soit faisable dans les coûts en charge et en délai préalablement fixés et invariables (ACCENTURE, s. d.; Cohn, 2010; Dingsøyr, Dybå, & Abrahamsson, 2008). De plus, surtout même, la valeur de la production de fin de sprint sera jugée du point de vue du consommateur. Autrement dit, il n'est pas suffisant de considérer que la valeur de la production progresse en fonction de la terminaison d'activités. Il est en plus nécessaire que la production de chaque sprint soit utilisable, ou au minimum évaluable du point de vue de l'utilisation, par le consommateur de la production. Pour rendre ceci possible il est judicieux de trouver comment laisser du jeu dans

la définition de la production. A l'échelle du projet Scrum, les sprints sont considérés comme des tronçons dont l'enchaînement forme un chemin vers la production finale du Scrum.

L'approche cycle en V n'est pas déductible de l'approche agile. La production finale est préalablement établie dans les détails, ainsi que les coûts en charges et en délai. Cette planification est supposée parfaite. Toute adaptation des coûts ou de la production finale au cours du projet est vue comme un problème qu'il aurait fallu éviter. L'approche cycle en V est prédictive, l'approche agile est adaptative (Fontana, Fontana, da Rosa Garbuio, Reinehr, & Malucelli, 2014; Špundak, 2014). Earned Value est initialement conçu pour le cycle en V. Les coefficients de performance indiquent des surcoûts, ou des sous coûts, en charge ou en délai, mais ils n'indiquent pas de performance sur la valeur de la production du point de vue du consommateur. Certaines variantes d'EV intègrent une part d'adaptation en coûts avec la notion de rework (Boehm, 2003; Hanna, 2009)

Reprenons l'analogie avec une voiture électrique et une destination avec des difficultés et une cartographie imprécise. En approche cycle en V, il faudra vraisemblablement appeler un ami pour qu'il amène des batteries pour finir le voyage prévu ; en approche agile, les destinations intermédiaires autorisant la recharge sont déterminées au fur et à mesure du voyage, la destination finale étant précisée progressivement en fonction des distances parcouru, des recharges effectuées et de l'autonomie constaté. Cette analogie ne rend pas compte de la périodicité de l'approche agile, mais permet de visualiser la détermination progressive du chemin, l'énergie embarquable étant fixe et faible.

Dans EV°, la périodicité de la production est prise en compte par un profil non linéaire du coût calendaire, par exemple en dents de scie. Plusieurs profils ont été expérimentés sur des projets forfaitaires de type service. Contrairement aux projets classiques « début-fin », ils sont délivrés en continu. Il s'agit typiquement de service de maintenance évolutive. Bien que la taille des mini-projets traités ne soit pas de l'ordre de quelques heures à quelques jours, mais plutôt d'une semaine à plusieurs semaines, il est important de pouvoir estimer les risques que les coûts prévus dérivent et finissent par se cumuler. La durée des projets est trop courte

pour anticiper les risques de dérives au sein de chaque projet. Ce ne sont plus des risques qui sont détectés, mais des dérives effectives formant des tendances. De plus il y a un entrelacement des projets et un remaniement des affectations des personnes en fonction des compétences et des urgences. EV permet d'obtenir en temps réel un contrôle des performances et des risques et apporte de cette manière un complément instructif tant à la vue burndown¹ de Scrum qu'aux indicateurs classiques de niveau de service.

A noter que périodiquement la baseline de l'ensemble des mini-projets est décalée. Sans ce recadrage périodique, le poids grandissant de l'historique viendrait détruire les fluctuations que l'on veut justement détecter. De plus, chaque période étant considérée comme un projet à part entière, une telle analyse des performances des projets terminés est instructive tant d'un point de vue de la gestion interne que d'un point de vue contractuel externe. Cette analyse permet de classer les causes en planification, en spécification, en connaissance métier, client, etc.

5.3.1.2 Modélisation des signaux coûts généralisés

Vouloir harmoniser et généraliser l'ensemble des signaux de coûts revient d'après l'état de l'art, à fusionner Earned Value (EV) et Earned Schedule (ES) (Lipke et al., 2009). En réalité, cela consiste à revenir aux fondamentaux d'Earned Value, notamment sans avoir besoin de recourir à un modèle spécifique tel que Earned Schedule. Notre intention en réinterprétant les fondamentaux d'Earned Value est avant tout de mieux comprendre ce modèle. Ensuite, en allégeant les hypothèses, il devient plus simple de voir de quelle façon ce modèle basé sur la notion de "production acquise" permet de mieux appréhender la gestion de la production dans des contextes très variés, y compris celui de la recherche.

¹ En méthode Agiles le burndown est un graphique décroissant de visualisation du reste à faire.

La formulation EV la plus largement adoptée dans sa formalisation algébrique est décrite dans le PMBOK, la formulation géométrique étant de (Lipke, 2003)

Pour EV standard & ES :

- Le coût s'exprime en euros, en jours ouvrés, en « function points », en « user stories », en quoi que ce soit, ou encore en pourcentage du total du coût total planifié. Il est fonction du temps calendaire. Graphiquement, il est question ici de l'axe des ordonnées.
- Le temps s'exprime en temps calendaire, que ce soit en date absolue (jour ou semaine ou mois, etc.) ou en date relative (comme un chronomètre remis à zéro en début de projet). Graphiquement, il est question ici de l'axe des abscisses.
- Les modèles « EV standard & ES » ne modélisent qu'un seul type de coût dans les calculs de prédictions.

Pour EV° :

- Chaque type de coût est analysable isolément ou conjointement avec les autres dans une perspective de fusion de données.
- Chaque type de coût est décliné en coût planifié, réel, acquis et prédit. Le coût acquis (ou gagné) est modélisé dans EV° comme étant le coût planifié correspondant à la production acquise associée.
- Nous exprimons le temps calendaire comme un coût. Il peut être omis ou être le seul coût pris en compte ou encore être accompagné d'autres coûts.
 - Une des représentations graphiques possibles : en ordonnée tous les types de coûts (dont le coût calendaire) et en abscisse le temps calendaire absolu, indépendant du projet. Ce temps est celui « qui passe que sans rien d'autre ne se passe ». À distinguer du coût calendaire du projet, placé en axe des ordonnées, qui lui est lié à la production.
 - Dans le cas le plus simple, ce coût calendaire est une droite strictement $y = x$. Par exemple, pour une production périodique, c'est-à-dire une production qui repart périodiquement de zéro, ce seront des droites $y = x - a$, avec « a » multiple de la période.

5.3.1.3 Earned Value

Pour chaque type de coût, EV propose que le coût gagné soit modélisé de la façon suivante : la valeur d'un coût gagné est le coût planifié dont la production planifiée associée est identique à la production obtenue. La fonction Earned Value est définie pour chaque type de coût.

Graphiquement, les courbes EV° « coût planifié » (Plan), « coût réel » (AC), « coût gagné » (BCWP) expriment les mêmes significations relatives que dans Earned Value (« coût réel au-dessus de coût planifié et coût gagné = coût planifié » signifie production comme prévue mais avec un surcoût ; et ainsi de suite pour toutes les autres configurations de positions relatives des 3 courbes).

Cette représentation inclut le coût calendaire. Nous avons vu au chapitre 4.4.2 que la fonction Earned Schedule est identique à la fonction Earned Value appliquée au coût calendaire.

Le temps peut ici être modélisé de différentes manières, en fonction des usages et des besoins. Nous pouvons traiter uniquement le coût « jours ouvrés », sans s'occuper du calendrier. Si nécessaire, la date de fin sera déduite, hors modèle EV°, par une fonction qui permet de déduire la date de fin calendaire en fonction du nombre de jours ouvrés.

Nous pouvons cependant tout aussi bien traiter dans EV° le « coût calendaire » comme seul et unique coût sous contrôle. La production obtenue permettra de déduire le « coût calendaire » gagné. Ensuite, que ce soit de façon linéaire avec les indicateurs de performance ou de façon non linéaire, les techniques d'estimation fourniront une estimation de la production future et du coût calendaire futur.

Il en va de même pour n'importe quel coût mis sous contrôle. L'essence d'EV est d'estimer la production et les coûts à venir grâce à un recalage entre production

obtenue et coûts gagnés/calculés, en fonction des coûts planifiés associés à la production planifiée.

5.3.2 Modélisation des indicateurs de performance

5.3.2.1 Généralisation de CV et CPI

Puisque dans EV° le travail, le matériel, les services achetés et même le temps calendaire sont des coûts, qu'expriment CV et CPI ?

Dans EVM « Earned Value Management » (Pajares & López-Paredes, 2011) les performances liées au coût sont exprimées par CV et CPI (Cost Variance et Cost Performance Index). La planification est traitée isolément. Les performances liées à la planification sont exprimées par SV et SPI (Schedule Variance et Schedule Performance Index).

Dans Earned Schedule (ES), les performances liées au coût sont traitées comme dans EVM. Les performances liées à la planification sont traitées avec de nouveaux indicateurs, SV(t) et SPI(t). La désignation (t) est un artefact symbolique historique utilisé dans la littérature pour distinguer la performance SV d'EVM et la performance SV de ES. Cependant les deux dépendent du temps.

Dans EV°, les performances liées aux coûts et à la planification sont traitées avec CV et CPI puisque le temps calendaire y est considéré comme un coût. D'une façon générale, CV et CPI expriment les relations entre l'effort de production réellement consacré, symbolisé par les coûts réels et la production obtenue.

Dans cette première étape, exprimer la performance en planification par un coût n'apporte pas de prédiction améliorée, mais apporte une simplification de l'interprétation du modèle. Ainsi, dans notre approche, l'indicateur supplémentaire SPI(t) créé par Lipke n'est pas une mimique, mais devient réellement l'ancien

indicateur CPI d'EV standard en prenant comme mesure de coût, le coût calendaire :

$$SV(t) = CV_{\text{temps calendaire}}$$

$$SPI(t) = CPI_{\text{temps calendaire}}$$

$$CV_c = EV_c \cdot AC_c$$

$$CPI_c = \frac{EV_c}{AC_c}$$

Ou c exprime n'importe quel coût.

Un coût " c " pourra être des dépenses en euros, des jours ouvrés, des « fonctions points », des « users stories », n'importe quelle autre sorte de coût, y compris le coût calendaire. Pour ce dernier cas, on aura :

$$CV_{\text{temps calendaire}} = EV_{\text{temps calendaire}} \cdot AC_{\text{temps calendaire}}$$

$$CPI_{\text{temps calendaire}} = \frac{EV_{\text{temps calendaire}}}{AC_{\text{temps calendaire}}}$$

En termes d'estimation du temps, $TEAC$ (Time Estimation At Completion) est remplacé par $CEAC_c$ (Cost Estimation At Completion) avec c exprimant le temps calendaire.

Tous les $CEAC_c$ sont calculés de la même manière pour tout c . Par ailleurs, il existe plusieurs façons de calculer $CEAC_c$. Par exemple :

$$CEAC_c = \frac{BAC}{CPI_c}$$

$$CEAC_c = AC_c + ResteAFaire$$

$$CEAC_c = AC_c + \frac{ResteAFaire}{CPI_c}$$

$$CEAC_c = AC_c + \frac{ResteAFaire}{(CPI_c \cdot SPI_c)}$$

On notera que la généralisation apportée à ES par (Warburton, Marco, & Sciuto, 2017)

$$\delta(t) = t_{ES(t)}$$

devient, en effectuant une transposition dans le cadre de notre généralisation des coûts :

$$\delta(t) = AC_c \cdot EV_c$$

À noter que la valeur EV, tout comme la valeur $\delta(t)$, peut être obtenue aussi bien par recalage linéaire (dans ce cas $\delta(t) = -CV_c$), que par une prise en compte de la non-linéarité des lois de comportement.

En adoptant temporairement le sens donné à EV_c en tant que production obtenue mesurée comme étant le coût planifié associé, et le sens donné à AC_c en tant qu'effort réel de production mesuré comme étant le coût réel consacré, on constate que :

- CV_c est l'écart entre l'effet "la production réellement obtenue" et la cause "l'effort de production réellement consacré".
- CPI_c est le rapport entre ces deux items.

En cours de projet, CPI_c permet l'estimation de la valeur finale en fin de projet de chaque coût c, y compris c exprimant une durée calendaire. En fin de projet, les CPI_c caractérisent les performances atteintes par le projet, y compris la performance en durée calendaire, performance non fournie par SPI.

5.3.2.2 Que deviennent SV et SPI ?

Cette question pose une remise en cause plus fondamentale : quel serait le nouveau sens à donner à SV et SPI dans le modèle EV standard ?

Le modèle EVM désigne respectivement SV et SPI (Schedule Variance et Schedule Performance Index) comme l'écart et le rapport entre la production effectivement obtenue exprimée en termes de coût planifié (EV) et le coût planifié initialement (PV) pour atteindre cette production. EVM se sert de SV et SPI pour estimer les dates des événements de la réalité future. Cela semble pourtant curieux de se servir des indicateurs de planification pour estimer une valeur future. En effet, pour estimer une réalité future, l'approche Earned Value est que la production réellement obtenue soit confrontée avec la réalité passée (AV) et non pas avec l'effort planifié (PV).

Les critiques à l'encontre de SV et SPI comme indicateurs de performance en temps s'avèrent effectivement vérifiées dans la littérature comme sur le terrain (Cândido, Heineck, & Barros, 2014). Nous les avons d'ailleurs modifiés expérimentalement sans connaissance à l'époque des premiers travaux théoriques qui ont donné naissance à ES. Et d'un point de vue numérique, la modification expérimentale s'est avérée semblable à ES.

Dans la littérature, le modèle ES a critiqué puis proposé de supprimer SV et SPI et de les remplacer par leurs index de performances appelés SV(t) et SPI(t). Mais curieuse idée également ! En effet, pourquoi maintenir une distinction avec les coûts et proposer un nouveau modèle (ES) au lieu de garder EV ? Pourtant Lipke lui-même écrit (2003) que les formulent SV(t) et SPI(t) "mimiquent" CV et CPI. Dans EV°, ce n'est pas une imitation d'un coût. C'est un coût. CV_c et CPI_c servent à prédire les échéances, "c" exprimant le coût en unité calendaire.

Les performances en termes de temps calendaire étant traitées en dehors des indicateurs de performance SV et SPI définis par Earned Value, la question de leur signification se repose, car leurs formulations numériques concernent bien la prise en compte de la planification. Dans la littérature, le modèle ES a remplacé SV et SPI leurs index de performances SV(t) et SPI(t), mais sans donner une autre signification à SV et SPI.

En adoptant le sens donné à EV_c en tant que production obtenue mesurée comme étant le coût planifié associé, et PV_c en tant qu'effort planifié de production mesuré

comme étant le coût planifié à consacrer, quelle interprétation donner à SV ou SPI ?

- SV étant l'écart entre EV_c et l'effort planifié PV_c
- et SPI, le rapport entre ces deux items.

L'interprétation que nous en donnons est la performance de la planification initiale. SV et SPI permettent de jauger à chaque instant de l'adhérence de la production en cours avec celle planifiée. Cette interprétation est à distinguer de celle fournie par CV_c et CPI_c avec c exprimant un coût calendaire qui permettent de calculer une estimation des échéances futures, en particulier la date de fin estimée.

Mettons en évidence que SV, contrairement à CV_c ne tient pas compte des coûts réels permettant d'estimer le futur. SV ne peut agir que sur l'instant présent. Si, à un instant donné, SV est négatif, cela signifie qu'il y a sous-production par rapport à la planification initiale. Le coût réel n'intervient pas. Pris à la lettre, SV négatif demande de corriger instantanément pour revenir au plan (revenir à $SV=0$). On pourrait ainsi demander à l'équipe de travailler la nuit gratuitement pour gommer SV... Dans le même ordre d'idée, si SV est positif, on pourrait donner congé à l'équipe, ou la faire travailler sur un autre projet. Dans tous les cas, avec SV, on projette la planification initiale sur un instant donné. En fin de projet réel, lorsque la production globale est obtenue, SV vaut forcément 0, car à cet instant la production réelle vaut la production prévue. Avec SPI, l'interprétation est identique. SPI inférieur à 1 à un instant donné demande de revenir instantanément à $SPI = 1$ pour revenir au plan initial. Et SPI supérieur à 1 témoigne d'une utilisation potentielle instantanée des ressources sans nuire à la planification initiale. Ni SV ni SPI ne pourront permettre une estimation de la date finale, car ils ne caractérisent que le présent et sans tenir compte du coût réel cumulé.

Mettons en évidence à présent CV_c et CPI_c (c étant exprimé en durées calendaires), dans une situation où justement le coût calendaire est « pur », c'est-à-dire sans activité associée. Par exemple, l'attente d'une signature, l'attente d'une configuration précise de planètes, l'attente que le béton sèche. Ce coût calendaire planifié peut ainsi disparaître "par chance" ou apparaître "par malchance" si l'avance ou le retard du projet sur le calendrier prévu change les conditions

d'attente. Ces coûts calendaires sont à prendre dans CV_c et CPI_c pour fournir une estimation de la date de fin prédite.

Conclusion de cette comparaison entre les indicateurs SV/SPI et CV/CPI.

- CPI_c étant le rapport entre l'effet "production réellement obtenue" et la cause "effort de production réellement consacré", il y a une relation de cause à effet, la cause étant inconnue, à savoir l'effort total de production qui sera réellement nécessaire. CPI peut être un estimateur du coût réel en fin de projet.
- De son côté, SPI_c étant le rapport entre "production réellement obtenue" et "effort de production planifié", il y a aussi une relation de cause à effet, mais ici la cause est connue. Il s'agit de la planification initiale étant par définition une valeur connue et constante. SPI reflète "la pertinence de la planification initiale" à chaque instant donné, par rapport à la valeur gagnée.

À noter que certains usages d'EV recourent à SPI pour pondérer CPI dans le calcul de la prédiction. Il s'agit du Critical Ratio (CR) ou Critical Index (CI) (Cioffi, 2006; K. Henderson, 2004)

$$(CI) = CPI \cdot SPI$$

Par exemple dans

$$CEAC = AC + \frac{ResteAFaire}{(CPI \cdot SPI)}$$

Dans notre modèle EV°, pour obtenir à l'identique ces estimations, CPI est à remplacer par CPI_c avec c pointant sur un des coûts mis sous contrôle.

À noter qu'il serait intéressant d'évaluer la pertinence des comportements de (CI) et de CEAC en remplaçant SPI par CPI_c avec c pointant sur un coût exprimant une durée calendaire. Nous n'avons pas testé ces possibilités offertes par EV°.

5.3.2.3 Nouvel indicateur entre planifié et réalité ?

Le rapport au cours du temps entre l'effet "production obtenue" et la cause "effort consacré" est représenté par CPI_c. C'est une question d'efficience de production.

Le rapport au cours du temps entre "production obtenue" et "effort planifié" est représenté par SPI. C'est une question de pertinence de la planification.

Dans EV standard, il n'y a pas d'analyse du troisième rapport possible entre ces trois lois, à savoir le rapport entre "effort planifié" et "effort réel consacré". À toutes fins utiles, on désignera ce rapport par OPI avec O pour Organisation. OV désignera la variance associée à OPI.

Utiliser OPI – le rapport entre effort planifié et effort réel consacré – paraît intéressant pour estimer le coût final du projet. C'est faux. C'est justement pour contrer cette mauvaise gestion, encore trop courante, que EV a été conçu. Dans OPI, contrairement à CPI et SPI, la valeur ajoutée EV qui représente l'évolution de la production n'intervient pas. Autrement dit, avec OPI il est impossible d'estimer le futur de la production et des coûts ou délais associés. Pour l'illustrer, considérez une équipe projet qui déclare chaque semaine un coût supplémentaire sans qu'aucune production ne soit réalisée, et ainsi indéfiniment. OPI donnera toujours une valeur, mais indépendante de la production réelle. Avec CPI, ce n'est pas possible. CPI permettra d'estimer les dates et coûts finaux en tenant compte de l'évolution de la production. En fin de projet avec une production atteinte à 100%, OPI est semblable à CPI et n'apportera donc aucune caractérisation supplémentaire du projet.

Utiliser OPI pour estimer la pertinence de la planification paraît une alternative à SPI. Cependant, à nouveau, comme la production réelle n'est pas prise en compte, OPI n'est pas un bon estimateur de la planification.

Nous pourrions interpréter OPI comme un observateur d'écart entre le profil d'évolution du projet prévu et le profil constaté. Voir par exemple la loi non linéaire

"AC-PV FIT" (Narbaev Timur & De Marco Alberto, 2014) qui associe les efforts réels et les efforts planifiés. La production y est implicite. On suppose par exemple que la production suivra une courbe en forme de S, ce qui est traduit en conséquence dans la planification des efforts. S'il s'avère que l'allure des efforts réels ne correspond pas à l'allure des efforts planifiés, et que l'on reste convaincu que ce type de projet se déroule sous forme d'un S, « AC-PV FIT » recherchera la meilleure estimation d'un S réel afin d'en déduire les dates et coûts finaux.

5.3.3 Modélisation des calculs de prédiction

5.3.3.1 Catégoriser les variantes

Dans la littérature, les variantes des modèles EV sont nombreuses. Dans les chapitres précédents, grâce à l'opération de déconstruction nous avons bâti un socle commun en partant de la couche Signal avec les données de base. Les lois de comportement des signaux ont été généralisées. Le concept d'Earned Value l'a été aussi, en particulier en incluant Earned Schedule. Et enfin les indicateurs basiques de performance complètent ce socle commun qui généralise les fondamentaux.

En balayant les variantes des modèles EV rencontrés dans la littérature, et en les filtrant à l'aide de ce socle commun, nous constatons que la variabilité porte la plupart du temps sur les différents modes de calcul de prédiction. Ce n'était pas simple de comprendre en quoi un modèle EV proposé était différent des autres. C'est un succès de l'opération de déconstruction de pouvoir comprendre la variabilité actuelle et potentielle du modèle EV de façon structurée.

Nous nous intéressons dans cette section aux alternatives dans la façon de calculer les prédictions. Voici une liste de critères retenus. L'idée est de trouver des critères qui soient indépendants et combinables :

- Laps de temps pris en compte
- Linéarité ou non
- Sous-catégories non linéaires
- Différents types d'approches prédictives
- Traitement par tronçons

5.3.3.2 Recenser les variantes

L'objectif de cette section se limite à une première catégorisation des variantes de calcul de prédiction. Il s'agit d'une approche méta, qui ne cherche ni une exhaustivité ni une granularité fine. Nous cherchons ici simplement à évaluer si la déconstruction que nous avons proposée permet de retrouver les modes de calcul issus d'un échantillon de la littérature.

Pour recenser les variantes de calcul appliqué à EV nous procédons à une analyse se basant sur :

- a) La stratégie de « Data Management » de prise en compte d'événements sur un **laps de temps** plus ou moins important : soit uniquement des événements qui se sont produits depuis le début du projet, soit en ajoutant les lois de comportement prévues sur toute la durée du projet, ou encore considérer les lois de comportement des anciens projets révolus. À notre connaissance l'état de l'art n'adresse pas cette problématique de façon spécifique.
- b) La prise en compte de la **linéarité ou non** des lois de comportement : d'un côté, des variantes EV prédisent le futur à l'aide de moyennes, autrement dit l'allure des courbes de prédiction est linéaire (Vandevorode & Vanhoucke, 2006), alors que les autres variantes prédisent le futur à l'aide de lois de comportement non linéaires.

Exemples linéaires :

$$CEAC = \frac{BAC}{CPI}$$

Ou avec re planification (Project Management Institute, 2017) on obtient :

$$CEAC = AC + \frac{ResteAFaire}{CPI}$$

Avec :

CEAC = Cost Earned At Completion

BAC = Budget At Completion

Parmi les **approches non linéaires**, on retrouve un certain nombre d'exemples ou le calcul des prévisions suit un modèle non linéaire par régression : polynôme cubique, logarithmique (Chao & Chien, 2009).

Ou encore des modèles non linéaires probabilistes. Il s'agit d'un recalage combinant la corrélation de deux séries temporelles et la corrélation d'une courbe avec une fonction sigmoïde :

$$CEAC_{\epsilon} = AC_{\epsilon} + BAC \cdot \left(Q \cdot \left(\frac{AC_{tcal}}{EV_{tcal}} \right) \cdot ((Gm) \cdot AC_{tcal}) \right)$$

$$ou Gm = \left(K e^{\ln\left(\frac{x_0}{K}\right) e^{-at}} \right)$$

Avec Q , une fonction basée sur une modélisation statistique paramétrique et Gm , une fonction intégrée de Gompertz, paramétrisée pour les séries temporelles caractéristiques en S des projets EV par (Narbaev & De Marco, 2014) avec :

- x , la population et x_0 , la valeur de l'observation au moment t de l'observation
- t , le temps
- K ; la capacité limite du milieu
- a , une constante

En plus d'une modélisation statistique des courbes de profil, bon nombre de contributions adressent les modèles mathématiques sur la prédiction. Rappelons que la finalité du modèle EV est bien de piloter les risques par

prévisions des dérives. On classe les différentes **approches prédictives** comme suit :

- Les déterministes, avec/sans intervalles de confiance
- Les probabilistes, comme par exemple Kalman (Abdel Azeem, Hosny, & Ibrahim, 2014),
- Les réseaux Bayésiens (Caron, Ruggeri, & Merli, 2013; Khodakarami & Abdi, 2014),
- Les logiques floues (Mortaji, Bagherpour, & Noori, 2013; Moslemi Naeni & Salehipour, 2011) ,
- Les réseaux de neurones NN (W.-S. Chen & Du, 2009; Iranmanesh & Zarezadeh, 2008)

c) Enfin, le découpage en **tronçons typés** : le typage correspond à un ajout de méta data sur les données brutes qui classifie de différente manière les activités. La classification par tronçon permet de mieux cibler les causes de dérive et améliore les prédictions. Un exemple de classification par tronçon peut être de différencier documentation, conception, développement, tests et gestion (cf. notamment 5.1.)

5.4. La couche applicative

La couche applicative regroupe les manipulations et exploitations basées sur les données générées par la couche « modélisations ». L'approche EV° étant arrivée à généraliser les concepts Earned Value dans les deux premières couches « signaux » et « modélisations », la troisième couche « applications » devrait faciliter la déclinaison du modèle à des cas d'usages variés.

C'est en particulier dans cette couche que les outils de diagnostic et d'aide à la décision sont implémentés. Un exemple de diagnostic instructif est d'obtenir les productivités Earned Value par type d'artefacts qui permet de visualiser que la productivité de chaque type d'artefact évolue très différemment de la productivité globale. Ce qui permet de prendre des mesures en meilleure connaissance de causes. Un exemple d'aide à la décision est de coupler les indices de performance

CPI_c en temps réel avec des seuils de déclenchement de plans d'actions, en particulier avec des systèmes de gestion des risques.

D'une façon plus générale, cette couche a une flexibilité forte et une inertie faible. C'est dans la couche applicative que sont fabriqués les médias d'interaction entre l'homme et l'information, ainsi qu'entre le système EV et d'autres outils. Cette couche doit donc être construite de façon projet et contexte spécifique. Ne connaissant pas l'ensemble du champ des possibles en termes de contexte existant, il est donc impossible ici de faire une étude détaillée. La déconstruction signal et modèle opérée précédemment permet quoi qu'il arrive de reconstruire un ensemble exhaustif de solutions applicatives. De la même façon que la littérature montre que la création de couches applicative est aisée sur la base des modèles et des signaux, notre modèle le permet de la même façon.

Dans l'opération de déconstruction par couche, l'important ici est de souligner l'importance de segmenter cette troisième couche « application » distinctement de la première couche regroupant les signaux et de la seconde couche regroupant les modélisations Earned Value et les calculs prédictifs associés.

5.5. Synthèse de la déconstruction

Avant de procéder à l'opération de déconstruction proprement dite des variantes Earned Value en briques élémentaires, nous avons d'abord reposé le concept directeur historique d'Earned Value : une boucle de rétroaction des systèmes prévus et prédits, la production réelle étant recalée par rapport à la production initiale ainsi qu'une représentation algébrique et graphique des lois de comportement et des indicateurs de performance.

Nous avons alors dérivé le modèle OSI en méthode de segmentation pour notre déconstruction des variantes Earned Value. Trois couches :

- La couche signal pour la collecte des données de base
- La couche modélisation pour les indicateurs de performance et des estimations prédictives

- La couche application pour les interactions homme-machine et machine-machine, typiquement des outillages de supervision, de diagnostic et d'aide à la décision.

La déconstruction a consisté à projeter dans ces trois couches, la compréhension que nous avons eue de l'analyse des variantes Earned Value sélectionnées dans la littérature et dans l'industrie.

Lors de la construction de la couche signal, nous avons été étonnés de l'absence de la production en tant que source de données de base à part entière. Notre idée d'inclure les données de production en plus des coûts est de pouvoir par la suite modéliser explicitement la production alors qu'elle est implicite dans Earned Value qui ne l'identifie que comme un coût supplémentaire. Nous proposons d'introduire dans le modèle la façon de décomposer la production finale planifiée en éléments de production, alors qu'elle ne l'est aujourd'hui que dans les pratiques hors EV. Enfin nous permettons une production finale variable et pas seulement constante. C'est dès la couche signal, que nous avons projeté les variantes EV qui implémentent ces caractéristiques. Par ailleurs, les signaux de coût ont été généralisés pour prendre en compte le temps comme un coût.

Concernant la couche modélisation, une première catégorie de modélisation porte sur les lois de comportement des signaux de base. La production devenant distincte des coûts, il a été nécessaire d'établir les conditions de bijection avec les coûts pour préserver le concept de valeur de production gagnée. Au minimum le gain est pédagogique. Par exemple, si on a davantage confiance à l'anticipation d'une production en forme de S malgré la modélisation des coûts planifiés qui montrerait une allure différente, la production pourra être planifiée en S. Si la production réelle suit effectivement le S prévu, la supervision pourra reconnaître un déroulement anticipé même si les coûts montrent une dérive. Plus profondément, si la production suit une forme S mais avec des proportions différentes, des approches de "growth model" permettent des prédictions intéressantes. Par ailleurs, la généralisation des signaux coûts permet de n'établir qu'une seule loi de comportement pour les coûts, et surtout en incluant le temps comme coût calendaire. Une deuxième catégorie de la couche modélisation porte sur les indicateurs de performance. Les performances en coûts CV et CPI sont

généralisés, y compris le coût calendaire puisque le modèle est unique. Les erreurs d'interprétation des indicateurs de performances SV et SPI ont été corrigées : les prédictions de délai final sont obtenues via le coût généralisé exprimé en délai calendaire et SV et SPI traduisent les performances instantanées de l'adhérence à la planification. La troisième et dernière catégorie de modélisation porte sur les calculs de prédiction. Nous avons tenté de dresser une liste des différentes approches en matière de calcul de prédiction.

Enfin, en ce qui concerne la couche application, son intérêt est celui d'avoir pu effectuer une opération de ségrégation de toutes les variantes EV qui portent sur l'accès et l'exploitation des données et des prédictions modélisées. D'une part, les outils qui aident aux interactions avec le système pour superviser, diagnostiquer ou prendre des décisions sont primordiaux. D'autre part, ces outils peuvent varier énormément sans remettre en cause la couche « modélisation » et a fortiori la couche « signal ».

Le travail fait autour de la déconstruction, initialement réalisé dans un but de caractérisation et de compréhension des fondamentaux du modèle, nous en a appris beaucoup sur ce qu'est en réalité le modèle EV. Nous avons pu opérer une réduction de modèle efficace sur des variantes qui au premier abord étaient très hétérogènes.

6 PROPOSITION POUR RDI

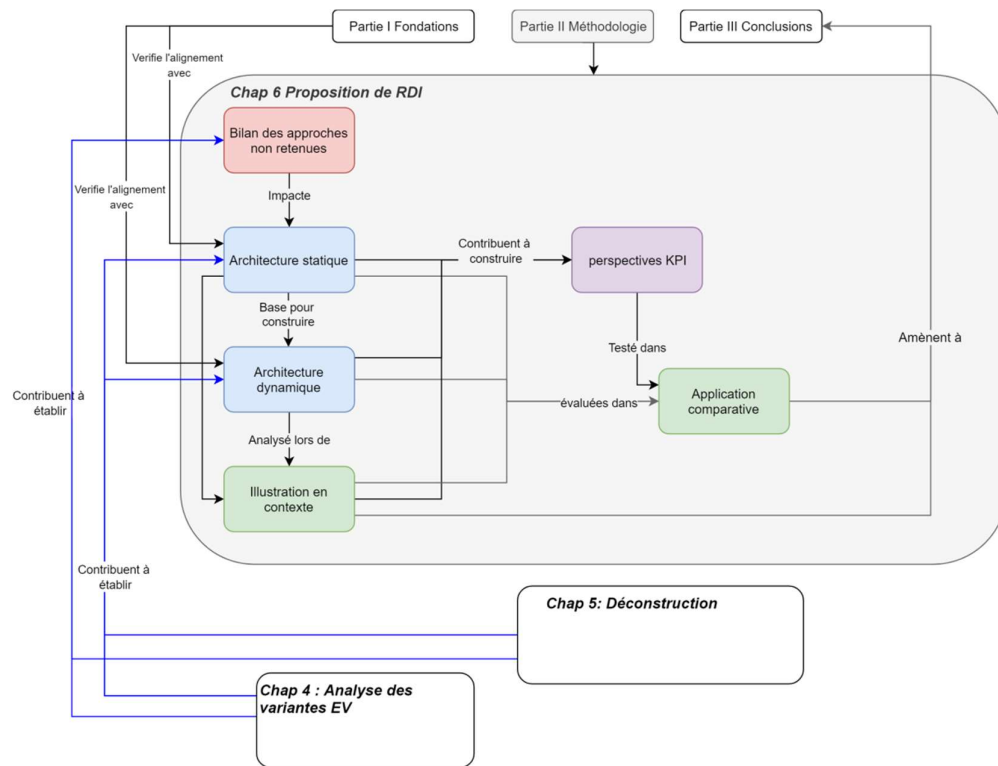


Figure 40. Reading manual. Partie II. Chapitre 6.

Dans ce chapitre nous nous emploierons à définir et à construire notre proposition d'architecture de système pour la RDI. Cette architecture sera basée sur l'établissement de nouvelles définitions triplement alignées

1. avec nos travaux de description ontologique (partie I),
2. avec nos analyses des états de l'art interne et externe sur EV (ch. 4 de la partie II)
3. et enfin, avec les conclusions de la déconstruction de EV (ch. 5 de la partie II).

Avant de présenter notre proposition d'architecture méthodologique de production de recherche et développement, nous repartirons des conclusions des tentatives d'application de l'état de l'art qui ont précédé les travaux de thèse. Ensuite, notre proposition originale pour RDI se fera en plusieurs étapes. Dans un premier temps, nous définirons les éléments fondamentaux structurants de notre architecture à différents niveaux d'abstraction. Dans un second temps, nous développerons leurs différentes interactions et intégrations dans une vue d'architecture dynamique globale. Nous terminerons par une perspective de KPI.

6.1. Des précédentes tentatives à notre proposition RDI

Avant le démarrage effectif de cette thèse Cifre, plusieurs pistes avaient été expérimentées dont une consistant à partir des deux types de livrables de production : la production de recherche (en bref, la publication scientifique) et la production de développement (en bref, les développements d'ingénierie). (cf Chap 4.2.). L'idée était de déléguer l'intégration de ces deux vues sous contrôle des processus de management. Une première variante a été tentée par un alignement avec ISO13485. L'impossibilité de paralléliser R et D a conduit à une impasse. Seul le schéma séquentiel R puis D était viable, mais ne résolvait pas notre verrou. Deux variantes ont ensuite été tentées avec Scrum. À part les avantages inhérents aux approches agiles, les résultats sur la productivité des projets de recherche

n'ont pas été probants, car il nous était impossible de caractériser et maîtriser la production de connaissances scientifiques. Pire, cela a encouragé encore plus le fonctionnement en silos des chercheurs, ce qu'on l'on voulait justement éviter. Puisque les approches issues de l'état de l'art avaient échoué, nous avons alors estimé qu'une thèse était nécessaire pour sortir de l'impasse.

Nos travaux en partie 1 ont confirmé à la fois l'inadéquation ontologique entre recherche et développement et les dépendances entre ces deux entités. Suite à nos travaux d'observation et d'analyse, nous avons très clairement conclu à l'incompatibilité fondamentale de ces concepts que sont la recherche et le développement, et leurs relations complexes avec le commerce (Balachandra & Friar, 1997; Gupta, Raj, & Wilemon, 1986; Verez, Carthy, Jouanny, & Pavie, 2015). Une analogie dont nous nous sommes imprégnés est celle de fluides non miscibles. Comment donc résoudre ce point primordial à la construction d'un Framework qui intègre réellement la recherche et le développement ? En retournant à notre analogie de fluide non miscible, la physique est claire à ce sujet : deux fluides non miscibles ne le seront jamais. Mais comment faire une émulsion ? Réduire la tension de surface entre ces activités semble une piste intéressante. Notre traduction de cet effet a été de réduire la granularité du processus de R&D aussi bien en termes d'entrées sorties que de bornage dans le temps.

Cependant, comme expliqué au chapitre 5, le modèle EV est basé sur un unique élément fondamental de production, un élément considéré comme homogène et de valeur additive. Pour EV, la nature de la production n'a pas d'influence explicite ni sur la structure ni sur le fonctionnement du modèle. Déterminer en quoi consiste la production ne fait pas partie du modèle EV. EV fonctionne et se base sur la simplification de tout élément de production à un élément indifférencié. Pour reprendre l'image des deux fluides non miscibles, EV standard ne permet pas de prendre en compte deux éléments de production dont les valeurs ne sont pas additives.

Néanmoins, au chapitre 8, nous avons mis en évidence que la complexité était bien prise en compte par le modèle EV par les éléments intermédiaires : ACWS,

ACWP et surtout BCWP, qui est la clef de voûte d'Earned Value, puis dans les index de productivité comme CPI.

Nous pourrions ainsi imaginer un modèle EV :

- 1) où l'élément fondamental de production serait basé, comme en EV classique, sur une activité non typée d'accroissement de valeur qu'elle soit de recherche ou de développement ;
- 2) et sur un élément dérivé complexe des données de base qui projetterait explicitement recherche et développement à l'instar de BCWP qui projette valeur, coût et délais.

Outre la difficulté d'envisager d'emblée un tel système, le risque de trop focaliser sur du management pur et non sur l'augmentation de la créativité est bien réel et trop important.

Nous avons alors basé notre approche sur une production explicitement et fondamentalement plurielle, c'est-à-dire, baser notre modèle sur une compréhension des éléments de base de production, des éléments qui ne soient pas simplement des livrables de recherche et de développement, mais des éléments qui reflètent la complexité de l'imbrication de la recherche et du développement. Concernant les éléments dérivés (tels que les BCWP, les CPI et autres KPI), nous utiliserons les généralisations que nous avons opérées au chapitre 5.

À noter que lors de cette décision, nous avons évalué que le risque à construire un modèle sur la base de plusieurs éléments fondamentaux distincts au lieu d'un seul peut conduire à un modèle trop spécifique et donc théoriquement moins puissant. Ce risque a été jugé moindre que celui d'aboutir à un modèle plus abstrait et plus puissant, mais qui réduit dommageablement et s'éloigne bien trop du problème à résoudre, qui pour faire court est d'augmenter la production de créativité d'une R&D industrielle.

6.2. L'architecture statique

Au chapitre 5 sur la déconstruction du modèle EV, une des conclusions a été d'attirer l'attention sur l'importance clé de prendre soin de caractériser l'élément de production. La complexité des dépendances des éléments fondamentaux entre eux est à intégrer dès le départ du modèle. Il s'agit de fonder le modèle sur l'identification d'éléments complexes qui ne soient ni indépendants ni déductibles d'un élément plus général. C'est par compilation des différentes conclusions des états de l'art internes et externes que nous sommes arrivé à déterminer le « bestiaire » des éléments de production fondamentaux d'une organisation R&D. Intégrés, puis à bâtir des lois de comportement méthodologique basés sur ces éléments.

6.2.1 Les éléments fondamentaux

Nous nous emploierons dans ce chapitre à structurer l'espace de production en plusieurs éléments fondamentaux :

- Une « IDD » (Intention De Découverte)
- Un « EDC » (Elément De Compréhension)
- Un « DEV » (DEVeloppement)
- Un « AT » (Asset Technologique)

Les éléments « IDD », « EDC », « DEV » et « AT » sont définis dans les paragraphes suivants. Ils ont des relations de dépendance ou de transformation. Leur couplage n'est pas une simple décomposition WBS. Certains éléments sont des a priori, qui peuvent néanmoins évoluer. D'autres sont des émergences que l'on ne peut pas provoquer directement. D'autres sont des éléments de transition, qui gardent une valeur de capitalisation scientifique sans limites de durée.

Leur définition ne doit pas à notre sens se présenter sous une forme rigide et procédurale. Chaque organisation doit pouvoir s'approprier les concepts, les décliner et les intégrer selon ses propres systèmes en place. À la manière agile,

nos définitions se présenteront sous forme de principes plutôt que sous forme d'exigences formellement spécifiées.

6.2.2 IDD

Principe n°1.

Une IDD - une Intention de découverte - est un objectif inatteignable.

Cet objectif détermine un périmètre de recherche. L'adjectif inatteignable est crucial pour ne pas le confondre avec l'objectif faisable d'un projet d'ingénierie.

Cette notion est le facteur qui autorise l'exploration. Étant par essence impossible à concrétiser, l'IDD ne pourra en aucun cas devenir un objectif et être piloté par des indicateurs prédictifs. À ce niveau de granularité conceptuelle du système, il est primordial de ne pas pouvoir objectiver cette finalité.

Au cas où l'IDD deviendrait faisable, soit le périmètre est clos, soit il sera rendu à nouveau inatteignable.

L'origine de ce principe directeur nous vient directement de l'état de l'art interne réalisé lors de l'analyse des projets du PMO (Cf 4.4.3.3, 4.4.3.4). Le cluster des « outlyer » pour lequel aucun mode de management de projet ne semble convenir présente des similitudes avec ce à quoi pourrait ressembler un projet de R&D intégrés, à savoir :

- Des projets en centre de services ADM4, qui ne sont pas bornés et n'ont pas de fin.
- Aucune définition de spécification fonctionnelle à priori de la réalisation des activités
- Des travaux guidés par des problématiques non fonctionnelles.

- Une grande partie du temps de production alloué sur la compréhension des problématiques et leurs résolutions.
- Une validation terminale basée sur la réalisation d'une solution fonctionnelle malgré des entrées non fonctionnelles.

Dans ce cas comme dans notre proposition et par analogie l'IDD se substitue à un client.

L'objectif d'un IDD est un attracteur qui ne donne aucune idée du comment l'obtenir. Il indique une direction, pas un besoin fermé. C'est l'itération des réalisations qui aide réflexivement à mieux comprendre et à préciser les attentes.

Nous sommes convaincues qu'assumer une part forte d'indéterminisme comme partie intégrante de la stratégie de production nous aidera paradoxalement à mieux en cadrer et piloter les opérations de production.

La motivation de l'élément fondamental IDD est donc de borner et dynamiser un périmètre de recherche. S'il est trop vaste, la dynamique de recherche va devenir exploratoire dans trop de domaines scientifiques et de compétences associées. Une première approche simple d'un IDD pourrait être une thématique de recherche comme c'est le cas dans la plupart des laboratoires académiques. Cependant, le contexte des R&D que nous ciblons, entre TRL3 et TRL7 requiert de rester en recherche appliquée.

6.2.3 EDC

Principe n°2.

Un EDC - un élément de compréhension – produit une compréhension nouvelle d'un verrou par l'intermédiaire d'un développement et d'une expérience dont on tire des observations.

L'objectif d'un EDC est d'apporter une compréhension nouvelle dépassant l'état de l'art. Cette compréhension peut être d'usage ou de finalité sur un élément de conception technique.

L'EDC est l'élément de production à la granularité la plus fine en termes de recherche et de développement. Il est le cœur du modèle proposé. Son origine est apparue très tôt dans nos travaux de recherche. (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Nous avons déjà identifié la problématique d'interface des activités de recherche et de développement, mais n'étions à ce moment-là pas encore en mesure de comprendre la place de ce verrou dans l'ensemble de la proposition, ni d'en expliquer son origine. Désormais cela nous paraît bien plus clair et pour bien en comprendre la structuration nous allons prendre le temps de détailler plus en profondeur son contenu et sa structure.

6.2.3.1 Unité temporelle et spatiale d'un EDC

Unité temporelle.

La gestion du temps en recherche n'est pas simple à synchroniser avec la gestion du temps en développement d'ingénierie (Coad, 2019; Kline, 1985; Mand, 2019). La recherche est lente, non prévisible, et souvent non linéaire. Le propre d'un projet d'ingénierie est d'anticiper et de prévoir selon un processus linéaire. L'imprévisibilité est un objet central de la proposition RDI : comment augmenter la créativité et la productivité de ruptures « scientifico-techniques ».

Dans notre proposition de méthodologie d'une RDI, les gestions des activités de recherche et de développement restent globalement asynchrones. En revanche, temporairement, pendant le déroulement d'un EDC, les gestions des activités recherche et développement sont synchrones.

Par ailleurs, en termes d'élément de production EV, l'unité de mesure d'un EDC respecte le sens qu'EV classique donne : la valeur gagnée d'un EDC suppose que les activités de recherche et développement associé sont terminées sans qu'il y ait besoin de les distinguer par des unités de mesure distinctes.

Durée.

La productivité d'une R&D est corrélée aux nombres d'assets technologiques produits. Plus les EDC sont petits et nombreux, plus les bifurcations de recherche sont nombreuses et plus la probabilité d'assets technologiques augmente. L'EDC doit pouvoir s'intégrer de façon la plus fluide dans notre pilotage agile EV. La granularité temporelle typique de construction d'un EDC devient organiquement, selon la complexité, soit la durée d'un sprint, typiquement 3 semaines, soit la durée d'un scrum de plusieurs sprints. Aller au-delà de 3 mois est fortement déconseillé.

Dans tous les cas, la caractérisation d'un EDC doit être faite de façon à ce que les sorties issues de l'expérimentation sous-jacente soient prévisibles et atteignables dans un horizon de temps le plus réduit possible. La détermination, par exemple de quelques semaines ou mois, n'est pas imposée par notre proposition de méthodologie. En revanche, plus courte est la durée d'un EDC, plus sa valeur augmente. Tout l'art consiste à déterminer adéquatement l'élément de compréhension par rapport à ce challenge de durée, tout en aboutissant en fin de l'EDC à un résultat conclusif sur la compréhension du verrou.

Nous adoptons sur ce point, un principe analogue à celui du sprint de la méthodologie scrum, excepté la fixité de la durée du sprint. À noter que nous n'avons pas pu préserver la contrainte de fixité parce qu'elle est incompatible avec la contrainte de synchronisation temporaire des activités de recherche et de développement que nous imposons.

Unité spatiale.

Comprendre un phénomène est un processus où l'efficacité est fréquemment observée si l'on procède petit pas par petit pas, ainsi que par sélection du plus petit nombre d'aspects du verrou à observer.

De plus, l'unité spatiale de l'EDC revêt un autre sens spécifique dans notre contexte : il relie un verrou du domaine de la recherche à un sujet du domaine de l'ingénierie.

6.2.3.2 Structure d'un EDC

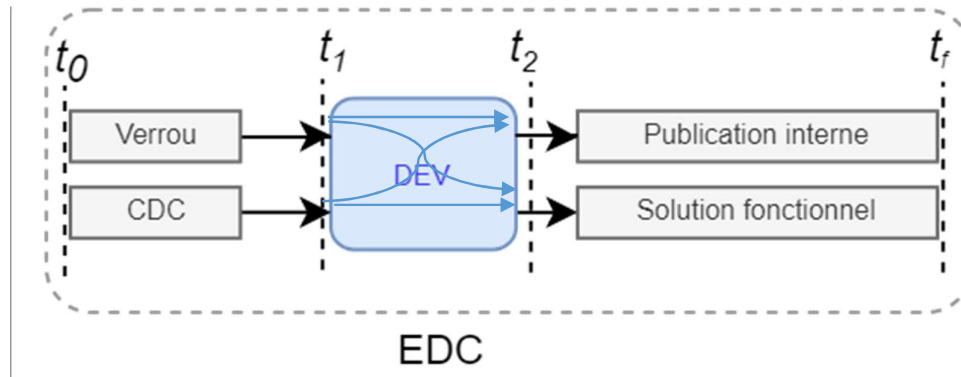


Figure 41. Construction d'un EDC

Notre EDC présente 2 entrées :

- Verrou
- CDC (Cahier Des Charges)

Il a été constaté que le verrou pouvait être décliné en deux variantes :

- « verrou-POC » pour valider une hypothèse.
On sait ce que l'on veut obtenir et comment ; alors on cherche à expérimenter, à valider. L'hypothèse peut être aussi bien une idée à soi qu'un article externe.
- « verrou-EXPLORATION » Pour mieux comprendre un phénomène, un fonctionnement.
On ne sait pas, ou imparfaitement, ce qui bloque ou ce qui se passe ; alors on cherche à comprendre en observant.

Il a également été constaté que le cahier des charges pouvait être décliné en plusieurs cas de figure :

- « CDC-POC »

Il s'agit stricto sensu du plan d'expérience correspondant au verrou

- « CDC-fonctionnel »

Focalise initialement sur le résultat fonctionnel pur sans tenir compte du comment. Il faudra alors enrichir avec un plan d'expérience pour que l'EDC puisse aboutir à une compréhension nouvelle du verrou associé.

Ces variantes constatées pour les verrous et pour les CDC ne sont pas déterminantes. C'est pour cela qu'elles ne sont pas formalisées dans les principes.

Notre EDC présente 2 sorties :

- Publication interne
- Solution fonctionnelle

La solution fonctionnelle est nécessaire pour produire les observations, elles-mêmes nécessaires pour écrire la publication scientifique.

La publication interne est une activité purement scientifique.

Il est important ici de pondérer ce que nous appelons publications internes. Cet artefact doit présenter l'ensemble des informations permettant d'aboutir à l'EDC. En cela la publication interne ne dévie pas d'une publication scientifique. De la même façon et avec la même rigueur, il devra présenter le problème, la méthode, les résultats et les conclusions. La grosse différence est sur le formalisme. Là où dans une publication certains « codes » de rédaction ou de structure sont exigés et nécessaires, notre publication reste flexible sur sa forme. En somme, notre publication interne garde le fond d'une publication scientifique, et s'adaptera au formalisme propre à l'organisation.

Dans de futures perspectives, nous utiliserons nos travaux sur l'analyse naturelle du langage (NLP), combinée à nos compétences en machine Learning et particulièrement les Réseaux de neurones profonds (DNN), pour évaluer dans quelle mesure un traitement automatique de ces productions de publications internes peut être un levier d'optimisation.

La solution fonctionnelle est l'ensemble des développements et le résultat des observations opérées au cours de l'EDC si celui-ci était de nature purement observationnelle ou des observations opérées en fin d'EDC sur le dispositif développé.

6.2.4 DEV

Principe n°3.

La durée des activités de la partie DEveloppement d'un EDC doit être prévisible et la plus brève possible.

L'élément fondamental « DEV » est la partie de l'EDC qui contient les activités de développement, d'ingénierie et de recueil des observations. Elle se déroule en cycle en V classique ou en cycle agile. L'important est d'arriver dans le temps borné prévu à conclure une preuve de concept, au minimum sur la problématique prévue ou sur un protocole d'observation. Outre la culture spécifique de l'équipe R&D, le choix entre V et agile dépend aussi du plan d'expérience lui-même.

La présentation de l'EDC a montré une condensation et une ségrégation des activités de pure ingénierie, entre les bornes t1 et t2 d'un EDC. Les activités de recherches proprement dites étant partout ailleurs : au sein d'un EDC entre t0 et t1 puis entre t2 et tf ; ainsi qu'en dehors des EDC tel que ce le sera expliqué dans l'architecture dynamique.

Dans notre situation de recherche appliquée, rien n'existe sans concrétisation de développements et d'observations. Nos recherches ne peuvent s'abstraire d'expérimentations nécessaires pour observer un phénomène ou une preuve de concept.

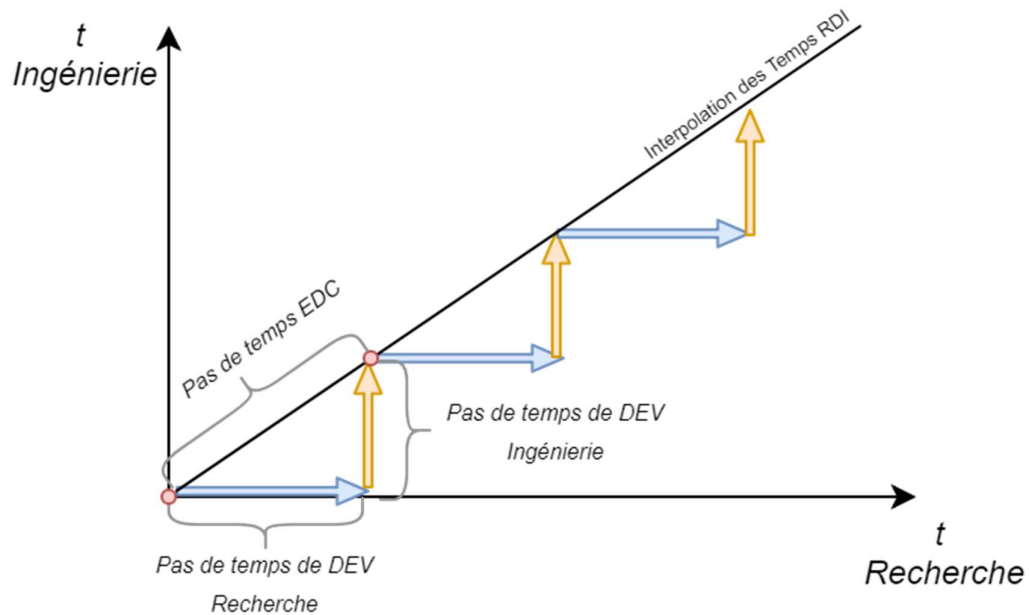


Figure 42. EDC, Recherche, Ingénierie

6.2.5 AT

Principe n°4.

L'Asset technologique (AT) est une émergence d'un EDC. Cette émergence n'est pas préméditée. À partir d'un EDC dont le verrou a été résolu, on décide de transformer le développement associé en une brique technologique réutilisable.

Le mot Asset a un sens spécifique dans notre organisation. Il ne faut pas le prendre au sens du vocabulaire français ou anglais habituel. Le plus simple est de considérer qu'il s'agit d'une brique technologique économiquement valorisable. En réalité, c'est un peu plus large que cela. Il est préférable ici de considérer qu'il s'agit d'une brique technologique réutilisable dans de futurs projets d'ingénierie.

Une fois que ce concept d'asset sera acquis, il sera temps à ce moment-là de l'élargir.

Il y'a cependant une subtilité qu'il est important de saisir, dans la différence entre un EDC et un asset technologique.

L'EDC est un asset scientifique, il apporte sa valeur dans la compréhension nouvelle d'une problématique jusqu'à lors insoluble. Ce qui le différencie est qu'il est autoporteur. Comprenons qu'il porte sa valeur même s'il est pris de façon isolée. L'asset technologique est une entité qui peut concaténer différents artefacts techniques. Il n'existe pas hors de la réalisation effective des EDC. Dans notre modèle, il y a beaucoup d'EDC et peu d'assets technologiques. Si un chercheur a en tête de planifier des recherches devant aboutir à un asset technologique, au mieux ce sera une innovation s'il a beaucoup de chance. La plupart du temps ce sera une variante technologique connue.

Ne pas confondre non plus la partie DEV d'un EDC avec un ASSET technologique. La raison ici est plus simple. Le DEV en question est conçu pour fournir des informations pouvant conduire à la levée du verrou. Une brique technologique demande d'adapter ou de fabriquer ce développement vers un dispositif réutilisable.

L'origine de cet élément est purement organisationnelle. Il est effectivement demandé aux départements recherche de produire à la fois de la science et de valoriser ses artefacts dans des projets clients. Ce grand écart nous a contraints pendant de nombreuses années à réaliser deux types d'activités différentes (Recherche puis Ingénierie). Ce modèle n'est ni plus ni moins que le modèle classique asynchrone du processus de R&D. Notre valeur ajoutée dans ce modèle n'était rien d'autre qu'un gain de temps dû au fait d'avoir la connaissance des 2 pans de la R&D. L'intégration que nous souhaitons dans notre modèle RDI nous a amenés à revoir notre stratégie locale vis-à-vis de contraintes globales (Sacépé & Lô, 2016).

La prise de position certes risquée est de considérer que l'asset produit n'existe pas tant que l'on n'observe pas le système, et que selon les principes

d'architecture des systèmes complexes, il survient en émergence dès lors que l'on observe le système.

Introduire et systématiser ce paradigme dans notre modèle, offre un confort opérationnel très important, dans le sens où l'Asset technologique ne requiert pas d'effort supplémentaire pour être obtenu. Il permet à l'asset technologique d'avoir une vie propre et indépendante de la stratégie de recherche. Il est en effet dans ce cas facile de factoriser et transférer l'asset technologique dans un cadre qui n'avait absolument pas été imaginé et anticipé initialement. La créativité à imaginer des cas d'usage et des produits est concrètement la limite dans la refactorisation.

Pour illustrer ce propos, nous pouvons prendre comme exemple concret les travaux d'optimisation topologique réalisés dans notre entité de recherche.

Initialement les travaux ont été menés avec comme IDD la volonté de découvrir comment automatiser informatiquement les mathématiques et la mécanique pour créer des structures les plus légères possibles et satisfaisant des contraintes de résistances mécaniques. Sur la base de ces travaux ayant successivement produit différents EDC, il nous a été possible a posteriori de constituer deux assets. Le premier pour les caisses en blanc dans l'automobile, et le second pour l'impression 3D de prothèse patient spécifique. L'émergence de ces deux situations n'a jamais été planifiée lors du démarrage des EDC. En complément il est intéressant de noter que ces deux cas ont à leur tour produit de nouveaux verrous qui ont été réintégrés dans un back log d'EDC pour cet IDD.

Nous appliquons ici stricto sensu les méthodes agiles itératives d'incrément, non pas sur des activités de production d'ingénierie, mais sur des activités de production de connaissance et de compréhension.

6.3. L'architecture dynamique

La motivation de notre méthodologie est d'augmenter la probabilité de produire de bons assets technologiques (cf. 6.2.5). Contrairement aux approches habituelles où le développement des assets technologiques est mené directement comme un

projet d'ingénierie, notre méthodologie propose que les assets technologiques soient une conséquence a posteriori. En effet, le constat avec les approches habituelles est que plus on planifie un asset, plus la probabilité qu'il ne soit pas un bon asset technologique est élevée !

Nous proposons d'expliquer dans ce chapitre comment mettre en mouvement les éléments fondamentaux IDD, EDC, DEV et AT. Nous verrons des situations particulières. Enfin, nous donnerons des perspectives de KPI.

6.3.1 Les actions principales

Les éléments fondamentaux IDD, EDC, DEV sont mis en mouvement dans le but d'augmenter la probabilité de produire de bons assets technologiques. Nous nous appuierons sur les actions principales suivantes :

- Maintenir à jour l'IDD, son objectif et la carte des EDC.
- Rechercher en permanence la carte la plus exploratrice des futurs EDC, en particulier par multiplication des bifurcations, via la décomposition de chaque EDC en plusieurs EDC, et l'adoption d'angles de vue alternatifs et contradictoires.
- Scruter en permanence les possibilités d'appariement entre les EDC et les opportunités de sujets appliqués externes au laboratoire.
- Réaliser un EDC, du verrou au DEV et à la publication interne.
- Faire émerger des ASSETS.

Cette liste ne signifie pas que les actions sont à enchaîner dans cet ordre. Elles sont toutes réalisables en parallèle. À chaque organisation de contraindre selon ses besoins. Notre méthodologie s'éloigne volontairement d'une vue de management de processus. Non seulement chacune a ses propres processus, mais surtout, l'objectif de notre méthodologie est de favoriser l'imagination créatrice.

6.3.2 Maintenir à jour l'objectif et les EDC d'une IDD

Principe n°5.

Établir et maintenir à jour l'Intention De Découverte et les EDC qu'elle contient, selon au moins les trois catégories suivantes :

- La liste ou le schéma des EDC déjà réalisés, y compris la parution des publications internes
- La liste ou le schéma des EDC caractérisés par une problématique d'un verrou dont la compréhension est planifiée par un plan d'expérience et des observations.
- La liste ou le schéma des EDC précaractérisés par un verrou et un degré de faisabilité, l'énoncé du verrou ne permettant pas en l'état de définir un plan d'expérience

Cette action est une consolidation de l'IDD et des EDC qu'elle contient.

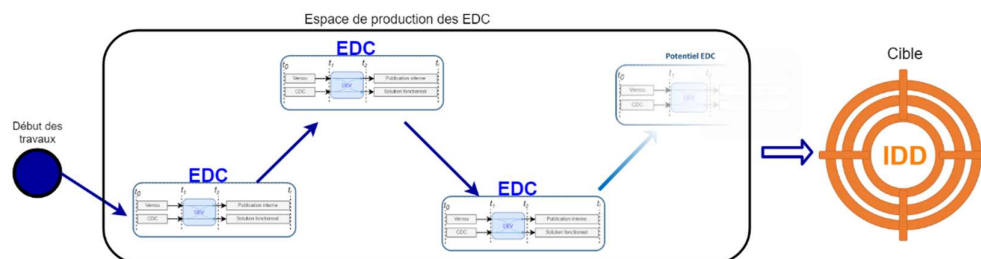


Figure 43. L'IDD et sa cartographie des EDC

La motivation et la façon de définir une IDD est décrite au chapitre 6.2.2.

En bref, pour rappel, une IDD - une Intention de découverte - est un objectif inatteignable. Il est représenté sur le schéma par la cible arc-en-ciel à droite. L'état de l'art général associé à l'IDD est symbolisé par la forme orange à gauche.

Par extension et par convention, l'IDD contient ces éléments. Il est par ce fait, la structure la plus englobante de notre méthodologie. Le schéma symbolise la fonction de l'IDD d'encourager la multiplication des EDC entre un état de l'art et un objectif infaisable.

Pour des questions d'ergonomie, par exemple une taille du support graphique trop petite par rapport au nombre d'EDC à représenter, sur le graphique ci-dessus, un EDC peut contenir hiérarchiquement plusieurs EDC enfants. Ce point ne fait pas partie de notre méthodologie bien que nous avons eu recours à ce type de représentation. En revanche, si rassembler plusieurs EDC constitue une problématique, alors ce doit être un nouvel EDC à part entière. Autrement dit, notre méthodologie considère que les EDC sont mis à plat. Elle dé-hiérarchise.

6.3.3 Rechercher la carte la plus exploratrice des futurs EDC

Principe n°6.

Rechercher en permanence la carte la plus exploratrice des futurs EDC, en particulier par multiplication des bifurcations grâce à une segmentation de chaque EDC en plusieurs EDC enfants et grâce à une adoption d'angles de vue alternatifs et contradictoires.

La carte des EDC est le terrain par excellence du chercheur RDI. Un terrain inconnu. La cartographie est un exercice d'hypothèses. Le chercheur esquisse des variantes de carte. Le verrou de chaque EDC doit être un problème bien posé.

Un EDC trop gros ou trop complexe ne permet généralement pas d'y associer un plan d'expérience dont le déroulement est un projet prévisible. Il faut segmenter cet EDC en EDC enfants plus petits et moins complexes jusqu'à ce que chacun soit un projet prévisible. Remarque importante : la segmentation est à interpréter au sens d'une recherche de la compréhension, autrement dit, il faut encourager l'identification d'éléments de compréhension *contradictoire*. Autre remarque importante : lorsque l'on parle de segmentation d'un EDC trop gros ou trop complexe, il faut tout autant décomposer en éléments de compréhension plus petits qu'au contraire identifier des éléments de compréhension portant sur la globalité d'un sujet et de sa complexité.

L'augmentation du nombre des EDC multiplie massivement les bifurcations et les chemins possibles.

La qualité de ce travail requiert en parallèle une compréhension de :

- L'état de l'art externe classique
- L'état de l'art interne via l'ensemble des publications internes de tous les EDC de tous les IDD de l'organisation
- Ainsi que la scrutation des sujets de recherche et/ou de développement expérimental des projets externes. Ce point précisément est traité dans le chapitre suivant.

La relation, entre un IDD ambitieux dans les verrous à comprendre et à résoudre et les EDC devant être nombreux et axés sur des productions de connaissance originale, est conceptuellement complexe. Une des analogies qui permet de mieux se l'approprier est celui du principe de luminosité. Provenant initialement de l'astrophysique, la luminosité est une mesure simple du rayonnement d'une étoile, elle fait appel à des notions physiques fondamentales de quantité de photons par unité de surface. Cette mesure de luminosité a été reprise et dérivée à un niveau d'abstraction supérieur par le LHC au CERN et les organisations similaires, pour mesurer la densité de collisions dans les accélérateurs de particules. Sans rentrer dans les détails, cette mesure abstraite sans dimension permet d'évaluer la résolution de lecture d'une collision par unité de temps. En effet à « lumière » constante si la surface se réduit, alors la luminosité augmente, ce qui signifie que l'on est capable d'observer plus d'évènements.

Nous avons repris ce concept en faisant l'analogie entre la capacité de détecter des évènements rares issus d'une collision au LHC et notre capacité de détecter une source de création dans nos travaux. Un découpage fin et nombreux des EDC doit selon nous permettre de réduire l'espace des verrous, d'en réduire la durée d'investigation et donc d'augmentation la luminosité de production de création. Nous verrons que ce facteur de luminosité tient un rôle dans la définition et le maintien à jour de l'ensemble des EDC pour une IDD donnée.

6.3.4 Appairer Verrou et Projet externe

<i>Principe n°7.</i>

Scruter en permanence les possibilités d'appariement entre les problématiques de compréhension des EDC et les opportunités de développement expérimental externes au laboratoire.

D'une façon opérationnelle, les EDC étant par construction des petits focus et les opportunités de recherche et/ou développement expérimental externes au laboratoire étant souvent plutôt de taille importante et complexe, il s'agit d'extraire la portion de l'opportunité externe qui correspond à un EDC.

Les possibilités d'appariement sont bidirectionnelles. Les opportunités externes peuvent générer l'idée d'un nouvel EDC au moins autant que les analyses des états de l'art interne et externe (cf. 6.2.3)

À noter que si un EDC doit être réalisé, mais ne trouve pas d'opportunité de développement externe, un développement interne s'impose.

Pour éviter au maximum ces situations, les cycles de vie des EDC sont complètement disjoints entre eux et leur petitesse augmente la probabilité d'un appariement verrou – projet externe *indépendamment de l'IDD*. C'est un effet positif supplémentaire de concevoir l'IDD comme un objectif infaisable.

Dans la solution RDI proposée, la recherche s'impose donc des verrous qui soient à la fois dans l'espace de ses recherches et dans l'espace des sujets clients. La segmentation et l'ajustement s'effectuent en continu. Du coup, la recherche peut s'accommoder de ne pas maîtriser le timing des occurrences des développements client.

S'il s'avère malgré tout qu'un EDC doit être réalisé, mais ne trouve pas d'opportunité de développement externe, la mitigation est de réaliser le DEV de l'EDC hors contexte client. Dans ce cas, il faut être conscient qu'on s'éloigne de la méthode RDI proposée, sachant que sa motivation est de créer à la fois en dehors

des rails des a priori de recherche et en dehors des solutions d'ingénierie connues et déployées par les experts du développement.

6.3.5 Produire un EDC

:

Principe n°8.

Produire un Élément De Compréhension, c'est :

- *Définir un verrou d'une taille la plus petite*
 - o *Qui permet d'augmenter la luminosité de l'IDD,*
- *Y associer un plan d'expérience ou un développement planifiable*
 - o *Qui permet temporairement de synchroniser les activités de recherche et de développement*
- *Produire un dispositif ou une solution fonctionnelle*
 - o *Qui permet de générer les observations nécessaires*
- *Rédiger une publication interne*
 - o *Qui permet à tous les chercheurs de tous les IDD de l'organisation d'obtenir une compréhension fine de l'énoncé et de la résolution de tous les verrous*

L'EDC est la clef de voûte de notre méthodologie.

La première sous-action – définir un verrou d'une taille la plus petite possible – est l'occasion de suggérer une métrique originale : la luminosité d'un IDD : plus petits sont les EDC, plus l'IDD est lumineux. L'ensemble de ces EDC forme une espèce de torche électrique qui permet d'éclairer l'inconnu formaliser dans l'Intention De Découverte.

6.3.5.1 Phasage d'un EDC

L'EDC se décompose en plusieurs phases :

- L'ébauche verrou de l'EDC
- La caractérisation complète de l'EDC
- Le déroulement de l'EDC
- La production finale de l'EDC

Ces phases sont isolément réparties dans les autres actions de notre méthodologie. Les reprendre ici peut être vu comme une redondance. L'intérêt est de les présenter ici le phasage de l'EDC orthogonal aux autres actions.

La première phase décrit le verrou, au moins succinctement, et attribue une note de faisabilité. Tant que l'effort de compréhension d'un EDC n'est pas traduisible dans un plan d'expérience ou un développement expérimental planifiable, l'EDC reste dans la phase d'ébauche de sa caractérisation.

Lors de la phase de caractérisation complète, nous affinons en parallèle le verrou dont au moins une problématique est à éclaircir, et le cahier de charges du plan d'expérience ou du développement expérimental associé. Par le vocable « en parallèle » nous signifions que le cahier des charges peut amener une modification de l'énoncé du verrou et réciproquement. Une remarque sur la phase de caractérisation complète. Nous y définissons en parallèle un cahier de charges, selon les dogmes et les principes agiles, mais également un verrou et une problématique à lever durant ce laps de temps. Cette particularité peut sembler triviale, mais présente un effet perturbateur intéressant. La contrainte de définir un verrou obligera le système et ses acteurs à se perdre, à explorer et observer, un aspect technique en particulier. C'est ce que nous attendons bien évidemment lorsqu'il s'agit d'apporter une contribution scientifique. Cette production devra s'accompagner et s'équilibrer avec une rigueur de production, pour atteindre l'ensemble des objectifs et caractéristique définie dans le cahier des charges. Lors de cette étape, nous ne définissons ni processus, ni méthodes, ni bonnes pratiques, nous laissons la fusion opérer de façon tacite. Le temps de déroulement étant suffisamment court pour rééquilibrer les déviations possibles au sein d'un EDC sans impact trop important sur l'ensemble du projet.

La troisième phase, le DEV, est composée d'activités d'ingénierie et d'observations.

La dernière phase finalise l'EDC avec la publication interne et la capitalisation des produits résultant du travaux d'ingénierie, dont la solution fonctionnelle ou la façon de la reproduire.

Dans de futures perspectives sur de prochains travaux, nous comptons faire évoluer notre modèle EV adapté à la recherche en évaluant la durée optimale de chaque phase, pour maximiser la valeur dans le plan bijectif entre valeur de recherche et valeur de développement.

6.3.5.2 Bonnes Pratiques d'un EDC

L'usage de l'EDC qui est structurant dans notre modèle est délicat aussi bien dans sa caractérisation que dans son usage. Même s'il nous paraît essentiel de ne pas trop en figer la définition, pour garantir une adaptation flexible à différents contextes. Nous proposons néanmoins ici quelques bonnes pratiques pour optimiser la méthodologie RDI .

6.3.5.2.1 Précision :

Le verrou de l'EDC doit être défini avec précision. C'est sous cette condition que l'évaluation des artefacts produits conclura à l'atteinte ou non de l'EDC. De plus une définition précise permet de différencier les EDC, les uns des autres, et donc d'en multiplier le nombre autour d'une même problématique.

6.3.5.2.2 Standardisation :

L'EDC doit être défini de façon standard. La façon dont est défini l'EDC va influencer sur les éléments de production en sortie. La finalité opérationnelle du système est de pouvoir faire émerger des assets à partir de certains des EDC. Il est structurant d'avoir des éléments de définition commune, et donc un standard pour faciliter les assemblages.

6.3.5.2.3 Alignement des espaces et des temps :

Nous avons vu au cours des chapitres précédents que notre modèle visait à intégrer Recherche et Développement non pas en forçant les 2 systèmes à se contraindre sous le même mode de management, mais bien d'identifier et de comprendre, les interactions communes de ces 2 types d'activités. Dans cette recherche la notion d'espace et de temps sont 2 leviers importants dans notre proposition, il est donc nécessaire d'apporter un cadre à leur usage.

En ce concerne la pratique d'espace, l'énoncé du verrou est à synchroniser avec le cahier des charges. Plusieurs cas de départ :

- Le plus souvent, le verrou est défini alors que le cahier des charges ne l'est pas. Dans ce cas, ce dernier est adapté en plan d'expérience pour traiter le verrou. Il peut s'agir d'un problème pur ou d'une variation de contexte de cas d'usage ou de performance d'un problème générique. Éventuellement, le verrou est ajusté.
- Parfois un cahier des charges est déjà défini et un verrou est suspecté. On choisit alors un IDD contrairement au cas précédent, il ne s'agit pas d'adapter le verrou, mais de le rédiger sur mesure et en parallèle de concrétiser une problématisation dont le cahier des charges est en totalité, ou partiellement le plan d'expérience. Dit autrement, le cas précédent suit une tendance « push » et ce cas suit une tendance « pull ».

En ce qui concerne le temps

Le propos ici est la synchronisation interne d'un EDC et non la synchronisation de l'ensemble des EDC. Le cycle de vie « recherche » est indépendant de celui des « développements ». Or dans la solution RDI, lors du déroulement d'un EDC, les deux cycles R et D doivent respecter les mêmes t_0 et t_f . La définition aussi bien du verrou que du CDC doit être construite et, au besoin, adaptée de telle sorte qu'elle satisfasse la contrainte de pouvoir être déroulée dans la même période de temps.

6.3.6 Faire émerger des assets

Principe n°9.

Détecter en permanence les EDC qui seraient de bons candidats à être transformés en briques ou assets technologiques.

Un bon candidat EDC, ou bien même une collection d'EDC ne sont pas directement transférables en un ASSET Technologique. Cela peut demander de nouveaux EDC intermédiaires. C'est tout à fait explicable par notre méthodologie qui tient compte de l'évolution TRL 3 vers TRL 7. La notion d'émergence choisie pour parler des assets n'a pas été prise en compte de façon anodine. Il s'agit d'un des phénomènes caractéristiques des systèmes complexes que nous cherchons à stimuler et provoquer. Il ne nous semble pas judicieux d'aborder un projet de Recherche sous sa finalité « produits et solutions », mais bien de faire en sorte qu'à un instant t , en observant le système des EDC nous puissions être en mesure de définir un asset constitué d'une part de ces EDC et d'une part d'activités de développement complémentaire. Il s'agit ici en fin de compte du principal élément d'évaluation de réussite de notre modèle RDI. La méthode viendrait ainsi combler un vide reconnu dans le continuum d'innovation (Hudson & Khazragui, 2013; Klitsie, Price, & de Lille, 2018). Voir Figure 44.

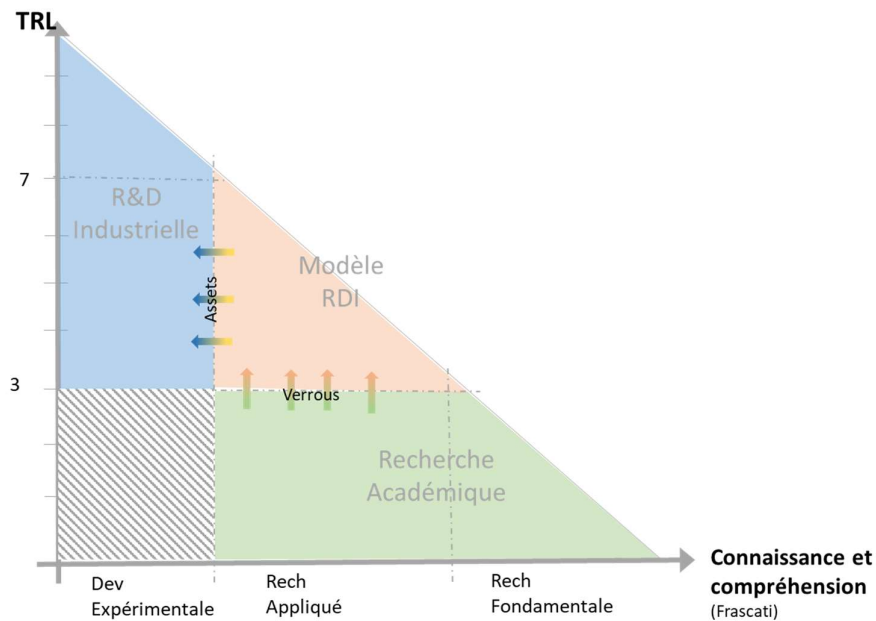


Figure 44. R&D industrielle, Recherche académique et le Modèle RDI

Cette illustration d'émergence d'asset est présentée opérationnellement dans le chapitre suivant) qui traduit une déclinaison possible à la façon dont se produit cette émergence et qui a été en partie observée entre notre entité de recherche et les opérations.

6.4. Une illustration en contexte

L'approche RDI a été conçue pour ouvrir l'effort de compréhension à des terrains inconnus et non pour réduire l'inconnu à des variantes connues. L'apport visé par ce chapitre est double :

- Faciliter l'appropriation des concepts RDI via l'illustration d'un cheminement en étapes successives, à niveau de complexification incrémentale.
- Suggérer que ce cheminement n'est pas la méthodologie RDI, mais un cheminement parmi un très grand nombre possible

- Dans cette illustration, les étapes correspondent à l'augmentation du niveau de maturité observé au fil des 5 dernières années entre les projets de recherche Altran Est et les divisions opérationnelles d'ingénierie auxquels elles appartiennent.

Etat t1

- Le lien entre recherche et business est ponctuel
- La sortie de l'EDC sur l'élément de solution fonctionnelle est intégrée comme une brique dans le développement spécifique.
- Les opérations de production de l'EDC sur le transfert entre le CDC et la solution fonctionnelle suivent les exigences du client
- Le client tire les orientations de la production de l'EDC

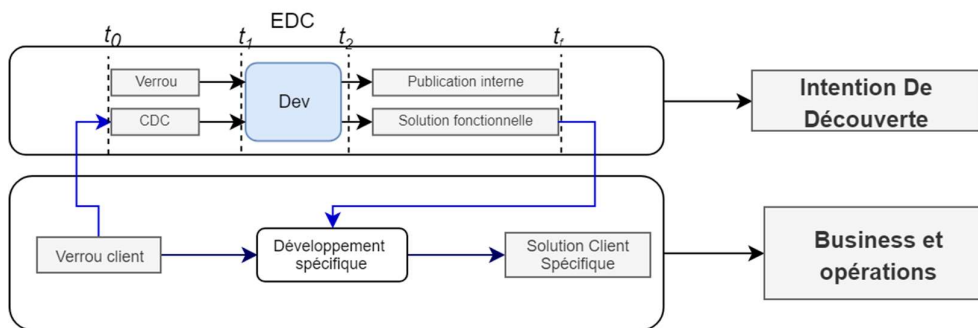


Figure 45. Dynamique RDI (t1)

C'est à ce niveau que sont créés les premiers liens entre Recherche et Opérations. La façon dont a été créé le déroulement de l'EDC permet d'intégrer des contraintes spécifiques à la création de la solution fonctionnelle, sans créer d'effet de contrainte trop important sur la façon de lever un verrou. Il s'agit plus d'influence que de contrainte. Nous conservons donc une grande capacité de création et d'exploration dans la couche scientifique du déroulement de l'EDC tout en orientant le plan expérimental et la création fonctionnelle selon les besoins et orientations fournis par le client qui résident dans la couche opérations. L'Etat 1 est le niveau minimal d'échange entre recherche et opération du modèle RDI.

Etat t2 :

- Création de liens entre une succession de productions d'EDC entre eux et avec le verrou client.
- L'interaction opération et recherche reste bornée à une problématique précise.

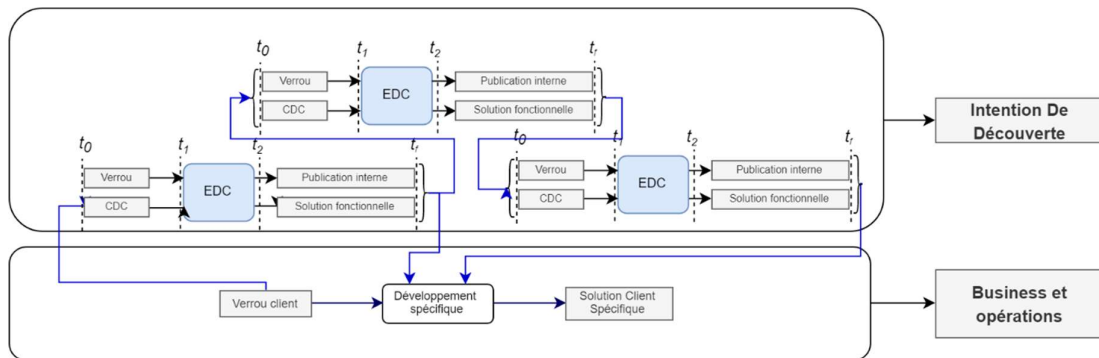


Figure 46. Dynamique RDI (t2)

On retrouve au niveau de l'état 2 une complexification du système. Ici apparaît la notion de continuité dans la production des EDC. Dans l'état 1 l'intention de découverte apparaissait, mais ne présentait que peu de sens, car chaque EDC était produit isolément. Dans ce nouvel état du système, il prend du sens pour permettre d'aligner un ensemble d'EDC. Il joue in fine le rôle d'attracteur, et même si chaque production d'EDC semble faiblement liée à ses voisins, successeurs et prédécesseurs, l'ensemble converge vers l'attracteur. L'effet constaté est qu'il est facile de connecter et créer du lien entre plusieurs EDC. Cet effet se retrouve également dans l'espace des opérations, car le développement spécifique du client intègre plusieurs blocs de construction d'EDC.

Etat Tf ou Etat 3 :

- Ensemble logique d'EDCs qui convergent vers l'Intention De Découverte.

- Concaténation à posteriori d'un ensemble d'EDC pour construire une solution générique
- Émergence d'un état du système qui tend vers du « Pull » et un état du système qui tend vers du push.
- Transfert au sein de l'espace des opérations d'une solution push spécifique vers une solution pull, via une étape de généralisation de la solution.

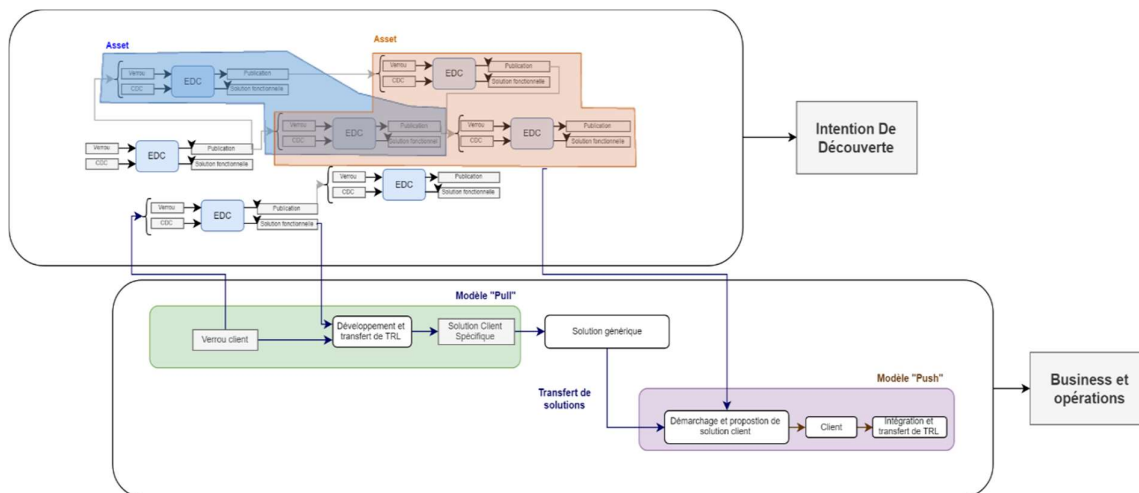


Figure 47. Dynamique RDI (t3)

L'état 3 est l'état le plus complet de l'architecture que nous proposons. Deux nouveaux concepts viennent s'ajouter à ceux déjà existants. La notion d'asset est à voir comme une instance ponctuelle de l'espace et du temps. L'asset technologique est un EDC ou un regroupement d'un ensemble d'EDC qui sur la base d'une architecture produit vient satisfaire un besoin plus global. On peut ici en quelque sorte parler de produits sur étagère, à la façon d'une solution PMO ADM4. L'asset technologique évolue au cours du temps et peut « emballer » plus, moins ou différents éléments de compréhension.

Une question clé que l'organisation doit se poser est d'éviter que les personnes construisant les assets technologiques ne soient pas celles qui ont construit les EDC. Dans toutes les réponses de l'organisation, nous approchons ici la solution des paradigmes R&D. L'EDC doit rester attiré par l'attracteur Intention De

Découverte, et l'asset technologique doit être guidé par le business et les opérations. Les deux partagent un espace commun en gardant leurs exigences propres.

Le concept qui émerge ici est celui de généralisation de la solution. Bien que ce concept ne soit pas directement lié à l'espace de la recherche qui nous préoccupe, cet effet émerge de l'ensemble. Une solution qui a été conçue spécifiquement pour un client et qui repose sur l'adjonction d'EDC produit dans l'espace de recherche est une façon de construire un asset technologique. Il prend vie dans un contexte client et moyennant des phases de réingénierie est transposé à de nouveaux contextes.

Dans cette architecture globale, nous retrouvons donc une décélération des objectifs entre recherche et opérations, permettant un déroulement asynchrone des activités. Ainsi qu'une capacité d'hybridation entre des méthodes de push innovation et de pull innovation.

Pour conclure ce cheminement basé sur la méthodologie RDI, rappelons l'introduction que nous en avons faite : la méthodologie RDI est un ensemble de principes qui permet un très grand nombre de cheminements. Peu importe les processus que l'organisation mettra en place pour implémenter les principes méthodologiques RDI, ces processus ne seront qu'une façon parmi beaucoup d'autres façons. La méthodologie RDI n'est pas un processus de management. C'est davantage une pédagogie.

6.5. Perspectives KPI

Nous discutons ici du pilotage, de la productivité et des KPI d'une RDI. Les entités hiérarchiques dégagées par notre proposition méthodologique sont l'organisation RDI qui contient l'ensemble des IDD et l'ensemble des EDC technologiques.

Dans un premier temps, nous étudierons trois périmètres de définition des KPI : fonctionnel, opérationnel et structurel. Ensuite, nous proposerons des KPI et la méthode pour les obtenir, pour chacun des éléments de base de RDI. Enfin, nous

énoncerons les deux principes RDI sur les KPI qui résultent de ces travaux. Contrairement aux neuf autres principes de la méthode RDI, les deux principes sur les indicateurs n'ont pas encore été validés par des expérimentations. C'est un des objectifs majeurs des travaux envisagés en post-doc 2019.

6.5.1 KPI : plusieurs périmètres

6.5.1.1 KPI : périmètre fonctionnel

Le périmètre des KPI traités dont il est question dans ces travaux sont ceux qui contribuent à des prises de décision, en incluant autant les orientations long-terme que des choix davantage court-terme. De plus nous avons restreint la recherche de KPI sur l'augmentation de la créativité.

En effet, d'une part, la culture des organisations R&D focalise sur les KPI de la gestion de projet. La question de la créativité est bien abandonnée à l'individu est ne dépend par conséquent que de ses propres capacités et de son bon vouloir (Cropley & Kaufman, 2012; Cropley, Kaufman, & Cropley, 2011; Sarooghi, Libaers, & Burkemper, 2015; Woodman, Sawyer, & Griffin, 1993). Admettons que le PMI est un cadre représentatif de la gestion de projet, et que nous inspectons les différents piliers constituant le modèle, aucun KPI associé n'est éligible pour cibler spécifiquement la créativité. Elle serait au mieux un artefact géré comme n'importe quel autre artefact. D'autre part, il est constaté que plus le pilotage (*toujours selon le référentiel PMI*) est fort, moins la créativité est élevée. (T. Amabile, Hadley, & Kramer, 2002; T. M. Amabile, Conti, Coon, Lazenby, & Herron, 1996). Autrement dit, les KPI de la gestion de projet ne sont pas pertinents, mais pire, nous affirmons qu'ils sont contreproductifs de créativité.

Nos travaux sur les KPI cherchent ainsi volontairement à s'éloigner des KPI du type PMI afin d'en éviter les pièges et la contre-productivité en matière de créativité. Confrontons CMMI et PMI sur ce sujet. CMMI est plus large que le PMI puisque la gestion de projet représente seulement deux process area sur plus de 20 « *process area* » (Martins, Gusmão, & Moura, 2003; von Wangenheim, Silva,

Buglione, Scheidt, & Prikladnicki, 2010). CMMI, bien qu'il s'agisse d'un modèle idéal d'organisation et non pas d'un système qui prescrit une solution à implémenter, est un outil de mesure. En déduire des KPI est natif. CMMI étant construit sur des « bonnes pratiques », la démarche serait de collecter les bonnes pratiques des organisations de Recherche & Développement Intégrés et de créer un modèle CMMI-RDI. Malheureusement les organisations RDI étant à déployer, en dehors de nos expérimentations locales, les bonnes pratiques ne peuvent pas être statistiquement constatées et sont donc à inventer. En inventant des bonnes pratiques théoriques, on affaiblit considérablement la puissance de CMMI dont la force réside sur le recensement des bonnes pratiques réellement constatées sur le terrain. Par analogie la situation est identique aux réseaux de neurones dont l'apprentissage requiert de nombreuses données. En outre notre expertise en CMMI montre que son point faible est justement la lourdeur si les auditeurs et les conseillers d'un hypothétique CMMI-RDI n'ont pas un vécu terrain. C'est une contre-indication supplémentaire. Nous considérons que CMMI est clairement une bonne piste à envisager, mais non encore praticable.

Les métriques CSDS sont intéressantes puisque la créativité est dans la cible (Cropley, 2016; Cropley & Kaufman, 2012). Cependant, elles sont peu répandues bien qu'anciennes. Un des soucis est la base subjective du CSDS. La segmentation en indicateurs et sous-indicateurs aide à qualifier le résultat, voire à décider de futures alternatives, cependant la cotation effective est subjective.

En résumé, des KPI style PMI sont à conserver comme des outils d'une organisation R&D, mais pas pour piloter spécifiquement la créativité. Des KPI style CMMI ne peuvent être construits que lorsque les expériences RDI seront nombreuses. Des KPI style CSDS sont envisageables, mais sont à challenger avec des KPI moins indirects et moins subjectifs qui restent à imaginer.

Bien qu'il existe des alternatives, au PMI dans le domaine de la gestion, à CMMI dans le domaine de l'amélioration des organisations, à CSDS dans le domaine de la qualification de la créativité fonctionnelle, l'état de l'art nous amène à prédire des conclusions semblables. Le prouver par un plan d'expérience comparatif ou bien même élargir le périmètre de l'une ou l'autre de ces 3 pistes à la créativité

dans les RDI est une charge de recherche incompatible dans les délais impartis. Toutefois, s'il n'est pas doté de KPI, le modèle RDI proposé ne peut être déployé en contexte industriel. Pour sortir de ce dilemme, nous admettons que la créativité n'est pas pilotable. Ce qui est envisageable, c'est de piloter les conditions d'augmentation de la probabilité de créativité. Autrement dit d'identifier des valeurs de mesures indirectes qui ont des effets de bords sur la créativité.

Une analogie de cet effet indirect est le processus de qualité produit & process où la qualité produit serait mesurée par un canevas de type CSDS et la seconde par un audit des conditions de la probabilité de créativité et des conditions d'augmentation de cette probabilité.

6.5.1.2 KPI : périmètre opérationnel

Identifier les bons KPI puis les spécifier correctement est crucial. Cette approche opérationnelle peut sembler triviale, cependant comme W. Edwards Deming le dit, et ce n'est toujours pas démenti : « De l'opinion de nombreuses personnes de l'industrie, rien n'est plus important pour les transactions en business que l'usage des définitions opérationnelles. On devrait aussi ajouter qu'aucune exigence de l'industrie n'est aussi négligée que celle-là ! » (Barjis, 2008; Pohl, 2010).

Les « bons KPI » signifie qu'il ne devrait pas y avoir d'objectif principal qui ne soit pas mesuré, et inversement qu'il ne devrait pas y avoir de mesure qui ne soit pas utilisée dans les prises de décision. Un support précieux de cette bonne pratique est le process area « Measurement & Analysis » de CMMI, et en particulier le premier but de ce process area : « Les objectifs et les activités de mesure sont alignés avec les besoins et les objectifs d'information identifiés » (Lane, 2018; Samsonowa et al., 2009). La créativité – cible de nos travaux – est un domaine particulièrement dangereux en termes de profusion de mesures non alignées opérationnellement. Aller contre la « mesurite galopante » (Basque, 2011) s'applique pleinement. Une manière de s'en prémunir est de structurer par niveau opérationnel.

Pour distinguer opérationnellement les KPI par type d'usager, et faciliter ainsi l'alignement sur des besoins spécifiques mieux identifiés, nous proposons les parties prenantes suivantes, et les attentes identifiées.

1. Avec le top management, commerce et marketing

Comment aider à :

- Établir un lien entre ventes et effort R&D, nombre d'Assets Technologiques, leurs caractéristiques d'innovation, la pénétration en fonction des secteurs industriels
- Impliquer activement le staff commercial à la définition des mesures
- Décrire a priori un guide d'interprétation efficace des données qui seront remontées
- Repérer les rapports qui sont porteurs des données les plus utiles
- Ce que le feedback soit régulier

2. Avec chaque chercheur, responsable d'un axe de recherche

Comment l'aider à :

- Comprendre en quoi les KPI de productivité RDI supportent d'une part l'isolation et la liberté nécessaires pour que les recherches soient de vraies ruptures, et d'autre part le lien nécessaire avec la vente des assets technologiques
- Obtenir l'agrément des équipes pour l'effort à collecter les mesures
- Fournir un feedback régulier aux équipes

3. Avec les équipes projet

Comment aider chacun à :

- Reporter les données de façon précise et au moment opportun
- Dialoguer pour cibler les données vitales

Pour distinguer opérationnellement les KPI par type d'artefact, nous proposons de distinguer les vues suivantes.

- Organisation
- Asset Technologique
- DEV
- EDC

- IDD

6.5.1.3 KPI : Périmètre structurel

La structure des KPI a une influence pédagogique sur la productivité des organisations RDI. La difficulté est d'arriver en même temps à rendre objectives et quantitatives, les mesures sur une notion aussi peu mesurable que la créativité et d'autre part à ne pas dénaturer la puissance de la créativité. Ce serait un comble que les KPI contribuent à détruire l'objectif visé.

Pour contrer de façon méthodologique cet effet pervers éventuel, nous proposons de veiller à un KPI spécifique sur le risque de manquer d'imagination.

En adoptant une approche résolument méthodologique, et étant donné la maturité non industrielle de RDI (Jean, Le Masson, & Weil, 2015), nous pouvons voir la construction de chaque KPI comme un projet à part entière. Nous différencions le KPI pour la valeur fonctionnelle qu'il apporte, de la méthode et la façon dont il a été construit. Notre ambition concernant la RDI implique de construire de nouveaux indicateurs. Nous verrons donc ici les indicateurs comme des verrous scientifiques à lever. Pour nous aider dans cette construction, nous nous baserons en partie sur la méthode GQM « Goal Question Metric » (Basili, Caldiera, & Rombach, 1994; Dalton, 2019). Cette méthode offre l'avantage de ne pas se baser sur des éléments connus, mais de partir de questions d'usage pour construire un modèle de mesure.

Pour clore le périmètre structurel, il nous apparaît important de segmenter les KPI. Plus exactement, le KPI est la partie émergée de l'iceberg, la partie immergée devant être précisée. Pour ce faire, la terminologie doit être soignée. Dans notre contexte, nous donnons aux mots « métrique, mesure et indicateur » des sens particuliers.

Mesure

Nous donnons au mot « mesure » le sens d'une suite de données. Une « mesure » est un ensemble de données ordonnées dans le temps ou dans l'espace. Ce n'est

pas une notion vague comme « le nombre de jours-hommes cumulés », mais une notion précise, par exemple « un nombre de jours-hommes cumulés pour la réalisation d'un EDC, recherches non incluses ».

Métrique

Le mot « métrique » couvre un ensemble plus large que la mesure. Elle contient la mesure plus toute une série d'attributs et autres champs complémentaires qui caractérisent chaque donnée de mesure. Par exemple la date de la collecte de la donnée. Cette notion est particulièrement importante pour de futurs travaux inscrits dans nos perspectives, qui visent à déployer une approche par la science des données. Cette volonté d'utiliser des modèles de Machine Learning a déjà été évoquée dans d'autres chapitres (cf. 4.2.1, 4.4.3). Cette addition confirme une fois de plus les perspectives de nos travaux à s'orienter en ce sens.

Indicateur

Enfin, le mot « indicateur » ou « KPI » désigne une représentation d'une métrique appropriée à fournir une réponse à des questions préalablement posées. La représentation est graphique ou tabulaire et contient des valeurs repères. La façon d'interpréter un indicateur fait partie de sa définition. Il n'est donc pas simplement une vue graphique des données de mesure sélectionnées en fonction de tel ou tel attribut.

6.5.2 KPI pour chaque élément RDI

Dans cette partie, pour chaque cas évoqué, nous suivrons comme indiqué précédemment la démarche GQM en commençant par suggérer des questions puis des métriques. Il n'est pas question dans cette section de rentrer dans l'exhaustivité, mais seulement de donner la direction. L'identification, et l'isolation

des autres paramètres non RDI sur les mesures est l'objet d'un des principaux verrous des recherches post-thèse.

Quant aux KPI proprement dits, construits sur les métriques pour répondre aux questions, ils sont propres à chaque organisation. Ils seront construits à partir des métriques pour répondre aux questions préalablement posées. Il s'agira, le cas échéant, d'indicateurs de résultats ou bien d'indicateurs de progression, ces deux types d'indicateurs pouvant être à leur tour déclinés en version « indicateurs informationnels » ou en version « indicateurs décisionnels » qui sont dotés de triggers d'enclenchement et de décisions associées.

6.5.2.1 Cas de l'élément « l'organisation RDI au global »

Voici quelques exemples de questions en appliquant GQM à cette cible :

- « Le département recherche s'améliore-t-il significativement grâce à la méthode RDI ? »
- « Notre capacité à évaluer des technologies, des méthodes ou des pratiques s'améliore-t-elle ? »
- « Le nombre et la diversité des assets technologiques générés sont-ils en augmentation, tout étant égal par ailleurs ? »
- « En collectant des métriques identiques sur plusieurs organisations distinctes, pouvons-nous comparer et analyser les tendances sur l'efficacité de RDI ? »
- « L'approche RDI attire-t-elle l'attention sur l'importance de la créativité parmi les nombreux autres aspects d'une R&D ? »
- « Savons-nous conduire de la même manière tant au niveau global qu'à chaque équipe de recherche par rapport à ses IDD ? »
- « Savons-nous aborder une véritable approche systémique « écosystème » étant donnée la triple préoccupation pour réconcilier les divergences conflictuelles entre ce que les clients demandent, ce que le « Groupe » requiert et ce que la recherche requiert ? »

Pour l'aspect « métrique process » de l'organisation RDI, c'est l'efficacité et l'efficience de la méthode RDI en termes d'augmentation de la créativité qui est à outiller. Comme dit précédemment, l'expérimentation en vraie grandeur de RDI déployé dans plusieurs contextes distincts et la façon d'évaluer est un défi majeur des travaux post-doc.

Pour l'aspect « métrique résultat » de l'organisation RDI, le focus est la valorisation business de l'ensemble des « Assets Technologiques » générés. Typiquement une première métrique sera basée sur la mesure des ventes et sur des attributs tels que des caractéristiques d'innovation, des secteurs industriels, des métiers, ou encore des spécificités conjoncturelles déterminées par le staff commercial.

Dans cette optique de supervision au cours du temps et pour que des indicateurs puissent répondre à des questions de gouvernance de la recherche, une métrique sur l'agrégation des IDD de l'organisation est indispensable. La vision de l'IDD étant à la fois un signal et sur les résultats et sur les processus. Son suivi est indispensable pour aligner opération et gouvernance.

À noter qu'Earned Value au niveau de l'organisation globale est aussi pertinent dans le contexte RDI que dans le contexte des R&D classiques. EV est aussi pertinent au niveau de chaque projet qu'au niveau global. Dans les calculs de prédiction, l'influence d'un projet local sur le global et réciproquement est à maîtriser, pour prendre en compte ces contextes. Les efforts de déconstruction EV (ch. 5) montrent cette limite dans l'état de l'art. L'enjeu est donc une question de distinction entre gouvernance et gestion.

6.5.2.2 Cas spécifique de l'élément « Asset Technologique »

Voici quelques exemples de questions en appliquant GQM à cette cible :

- « L'asset technologique obtenu par la méthode RDI répond-il mieux aux exigences marketing de prospection que ceux générés par une méthode classique où il n'y a pas de distinction entre recherche et développement ? »

- « A posteriori, les ventes issues de l'asset technologique obtenu par la méthode RDI sont-elles meilleures que précédemment ? »

Une première approche est une métrique basée sur le degré et les qualités d'innovation d'un « Asset Technologique ». Nous définissons degré d'innovation par une introduction de technologies encore non exploitées dans ce cadre. Autrement dit la capacité à chercher le TRL le plus fondamental possible. Cette mesure s'inscrit plutôt dans un courant disruptif, où, sans se soucier d'une maturité ou d'une exploitation, le but est de produire au plus vite et avec le temps le plus court une nouvelle technologie. D'autre part nous définissons la qualité d'innovation comme son exploitabilité dans un contexte industriel. Autrement dit la capacité à chercher le TRL le plus élevé. Ces deux éléments sont des métriques et indicateurs issus du contexte R&D classique hors spécificité RDI. La différenciation se fait dans la combinaison de ces deux valeurs dans un même indicateur agrégé. Il est en effet rare de vouloir tout est son contraire. Certains départements de R&D, plutôt industriels, vont maximiser les productions à haute fiabilité, alors que d'autres plutôt start-up et académiques vont se démarquer par une forte disruption. Nous cherchons à garantir un espace de recouvrement, en maîtrisant un sujet dans ses fondamentaux jusqu'à une préindustrialisation. Comme initié au chapitre 2.1.4, l'espace que nous adressons est entre le TRL 4 et le TRL 7. Notre métrique est un calcul vectoriel. Un projet de recherche va chercher à atteindre un niveau TRL 4 par une compréhension forte des EDC et un TRL 7 par une écoute forte des attentes.

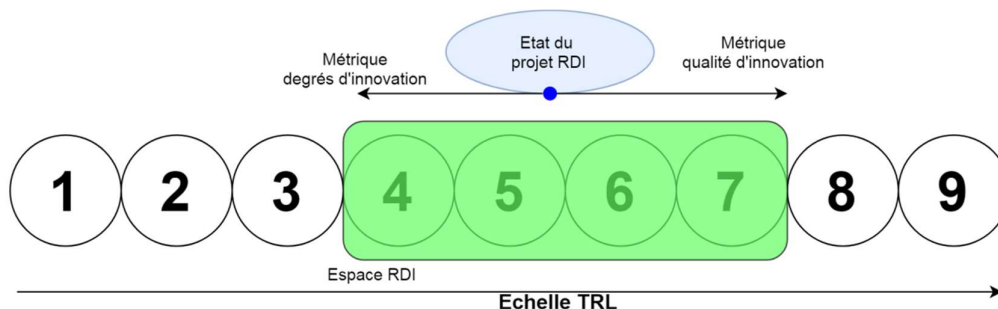


Figure 48. Modèle de métrique des assets

Ce type de métrique est flexible et cruciale stratégiquement sur les orientations de recherche appliquée.

En parallèle, un autre type de métrique est basé sur la mesure des ventes qui découlent de l'asset technologique. On pourrait imaginer que ces deux métriques soient semblables à celles définies au niveau supérieur qui agrègent l'ensemble des assets technologiques.

Il est essentiel de comprendre que se restreindre aux ventes, au degré et qualités d'innovation est incomplet, voire incorrect. C'est incomplet parce que cela ne permet pas d'apprendre comment améliorer le degré et les qualités d'innovation d'un « Asset Technologique ». C'est incorrect par ce que cela ne tient pas compte de l'approche systémique de la méthode RDI où un « Asset Technologique » est une émergence et non un produit issu d'une planification.

Ignorer le paradigme de l'émergence interdit de concevoir des KPI qui répondent à des questions telles que « comment augmenter la probabilité de créativité au niveau des chercheurs, indépendamment des thématiques de recherche ? ». Augmenter la probabilité de créativité dans RDI passe justement par l'idée d'abandonner l'approche linéaire où l'asset technologique est vu comme une conséquence d'une expertise ingénieure fortement spécifique et spécialisée.

RDI propose une approche dans un plan 2D où un axe est cette expertise et l'autre matérialisant la recherche par l'IDD. Dit autrement, le défi de la méthode RDI est de remplacer une droite par un plan. Il est de décoincer une R&D classique de la pression « innovation » faite d'optimisations d'expertises à une ouverture de « ruptures ». Cette dernière est obtenue par l'apport de la capacité à se perdre qui est le propre de la recherche. Il est clair que cette R&D ainsi décoincée pourrait se retrouver dans un autre contexte linéaire où la recherche progresse par le seul critère d'augmenter l'état de l'art.

Il ne s'agit pas seulement de respecter statiquement deux types de contraintes, une industrielle et une académique. Il est de booster la créativité grâce à ces deux contraintes. L'enjeu est de concevoir une méthodologie, c'est-à-dire une démarche dynamique, qui ne doit pas retomber sur une approche linéaire où une des deux

contraintes est principale, l'autre étant facultative. Pour ce faire, RDI a conçu le concept d'EDC, une entité qui évolue dans le plan 2D soumis à deux spécifications, celle du verrou issu de la recherche et celle des développements issus de l'ingénierie. Chaque EDC, qui doit être méthodologiquement court, doit faire progresser en même temps le monde de la recherche et celui des besoins d'ingénierie confrontée à un contexte user-expérience défini. De plus, contrairement à un état d'esprit purement basé sur les expertises connues, la carte des EDC contient des EDC précaractérisés par les chercheurs avec des verrous non résolus. Cette cartographie évolue constamment comme celle d'un continent géographique largement inconnu exploré de façon agile et non pas linéaire.

Le but n'est pas ici de reprendre les quatre sections précédentes de ce chapitre 9, encore moins l'ensemble des autres chapitres. Il est d'éviter de construire des KPI inadaptés par ignorance des fondements systémiques de la méthode RDI. Si l'orientation est top down, un indicateur ciblant un « Asset Technologique » ne sera construit que comme une réduction de KPI de l'organisation RDI prise comme un tout. Il sera une simple projection obtenue par filtrage constitué d'attributs adéquats, en sachant que l'on perd ainsi les relations systémiques.

Une deuxième approche est de revenir sur l'aspect méthodologique clé de RDI où l'« Asset Technologique » est une émergence des EDC. Il y a deux cas :

- Soit l'« Asset Technologique » est un post-traitement d'un EDC ou un ensemble d'EDC. Il s'agit dans ce cas de prolonger cet EDC ou cet ensemble d'EDC par une transformation en un produit (TRL $\geq$ 9). Le contexte de ce développement est habituel. Dans notre langage, il s'agit du contexte ADM3 connu et éprouvé d'un projet délivré en mode forfaitaire. Les KPI classiques et particulièrement ceux de l'approche Earned Value conviennent parfaitement.

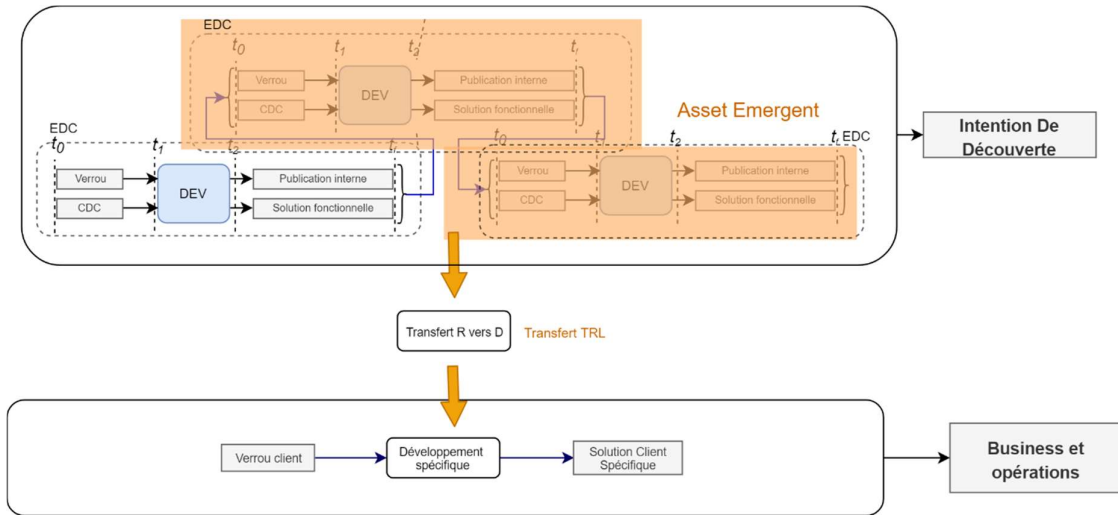


Figure 49. Asset technologique en post-traitement

- Soit l'« Asset Technologique » est une évolution d'un EDC (TRL < 9) présentant un verrou d'industrialisation ou de cas d'usage..

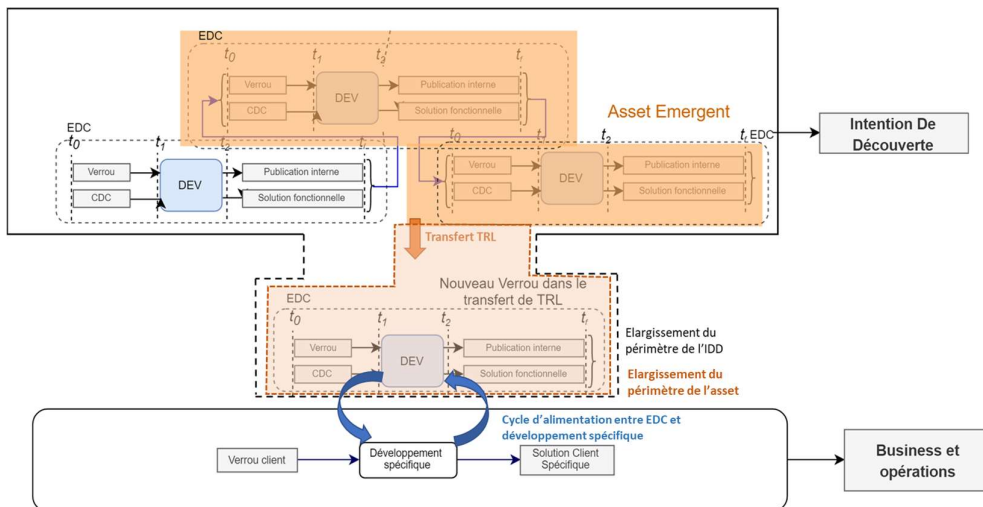


Figure 50. Asset technologique en évolution d'un EDC

6.5.2.3 Cas spécifique de l'élément « DEV »

L'élément « DEV » fait partie de l'EDC. Ce sont les activités d'ingénierie et d'observation proprement dites. Il s'agit de développer le plan d'expérience ou la preuve de concept et d'observer, en continu ou en fin du plan d'expérience.

La méthodologie RDI préconise que l'élément DEV soit construit comme un projet d'ingénierie classique. Dans notre langage, il s'agit d'ADM3 (Cf 4.4.1). EV standard convient parfaitement.

6.5.2.4 Cas spécifique de l'élément « EDC »

Voici quelques exemples de questions en appliquant GQM à cette cible :

- « L'amélioration de l'exploration de l'état de l'art interne par les chercheurs de l'organisation est-elle très significative ? »
- « L'approche communicationnelle bottom up des briques technologiques et scientifiques est-elle efficace (meilleure qualité, toujours à jour et à coût inférieur) par rapport à l'approche d'une communication traditionnelle top-down construite a posteriori ? »
- « Évaluation de la complémentarité des deux approches ? »
- « Le verrou exprime-t-il correctement ce que l'on aimerait comprendre ? »
- « La spécification initiale (incomplète) est-elle suffisamment ouverte pour suggérer une famille de spécifications ? »

Pour l'aspect « métrique résultat », il faut mesurer non seulement les deux artefacts de sortie – l'article et les artefacts du développement et du démonstrateur –, mais aussi les deux artefacts d'entrée – le verrou et le cahier des charges du projet de développement associé.

La métrique sur l'article produit de sortie de l'EDC est primordiale. La qualité de résultat du produit « article » doit être exemplaire, même si la petitesse imposée méthodologique par RDI rend cette tâche plus difficile, ou en tout cas plus spécifique, que dans le cas de la rédaction d'un article scientifique standard. C'est

l'article, tel que spécifié dans la méthode RDI, qui permet la capitalisation de l'état de l'art interne pour les chercheurs de l'organisation.

La métrique sur les artefacts du POC/développement produit par un EDC est tout aussi primordiale. Ce sont ces artefacts qui permettent la capitalisation de l'état de l'art technologique, c'est-à-dire pour faciliter la reproduction du développement.

La métrique sur le verrou est difficile à construire, mais fort intéressante à explorer. En effet, la méthode RDI demande d'imaginer des EDC bien davantage par rapport au futur de la recherche matérialisée par une cible réputée infaisable (IDD) et que par rapport à l'amélioration d'un état de l'art du connu. La spécification du verrou de l'EDC est la vue recherche de la spécification fonctionnelle de l'EDC. La métrique devrait fournir une estimation de la créativité a priori. Le degré d'avancement de la démarche de compréhension de l'inconnu, le ou les différents angles de vue de la levée espérée de verrou résident dans sa spécification.

Pour l'instant nous ne voyons que des approches qualitatives de KPI.

Enfin, la métrique sur la qualité de la spécification du développement de l'EDC est également difficile à construire, mais cruciale dans le cadre RDI. Déjà rédiger une spécification pour un seul client, dans un contexte d'ingénierie est une tâche à haut risque (Kaur & Sengupta, 2011) . Dans le contexte RDI, il y a au moins trois clients : l'axe de recherche, le client direct et les exigences d'innovation technologique de l'organisation (Örnek & Ayas, 2015).

Pour l'aspect « métrique process », il faut distinguer deux grandes activités :

- La réalisation proprement dite, c'est-à-dire l'élément « DEV ». L'élément « DEV » a déjà été traité isolément, typiquement avec EV standard.
- Les activités préalables et postérieures de l'EDC. Dans la méthodologie RDI, nous proposons que ces activités ne soient pas considérées internes à l'EDC, ni temporellement ni spatialement. Ces activités sont cumulées pour tous les EDC, l'ensemble faisant partie de l'IDD. C'est un a priori qui peut être remis en question. Il a été pris parce que les activités de recherche sont focalisées sur les liens entre EDC, leur précaractérisation,

leur décomposition en plusieurs EDC enfants. D'un point de vue pratique, il ne semble pas judicieux de les attribuer à un EDC plutôt qu'à un autre, même si certains souhaitaient avoir une comptabilité analytique par EDC.

6.5.2.5 Cas spécifique de l'élément « IDD »

Voici quelques exemples de questions en appliquant GQM à cette cible :

- « La formulation de l'infaisabilité de l'IDD garde-t-elle sa puissance d'attractivité vers de la recherche exploratoire de rupture ? »
- « La formulation de la thématique de l'IDD facilite-t-elle l'appartenance d'une recherche dans tel ou tel IDD ? »
- « La cartographie des EDC à venir facilite-t-elle l'appariement entre verrou et opportunité d'ingénierie client ? »
- « Savons-nous offrir avec l'IDD une véritable approche systémique étant donnée la triple préoccupation pour réconcilier les divergences conflictuelles entre ce que les clients demandent, ce que le « corporate » requiert, ce que la recherche requiert ? »
- « L'approche RDI attire-t-elle l'attention sur l'importance de la créativité parmi les nombreux autres aspects d'une R&D ? »
- « L'approche RDI favorise-t-elle l'adaptabilité en temps réel au moins autant que la prévisibilité d'un plan construit a priori ? C'est-à-dire éviter les risques de n'aller nulle part dans le premier cas ou d'aller avec détermination vers un mur dans le second ? »

L'IDD est composé de son énoncé et de la cartographie des EDC.

Pour l'aspect « métrique résultat »

- Une métrique d'énoncé de l'IDD est difficile à concevoir. Méthodologiquement, l'énoncé de l'IDD est un objectif infaisable. Il y a deux aspects : le bornage thématique et le caractère infaisable de l'objectif. Le constat des expériences que nous avons acquises est que le caractère

infaisable est donné la plupart du temps par l'expression d'une performance dont la valeur à atteindre n'est pas possible. Mais ces expériences témoignent certainement d'un contexte particulier et ne doivent pas être considérées comme une généralité.

- Méthodologiquement, l'objectif de mesure de l'énoncé d'un IDD est sa capacité à tirer la recherche vers de la rupture. Il faut que le champ de connaissances à découvrir soit formulé de telle sorte que l'ouverture soit encouragée. Il faut que les contraintes poussent à investiguer davantage à partir de là où on ne sait rien qu'à partir de l'état de l'art connu. Nous ne sommes pas arrivés à mesurer la qualité de l'énoncé.
- Quant à la cartographie des EDC contenus par un IDD, la première structuration à opérer est de spécifier plusieurs espaces.
 - Celui des EDC déjà réalisés,
 - Celui des EDC complètement caractérisés et prêts à être investigués pour que le résultat des observations amène une nouvelle de compréhension
 - Celui des EDC précaractérisés, sans plan d'expérience ou seulement ébauché. L'intuition que le verrou est bien posé doit être élevée.
 - L'immense espace inconnu sans qu'aucun EDC n'y soit ébauché.

Cet espace inconnu est juste borné par l'IDD sans que ce périmètre soit déterminable en taille. D'ailleurs, si sa taille était déterminable, cela signifierait que l'énoncé de l'IDD est mal formulé et doit être revu ou que l'IDD est épuisé et doit être clos. Nous proposons qu'une métrique de la cartographie soit basée sur une projection de mesures complémentaires telles que la faisabilité (ABCD) et la taille (énergie investie pour produire l'EDC), le tout selon un séquençage dans le temps prenant en compte des liens de dépendances entre les EDCs. La figure ci-dessous () montre différentes représentations possibles de la cartographie, obtenues avec des données simulées. Il ne s'agit pas ici de rentrer dans le détail de l'interprétation de ces différentes cartographies qui est propre à chaque organisation. Concrètement la cartographie représente un indicateur informationnel sur le contenu de l'IDD.

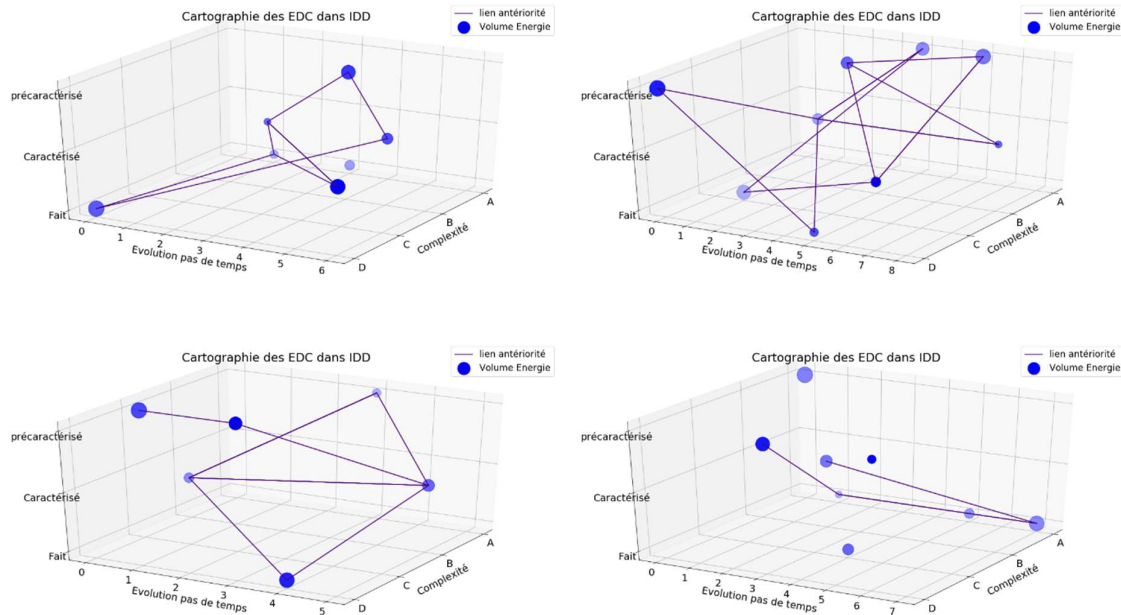


Figure 51. KPI produit IDD

Pour l'aspect « métrique process », la question est l'évolution dans le plan 2D de l'IDD (voir Figure 42. EDC, Recherche, Ingénierie).

- La partie réalisation est projetée sur l'axe vertical. Les KPI d'Earned Value type « ADM4 » conviennent. (cf. 82). Cette façon d'utiliser Earned Value, qui cumule projet par projet sur une période donnée (typiquement un an) est adaptée pour les organisations qui souhaitent superviser et maîtriser les risques de développement d'une RDI, indépendamment des activités de recherche.
- La partie recherche est projetée sur l'axe horizontal.

La métrique « résultat » de la cartographie peut être enrichie en métrique « process » en ajoutant des mesures sur les nombres des transitions par unité de temps dans le domaine de la faisabilité (D -> xC -> yB -> zA) et dans celui de la taille (G -> xM -> yP). Les niveaux de faisabilité sont D=Faisabilité Inconnu, C=Idem, mais les efforts convergeront, B=Faisabilité continue par extrapolation, A=Connu. Les coefficients x, y et

z sont des quantités. Les niveaux de taille sont à interpréter dans une logique de « function points ». Par exemple, G=Grand, M=Moyen, P=Petit.

6.5.3 Principes RDI relatifs aux KPI

La maturité des principes relatifs aux KPI pour la méthode RDI est inférieure à la maturité des neuf premiers principes sur les artefacts fondamentaux et sur les activités fondamentales. Les deux principes relatifs aux KPI présentés dans ce chapitre sont une première proposition qui sera vraisemblablement affinée lors des futurs travaux post-doc 2019.

Ce qualificatif d' « ébauche » des deux principes 10 et 11 qui viennent compléter la méthode RDI est à bien comprendre. Ce ne sont pas les idées d'indicateurs qui nous défaut. On peut chercher à savoir si la méthode RDI est meilleure qu'une autre, ou si la R&D fournit les bons produits de sortie peu importe la méthode utilisée ou encore si elle les fournit correctement selon RDI. Et ainsi de suite. Le nombre de questions est illimité. Tout peut être mesuré ! De plus la façon de mesurer se décline en de nombreuses alternatives... voire à l'inverse se révéler infaisable et demander des arrangements.

Dans les paragraphes qui précèdent, nous avons suggéré de nombreux indicateurs liés aux aspects clés RDI. À présent, au niveau des principes, la question est plutôt de savoir choisir ou déterminer le ou les indicateurs pertinents. C'est à cette question de pertinence qu'il est difficile de répondre. En effet, il y a deux verrous essentiels. Le premier verrou part du constat que la plupart des mesures cruciales vis-à-vis des objectifs business sont dépendantes de l'organisation R&D, peu importe qu'elle adopte la méthode RDI ou une autre méthode. Le second verrou cible le fait que la méthode RDI est encore trop jeune pour imposer le choix du ou des KPI méthodologiquement indispensables.

Les deux principes de KPI proposée dans la version actuelle de la méthode RDI ciblent respectivement ces deux verrous. Concernant la qualification d'ébauche que nous avons apportée à la formulation actuelle de ces deux principes, nous pensons toutefois qu'ils ne seront pas purement et simplement balayés par la suite

lorsque les premières expériences en vraie grandeur seront acquises avec la méthode RDI, et remplacés par un ou plusieurs nouveaux principes de KPI. Au contraire, nous pensons qu'en tant que principe, ils resteront ciblés sur les deux verrous mentionnés. Leur formulation sera encore plus précise sur chacun des deux verrous, tout en laissant l'implémentation libre d'une expérimentation de KPIs. Ils guideront mieux, mais ils préserveront notre décision fondamentale méthodologique qui privilégie l'état d'esprit d'appropriation et d'expérimentation. C'est en ce sens que la méthode RDI énonce 11 principes et non 11 processus.

Principe n°10.

- a) Établir et maintenir les objectifs de mesure et l'infrastructure associée :*
- b) Identifier les objectifs business de l'entité R&D qui utilise la méthode RDI*
- c) Identifier les aspects de la méthode RDI qui semblent les plus critiques en relation directe ou indirecte avec l'atteinte des objectifs business (trois ou quatre au maximum).*
 - a. Note : au chapitre 6.5.2, la méthode GQM a été initiée pour faciliter cette identification par l'intermédiaire de questions-clé auxquelles l'indicateur doit répondre.*
- d) Établir l'infrastructure de mesures des aspects à mesurer qui ont été identifiés.*
 - a. Note : au chapitre 6.5.1, un outillage a été introduit en se basant sur un triple angle de vue fonctionnel, opérationnel et structurel.*

Ce principe est énoncé de façon opérationnelle. Il est important de comprendre le rationnel dont il est issu. Nous avons basé ce principe sur la nécessité d'un triple alignement sur les objectifs business, les objectifs de mesures et la mise en œuvre proprement dite. Le premier item de cet alignement vise à sélectionner les KPI sur les aspects business jugés les plus cruciaux par l'organisation. Incidemment, ce premier item écarte délibérément les KPI sur les aspects business jugés moins cruciaux. Il est clair que ces décisions sont non seulement contextuelles, mais aussi conjoncturelles. Le choix des aspects business mis sous contrôle peut varier au cours du temps. Le second item de l'alignement veille à passer soigneusement

de l'objectif business à l'objectif de mesure. L'alignement entre objectif business et objectif de mesure est souvent inexistant ou nécessite souvent d'être reconçu. Or tant la littérature que l'expérience terrain montrent l'importance de ne pas confondre ces deux types d'objectifs, mais au contraire de les distinguer et de les aligner. Cet item oblige de choisir parmi les aspects RDI, ceux qui vont supporter l'objectif de mesure à associer aux objectifs business. Le dernier item de l'alignement veille, classiquement, à ce que tous les moyens de mesure, la précision, l'obtention, la complétude, la régularité et le guide d'interprétation, soient adéquatement mis en œuvre, c'est-à-dire implémentent correctement les objectifs de mesure, dans la finalité des objectifs business.

Citons que dans notre environnement spécifique, parmi les KPI issus de ce principe, l'artefact DEV ainsi que l'ensemble des DEV sur une période donnée nous intéressent particulièrement.

La réalisation d'un artefact DEV doit être sans surprise et menée comme un projet d'ingénierie standard ou d'un plan d'expérience parfaitement défini. Dans la méthode RDI, les observations obtenues à l'issue de la réalisation d'un DEV ou au cours de la réalisation selon que l'EDC qui encapsule ce DEV, soit de nature push ou pull, ne sont pas connues. En revanche les moyens de les obtenir sont parfaitement définis dans les spécifications du DEV. Nos retours d'expérience montrent une pratique de durée de DEV autour de 3 mois. Un Earned Value géré à la semaine avec un coût calendaire convient bien. Il peut être augmenté par un coût en charge de travail, mais cela dépend de la culture, du contexte et de l'outillage d'automatisation de la collecte des données de l'entité. À noter que pour l'obtention de l'artefact DEV, un burndown peut également convenir.

L'ensemble des artefacts DEV réalisés sur une période donnée, par exemple une année, indépendamment de leur appartenance à tel ou tel EDC et indépendamment des efforts de recherche se révèle également intéressant dans notre contexte. Il s'agit ici d'une implémentation d'Earned Value qui est classique en termes de maîtrise des coûts financiers et calendaires et qui est non classique sur l'aspect variable de l'objectif final

en charge. En effet, dans notre contexte, deux catégories très différentes de personnes interviennent, l'une est permanente, l'autre est très volatile. La quantité en équivalent temps plein de cette dernière n'est planifiable qu'approximativement ; le nombre de personnes est de plus de six fois supérieur au nombre d'équivalent temps plein. Ce contexte particulier est un bon exemple de métrique spécifique que nous associons à l'ensemble des artefacts DEV pris comme un tout, sur une période d'une année.

Principe n°11.

Établir un rôle et au moins un KPI qui veillent à la mise en œuvre correcte de la méthode RDI et orchestrent la créativité en relation avec les objectifs business.

Ce principe contient, comme la plupart des autres principes, une approche systémique complexe. Encourager une créativité réellement en rupture avec l'existant est en contradiction avec des objectifs business court-termistes. Maîtriser la créativité génère l'effet inverse. Toute l'approche RDI dans son ensemble tente d'apporter une réponse qui ne peut être que systémique. Les 10 premiers principes y contribuent chacun, de façon intriquée, la faiblesse éventuelle de l'un d'entre eux ruinant l'ensemble. Ce onzième principe veille à la globalité sous l'angle de la créativité.

Si le rôle décrit dans le principe n°11 peut être joué, dès à présent, avec l'ensemble des énoncés des principes RDI, il est clair qu'un matériel pédagogique conséquent est à construire et est nécessaire pour répandre la méthode au-delà des personnes qui ont contribué à l'élaborer. Jouer le rôle et documenter les retours d'expérience contribueront à l'édification de ce matériel. Par ailleurs, RDI étant basé-principes comme Scrum l'est, il est également opportun d'étudier les retours d'expérience de l'exercice du rôle Scrum Master et des formations à ce rôle. Parmi les acteurs qui ont contribué à la méthode RDI se trouvent des personnes formées et routinières des déroulements Scrum. Cependant une étude complète de l'état de l'art de ces aspects pédagogiques est encore à mener. À noter que dans cette

étude, il faudra veiller à ce que la recherche ne soit pas considérée comme un métier ni que les besoins de la recherche soient supposés être endossés par le product owner. Rappelons que (cf. chapitre 6.1.) l'approche Scrum n'a pas fonctionné dans le cadre RDI. L'étude que nous ciblons ici n'est pas sur la méthodologie Scrum, mais sur les aspects pédagogiques d'une méthode basée-principes, Scrum étant un bon exemple.

Toutefois, la comparaison avec le rôle du Scrum Master est instructive. Le principe n°11 évoque un rôle plus impliqué que celui Scrum Master. Tous les deux sont des pédagogues, garants de la bonne mise en œuvre des principes. Le rôle de Producteur RDI a une mission supplémentaire. Sa désignation « Producteur RDI » vient d'une analogie avec le rôle du « Show Runner » du monde des séries télévisées. Le nouveau mode de consommation des séries tend vers des formats avec de très nombreux épisodes sur de très nombreuses « saisons » et/ou pour un même producteur plusieurs séries différentes se référencent les unes les autres. Cela implique une méta vision pour structurer la continuité et la cohérence des histoires qui lie les acteurs, les auteurs et les téléspectateurs. Le Producteur RDI doit avoir l'équivalent de cette vision, la compréhension et la capacité à synchroniser et à rythmer les productions des chercheurs et des développeurs.

Concernant le KPI ciblé par le principe n°11, nous proposons Earned Value structuré de la façon suivante :

- La progression de la production est exprimée en termes d'EDC acquis.
- La période est arbitraire ; typiquement une année. Le périmètre peut être un IDD ou l'ensemble des IDD d'une entité de recherche.
- L'objectif final planifié est exprimé en nombre d'EDC. Par analogie, on peut parler de vélocité de l'entité de recherche, exprimée en nombre d'EDC qu'elle est capable de produire sur la période donnée. Autrement dit, il y a une question d'expérience, de challenge. La question de la durée d'un EDC est essentielle. Plus elle est petite, mieux c'est. Dans notre contexte, pour un chercheur chef de projet, 4 EDC par an est très challengeant, mais possible ; 1 seul EDC est à proscrire. La difficulté n'est pas dans la charge de travail, mais dans l'aptitude à formuler des plans d'expérience courts.

- Le coût planifié peut être comptabilisé de façon binaire : +1 si EDC terminé, 0 sinon. Cependant, si le nombre d'EDC est faible, il est préconisé qu'un pourcentage de complétion soit appliqué, par exemple une progression linéaire simple, ou qui représente la réalité, toutefois sans surprécision inutile.
- Le coût gagné suit le principe earned value
- Le coût réel est basé sur l'appariement entre verrou et projet client. Typiquement, pour un EDC donné, s'il y a appariement, le coût réel est nul et il vaut 1 si l'EDC est réalisé sans appariement en interne de l'entité de recherche.
 - o Des valeurs intermédiaires arbitraires pourraient être adoptées pour refléter des situations mixtes comme les projets à subventions ou les projets en co-recherche. Cependant il convient de vérifier les conditions d'usage earned value pour que les calculs de prédictions restent interprétables.
- En conséquence, le coefficient de performance CPI (coût calendaire) indique une performance corrélée à la créativité et le coefficient de performance CPI (coût de non-appariement) indique une performance corrélée à la liaison de cette créativité avec des cas d'usage réels et financés.

À noter que dans cette configuration d'earned value, il ne s'agit pas de deux types de coûts différents comme le sont par exemple classiquement un coût en jours travaillés et un coût en euros. Il s'agit d'un seul type de coût basé sur l'acquisition d'Éléments De Compréhension. Autrement dit, les travaux de caractérisations d'évolution de CPI (j) versus CPI(wcal) (§ 4.4.3.1 et suivants) sont applicables dans le contexte RDI de progression d'appariements réussis entre verrous scientifiques et opportunités d'innovation. Le déploiement d'expériences de projets RDI est nécessaire pour valider opérationnellement ce KPI.

6.6. Application expérimentale comparative

Dans ce chapitre nous nous emploierons à appliquer et présenter un certain nombre de nos propositions de façon comparative entre 2 projets de recherche qui se déroulent encore actuellement au sein du département Recherche dans notre entité géographique. Cette évaluation qui a eu lieu a posteriori sur des projets en cours depuis un long moment a pour premier objectif de démontrer dans un cas d'usage opérationnel nos différentes propositions d'organisation et de mesure. La seconde finalité est d'évaluer si notre modèle permet :

- D'identifier les projets où les réalisations dérivent ou maintiennent l'équilibre recherche et créativité par rapport aux développements et au business
- D'évaluer si nos propositions sont utilisables, déployables et maintenables dans notre contexte

C'était un prérequis à notre comparaison et plus globalement à nos travaux de recherche. En effet très tôt dans cette thèse nous savions qu'un système produisant des données serait nécessaire et ce peu importe les orientations prises. Cette implémentation peut en outre être vue de façon totalement indépendante à la recherche et vue sous l'angle des opérations (Meléndez, Coudert, Geneste, Romero Bejarano, & De Valroger, 2019). Réaliser des activités portant autant de valeurs sur la connaissance de l'obtention d'un résultat que sur le résultat lui-même n'est pas la norme dans l'ingénierie. Des organisations aussi variables et volatiles que la nôtre non plus. En nous inspirant des communautés « OPEN » et des plateformes de capitalisation, il nous a fallu choisir un système d'information ad hoc. Celui-ci doit offrir la simplicité et flexibilité des systèmes open et collaboratif type « stackoverflow », mais en y associant la rigueur, la maîtrise et la sécurité de systèmes corporatifs.

Sur la base des « Magic Quadrant review » de Gartner sur les « Application Development Life Cycle Management » (ADLM) (Murphy, Duggan, & Wilson,

2013) et sur le « Social software in the workplace » (Drakos, Rozwell, Bradley, & Mann, 2009), les suites d'outils qui se dégagent sont celles fournies par Microsoft et Atlassian (cf Figure 52 et Figure 53).



Figure 52. Gartner Magic quadrant ADLM



Figure 53. Gartner Magic quadrant Social software in the workplace

La suite Microsoft étant déjà en place dans l'entreprise, nous avons entrepris une comparaison avec la suite Atlassian.

Parmi les outils choisis, nous avons implémenté :

- Jira pour la gestion des activités au quotidien
- Confluence pour la capitalisation des connaissances
- Bitbucket pour la gestion des produits logiciels²

Durant 3 mois nous avons prototypé et configuré différentes architectures de systèmes d'informations pour notre organisation. La suite Atlassian s'est montrée plus adéquate sur une majorité d'aspects, le principal étant directement lié à son

² Par la suite L'outil Bitbucket a été remplacé par l'outil Gitlab qui facilite la gestion est l'usage de l'intégration et du déploiement en continu. Ces deux outils sont similaires et remplissent les mêmes fonctions. Dans la suite du document, nous mentionnerons l'outil actuellement utilisé « Gitlab »

architecture et à la façon avec lequel le Framework a été construit. En effet l'aspect « briques de métadonnées » et l'aspect « machines à liens » se sont montrés très pertinents vis-à-vis de notre mode de fonctionnement. Chaque élément de valeur, texte de connaissances pour un article, compte rendu technique, procédure, brique de code source est agrémenté d'une couche de méta données. Cette couche de métadonnées est très exhaustive et entièrement configurable. Une fois produite, et ce, de façon très indépendante, il est possible de connecter ces briques les unes avec les autres, créant ainsi un maillage dense relationnel entre toutes les productions faites au sein du département. Cette gestion maillée et agile des connaissances est un levier supplémentaire à la fertilisation et au partage des connaissances (Llamas, Coudert, Geneste, Romero Bejarano, & de Valroger, 2016). La convergence entre nos propositions de modèle et notre système d'information s'est faite au cours de l'avancée des travaux. Des productions courtes, ciblées, en très grand nombre, et fertilisées entre les sujets, s'intègrent parfaitement à notre système d'information.

Par la suite d'autres outils et briques fonctionnelles ont été rajoutés pour créer plus de liens et de confort du quotidien entre chercheur et développeur pour aboutir au système final suivant (cf Figure 54).

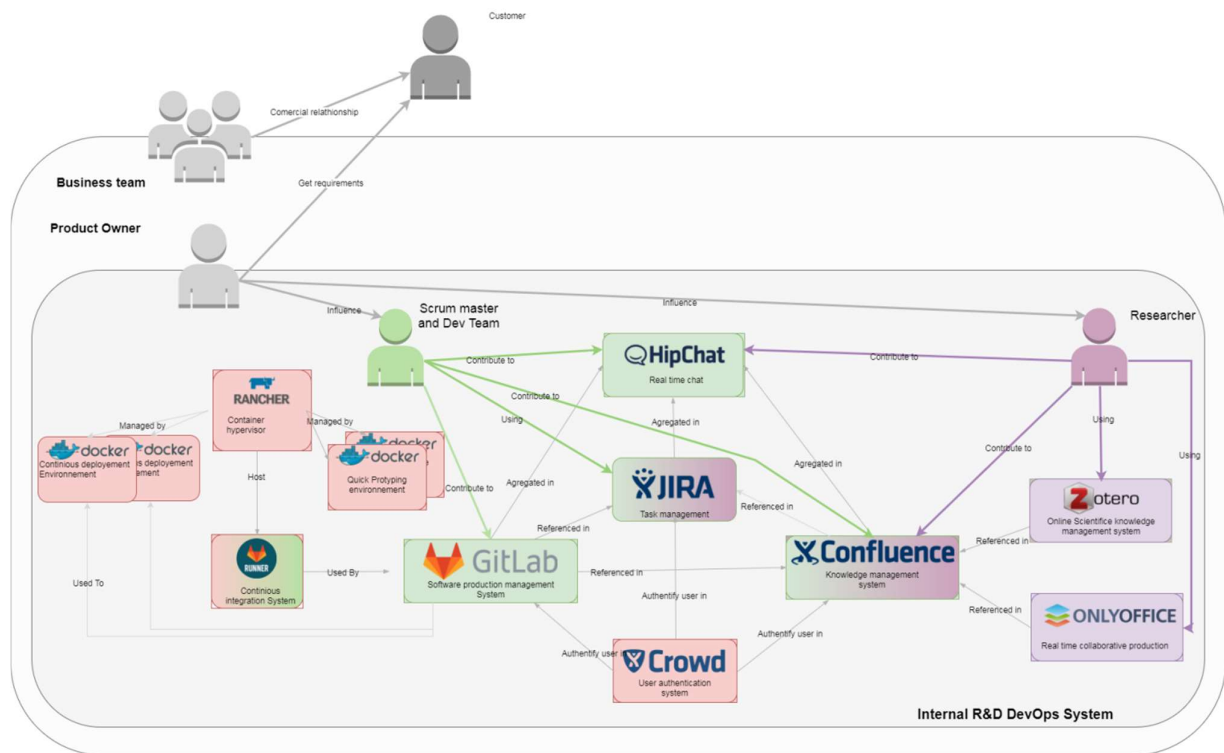


Figure 54. Construction de notre infrastructure

Pour les outils communs et transverses

- **Jira** est une brique d'Atlassian pour la gestion agile des activités
- **Confluence** est une brique d'Atlassian pour la capitalisation des connaissances

Pour les outils plutôt dédiés aux chercheurs

- **Zotero** est notre système de gestion bibliographique collaborative en ligne
- **Only office** permet l'édition collaborative temps réel³

³ La nouvelle version de confluence inclut l'édition collaborative en ligne, la brique only office ne sera plus nécessaire avec la mise à jour de confluence.

Pour les outils dédiés aux développeurs

- **Gitlab** est une brique de gestion de versions des productions logicielles

Pour les outils d'administration

- **Crowd** est un équivalent de LDAP pour la gestion des utilisateurs
- **Gitlab Runner** est un orchestrateur de déploiement et d'intégration continue associé à Gitlab
- **Rancher** permet la gestion des clouds de conteneur docker
- **Docker** est une méthode de virtualisation d'environnement encapsulé LXC qui est utilisé pour l'intégration et le déploiement en continu.

Il est intéressant de constater que cette instance de système d'information construit pour s'adapter à la méthode RDI, est en ligne avec les principes agiles et les méthodologies « DevOPS », tous deux reconnus comme étant parmi les façons les plus efficaces de piloter les projets d'ingénierie logicielle.

Ceci conclut la partie qui décrit la construction et l'implémentation de notre SI adapté à RDI. Nous allons maintenant analyser le déroulement des 2 projets au sein de cette organisation. Rappelons qu'au lancement des projets, la méthode RDI n'était pas finalisée. Elle s'est même en partie construite avec le retour d'expérience des projets.

La première illustration concerne un axe de recherche en navigation hybride que nous nommerons A1 dont un problème a été initié par un besoin utilisateur. Dès le début les verrous utilisateur ont été confrontés un à un au-delà des limites de l'état de l'art. Les activités ont maintenu les deux positions « ingénierie » et « recherche », et leur alignement. En routine, une production de l'ordre d'un mois en flux tendu a été constatée sur une imbrication de trois types de réalisation :

- La compétence de recherche propose une contribution qui repousse les limites
- La compétence d'ingénierie implémente dans la solution cette proposition

- L'utilisateur dispose de la solution et des résultats pour évaluer la rupture proposée

La seconde illustration concerne un axe de recherche en mécanique, en optimisation topologique, que nous nommerons A2. Une problématique d'un développement d'un nouvel outil a commencé sur une initiative du département recherche. L'outil s'est ensuite diversifié en co-recherche avec un partenaire de recherche fondamentale. De nouveaux verrous sont apparus. Cependant, les recherches ont été orientées plus par l'outil globalement, et sur du temps long.

Il résulte de la comparaison de ces projets, et en y appliquant la méthode RDI à postériori par rétro-ingénierie, les points remarquables suivants :

- Pour A1, contrairement à A2, nous avons été capables de reconstruire aisément un historique précis des activités séquencées dans le temps, le niveau de maturité documentaire étant pourtant identique.
- Pour A1, contrairement à A2, il a été plus simple d'identifier les activités de recherche, de celles d'ingénierie ou de celles de design.
- Avec A1, nous avons été capables de projeter des briques dans d'autres projets pour créer de nouveaux assets.

Par expérience nous constatons effectivement que l'ouverture de nouveaux projets clients est plus simple et plus variée avec A1, et demande moins de rework.

6.7. Synthèse de la proposition RDI

Les travaux décrits dans ce chapitre sont l'aboutissement d'une proposition de méthode d'organisation d'un département de Recherche & Développement. La problématique particulière à résoudre est de prendre en compte une production, non pas des produits finis, mais de preuves de concepts ou de briques en s'efforçant de maximiser deux objectifs contradictoires. D'une part, être le plus créatif le plus rapidement possible et d'autre part produire des solutions matures réutilisables. Notre proposition de méthode RDI tient en un socle contenant onze principes : quatre sur les artefacts, cinq sur les activités et deux sur les indicateurs.

L'historique qui a conduit à ce résultat est instructif et mérite d'être rappelé pour comprendre en quoi ces onze principes sont pour nous une solution appropriée. Les premiers travaux ont démarré plus de deux années avant la thèse. Le problème de l'organisation d'une équipe R&D étant perçu comme une gestion d'activités, la première idée était basée sur ISO 9001, puis sur ISO 13485 pour intégrer les contraintes de dispositifs médicaux de notre contexte. Ce fut un échec. Malgré nos efforts d'adaptation, l'efficacité des processus ISO s'effondre dès que l'on quitte le schéma séquentiel « Recherche » puis « Redéveloppement ». Au cours de ces premières tentatives, le problème vécu le plus de virulent étant le manque méthodologique d'adaptabilité, la tentative suivante a été basée sur Scrum. Ce fut également un échec sur le plan du risque de ne pas être suffisamment créatif. Ce risque n'est pas pris en compte dans Scrum en tant que tel. Sa prise en compte opérationnelle via le rôle de « product owner » n'a pas été une solution. Il a donc été transféré de facto au savoir-faire de chaque individu, sans réel support méthodologique. CMMI qualifie ce niveau de « héroïque ». Effectivement, nous avons constaté qu'un fonctionnement en silos se mettait en place autour de chaque chercheur, et ce, d'autant plus rapidement qu'ils se retrouvaient individuellement libres de foncer dans leurs spécialités respectives pour répondre au risque de ne pas suffisamment créer de ruptures.

Le bon sens de personnes issues des organisations de recherche combiné au bon sens de gestionnaires seniors de projets R&D industriels, que ce soit en approche prédictive ou en approche adaptative, n'ont pas réussi à aboutir à une solution convaincante. Appliquer les actions prévues par ces différentes approches, même avec une volonté commune des chercheurs, des ingénieurs et des gestionnaires n'a pas fonctionné. La thèse est partie de ces tentatives d'actions.

Elle s'est attaquée d'abord aux fondations des différentes productions de la R&D. Puis, après avoir reposé le problème de la R&D, elle a investigué des lois de comportement de production en se servant des approches « Earned Value » comme grille de lecture. Les rouages des approches Earned Value ont alors été mis à nu avec l'idée que le concept de valeur acquise puisse être aussi efficace dans sa capacité à abstraire des productions de différentes natures qu'au contraire à prendre en compte ces différences.

Les principes de la méthode RDI ont été élaborés en reprenant ces différentes études, et en commençant premièrement par les éléments de base de la production, puis par les activités proprement dites et enfin par les indicateurs. Les quatre premiers principes définissent quatre briques élémentaires. Ces briques ne sont nullement une répartition symétrique des artefacts de Recherche et de Développement. Au contraire, elles traduisent dès le niveau fondamental, la nature complexe et imbriquée de la R&D. « DEV », une des quatre briques, est une exception. Cette brique identifie la réalisation d'un développement ou d'un plan d'expérience. Même si le résultat n'est pas connu, le déroulement l'est. La façon de procéder est laissée libre sauf sur sa durée qui doit être courte et sa faisabilité qui doit être très élevée. Le deuxième élément d'artefact, « AT » pour Asset Technologique, a l'apparente simplicité de DEV, mais seulement en apparence. L'asset technologique est une brique qui sort de la R&D. C'est un DEV dont la maturité de réutilisabilité lui confère une vie hors de la R&D. Ce n'est pourtant pas une brique simple comme DEV. La méthode RDI ne la conçoit pas comme complexe au sens où elle imbriquerait de la recherche et du développement, mais au sens où elle est conçue comme une émergence. Elle n'est pas prévue par un processus de calendrier. Elle a une probabilité d'occurrence d'autant plus élevée que l'ensemble de la méthode est bien mise en œuvre. C'est en ce sens que la nature de cette brique est complexe. Le troisième élément d'artefact, EDC pour Élément De Compréhension est clairement complexe. La recherche et le développement y sont imbriqués. Les états possibles au cours du temps des deux premières briques DEV et AT sont simples, soit en cours, soit clos. Au contraire, les états de la troisième brique EDC sont fondamentaux et suivent la suite des états : précaractérisé, prêt à être réalisé, en cours de réalisation et acquis. Le premier état est de la recherche exploratoire non finalisée prête à être poursuivie. Il a un pouvoir fort d'attraction entre problématiques client et solution potentielle de rupture. Le second état contractualise en quelque sorte un verrou R&D. Le troisième état déroule de l'ingénierie. Le dernier état capitalise les aspects scientifiques et techniques. Venons-en au dernier des quatre éléments d'artefacts, IDD pour Intention de Découverte. Il s'agit d'un terrain d'exploration « magnétisé » par un objectif dit « infaisable » et d'une cartographie constituée d'Éléments de Compréhension où ceux qui sont dans l'état précaractérisé sont cruciaux, car il porte concrètement la diversité et la rapidité des recherches et développement

futurs. Nous sommes convaincus que la puissance de la R&D n'est pas dans l'anticipation basée sur la prolongation de ses acquis, mais dans sa capacité à être rapide au moment où des signaux faibles non prévisibles apparaissent. C'est cela qui nous a guidé pour déterminer les quatre premiers principes qui portent sur les artefacts fondamentaux. Ils sont systémiques pour répondre au paradoxe d'être soumis aux deux injonctions contradictoires à la base de notre problématique initiale R&D, être le plus créatif le plus rapidement possible et produire des solutions matures réutilisables.

La méthode RDI définit ensuite cinq principes d'activités. Ils veillent chacun à ce que les artefacts soient correctement produits dans un état d'esprit de compréhension de leur nature systémique. Deux principes de mise en œuvre concrétisent méthodologiquement ce que doit être une « Intention De Découverte » : la revue « au quotidien » de la cartographie exploratrice est primordiale ; chercher à ce qu'elle soit la plus exploratrice possible, et ce, avec des EDC précaractérisés est primordial. Un troisième principe d'activité rend méthodologique l'appariement proactif entre verrous scientifiques et opportunités du marché de la Recherche et de l'Innovation. C'est ici que les modes innovants de développement business prennent place. Un quatrième principe détaille le déroulement des différents états d'un EDC. De nombreux cas de figure apparaissent. Le cinquième et dernier principe qui régit les activités porte sur l'émergence des assets en faisant notamment appel à la caractérisation en niveaux TRL, non pas de façon linéaire, mais au contraire en facilitant les retours arrière et les branchements.

Les principes numéro 10 et 11 closent la méthode RDI et portent sur les KPI et la supervision du bon déroulement de la méthode. Le principe n°10 est dédié au triple alignement

- des objectifs business propres à l'organisation
- des objectifs de mesures propres aux principes RDI
- de la mise en œuvre proprement dite des KPI.

On peut y trouver par exemple un KPI matérialisé par un Earned Value qui prend en compte les coûts financiers et calendaires des efforts de développement, indépendamment de leur appartenance à tel ou tel EDC et indépendamment des efforts de recherche dans le cadre d'un objectif final pouvant varier au cours du temps. Ce KPI Earned Value est une illustration et non une préconisation du principe n°10. Ce principe est un guide d'identification des trois ou quatre KPIs maximum dont le choix doit être le plus pertinent possible pour respecter au mieux, à la fois les contraintes business conjoncturelles, les aspects méthodologiques RDI corrélés et la faisabilité de production, de collecte et d'interprétation des données.

Le dernier principe établit un rôle et au moins un KPI qui veillent à la mise en œuvre correcte de la méthode RDI dans l'objectif de l'augmentation de la probabilité de la créativité, en relation avec les objectifs business. Ce onzième principe veille à la globalité de RDI. Le rôle de facilitateur de la bonne application de la méthode RDI est obligatoire. La compréhension des liens qui distinguent et unissent les activités de recherche et d'ingénierie est complexe. Chacun des principes RDI contient cette imbrication et en maîtriser la pédagogie est indispensable. En ce qui concerne les indicateurs sous-jacents au principe n°11, comme pour le principe précédent, un KPI a été donné davantage comme illustration que comme recommandation, même s'il paraît prometteur. Il s'agit d'un Earned Value qui cible la créativité en termes d'EDC acquis, le coût EV étant implémenté en appariements réussis entre verrous scientifiques et opportunités de cas d'usage client réels.

La méthode RDI a été outillée. Une étude comparative d'outils et des expérimentations durant 3 mois se sont inspirées des communautés Open, Stackoverflow et des plateformes de capitalisation pour aboutir à une implémentation d'un système personnalisé étant le juste milieu entre des systèmes « OPEN » et la maîtrise des chaînes outils corporatifs. Ce système est présent au quotidien, à chaque étape de nos travaux, nous ne le voyons presque plus tellement il est intégré. Ce SI reste pourtant notre principal pourvoyeur de données brutes et de verrous opérationnels. Ensuite, une analyse comparative de deux déroulements de projet a été menée. Elle a confirmé une orientation fondatrice de RDI : l'expérimentation. La méthode RDI s'est très tôt constituée en principes et

non en processus. Comme toute méthodologie basée sur des principes plutôt que sur des processus, le choix reste libre d'implémenter un système prenant en compte un ensemble de contraintes propres, du moment que la philosophie des systèmes outillés correspond à celle de la méthode.

PARTIE III : Conclusion

“Qui ne doute pas, acquiert peu.”

L. De Vinci.

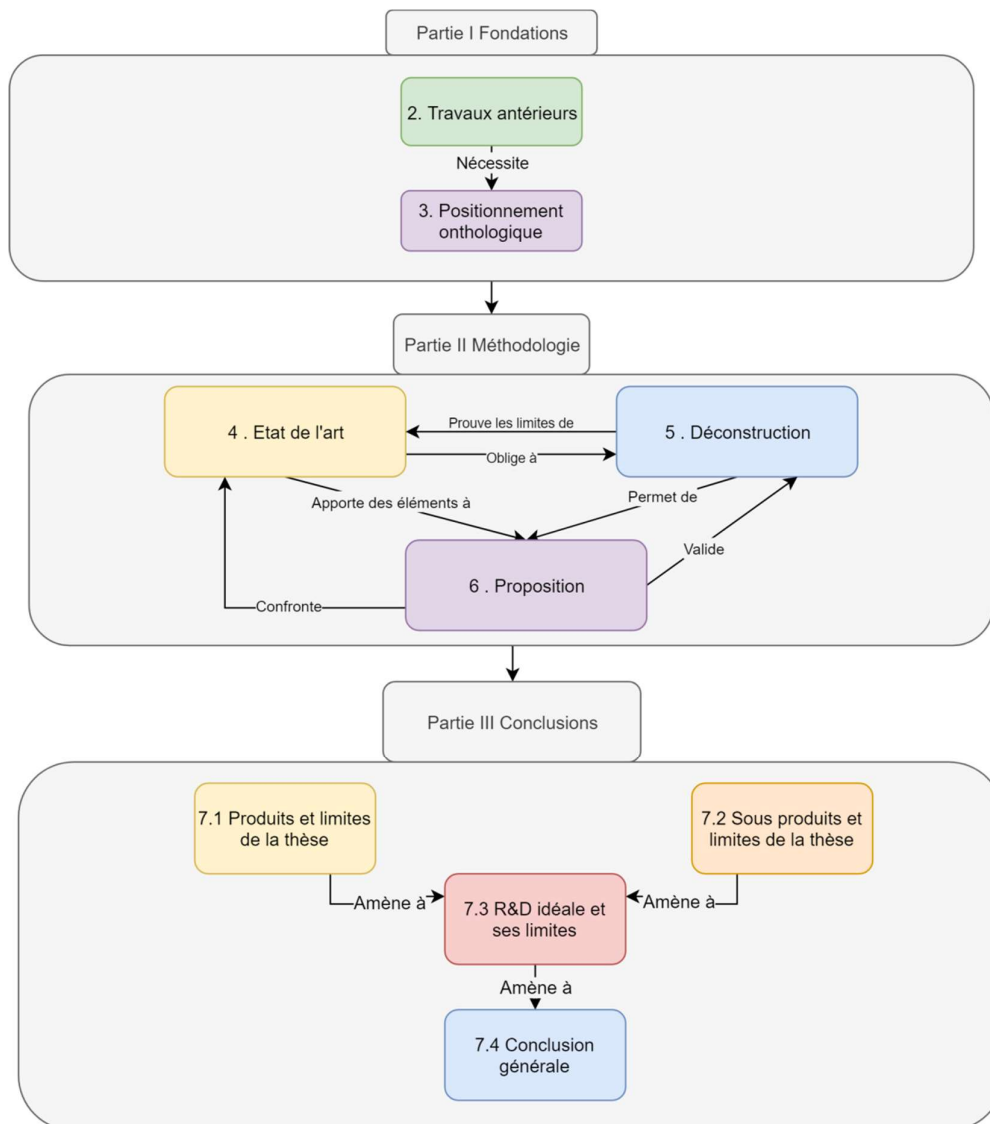


Figure 55. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III.

7 DISCUSSIONS ET CONCLUSION

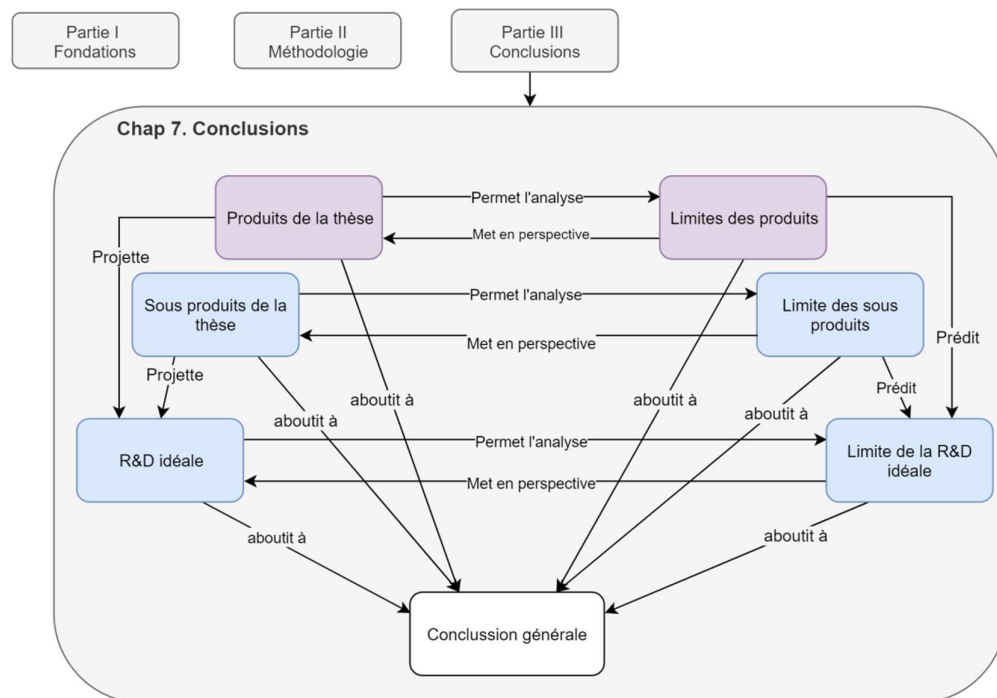


Figure 56. Reading manual. Partie II. Chapitre 7

7.1. Produit de la thèse : la méthode RDI

Le travail réalisé dans le cadre de cette thèse CIFRE a pour genèse la complexité du positionnement des R&D externalisées dans leur écosystème technico-économique qui va fortement évoluer dans le monde les prochaines années. À l'issue de premiers travaux ayant apporté une compréhension des mécanismes

antagonistes des activités de recherche et de développement, nous avons mis au point une méthode outillée que nous avons appelée R&D intégrés. Cette méthode permet d'aligner dans le temps et dans l'espace des activités aussi singulières et à priori antinomiques que sont la recherche et le développement. Dans notre concept de R&D intégrés, chacune de ces activités conserve ses attributs et caractéristiques propres, ses processus internes, ses cycles de vie de productions, ses livrables et artefacts, et nous le pensons même, ses philosophies respectives. Le socle minimal de notre proposition de méthode est composé de 4 principes caractérisant les entités élémentaires de production, 5 principes définissant leur mise en opération et 2 principes veillant à la cohérence globale.

Vue par un observateur extérieur, notre méthode est un mécanisme qui scrute en entrée des problèmes d'ingénierie en cours et qui produit en sortie des assets technologiques. Ces assets sont principalement des briques de rupture technologique réutilisables dans des contextes multiples. Vue par un observateur interne, notre méthode est basée d'une part sur une recherche exploratrice qui est indépendante des contextes client court terme. Elle précaractérise des ruptures en établissant des plans d'expérience courts à réaliser ultérieurement. En parallèle ces plans seront déclenchés de façon opportuniste avec les problèmes d'ingénierie posés au quotidien. D'autre part, la méthode identifie des assets technologiques qui émergent du dispositif. L'observateur notera ainsi plusieurs aspects clé dans la mise en œuvre de notre proposition de méthode :

- l'anticipation de la recherche exploratrice par des précaractérisations de verrous,
- le recalage temps réel en termes de recherches appliquées et
- la décision méthodologique fondamentale que les assets technologiques sont une émergence et non le résultat d'une planification.

L'implémentation d'un système d'information qui facilite ces points clés a été également une expérimentation instructive à part entière. Ce système est capable d'une part de dissocier les activités, les connaissances et les artefacts produits par la 'Recherche' et par le 'Développement', chacun ayant une couche de métadonnées adaptée et appropriée, et d'autre part de créer des mécanismes de

liens entre les différents types de production, cette métacouche ayant elle-même ses propres métadonnées. Nous y sommes arrivés avec notre implémentation basée sur une instance paramétrée pour nos besoins de la suite Atlassian combinée à l'outil Gitlab. Au final notre système d'information est une machine à liens mettant en relation et en relief, à différents niveaux de granularité l'ensemble des sources de valeurs produites.

Les premiers résultats de tests tant sur les aspects méthodologiques que sur les aspects d'implémentations outillées sont encourageants sur les points suivants :

Notre méthode place un principe fort de focus de la recherche en partant d'un objectif méthodologiquement rédigé comme « infaisable », et non pas uniquement en partant de prolongations à la frontière de l'état de l'art. Résultat : On a pu observer une plus grande diversité des assets générés.

Notre méthode se structure par des travaux courts finalisés sur une seule dimension de verrou. Résultat : On a pu observer une meilleure résolution d'une de nos difficultés de notre contexte de R&D externalisée qui est que nos problématiques sont, la plupart du temps, multidimensionnelles. Ceci permet une lecture plus claire et plus lisible d'une volumétrie importante de différents projets de recherche, ceci, peu importe leur lieu géographique, le domaine, les thématiques ou les technologies mises en œuvre. Cette nouvelle vision facilite la fertilisation croisée et la combinaison de recherches en assets technologiques. Pour illustrer ce point, citons le portage d'une brique technologique de détection de gestes de la langue française des signes dans le cadre d'une interface homme-machine en médecine, vers plusieurs briques en contrôle qualité par vision de pièces automobiles ; ou encore des briques de mobilité autonomes en robotique vers des techniques d'assistance à l'insertion des personnes handicapées.

Enfin dans notre méthode, ce sont les cas d'usage réels, au moment où ils se présentent, qui enclenchent les plans d'expérience qui font progresser la recherche. En conséquence, les verrous deviennent davantage centrés usages et utilisateurs. Résultat : Cela a encouragé que les retours des utilisateurs finaux avec qui notre organisation est directement en lien pour produire les

développements finaux issus des travaux de recherche soient intégrés comme de nouveaux verrous au même titre que certains verrous plus fondamentaux. Nous avons développé ainsi une capacité d'intégrer les flux descendant et ascendant de la Recherche et du Développement. Synthétiquement on a pu observer que le double mécanisme de décalage et de recalage des activités de recherche et de développement améliore la pertinence des problèmes posés et une plus grande vitesse de prise en compte. Dit autrement, nous devenons un équipementier. Pas dans le sens conventionnel de produits d'usage, mais bien centré sur la mise à disposition d'une capacité à lever des verrous. Si nous devions mettre un qualificatif sur ce métier, nous parlerions d'« équipementier de recherches ».

7.2. Limites de la méthode RDI

Voici les principales limites et incertitudes de notre proposition de modèle de Recherche et Développement Intégrés.

La première limite est liée à l'absence de tests de la méthode en un seul tenant. En effet, malheureusement nous n'avons au cours de cette thèse pas eu l'opportunité de traiter une recherche de bout en bout et sur une longue période en y appliquant l'ensemble de nos principes et méthodes. Nous n'avons donc à l'heure actuelle aucun retour d'expérience qui nous permette de garantir l'intégration de toutes nos propositions, ni d'évaluation des effets de bords induits par cette intégration.

Une autre limite est due au fait que notre méthode est composée d'une suite de principes. Une conséquence de préférer une solution basée-principes à une solution basée-processus est la grande variabilité de mise en œuvre. Avec notre solution, la pratique est un facteur clé de réussite. Nos premières expérimentations montrent des résultats très encourageants. Cependant dans quelle mesure la réussite a-t-elle été due à la méthode ou à l'implication des acteurs dans la conception, acteurs qui ont été les testeurs de la méthode ? Outre une évidente et nécessaire preuve de concept basée sur un déploiement de plusieurs expérimentations de la méthode avec des personnes ne l'ayant pas conçue, il est

certain que la pédagogie est clé. RDI étant basée-principes, RDI doit être une pédagogie, voire même une culture. Il ne suffit pas de dérouler les principes, il est nécessaire de se les approprier avec un état d'esprit d'expérimentateur. De cette façon vous deviendrez meilleur explorateur à chaque itération. Certains pourraient voir dans la méthode RDI une analogie avec la méthode Kata Amélioration. Nous trouvons que le cadre réglementaire et disciplinaire de cette méthode pour résoudre le problème complexe posé nie les leçons que les auteurs tirent de la description qu'ils font du problème. Reste que dans notre cas, un ouvrage pédagogique sur RDI est encore à écrire pour être en mesure de mieux juger sur le terrain de la justesse de notre proposition. Les expériences collectées par les pédagogues des méthodes agiles seraient certainement de bons conseils pour concevoir l'approche pédagogique de RDI. Il serait extrêmement instructif que d'autres personnes communiquent sur leurs expériences d'amélioration et de principes en matière de R&D innovantes.

Outre notre conviction que RDI doit être une pédagogie et pas seulement un ensemble de principes à appliquer comme s'il s'agissait de règles procédurières, la méthode RDI doit aussi être considérée comme un art, dans le sens de la traduction d'une recherche en acte. En particulier, il s'agit à présent d'appliquer la méthode RDI à sa propre évolution.

Une troisième limite est l'absence actuelle de preuve que le concept RDI d'émergence de l'asset fonctionne dans la durée. On parle ici d'une suite de résultats attendus par l'extérieur dans son contexte organisationnel et économique. La source principale d'intérêt de RDI est d'améliorer la productivité d'assets de qualité, c'est-à-dire de vraies propositions de ruptures utiles à résoudre de vrais problèmes. Nous en avons une première preuve expérimentale. Un plan d'expérience sur plusieurs implémentations de la méthode, qui est planifiée après la thèse pour en améliorer la preuve de concept, devra soigneusement traiter la dépendance de l'application de RDI aux interlocuteurs externes tant du milieu académique qu'industriel. Il va falloir convaincre et éduquer les personnes clés externes en plus des acteurs internes d'une RDI. La métrique TRL ou une variante de TRL sur les assets pourrait aider en ce sens, à condition de ne pas donner à croire à une gradation positive des niveaux TRL, mais au contraire à une évolution

dans les deux sens des niveaux TRL accompagnée de ramifications de sous-produits. Sinon, la méthode RDI sera erronément assimilée à une R&D classique et non à une R&D exploratrice d'assets dont les R&D classiques peuvent être clientes.

Une autre limite concerne l'outillage. La méthode a été outillée de façon ad hoc pour nos premières expérimentations. Les incertitudes sont multiples, elles proviennent de :

- La capacité à produire automatiquement les bonnes données brutes ad hoc. En effet, la production des données brutes au cours de la thèse a été sous la responsabilité des chercheurs chefs de projet de recherches qui comprenaient le modèle et sa philosophie. L'incertitude, voire le risque, que de mauvaises données influencent de façon importante les indicateurs n'a pas été évalué.
- Serons-nous ultérieurement, comme nous le désirons, en capacité de créer des modèles de Machine Learning fiable à partir des données répertoriées ? Lors de nos travaux, ce sujet est à un niveau de maturité beaucoup trop faible pour estimer que les métriques pourront être totalement automatiques et fiables. À noter que ce futur outillage initié lors de la thèse n'a pas pour vocation qu'il soit une espèce de gourou numérique. Il s'agit au contraire d'aider les acteurs RDI à collecter et traiter automatiquement des données pour leur donner une image du système complexe qu'est leur RDI. Le pilotage de la RDI reste aux mains des acteurs de façon à intégrer l'intuition et la créativité au-delà d'une projection proche de l'existant.

Une dernière limite n'est pas strictement liée à notre méthode, mais à l'environnement dans lequel se positionne ce système. En effet nos travaux ont été déroulés dans un environnement relativement stable. Ceci a simplifié le modèle de verrou et quelque part nous ne pouvions pas faire autrement. Le milieu académique dans lequel nous avons développé la méthode a été constant, autant que l'environnement du portefeuille client de l'entité Altran siège de nos travaux. Sur une durée de 6 ans en incluant des travaux qui ont précédé la thèse, nous considérons rétrospectivement que les variations d'environnement ne sont pas

suffisamment significatives pour éprouver des contextes foncièrement différents. La relative stabilité de notre environnement limite la généralisation de notre proposition. Le plan d'expériences post-thèse est ébauché pour confronter la méthode à des environnements internes suffisamment différents afin d'évaluer l'aspect généralisable de notre méthode.

La mise au point de ce plan de déploiement a mis en lumière une variable interne qui s'avère pouvoir également être une limite à la généralisation de notre modèle. En effet, l'organisation de notre département est particulière. Elle est constituée opérationnellement de 8 chercheurs et de 4 ingénieurs permanents, ainsi que de consultants qui interviennent entre des missions des clients pouvant constituer jusqu'à 40 équivalents temps plein répartis sur un peu moins de 300 profils uniques. En ce sens, notre département est très similaire à une organisation ouverte du courant « open innovation ». Ce contexte dynamique est encore davantage renforcé par la création et le développement par Altran France de 5 espaces de co-innovation appelés WE.LAB. Bien que nous soyons distincts des WE.LAB, cette dynamique nous influence sans aucun doute. Nous avons hâte d'évaluer l'adoption et la faisabilité du déploiement de notre méthode dans des situations opérationnelles différentes de la nôtre pour être en mesure de nous prononcer sur le degré de généralisation de notre méthode en termes d'augmentation de la créativité et d'émergence d'assets.

7.3. Sous-produits de la thèse

Nos contributions ne s'arrêtent pas là, car en plus du modèle final RDI, nos travaux ont abouti à un ensemble de résultats annexes. Ils nous ont été utiles pour comprendre, apprendre et expérimenter. Ils se révèlent être des briques valorisables dans d'autres situations et cas d'usage. Nous en comptabilisons six : trois méthodes annexes et trois sous-produits.

À propos des trois méthodes annexes.

Nous avons produit lors de l'étape d'état de l'art interne la méthode de classification de texte en employant l'algorithme de traitement naturel de la langue

RAKE « Rapid Automatic Keyword Extraction », combiné à un dictionnaire de mot clef qui s'enrichit et s'affine par boucles successives de traitement. Ce modèle nous permet de façon semi-automatique de classifier des corpus de texte. Nous avons testé ce modèle sur l'ensemble de la revue bibliographique d'EV pour classifier les textes selon notre modèle à 3 états. La comparaison en aveugle avec les experts du PMO utilisant EV montre une correspondance dans une grande partie des cas.

Une seconde méthode annexe a été produite lors de l'état de l'art interne. La méthode de classification des projets démarre par la collecte des données brutes, nettoyées et normalisées que le pilotage de projets basés sur le modèle EV a généré. Ces données sont alors dérivées en notions de distances et d'angles pour créer une liste de descripteurs complexes. Ensuite ces descripteurs sont réduits par analyse de composante principale puis agrégés en cluster par l'application de la méthode DBSCAN « Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise ». Cette méthode permet de regrouper les projets sur la base de patterns de signaux faibles similaires. Ce modèle de classification a été testé sur 143 projets du PMO sur 6 années et permet effectivement d'identifier des patterns de signaux faibles. La réconciliation faite par les experts EV du PMO nous a permis d'identifier dans plusieurs clusters des paramètres non évidents.

La troisième méthode annexe produite lors de nos travaux est mineure scientifiquement, mais s'est révélée puissante en pratique. Notre problème est que les variantes EV sont toutes spécifiques, y compris leurs non-dits. Nous les avons alors déconstruites en couches standardisées à la manière des couches du protocole de communication OSI. Nous avons retenu trois des sept couches OSI. Au départ, c'était une simple analogie en considérant que l'interaction de n'importe quelle variante EV avec les acteurs du projet pouvait être décrite avec un unique protocole abstrait de communication. Nous avons obtenu une réduction efficace de la complexité des variantes, une plus grande aisance d'identification des points communs, de ce qui les distingue et par là une meilleure anticipation du potentiel d'une future variante EV.

À propos des trois sous-produits.

En plus des méthodes annexes, nos travaux ont également permis d'obtenir des sous-produits pouvant alimenter d'autres recherches.

Le premier est l'ensemble des fondations de notre environnement de R&D externalisée. Ce produit apporte une connaissance à un niveau méta des acteurs, des processus et des flux qui régissent les comportements dans le périmètre de la recherche et l'innovation industrielles. Bien que ce produit soit de type connaissance et que par conséquent il soit difficile d'en apporter une preuve par validation, il nous a apporté une cohérence entre notre caractérisation de l'environnement et notre proposition de méthode. Ce cas d'usage peut servir à d'autres recherches.

Notre deuxième sous-produit est une classification des articles de l'état de l'art sur EV, « additionnable » à la façon de poupées russes entre toutes les variations autour de trois critères : les fondamentaux earned value, les usages et les calculs.

Le dernier sous-produit issu de nos travaux est une proposition originale d'une modélisation générale "earned value" dont l'architecture en couches est applicable à toutes les variantes. C'est à la fois un guide de compréhension des variantes existantes et un guide pour construire une variante en meilleure connaissance de cause des impacts du choix des options.

7.4. Limites des sous-produits de la thèse

De la même manière que pour nos contributions principales, nous discutons ici des limites des sous-produits. Nous en ferons l'analyse dans le même ordre dans lequel ils ont été mentionnés dans les paragraphes précédents.

Bien que la méthode de classification automatique des publications nous ait permis de gagner du temps dans le traitement des références exhaustives d'analyse bibliographique de Vanhoucke, elle reste très largement optimisable avec 55 % de correspondances parfaites sur un tri à 3 classes et 4 paramètres et 64 % de

correspondances pour 2 classes sur 3, avec un sigma global à 36. Le niveau obtenu est 2 fois meilleur qu'un tirage aléatoire. Ces résultats ont été jugés exploitables dans une approche hybride de prétraitement avant analyse manuelle, mais ne sont clairement pas suffisants pour classer la bibliographie en se basant uniquement sur la méthode automatique. Nous allons travailler sur l'affinement des dictionnaires d'analyse pour augmenter le pourcentage de correspondance et réduire la dispersion. Puis nous hybriderons notre algorithme à celui de Vanhoucke. Nous évaluerons enfin les effets de bords éventuels de cette fusion des méthodes de classification.

La méthode de classification des projets par analyse de données a montré de très bons résultats. Comme avec toute méthode d'analyse de données, sa réussite dépend en grande partie des jeux de données d'entrée. Nos jeux de données ont été construits par augmentation des données dérivées CPI* et SPI* du Program Office de notre entité. Nous n'avons pas investigué d'autre source de données, qu'elle soit disponible ou à produire. En effet, il ne s'agissait pas dans cette phase de trouver les meilleurs paramètres de classification, mais bien plus modestement de déjà arriver à une méthode de classification. Nous ne pouvons donc pas dire avec certitude que nos choix de paramètres sont les plus pertinents. En admettant que nous souhaitions développer plus en profondeur ce travail d'analyse de données il nous faudrait nous pencher avec plus de précisions sur l'exploration des données qui gravitent autour des projets EV, augmenter le nombre de projets à inclure dans les analyses et tester des combinaisons paramétriques diverses et variées. Dans tous les cas de figure, nous utiliserons cette méthode en l'enrichissant des nouveaux KPI issus du modèle RDI. Nous espérons pouvoir identifier en un cluster les projets sortis comme « outlyer » de la première analyse. Cette différence mettra en avant un nouveau signal faible parmi les projets du PMO, sur des aspects de créativité et de verrous, qui en font de potentiels candidats à des sujets de RDI.

Concernant l'usage de l'analogie avec le standard de protocole OSI pour décrire un modèle EV, elle s'est révélée intéressante pour faciliter sa compréhension profonde. Le choix de cette approche n'a pas été le résultat d'une analyse particulière, mais simplement une tentative opportuniste. À posteriori nous

pouvons dire que la méthode a été fructueuse, dans le sens où nous avons réussi à déconstruire puis reconstruire entièrement la méthode en y identifiant les limites. Nous pensons qu'il est possible de créer une méthode plus complète d'analyse des systèmes basés sur OSI. Pour prouver cela en l'appliquant au système EV, il faudrait déjà aller vers une plus grande bijection entre les 7 couches OSI et notre analogie, en axant les efforts sur la gestion des risques que chaque couche OSI mitige et non pas en voulant à tout prix atteindre la bijection complète.

En ce qui concerne nos travaux de fondations et notamment sur l'aspect d'ontologie, nous replacerons le fait que l'approche et les attentes initiales étaient bien d'identifier si un modèle existant structurait notre besoin d'ontologie sur les Aspects de R&D dans son sens organique. Bien que n'ayant pas eu de réponse à nos attentes sur une connaissance existante, la bibliographie est assez riche sur d'autres aspects avec d'autres points de vue pour que la peine soit donnée de faire une analyse systématique plus méticuleuse. Il serait intéressant de produire une revue de littérature exhaustive sur ce sujet.

Le sous-produit de classification des articles EV est clairement lacunaire dans la catégorie des modes de calculs. Elle serait à approfondir au moins en termes de sous-classements, avec pour chacune d'entre elles un éclaircissement des forces et des faiblesses. Notre première version de la méthode RDI visait d'abord un fonctionnement des fondamentaux. D'où un effort volontairement plus léger sur l'analyse des modes de calculs. L'existence de cette catégorie apporte en premier lieu un moyen de mettre en relief les deux autres catégories, « fondamentaux EV » et « usages ». Les articles EV sont complexes à analyser, chaque article mêlant la plupart du temps les 3 catégories de notre proposition.

En revanche dans une version ultérieure de la méthode RDI, une meilleure compréhension des calculs de prédictions deviendra progressivement un objectif.

Enfin, le sous-produit de la modélisation générale de toutes variantes EV en une architecture unique en couches peut être amélioré indépendamment de la potentielle amélioration de la méthode basée OSI.

Inclure dans la couche signal la création de nouveaux modèles basés sur le traitement des signaux par des méthodes d'IA, non pas dans un but de prédiction, mais dans un but de caractérisation. Une modification plus conséquente porte sur notre proposition au niveau « couche modélisation ». Celle-ci est actuellement trop disparate et étendue. L'adoption d'une architecture globale en 3 couches est un premier pas. La première et la dernière couche sont assez claires. Il s'agit à présent de reconsidérer la couche centrale qui contient à plat aussi bien le cœur du concept earned value que des index de performances et des calculs de prédiction. Un éclatement en plusieurs couches ou l'adoption d'une autre architecture locale est à étudier. L'intérêt est d'approfondir le concept de « earned value » aux approches adaptatives par opposition aux approches prédictives. Ces perspectives incluent la modélisation de l'objectif final en tant que donnée variable, dans une perspective "growth model" et pas seulement en itération contrôlée de baselines.

7.5. La R&D idéale

Le transfert de la recherche vers le développement est une réelle problématique qui prend de plus en plus d'ampleur, peu importe la granularité et le niveau d'abstraction pris en compte. À un niveau « méta », les communautés Open innovation et les « fablab », les pressions croissantes sur le besoin d'innovation occidentale par rapport aux marchés émergents, ne sont que quelques exemples de signaux avant-coureurs. Altran en tant que fournisseur de solutions d'ingénierie avancée est directement sur le front de cette nécessité, et se retrouve face à toutes les contraintes qu'engendrent cette rupture et ce changement de paradigme. C'est donc le lieu idéal pour expérimenter de nouveaux modèles qui visent non plus à prendre ce nouveau cadre comme un obstacle, mais bien à le considérer comme partie intégrante d'un nouveau mode de fonctionnement qui sera la norme de demain. Les productions de connaissances et de compréhension autour de nouveaux concepts d'innovation ne seront plus cloisonnées dans l'enceinte des murs de quelques entreprises à la pointe. Ces productions se feront de façon externalisée en faisant le lien entre les compétences académiques et les nécessités industrielles, puis offertes à tous. Tesla prouve bien en 2014 que libérer

et offrir tous ses brevets au monde ne les inquiète en rien pour conserver leur place de leader des véhicules électriques.

Appréhender la source de valeur principale et être en mesure de la transformer sont l'enjeu de nos travaux. On ne parle ici de rien d'autre que de structurer la créativité, aussi polymorphique soit-elle. Une idée, un verrou, une opportunité sont à considérer dans un continuum comme étant la même chose qu'un développement, qu'un contrat, et in fine qu'une solution ou un produit économique. La R&D idéale suit la source de valeur et s'adapte à toutes les variations que génère la créativité. Elle fournit un ensemble de bonnes pratiques qui ne nécessitent pas de changer de modèle organisationnel et de pilotage dès lors que l'identification d'un verrou se transforme en protocole expérimental, et que ce même protocole se transforme en preuve de concept et ainsi de suite. La R&D idéale doit avoir la capacité d'identifier le verrou qui a abouti au produit fini ainsi que l'historique du parcours de ce verrou, à la manière de l'empreinte génétique d'un organisme qui permet de tracer sa filiation. Elle doit avoir aussi la capacité d'obtenir une genèse spontanée. La tendance d'optimisation des systèmes cherche à réduire au maximum les processus en temps et en coûts. Cela implique d'admettre que le processus est bon, et que c'est la seule façon de bien réaliser les choses. Or les processus de création et d'imagination sont intimement liés aux individus, à leur conception du monde et des choses, à leurs visions du monde qui les entoure ainsi que d'une expérience et d'un apprentissage propres. Standardiser l'innovation et l'améliorer, c'est faire fi de ces aspects, et de penser qu'il n'y a qu'une façon d'innover. La R&D idéale n'est pas un processus, mais un attracteur. Elle explore à la façon des communautés Open source.

7.6. Les limites de la R&D idéale

Ce système relève en l'état d'une certaine utopie. Adopter ce modèle passe par le prérequis de l'adhésion à la culture, il faut donc avant l'usage d'un quelconque modèle, éduquer les utilisateurs. Une forte pédagogie est cruciale, car comme tout modèle qui n'est pas fortement cadré par des processus rigides et standards, c'est la volonté et la compréhension commune d'un groupe d'utilisateur qui feront la

réussite de cette R&D idéale. Il faudrait donc, pour augmenter les chances d'adhésion, réaliser les contenus d'apprentissage.

7.7. Conclusion finale

Durant cette thèse les défis ont été nombreux. Une problématique complexe n'a que très rarement de solution simple. Il nous a fallu pourtant nous employer à en trouver une. Formuler la problématique sous l'angle de rendre systémique la capacité à augmenter la créativité des R&D nous a semblé être la façon la plus complète d'appréhender les verrous. Les effets de bord sont ainsi multiples sur la productivité, la rationalisation par fertilisation croisée, la valorisation économique, et la diversité du tissu technico-économique. Tous ces sujets ont été abordés et traités d'une façon ou d'une autre par ce fin vecteur commun, qu'est celui de l'augmentation de la probabilité de la créativité.

Nos travaux ont abouti à une méthode appelée RDI pour Recherche & Développement Intégrés. Les résultats des premières expérimentations sont encourageants. Les concepts proposés sont taillés pour convenir aux petites structures comme aux grandes. Seul l'outillage est à changer. Pour le confirmer, des déploiements plus diversifiés sont nécessaires. Au-delà de la première preuve de concept déjà obtenue et de la seconde qui est d'ores et déjà planifiée au sein de l'entreprise qui a hébergé cette thèse CIFRE, nous sommes convaincus que la R&D de demain sera fondamentalement différente des R&D d'aujourd'hui. En particulier les R&D externalisées qui nous le pensons se démocratiseront dans les années à venir. Les systèmes deviennent de plus en plus complexes et les constructeurs d'ingénierie ne seront bientôt plus capables d'exprimer un besoin formalisé par un cahier des charges, mais se contenteront d'exprimer un problème sous la forme d'un verrou, que seule la recherche à risque peut résoudre. La R&D de demain est à inscrire dans l'écosystème de demain. Notre méthode RDI a été conçue pour contribuer à répondre à ce monde encore largement inconnu aujourd'hui, en axant sa fondation sur l'inconnu lointain plus que sur l'expansion proche de l'état de l'art. L'évolution de la méthode RDI doit donc faire appel à la méthode elle-même.

8 Références

- Abdel Azeem, S. A., Hosny, H. E., & Ibrahim, A. H. (2014). Forecasting project schedule performance using probabilistic and deterministic models. *HBRC Journal*, 10(1), 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2013.09.002>
- Abdi, A., Taghipour, S., & Khamooshi, H. (2018). A model to control environmental performance of project execution process based on greenhouse gas emissions using earned value management. *International Journal of Project Management*, 36(3), 397-413. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.12.003>
- ACCENTURE. (s. d.). *The Agile and Dynamic Organisation*.
- Amabile, T., Hadley, C. N., & Kramer, S. J. (2002, août 1). *Creativity Under the Gun*. *Harvard Business Review*, (August 2002). Consulté à l'adresse <https://hbr.org/2002/08/creativity-under-the-gun>
- Amabile, T. M., Conti, R., Coon, H., Lazenby, J., & Herron, M. (1996). Assessing the Work Environment for Creativity. *Academy of Management Journal*, 39(5), 1154-1184. <https://doi.org/10.5465/256995>
- Anbari, F. T. (2003). Earned Value Project Management Method and Extensions. *Project Management Journal*, 34(4), 12-23. <https://doi.org/10.1177/875697280303400403>
- Arnold, J. (2012). Practice Led Research: Creative Activity, Academic Debate, and Intellectual Rigour. *Higher Education Studies*, 2(2), 9. <https://doi.org/10.5539/hes.v2n2p9>
- Balachandra, R., & Friar, J. H. (1997). Factors for success in R&D projects and new product innovation: a contextual framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 44(3), 276-287. <https://doi.org/10.1109/17.618169>
- Baldwin, C., & von Hippel, E. (2011). Modeling a Paradigm Shift: From Producer Innovation to User and Open Collaborative Innovation. *Organization Science*, 22(6), 1399-1417. <https://doi.org/10.1287/orsc.1100.0618>
- Barge-Gil, A., & López, A. (2011, février 23). R versus D: Estimating the differentiated effect of research and development on innovation results [MPRA Paper]. Consulté 30 novembre 2015, à l'adresse <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/29091/>
- Barjis, J. (2008). The importance of business process modeling in software systems design. *Science of Computer Programming*, 71(1), 73-87. <https://doi.org/10.1016/j.scico.2008.01.002>
- Barraza, G. A., Back, W. E., & Mata, F. (2004). Probabilistic Forecasting of Project Performance Using Stochastic S Curves. *Journal of Construction Engineering*

- and Management*, 130(1), 25-32. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:1\(25\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(25))
- Basili, V. R., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (1994). *THE GOAL QUESTION METRIC APPROACH*.
- Basque, R. (2011). *CMMI 1.3 - Guide complet de CMMI-DEV et traduction de toutes les pratiques CMMI-ACQ et CMMI-SVC*. Dunod.
- Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2015). Evaluation of deterministic state-of-the-art forecasting approaches for project duration based on earned value management. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1588-1596. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.04.003>
- Batzias, F. A., & Siontorou, C. G. (2012). Creating a specific domain ontology for supporting R&D in the science-based sector – The case of biosensors. *Expert Systems with Applications*, 39(11), 9994-10015. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.216>
- Boehm, B. (2003). *Value-based Software Engineering: Reinventing. SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, 28(2), 3–. <https://doi.org/10.1145/638750.638775>
- Boehm, B., & Kukreja, N. (2015). An Initial Ontology for System Qualities. *INCOSE International Symposium*, 25(1), 341-356. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2015.00067.x>
- Cândido, L. F., Heineck, L. F. M., & Barros, J. de P. (2014). *CRITICAL ANALYSIS ON EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM) TECHNIQUE IN BUILDING CONSTRUCTION*. *Annual Conference International Group for Lean Construction*, 12.
- Caron, F., Ruggeri, F., & Merli, A. (2013). A Bayesian Approach to Improve Estimate at Completion in Earned Value Management. *Project Management Journal*, 44(1), 3-16. <https://doi.org/10.1002/pmj.21303>
- Céret, E., Dupuy-Chessa, S., Calvary, G., Front, A., & Rieu, D. (2013). A taxonomy of design methods process models. *Information and Software Technology*, 55(5), 795-821. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.11.002>
- Chakraborty, S., & Nagwani, N. K. (2014). Analysis and Study of Incremental DBSCAN Clustering Algorithm. *arXiv:1406.4754 [cs]*.
- Chakraborty, S., Nagwani, N. K., & Dey, L. (2014). Performance Comparison of Incremental K-means and Incremental DBSCAN Algorithms. *arXiv:1406.4751 [cs]*.
- Chanal, V., Martin, A., Breda, G., & Bergantz, C. (2017). From Research to Innovation, How to Create Value for an IT Consulting and Engineering Service Firm through its Internal Research Activities. *International Journal of Knowledge-Based Organizations (IJKBO)*, 7(3), 1-14. <https://doi.org/10.4018/IJKBO.2017070101>

- Chao, L.-C., & Chien, C.-F. (2009). *Estimating Project S-Curves Using Polynomial Function and Neural Networks*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 169-177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:3\(169\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:3(169))
- Charmaz, K. (2006). *Constructing Grounded Theory: A Practical Guide through Qualitative Analysis*. SAGE.
- Chen, H. L. (2014). *Improving Forecasting Accuracy of Project Earned Value Metrics: Linear Modeling Approach*. *Journal of Management in Engineering*, 30(2), 135-145. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000187](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000187)
- Chen, W.-S., & Du, Y.-K. (2009). *Using neural networks and data mining techniques for the financial distress prediction model*. *Expert Systems with Applications*, 36(2, Part 2), 4075-4086. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.03.020>
- Christensen, C. (1997). *The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book that Will Change the Way You Do Business (Collins Business Essentials)*. Harper Paperbacks. Consulté à l'adresse <http://www.amazon.ca/exec/obidos/redirect?tag=citeulike09-20&path=ASIN/0060521996>
- Christensen, C. (2013). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business Review Press.
- Cioffi, D. F. (2005). *A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve*. *International Journal of Project Management*, 23(3), 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2004.08.001>
- Cioffi, D. F. (2006). *Designing project management: A scientific notation and an improved formalism for earned value calculations*. *International Journal of Project Management*, 24(2), 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.07.003>
- Coad, A. (2019). *Persistent heterogeneity of R&D intensities within sectors: Evidence and policy implications*. *Research Policy*, 48(1), 37-50. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.07.018>
- Cohn, M. (2010). *Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum*. Pearson Education.
- Corbin, J., & Strauss, A. (2014). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. SAGE Publications.
- Cropley, D. H. (2016). *Creativity in Engineering*. In G. E. Corazza & S. Agnoli (Éd.), *Multidisciplinary Contributions to the Science of Creative Thinking* (p. 155-173). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-287-618-8_10

- Cropley, D. H., & Kaufman, J. C. (2012). *Measuring Functional Creativity: Non-Expert Raters and the Creative Solution Diagnosis Scale*. *The Journal of Creative Behavior*, 46(2), 119-137. <https://doi.org/10.1002/jocb.9>
- Cropley, D. H., Kaufman, J. C., & Cropley, A. J. (2011). *Measuring Creativity for Innovation Management*. *Journal of technology management & innovation*, 6(3), 13-30. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242011000300002>
- Dalton, J. (2019). *Goal, Question, Metric (GQM)*. In J. Dalton (Éd.), *Great Big Agile: An OS for Agile Leaders* (p. 177-179). Berkeley, CA: Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4206-3_33
- Dasgupta, P., & Heal, G. (1974). *The Optimal Depletion of Exhaustible Resources*. *Review of Economic Studies*, 41(5), 3-28.
- Day, J. D., & Zimmermann, H. (1983). *The OSI reference model*. *Proceedings of the IEEE*, 71(12), 1334-1340. <https://doi.org/10.1109/PROC.1983.12775>
- Department of Defense. (2003). *Operation of the Defense Acquisition System (Instruction No. 5000.02)*. Office of the Secretary of Defense, the Military Departments.
- Desmoulins, N. (2009). *Maitriser le levier informatique*. PEARSON.
- Dingsøyr, T., Dybå, T., & Abrahamsson, P. (2008). *A Preliminary Roadmap for Empirical Research on Agile Software Development*. In *Agile, 2008. AGILE '08. Conference* (p. 83-94). <https://doi.org/10.1109/Agile.2008.50>
- DOD I 7000.2 : PERFORMANCE MEASUREMENT FOR SELECTED ACQUISITIONS. (1967).
- Drakos, N., Rozwell, C., Bradley, A., & Mann, J. (2009). *Magic quadrant for social software in the workplace*. Gartner.
- Elshaer, R. (2013). *Impact of sensitivity information on the prediction of project's duration using earned schedule method*. *International Journal of Project Management*, 31(4), 579-588. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.006>
- Engward, H. (2013). *Understanding grounded theory*. *Nursing Standard (Royal College of Nursing (Great Britain): 1987)*, 28(7), 37-41. <https://doi.org/10.7748/ns2013.10.28.7.37.e7806>
- Erik G. Cummings, & Kirk A. Schneider. (1992). *COST/SCHEDULE CONTROL SYSTEMS CRITERIA A REFERENCE GUIDE TO C/SCSC INFORMATION*. Faculty of the School of Systems and Logistics of the Air Force Institute of Technology Air University.
- Farris, J. A., Groesbeck, R. L., Van Aken, E. M., & Letens, G. (2006). *Evaluating the Relative Performance of Engineering Design Projects: A Case Study Using Data Envelopment Analysis*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53(3), 471-482. <https://doi.org/10.1109/TEM.2006.878100>

- Fernandes, G., Moreira, S., Araújo, M., Pinto, E. B., & Machado, R. J. (2018). *Project Management Practices for Collaborative University-Industry R&D: A Hybrid Approach*. CENTERIS 2018 - International Conference on ENTERprise Information Systems / ProjMAN 2018 - International Conference on Project MANagement / HCist 2018 - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies, CENTERIS/ProjMAN/HCist 2018, 138, 805-814. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.105>
- Feylizadeh, M. R., Hendalianpour, A., & Bagherpour, M. (2012). *A fuzzy neural network to estimate at completion costs of construction projects*. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(3), 477-484. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2011.11.003>
- Fontana, R. M., Fontana, I. M., da Rosa Garbuio, P. A., Reinehr, S., & Malucelli, A. (2014). *Processes versus people: How should agile software development maturity be defined?* *Journal of Systems and Software*, 97, 140-155. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2014.07.030>
- Forman, J. B., & Somerville, D. (2009). *EVM « lite » - a deliverables-based approach*. In *Quality management Methodology*. Orlando, FL. Newtown Square.
- Fouché, D. P., & Rolstadås, A. (2010). *The use of performance measurement as a basis for project control of offshore modification oil and gas projects*. *Production Planning & Control*, 21(8), 760-773. <https://doi.org/10.1080/09537281003661385>
- Friedlander, M. (2011). *Altran : comment externaliser l'innovation ?* *Le journal de l'école de Paris du management*, (47), 15-21.
- Gardiner, P. D., & Stewart, K. (2000). *Revisiting the golden triangle of cost, time and quality: the role of NPV in project control, success and failure*. *International Journal of Project Management*, 18(4), 251-256. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(99\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(99)00022-8)
- Gault, F. (2018). *Defining and measuring innovation in all sectors of the economy*. *Research Policy*, 47(3), 617-622. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.01.007>
- George, A. L., & Benett, A. (2005). *Case Studies and Theory Development in the Social Sciences*. The MIT Press. Consulté à l'adresse <https://mitpress.mit.edu/books/case-studies-and-theory-development-social-sciences>
- Gupta, A. K., Raj, S. P., & Wilemon, D. (1986). *A Model for Studying R&D-Marketing Interface in the Product Innovation Process*. *Journal of Marketing*, 50(2), 7-17. <https://doi.org/10.1177/002224298605000201>
- Hanna, R. A. (2009). *Earned Value Management Software Projects*. In *2009 Third IEEE International Conference on Space Mission Challenges for Information*

- Technology (p. 297-304). Pasadena, CA, USA: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/SMC-IT.2009.42>
- Hatchuel, A., Le Masson, P., & Weil, B. (2002). *DE LA R&D A LA RID LA CONSTRUCTION DES FONCTIONS «INNOVATION» DANS LES ENTREPRISES*. In *Actes du Colloque IPI*. Consulté à l'adresse http://www.anrt.asso.fr/fr/pdf/Atelier4_RID.pdf
- Hegazy, T., & Menesi, W. (2012). *Enhancing the critical path segments scheduling technique for project control* ¹ This paper is one of a selection of papers in this Special Issue on Construction Engineering and Management. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(9), 968-977. <https://doi.org/10.1139/l2012-024>
- Heinlein, J. W., Craig, C., Perotti, J., Pearson, M., Wooten, T., & Balderson, L. (2012). *Earned value management - a driver of organizational strategy ; the power of EVM in managing project portfolios for strategic results*. Consulté 19 octobre 2018, à l'adresse <https://www.pmi.org/learning/library/evm-power-managing-project-portfolios-5995>
- Henderson, J. C., & Venkatraman, N. (1993). *Strategic Alignment: Leveraging Information Technology for Transforming Organizations*. *IBM Syst. J.*, 32(1), 4-16.
- Henderson, K. (2004). *Further Developments in Earned Schedule. The measurable news*.
- Hendriks, M., Voeten, B., & Kroep, L. (1999). *Human resource allocation in a multi-project R&D environment: Resource capacity allocation and project portfolio planning in practice*. *International Journal of Project Management*, 17(3), 181 - 188. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00026-X)
- Hillson, D. (2004). *Earned value management and risk management : a practical synergy*. Présenté à PMI global congress proceedings, Anaheim, California, USA: Project Management Institute.
- Huang, C.-J., Trappey, A. J. C., & Wu, C.-Y. (2008). *Develop a Formal Ontology Engineering Methodology for Technical Knowledge Definition in R&D Knowledge Management*. In R. Curran, S.-Y. Chou, & A. Trappey (Éd.), *Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World* (p. 495-502). Springer London.
- Hudson, J., & Khazragui, H. F. (2013). *Into the valley of death: research to innovation*. *Drug Discovery Today*, 18(13-14), 610-613.
<https://doi.org/10.1016/j.drudis.2013.01.012>
- Huff, A. S., Möslin, K. M., & Reichwald, R. (2013). *Leading Open Innovation*. MIT Press.
- Hunter, H., Fitzgerald, R., & Barlow, D. (2014). *Improved cost monitoring and control through the Earned Value Management System*. *Acta Astronautica*, 93, 497-500.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.09.010>

- International standard organisation - ISO. (2018). Management de la valeur acquise en management de projet et de programme (No. ISO 21508).*
- Iranmanesh, S. H., & Zarezadeh, M. (2008). Application of Artificial Neural Network to Forecast Actual Cost of a Project to Improve Earned Value Management System, 2(6), 4.*
- Ivanov, C.-I., & Avasilcăi, S. (2014). Measuring the Performance of Innovation Processes: A Balanced Scorecard Perspective. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 109, 1190-1193. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.610>*
- Jacob, D. (2006). Is "Earned Schedule" an unreliable indicator? No, but It's not necessarily the premier indicator for assessing schedule performance. The measurable news.*
- Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). Sourcing Innovation: probing Technology Readiness Levels with a design framework. In SIG Innovation EURAM. In-between event Innovation Theory and the (re)foundations of Management. Paris, France. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01249946>*
- Józefowska, J., Blazewicz, J., & Slowinski, R. (2009). Project management and scheduling: Feature cluster in Honor of Jan Weglarz on his 60th Birthday. European Journal of Operational Research, 193(3), 778-779.*
- Jung, Y., & Woo, S. (2004). Flexible Work Breakdown Structure for Integrated Cost and Schedule Control. Journal of Construction Engineering and Management, 130(5), 616-625. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:5\(616\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:5(616))*
- Kahn, K. B. (2018). Understanding innovation. Business Horizons, 61(3), 453-460.*
- Kaur, R., & Sengupta, D. J. (2011). Software Process Models and Analysis on Failure of Software Development Projects. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2(2).*
- Kerzner, H. (2015). R&D Project Management. In Project Management 2.0 (p. 199-228). John Wiley & Sons, Inc. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119020042.ch9/summary>*
- Khamooshi, H., & Golafshani, H. (2014). EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement. International Journal of Project Management, 32(6), 1019-1041. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.11.002>*
- Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014). Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items. International Journal of Project Management, 32(7), 1233-1245. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.01.001>*
- Kim Byung-Cheol, & Reinschmidt Kenneth F. (2010). Probabilistic Forecasting of Project Duration Using Kalman Filter and the Earned Value Method. Journal of*

- Construction Engineering and Management*, 136(8), 834-843.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000192](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000192)
- Kim, J., Koo, C., Kim, C.-J., Hong, T., & Park, H. S. (2015). Integrated CO₂, cost, and schedule management system for building construction projects using the earned value management theory. *Journal of Cleaner Production*, 103, 275-285.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.031>
- Kim, S., Park, C., Lee, S., & Son, J. (2008). Integrated cost and schedule control in the Korean construction industry based on a modified work-packaging model. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(3), 225-235.
<https://doi.org/10.1139/L07-094>
- Kim, Y. (2014). *Convolutional Neural Networks for Sentence Classification*. arXiv:1408.5882 [cs]. Consulté à l'adresse <http://arxiv.org/abs/1408.5882>
- Kline, S. J. (1985). Innovation Is Not a Linear Process. *Research Management*, 28(4), 36-45. <https://doi.org/10.1080/00345334.1985.11756910>
- Klitsie, J. B., Price, R. A., & de Lille, C. S. H. (2018). Overcoming the Valley of Death: A Design Innovation Perspective. *The 21st DMI: Academic Design Management Conference & Next Wave*. Consulté à l'adresse <http://resolver.tudelft.nl/uuid:8a714225-59e8-441f-8502-8c5128454740>
- Kostalova, J., Tetreanova, L., & Svedik, J. (2015). Support of Project Management Methods by Project Management Information System. *Proceedings of the 4th International Conference on Leadership, Technology, Innovation and Business Management (ICLTIBM-2014)*, 210, 96-104.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.333>
- Kotu, V., & Deshpande, B. (2019). Chapter 7 - Clustering. In V. Kotu & B. Deshpande (Éd.), *Data Science (Second Edition)* (p. 221-261). Morgan Kaufmann.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814761-0.00007-1>
- Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2012). History, Practices, and Future of Earned Value Management in Government: Perspectives from NASA. *Project Management Journal*, 43(1), 77-90. <https://doi.org/10.1002/pmj.20272>
- Kwon, M., Ryu, H., Kim, G., & Ha, S. (2006). Design of OWL Ontology in R & D Project Management Meeting. In *2006 International Conference on Hybrid Information Technology (Vol. 1, p. 417-423)*.
<https://doi.org/10.1109/ICHIT.2006.253521>
- Labrousse, M., & Bernard, A. (2008). FBS-PPRE, an Enterprise Knowledge Lifecycle Model. In A. Bernard & S. Tichkiewitch (Éd.), *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management* (p. 285-305). Springer Berlin Heidelberg. Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-78431-9_16

- Lane, J. A. (2018). *Management Capability Evolution in Complicated Engineering Environments Throuhg Measurement. Présenté à Fundamental Measurement Principles: The Basis for Advanced Engineering Decision Information*", Virginia: PSM Practical Software Systems Measurement.
- Lee, E., Park, Y., & Shin, J. G. (2009). Large engineering project risk management using a Bayesian belief network. *Expert Systems with Applications*, 36(3, Part 2), 5880-5887. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.057>
- Lijphart, A. (1971). *Comparative Politics and the Comparative Method. The American Political Science Review*, 65(3), 682-693. <https://doi.org/10.2307/1955513>
- Lipke, W. (2003). *Schedule is different. The measurable news.*
- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4), 400-407. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.02.009>
- Liu, O., & Ma, J. (2010). A multilingual ontology framework for R&D project management systems. *Expert Systems with Applications*, 37(6), 4626-4631. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.046>
- Llamas, V. M., Coudert, T., Geneste, L., Romero Bejarano, J. C., & de Valroger, A. (2016). Experience reuse to improve agility in knowledge-driven industrial processes. In *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (p. 651-655). Bali, Indonesia: IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7797956>
- Mand, M. (2019). On the cyclicalty of R&D activities. *Journal of Macroeconomics*, 59, 38-58. <https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2018.10.008>
- Martins, C., Gusmão, G., & Moura, H. P. D. (2003). *ISO, CMMI and PMBOK Risk Management: a Comparative Analysis (Vol. 1).*
- McHugh, M., Cawley, O., McCaffcry, F., Richardson, I., & Wang, X. (2013). An agile V-model for medical device software development to overcome the challenges with plan-driven software development lifecycles. In *2013 5th International Workshop on Software Engineering in Health Care (SEHC)* (p. 12-19). <https://doi.org/10.1109/SEHC.2013.6602471>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limit to growth (1st éd.). Potomac Associates.*
- Meléndez, S., Coudert, T., Geneste, L., Romero Bejarano, J. C., & De Valroger, A. (2019). Formalization and reuse of collaboration experiences in industrial processes (p. 157-167). Présenté à *Complex Systems Design & Management*, Cham: Springer International Publishing. Consulté à l'adresse <http://oatao.univ-toulouse.fr/21750/>

- Mortaji, S. T. H., Bagherpour, M., & Noori, S. (2013). Fuzzy Earned Value Management Using L-R Fuzzy Numbers. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 24(2), 323–332. <https://doi.org/10.3233/IFS-2012-0556>
- Moslemi Naeni, L., & Salehipour, A. (2011). Evaluating fuzzy earned value indices and estimates by applying alpha cuts. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8193–8198. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.165>
- Murphy, T. E., Duggan, J., & Wilson, N. (2013). *Magic Quadrant for Application Development Life Cycle Management*. Gartner.
- Narbaev, T., & De Marco, A. (2014). An Earned Schedule-based regression model to improve cost estimate at completion. *International Journal of Project Management*, 32(6), 1007–1018. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.12.005>
- Narbaev Timur, & De Marco Alberto. (2014). Combination of Growth Model and Earned Schedule to Forecast Project Cost at Completion. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1), 04013038. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000783](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000783)
- National Defense Industrial Association, & Integrated Program Management Division. (2014). *Earned Value Management Systems EIA-748-C Intent Guide (Norme No. EIA-748-C)*. Arlington, VA: National Defense Industrial Association.
- National Defense Industrial Association, & Program Management Systems Committee. (2005). *A Standard for Earned Value Management Systems Intent Guide (Norme No. ANSI/EIA-748-A)*. Arlington, VA: National Defense Industrial Association.
- Noël, F., & Roucoules, L. (2008). The PPO design model with respect to digital enterprise technologies among product life cycle. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 21(2), 139–145. <https://doi.org/10.1080/09511920701607782>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press.
- OCDE. (2015). *Manuel de Frascati - Lignes directrices pour le recueil et la communication des données sur la recherche et le développement expérimental*. OCDE. Consulté à l'adresse <http://www.oecd.org/fr/publications/manuel-de-frascati-2015-9789264257252-fr.htm>
- O'Donnell, F. J., & Duffy, A. H. B. (Éd.). (2005). *A Methodology for Performance Modelling and Analysis in Design Development*. In *Design Performance* (p. 125–131). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/1-84628-147-4_8
- OECD, & Eurostat. (2005). *Oslo Manual*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Consulté à l'adresse <http://www.oecd-ilibrary.org/content/book/9789264013100-en>
- Olawale, Y. A., & Sun, M. (2015). *Construction project control in the UK: Current practice, existing problems and recommendations for future improvement*.

- International Journal of Project Management*, 33(3), 623-637.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.003>
- Örnek, A. Ş., & Ayas, S. (2015). *The Relationship between Intellectual Capital, Innovative Work Behavior and Business Performance Reflection*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1387-1395.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.433>
- Pajares, J., & López-Paredes, A. (2011). *An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index*. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615-621.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.04.005>
- Paul, S. M., Mytelka, D. S., Dunwiddie, C. T., Persinger, C. C., Munos, B. H., Lindborg, S. R., & Schacht, A. L. (2010). *How to improve R&D productivity: the pharmaceutical industry's grand challenge*. *Nature Reviews Drug Discovery*, 9(3), 203-214. <https://doi.org/10.1038/nrd3078>
- Petty, N. J., Thomson, O. P., & Stew, G. (2012). *Ready for a paradigm shift? Part 2: Introducing qualitative research methodologies and methods*. *Manual Therapy*, 17(5), 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.math.2012.03.004>
- Pillai, A. S., Joshi, A., & Rao, K. S. (2002). *Performance measurement of R&D projects in a multi-project, concurrent engineering environment*. *International Journal of Project Management*, 20(2), 165-177. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00056-9](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00056-9)
- Pohl, K. (2010). *Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques* (1st éd.). Springer Publishing Company, Incorporated.
- Project Management Institute. (2012). *Practice Standard for Earned Value Management* (2 nd). Newton Square, PA, United States.
- Project management institute. (2013). *Project Management body of Knowledge*. Newton Square Pennsylvania.
- Project Management Institute. (2017). *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* (6th éd.). Project Management Institute.
- Robin, V. (2005). *Performance evaluation of the design systems to manage product engineering : prototype of software to help actors of design (Computer-Integrated-Manufacturing Speciality)*. Bordeaux I University, Bordeaux.
- Rose, S., Engel, D., Cramer, N., & Cowley, W. (2010). *Automatic Keyword Extraction from Individual Documents*. In M. W. Berry & J. Kogan (Éd.), *Text Mining* (p. 1 - 20). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9780470689646.ch1>
- Sacépé, K., & Lô, A. (2016). *Innovation Labs 2037 : back to the future ! Entreprendre & Innover*, 31, 62-69.

- Salari, M., Bagherpour, M., & Kamyabniya, A. (2014). Fuzzy extended earned value management: A novel perspective. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 27(3), 1393-1406. <https://doi.org/10.3233/IFS-131106>
- Sammur, C., & Webb, G. I. (Éd.). (2017). *Principal Component Analysis*. In *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining* (p. 1006-1006). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7687-1_665
- Samsonowa, T., Buxmann, P., & Gerteis, W. (2009). Defining kpi sets for industrial research organizations — a performance measurement approach. *International Journal of Innovation Management*, 13(02), 157-176. <https://doi.org/10.1142/S1363919609002248>
- Sanchez, F., Monticolo, D., Bonjour, E., & Micaëlli, J.-P. (2019). Towards a Better Modelling and Assessment of Project Management Maturity in Industry 4.0. In E. Bonjour, D. Krob, L. Palladino, & F. Stephan (Éd.), *Complex Systems Design & Management* (p. 235-235). Springer International Publishing.
- Sarooghi, H., Libaers, D., & Burkemper, A. (2015). Examining the relationship between creativity and innovation: A meta-analysis of organizational, cultural, and environmental factors. *Journal of Business Venturing*, 30(5), 714-731. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2014.12.003>
- Schramm, W. (1971). *Notes on Case Studies of Instructional Media Projects*. Consulté à l'adresse <https://eric.ed.gov/?id=ED092145>
- Schumpeter, J. A. (2008). *Capitalism, Socialism and Democracy* (3d éd.). Harper Perennial Modern Classics.
- Seidel, S., & Urquhart, C. (2013). On emergence and forcing in information systems grounded theory studies: the case of Strauss and Corbin. *Journal of Information Technology*, 28(3), 237-260. <https://doi.org/10.1057/jit.2013.17>
- Selleri Silva, F., Soares, F. S. F., Peres, A. L., Azevedo, I. M. de, Vasconcelos, A. P. L. F., Kamei, F. K., & Meira, S. R. de L. (2015). Using CMMI together with agile software development: A systematic review. *Information and Software Technology*, 58, 20-43. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2014.09.012>
- Silviana, B. G. (2018). Open innovation model: enabling the market uptake of innovation. *Procedia Manufacturing*, 22, 893-899. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.126>
- Software Engineering Institute. (2011). *CMMI for Development v1. 3*. Lulu. com.
- Špundak, M. (2014). Mixed Agile/Traditional Project Management Methodology – Reality or Illusion? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 939-948. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.105>

- Stapleton, L., Smith, D., & Murphy, F. (2005). *Systems engineering methodologies, tacit knowledge and communities of practice*. *AI & SOCIETY*, 19(2), 159-179.
<https://doi.org/10.1007/s00146-004-0312-3>
- Strauss, A., & Corbin, J. M. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Sun, H., & Ma, T. (2005). *A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling*. *Technovation*, 25(11), 1355-1361.
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.07.010>
- Sun, Y.-H., Ma, J., Fan, Z.-P., & Wang, J. (2008). *A Group Decision Support Approach to Evaluate Experts for R&D Project Selection*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(1), 158-170.
<https://doi.org/10.1109/TEM.2007.912934>
- Tarhan, A., & Yilmaz, S. G. (2014). *Systematic analyses and comparison of development performance and product quality of Incremental Process and Agile Process*. *Information and Software Technology*, 56(5), 477-494.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2013.12.002>
- Tsikis, T. (2016). *Innovative Solutions for Satellite Conformity to Space Debris Mitigation*. Consulté à l'adresse <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1044602>
- Vandevoorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). *A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics*. *International Journal of Project Management*, 24(4), 289-302. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.10.004>
- Vanhoucke, M., Boelens, A., D'hondt, H., Hoornaert, E., Mareels, E., Martens, J., & Servranckx, T. (2017). *EARNED DURATION MANAGEMENT FOR A STUDENT ASSOCIATION PROJECT*. *The Mesurable News*, 6.
- Verez, F., Carthy, D., Jouanny, C., & Pavie, X. (2015). *Le Design Thinking au service de l'innovation responsable*. *Maxima*.
- von Wangenheim, C. G., Silva, D. A. da, Buglione, L., Scheidt, R., & Prikladnicki, R. (2010). *Best practice fusion of CMMI-DEV v1.2 (PP, PMC, SAM) and PMBOK 2008*. *Information and Software Technology*, 52(7), 749-757.
<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2010.03.008>
- Wan, F., Williamson, P. J., & Yin, E. (2015). *Antecedents and implications of disruptive innovation: Evidence from China*. *Technovation*, 39-40, 94-104.
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.05.012>
- Wang, E. C., & Huang, W. (2007). *Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach*. *Research Policy*, 36(2), 260-273. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2006.11.004>

- Warburton, R. D. H., Marco, A. D., & Sciuto, F. (2017). *Earned Schedule Formulation Using Nonlinear Cost Estimates at Completion*. *The Journal of Modern Project Management*, 5(1). <https://doi.org/10.19255/jmpm250>
- Watson, R. I. (1966). Thomas S. Kuhn. *The structure of scientific revolutions*. (*International encyclopedia of unified science, volume II, number 2*) Chicago: University of Chicago Press, 1962, p. xv + 172. \$3.00 (Also available in paperback edition.). *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, 2(3), 274 - 276. [https://doi.org/10.1002/1520-6696\(196607\)2:3<274::AID-JHBS2300020312>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1520-6696(196607)2:3<274::AID-JHBS2300020312>3.0.CO;2-7)
- Whitehurst, J. (2015). *The Open Organization: Igniting Passion and Performance*. Harvard Business School Press. Consulté à l'adresse <https://hbr.org/product/the-open-organization-igniting-passion-and-performance/13980-HBK-ENG>
- Willems, L. L., & Vanhoucke, M. (2015). *Classification of articles and journals on project control and earned value management*. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1610-1634. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.003>
- Woodman, R. W., Sawyer, J. E., & Griffin, R. W. (1993). *Toward a Theory of Organizational Creativity*. *Academy of Management Review*, 18(2), 293-321. <https://doi.org/10.5465/AMR.1993.3997517>
- Y. Chen, P. Hsu, & Y. Chang. (2008). *A Petri Net Approach to Support Resource Assignment in Project Management*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 38(3), 564-574. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2008.918632>
- Yin, D. R. K. (2008). *Case Study Research: Design and Methods: Design and Methods*. SAGE Publications.
- Zhang, A., Zhang, Y., & Zhao, R. (2003). *A study of the R&D efficiency and productivity of Chinese firms*. *Journal of Comparative Economics*, 31(3), 444-464. [https://doi.org/10.1016/S0147-5967\(03\)00055-6](https://doi.org/10.1016/S0147-5967(03)00055-6)
- Zimmerman, P. (2014). *A Review of Model-Based Systems Engineering Practices and Recommendations for Future Directions in the Department of Defense*, 14.

9 ANNEXES

9.1. Index des Abréviations

A

ACWP

Actual Cost of Work Performed · 78, 87,
88, 91, 93, 97, 135, 172, 275

ADLM

Application Development Lifecycle
Management · 224, 225

ADM

Altran Delivery Model · 85, 86, 87, 101,
102, 107, 115, 117, 174, 198, 211, 212,
217

AMOA

Assistance à Maîtrise d'Ouvrage · 45

ANR

Agence National de Recherche · 63

AT

Asset Technologique · 173, 181, 204, 231

AV

Actual Value · 157

B

BCWP

Budgeted Cost of Work Performed · 68,
78, 79, 87, 88, 91, 93, 94, 97, 135, 153,
172, 275

BCWS

Budgeted Cost of Work Scheduled · 78,
79, 87, 88, 90, 91, 93, 94, 97, 135

BSC

Balanced Scored Card · 98, 99

C

CI

Critical Index · 159, 160

CMMI

Capability Maturity Model Integration · 27,
31, 123, 126, 132, 139, 200, 201, 202,
230

CNN

Convolutionnal Neural Network · 83

CNRS

Centre National De Recherche
Scientifique · 63

CPI

Cost Performance Index · 65, 78, 88, 89,
93, 95, 96, 101, 103, 105, 108, 147,
154, 155, 157, 158, 159, 160, 165, 167,
172, 223, 246

CR

Critical Ratio · 159

CSDS

Creative Solution Diagnostic Scale · 201,
202

CV

Cost Variance · 78, 147, 154, 155, 157,
158, 159, 167, 275

D

DEV

DEveloppement · 173, 180, 182, 184,
189, 192, 204, 212, 214, 219, 220, 231

DOD

Department Of Defense · 68

DODI

Department Of Defense Instruction · 78

DSO

Days Sales Outstanding · 97

E

EDC

Elément De Compréhension · 173, 175,
176, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 184,
185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192,
193, 194, 196, 197, 198, 199, 204, 205,
208, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 220,
222, 231, 232, 233

EDM

Earned Duration Management · 76, 80

ES

Earned Schedule · 68, 71, 89, 91, 93,
146, 148, 151, 152, 154, 156, 157, 158

ETP

Equivalent Temps Plein · 26, 27, 105

EV

Earned value · 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 79,
80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90,
93, 95, 96, 98, 99, 100, 102, 108, 109,
127, 128, 132, 133, 134, 135, 136, 137,
138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145,
146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153,
154, 155, 156, 157, 159, 160, 161, 162,
163, 164, 165, 166, 167, 170, 171, 172,
173, 176, 177, 192, 207, 212, 214, 233,
244, 245, 246, 247, 248

EVM

Earned Value Management · 154, 157

EVMS

Earned Value Management System · 61,
78, 81

F

FBS-PPRE

an enterprise knowledge lifecycle model ·
34

G

GDR

Groupe De Recherche · 63

GQM

Goal Question Metric · 204, 206, 208,
212, 214, 218

I

IA

Intelligence Artificielle · 248

IDD

Intention De Découverte · 173, 174, 175,
183, 184, 185, 186, 188, 189, 190, 193,
199, 204, 207, 209, 213, 214, 215, 216,
217, 222, 232

IEC 62304

Medical Device Software Standard · 28,
30

IOT

Internet Of Things · 121

ISO

International Standard Organisation · 68,
170, 230

ISO 13485

Système Management Qualité, dispositifs
médicaux (extension ISO9001) · 13,
15, 28, 170, 230

K**KPI**

Key Performance Indicator · 32, 53, 122, 170, 172, 184, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 209, 210, 211, 213, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 223, 233, 247

L**LSTM**

Long Short-Term Memory · 83

M**Medic@**

MEDical Image Computerized Analysis (programme) · 12, 14, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 38

N**NLP**

Natural Language Processing · 83, 180

O**OPI**

Organisation Performance Index · 160, 161

OSI

Open System Interconnection · 136, 166, 244, 247, 248

OV

Organisation Variance · 160

P**PaaS**

Platform as a Service · 126

PCA

Principal Component Analysis · 110, 111, 113, 114, 115, 117, 129

PM

Project Manager · 101

PME

Petite et Moyenne Entreprise · 62

PMI

Petite et Moyenne Industrie · 62

Project Management Institute · 62, 68, 79, 82, 88, 200, 201

PMO

Project Management Office · 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 107, 108, 114, 115, 174, 198, 244, 247

POC

Proof Of Concept · 31, 45, 178, 179, 213

PPO

Product Process Organization model · 34

PV

Planned Value · 157, 161

R**R&D**

Recherche et Développement · 1, 9, 11, 12, 15, 17, 23, 27, 28, 30, 31, 34, 35, 37, 38, 40, 42, 43, 44, 45, 48, 54, 55, 57, 61, 62, 63, 64, 67, 69, 70, 81, 82, 86, 97, 98, 101, 107, 108, 120, 121, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 137, 171, 172, 173, 174, 175, 177, 180, 182, 183, 195, 199, 200, 201, 203, 206, 207, 208, 210, 215, 217, 218, 230, 231, 232, 237, 238, 239, 241, 242, 245, 248, 249, 250, 251, 277

RCA

Root Cause Analysis · 46

RDI

Recherche et Développement intégrés ·	104, 105, 108, 147, 154, 155, 157, 158,
83, 122, 123, 132, 169, 170, 176, 183,	159, 160, 161, 167, 246, 275
187, 189, 192, 193, 194, 195, 196, 197,	SV
198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 206,	Schedule Variance · 78, 147, 154, 157,
207, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215,	158, 159, 167, 275
217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 228,	
229, 230, 231, 232, 233, 234, 237, 240,	
241, 242, 243, 247, 248, 250, 251, 271	
RH	
Ressources Humaines · 25, 41	
RNN	
Recurrent Neural Network · 83	
S	T
SPI	T.I
Schedule Performance Index · 65, 68, 78,	Technologies de l'Information · 67, 71
89, 90, 93, 94, 95, 96, 100, 101, 103,	TAL
	Traitement Automatique de la Langue · 83
	TPE
	Très Petite Entreprise · 62
	TPI
	Très Petite Industrie · 62
	TRL
	Technologie Readiness Level · 175, 194,
	208, 211, 232, 242

9.2. Index des Figures

<i>Figure 1. Organisation des projets de la Recherche Altran Est au sein des 6 pôles</i>	
<i>Recherche & Innovation Altran France, 2016</i>	14
<i>Figure 2. Périmètre des outcomes de la recherche</i>	15
<i>Figure 3. Méthodologie de recherche adoptée</i>	21
<i>Figure 4. Reading manual global</i>	22
<i>Figure 5. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III</i>	24
<i>Figure 6. Reading manual. Partie I. Chapitre 2.</i>	25
<i>Figure 7. Référentiels qualité pour les dispositifs médicaux</i>	29
<i>Figure 8. Variations des productions Medica sur les 4 périodes</i>	34
<i>Figure 9. Modèles types de R&D</i>	37
<i>Figure 10. Reading manual. Partie I. Chapitre 3</i>	40
<i>Figure 11. Réduction de chemin</i>	48
<i>Figure 12. Modèle classique d'interaction R&D</i>	49
<i>Figure 13. Modèle itératif – incrémental d'interaction R&D</i>	49
<i>Figure 14. Parallélisation de la Recherche et du Développement</i>	50

Figure 15. Matrice d'interactions	52
Figure 16. Proposition de framework	56
Figure 17. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III.	58
Figure 18. Reading manual Partie II. Chapitre 4.....	59
Figure 19. Relation des concepts d'EV	70
Figure 20. Structuration de l'état de l'art EV.....	73
Figure 21. Processus de traitement automatique de la littérature	74
Figure 22. Offres de service Altran	84
Figure 23. Modèle EV du PMO Altran Est.....	90
Figure 24. EV PMO	93
Figure 25. Comparaison entre SPI standard et SPI* (ou CPI % wcal) du PMO	95
Figure 26. Représentation BSC du PMO	98
Figure 27. Extrait EV projet du PMO Altran Est	102
Figure 28. Cartographie du ratio CPI* SPI*.....	103
Figure 29. Empreintes singulières des projets.....	105
Figure 30. Indicateur du vecteur de données absolu	108
Figure 31. Indicateur du vecteur de données relatif.....	109
Figure 32. Résultat de la PCA.....	110
Figure 33. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °1.....	111
Figure 34. Résultat de l'exploration du clustering paramétrique N °2.....	112
Figure 35. Résultat du clustering DBSCAN sur la PCA des projets	113
Figure 36. Reading manual. Partie II. Chapitre 5.....	130
Figure 37. Système de rétroaction du modèle EV	134
Figure 38. Représentation EV.....	135
Figure 39. Process et signaux de production.....	141
Figure 40. Reading manual. Partie II. Chapitre 6.....	167
Figure 41. Construction d'un EDC.....	176
Figure 42. EDC, Recherche, Ingénierie	179
Figure 43. L'IDD et sa cartographie des EDC.....	183
Figure 44. R&D Industrielle, Recherche Académique et le Modèle RDI	193
Figure 45. Dynamique RDI (t1)	194
Figure 46. Dynamique RDI (t2)	195
Figure 47. Dynamique RDI (t3)	196
Figure 48. Modèle de métrique des assets.....	206
Figure 49. Asset technologique en post-traitement	209
Figure 50. Asset technologique en évolution d'un EDC.....	209
Figure 51. KPI produit IDD	214

<i>Figure 52. Gartner Magic quadrant ADLM.....</i>	<i>222</i>
<i>Figure 53. Gartner Magic quadrant Social software in the workplace</i>	<i>223</i>
<i>Figure 54. Construction de notre infrastructure</i>	<i>225</i>
<i>Figure 55. Reading manual. Liaisons Parties I, II et III.</i>	<i>234</i>
<i>Figure 56. Reading manual. Partie II. Chapitre 7</i>	<i>235</i>

9.3. Index des Tableaux

<i>Tableau 1. Paradoxes de l'alignement top down des systèmes.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 2. Extrait de l'inventaire de Willems & Vanhoucke</i>	<i>72</i>
<i>Tableau 3. Extrait de la validation de la classification automatique</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 4. Analyse du clustering DBSCAN sur la PCA</i>	<i>116</i>
<i>Tableau 5. Synthèse d'analyse du clustering DBSCAN</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 6. Matrice clusters.....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 7. Attribut des activités de production.....</i>	<i>141</i>
<i>Tableau 8. Attribut de produit fini</i>	<i>142</i>
<i>Tableau 9. Signaux de transitions.....</i>	<i>143</i>

9.4. Index des Principes RDI

Principes RDI

<i>Principe 01. IDD – Intention De Découverte</i>	<i>174</i>
<i>Principe 02. EDC – Elément De Compréhension</i>	<i>175</i>
<i>Principe 03. DEV – DEVeloppement</i>	<i>180</i>
<i>Principe 04. AT – Asset Technologique.....</i>	<i>181</i>
<i>Principe 05. Maintenir à jour l'objectif et les EDC d'une IDD.....</i>	<i>185</i>
<i>Principe 06. Rechercher la carte la plus exploratrice des futurs EDC</i>	<i>187</i>
<i>Principe 07. Appairer Verrou et Projet externe</i>	<i>189</i>
<i>Principe 08. Produire un Elément De Compréhension</i>	<i>190</i>
<i>Principe 09. Faire émerger des Assets Technologiques.</i>	<i>194</i>
<i>Principe 10. Aligner les KPI</i>	<i>218</i>
<i>Principe 11. Rôle et KPI du 'Producteur RDI'</i>	<i>220</i>

9.5. Index des Documents Annexes

<i>Annexe 1. Extrait des résultats de l'analyse automatique de bibliographie.....</i>	<i>272</i>
<i>Annexe 2. Vecteur de features pour l'analyse PCA.....</i>	<i>273</i>

9.6. Production Scientifique durant la Thèse

Article dans revues scientifiques avec comité de lecture référencées et/ou indexées :

PEREME F., ROSE B., GOEPP V., RADOUX JP (2018), Toward an integrative organizational framework for outsourced R&D efficiency- article accepté dans **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, Vol 4, issue 4, pp 1515-1525, <https://link.springer.com/article/10.1007/s12008-017-0454-4>, **Sci Mago Quartile 1.**

Conférences et colloques avec actes et comité de lecture :

BELHAOUA A, RADOUX JP, **PEREME F** Gesture-Based Interaction Using Touchless Technology for Medical Application, **Proceedings of the World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Science (EECSS 2015)** Barcelona, Spain, July 13 - 14, 2015 Paper No. 319

PEREME F., ROSE B., GOEPP V., RADOUX JP, Industrial R&D metrics model: empirical evidence from Altran Research Medic@ Program, **IAMOT 2016 25th International Conference for Management of Technology – Orlando, Florida, USA – May 15-19, 2016**

PEREME F., ROSE B., GOEPP V., RADOUX JP, BELHAOUA, A. ,Toward an Integrative CSDS Based Model of Industrial R&D Division Efficiency, **IFIP/MIM 2016, 8th IFAC Conference on Modeling, Management and Control**; Troyes, 28-30 juin 2016

PEREME F., ZEGARRA FLORES J , SCAVAZZIN M, Valentini F, Radoux JP, Conception of a touchless human machine interaction system for operating rooms using deep learning, **Proceedings Volume 10679, Optics, Photonics, and Digital Technologies for Imaging Applications V; 106790R (2018) <https://doi.org/10.1117/12.2319141>**

Présentations dans des journées de recherche sans acte :

PEREME F ., Workshop Easy Dim Lyon

PEREME F., Vers une R&D intégrée, Présentation au sein du GT C2EI, 20ièmes journées du pôle STP du GDR, 5 et 6 Février, 2015 Troyes.

PEREME F, Vers une R&D intégrée, Journée ANRT 2016, 10 Mars 2016, Paris.

PEREME F., Mesure et amélioration de la productivité en R&D, Workshop AFIS, 9 Juin 2010, Nancy.

Présentations dans des journées industrielles :

PEREME F., Présentation des activités de recherche interne en E-Santé, Altran Capital Markets Day - The High Road, Altran 2022 28, London, juin 2018

PEREME F., Tech Day Faurecia – Industrie 4.0 Et Big Data, 01-02-2018.

9.7. Documents Annexes

Annexe 1. Extrait des résultats de l'analyse automatique de bibliographie

Article	Eval Homme Concept	Eval Homme Usage	Eval Homme calcul	Eval auto Concept	Eval auto Usage	Eval auto calcul	Mapping concept	Mapping usage	Mapping calcul	mapping par article	Pourcentage de mapping
Final Costs Estimates for Research & Development Programs Conditioned on Realized Costs.pdf	B	B	A	D	D	D	0	0	0	0	0,00%
Effects of the information presentation format on project control.pdf	A	C	A	D	D	D	0	0	0	0	0,00%
A comparison of the performance of various project control methods using earned value management systems	C	B	B	A	A	A	0	0	0	0	0,00%
Setting tolerance limits for statistical project control using earned value management	C	D	A	A	A	A	0	0	1	1	33,33%
Using Earned-Value Analysis to Better Manage Projects.pdf	C	C	D	D	D	D	0	0	1	1	33,33%
Combination of Project Cost Forecasts in Earned Value Management	C	C	A	A	BC	AB	0	1	1	2	66,67%
EDM Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement.pdf	A	C	A	A	A	A	1	0	1	2	66,67%
Project management effectiveness in project-oriented business organizations.pdf	B	A	D	B	BC	B	1	1	0	2	66,67%
The use of performance measurement as a basis for project control of offshore modification oil and gas projects.pdf	A	A	D	AB	A	A	1	1	0	2	66,67%
A Review on Possible Approaches for Detecting Early Warning Signs in Projects.pdf	C	A	D	C	A	BC	1	1	0	2	66,67%
A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control.pdf	B	B	D	B	B	B	1	1	0	2	66,67%
Dynamic project control utilizing a new approach to project control.pdf	C	D	D	CD	D	D	1	1	1	3	100,00%
Sensitivity of Earned Value Schedule Forecasting to S-Curve Patterns.pdf	B	C	B	AB	C	B	1	1	1	3	100,00%
Total cost control in project management via satisficing.pdf	B	B	A	BC	B	AB	1	1	1	3	100,00%
							6	6	7	23	
							8	8	7	42	
							57%	57%	50%	55%	

Annexe 2. Vecteur de features pour l'analyse PCA

Index	Identifiant unique	Date	ACWP	ACWS	BCWP	CV	CPI	SV	SPI	Absolute angle	Relative angle	Absolute distance	Relative distance
		Incrément de pas de temps	Données brutes	Données brutes	Données brutes	Variance de coût calculé pour le pas de temps	Ratio de l'indice de performance de coût calculé pour le pas de temps	Variance de planification calculée pour le pas de temps	Ratio de l'indice de performance de planification calculé pour le pas de temps	Angle entre le vecteur n-1 et l'axe absolue SPI	Angle relatif entre n-1-n-1 et n+1	Distance du vecteur à la cible CPI SPI (1,1)	Distance du vecteur relative aux points n, n+1

Augmentation de la productivité des projets de R&D sous-traités, sous forte contraintes, une inférence des approches Earned value et agiles.

Résumé

Les entreprises de la technologie sont de plus en plus confrontées à des problématiques de R&D et d'innovation. L'accélération d'émergence et d'évolution des technologies met une pression forte et de nombreuses nouvelles contraintes sur la nécessité de réduire le cycle de vie de production ainsi que d'augmenter la productivité des départements de R&D.

La première partie de ses travaux vise à caractériser de façon formelle l'ensemble des acteurs et leurs interactions dans le processus complexe de création d'innovation incluant la phase de R&D. Nous aboutissons à une définition plus claire des verrous qui posent des questions autour des processus de production de R&D dans un contexte industriel.

Dans une seconde partie, nous prenons le parti de proposer une construction d'organisation de la R&D basée sur des méthodes ayant fait leurs preuves dans le monde du développement. En restant ancrés dans les caractérisations obtenues à la première partie des travaux, nous focalisons nos travaux de construction notamment sur les méthodes agiles qui se veulent plus flexibles et adaptatives car centrées sur les acteurs et les livrables plus que sur les processus, ainsi que sur le modèle Earned value comme outil de pilotage de mesure de la valeur produite. Après un état de l'art aussi bien externe que propre aux projets de l'ESN Altran Technologies, nous construisons un Framework original. Ce dernier définit une liste de principes. Cette approche permet à chacun d'intégrer et de déployer le modèle selon ses propres contraintes. La finalité n'est pas de garantir une productivité d'innovation, ce qui nous semble impossible, mais bien d'augmenter, de maîtriser et de mesurer sa probabilité d'occurrence.

La dernière partie conclut la proposition de framework en identifiant les avantages et les limites, et propose de futurs travaux dans une prospective des R&D de demain à long terme.

Recherche et Développement intégrés – Productivité – Indicateur de productivité – Créativité fonctionnelle – Méthode agiles – Earned value.

Abstract

Technology companies are more and more faced to R&D and innovation issues. The acceleration of emergence and evolution of technologies puts a lot of pressure and many new constraints that lead to the needs of lifecycle reduction and R&D productivity enhancement.

The first part of this work aims to characterize formally all the actors and their interactions in the complex process of creating innovation that includes R&D phases. We lead to a clearer definition of the scientific locks and raise questions around R&D production processes in an industrial context.

In a second part, we made the decision to propose an organizational construction for R&D structure based on proven methods in the world of system development. By remaining anchored in the characterizations obtained in the first part, we focus our construction work in particular on agile methods and on Earned value model. Agile methods are intended to be more flexible and adaptive caused they are focused on actors and deliveries and not on processes. Here we use the Earned value model as a management tool for measuring the produced value. After a state of the art both external and internal to the Altran Technologies contractor projects, we build an original framework. This last one defines a list of several principles. This approach allows each one to deploy the model in compliancy with own constraints. The final aim is not to guaranty innovation productivity because for us it seems almost impossible, but to increase, control and measure his occurrence probability.

The last part closes the framework proposal by identifying the advantages and the limits, and proposes future perspectives of works to compare the method with some real projects.

Integrated research and developpment – Productivity – Key productive indicator – Fonctionnal creativity – Agiles methods – Earned value.