PLATEFORMES NUMÉRIQUES, CONCEPTION OUVERTE ET EMPLOI

Claude PARAPONARIS

Aix Marseille Université, CNRS, LEST UMR 7317, Aix en Provence

Juillet 2017

Recherche effectuée dans le cadre d'une convention conclue
entre l'Institut de Recherches Économiques et Sociales (Ires) et la CFE-CGC

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 6

PARTIE 1 – ACTIVITÉS DE CONCEPTION : ORGANISATION, ENJEUX ET PERSPECTIVES

1. PRÉSENTATION DU PROJET 7

1.1 Reformulation des objectifs de l'étude 7

1.2 Les analyses disponibles à propos des impacts de l'automatisation 9

1.3 Les orientations de l'étude 10

1.3.1 Les perspectives du traitement intensif des données en masse 10

1.3.2 L'exercice nécessaire d'un discernement au sein des pratiques 13

2. LES ENJEUX DE LA CONCEPTION POUR L'INDUSTRIE FRANÇAISE 15

2.1 La conception comme activité 15

2.2 Les dimensions économiques des activités de conception 16

2.2.1 L'enjeu de la créativité 16

2.2.2 Le milieu de la conception 18

2.2.3 Dimensions démographiques 19

2.3 Sociologie des Ingénieurs et cadres de conception 22

2.4 Démographie des professions R&D dans l'industrie française 24

3. L'ACTIVITÉ COLLECTIVE DE CONCEPTION 24

3.1 Evolution historique de la conception 24

3.2 La conception comme activité de représentation et de résolution collective 26

3.2.1 Résolution de problèmes et pratiques diverses 26

3.2.2 L'activité de représentation 27

3.2.3 La résolution collective des problèmes de conception 28

3.2.4 La synchronisation cognitive 29

3.3 L'innovation ouverte comme cadre d'exercice des activités de conception 30

3.4 La maquette numérique 35

3.5 Conception et indicateurs de performance 36

PARTIE 2 – ORGANISATION INDUSTRIELLE ET PLATEFORMES NUMÉRIQUES

4. L'INFLUENCE DE L'INNOVATION INTENSIVE SUR LA CONCEPTION 38

4.1 Le modèle standard de conception 39

4.2 La modularité 41

4.3 La gestion de projet 43

4.4 Le management intégré du cycle de vie du produit : le Product Lifecycle Management 45
4.5 Illustration de l'organisation intégrée de la conception avec le cas Renault 48
4.6 Calcul intensif et crowdsourcing : deux sources supplémentaires ou une vraie rupture ? 51
4.7 Les communautés de conception 56

5. INNOVATION INTENSIVE ET PLATEFORMES DE CONCEPTION 61
5.1 Généalogie des plateformes 61
5.2 L'expérience des plateformes de recherche publique 63
5.3 La variété des plateformes numériques 64
5.4 Analyse économique des plateformes 65
5.4.1 Effets produits par une plateforme 65
5.4.2 Les processus concurrentiels entre plateformes 67
5.4.3 Fonctions d'une plateforme 69
5.4.4 Analyse des écosystèmes et des plateformes 70
5.5 L'offre logicielle 72
5.5.1 Les éditeurs : de la CAO au PLM 72
5.5.2 Le marché de la simulation numérique 73

6. PERSPECTIVES DU NUMÉRIQUE 74
6.1 Recensement des plateformes numériques 74
6.1.1 Des plateformes avec plusieurs pivots 75
6.1.2 Des plateformes avec un seul pivot 77
6.1.3 Des plateformes publiques pour des expériences industrielles 79
6.1.4 Autres plateformes 80
6.2 Une complexité de perspectives 80
6.2.1 Les perspectives tracées par les rapports officiels 80
6.2.2 Le modèle nord-américain des GAFA 82
6.2.3 Quelques firmes allemandes dans le numérique 83
6.3 L'évolution des outils d'aide à la conception 86

PARTIE 3 - ACTIVITÉS DES INGÉNIEURS ET DYNAMIQUES D'EMPLOI

7. SYNTHÈSE DES DIMENSIONS ORGANISATIONNELLES 88
7.1 L'organisation canonique de la conception industrielle 88
7.2 Une bureaucratisation 89

7.2.1 L'essor de la bureaucratie 89
7.2.2 Les outils de gestion du développement bureaucratique 90
7.3 Une organisation segmentée de la conception 93
7.4 Une créativité délaissée ? 94
7.5 Perspectives 95
7.5.1 Un exercice expérimenté de mise en perspective 96
7.5.2 Conception et production additive : quelles intégrations ? 97
7.5.3 Une numérisation au service des communs de la connaissance ? 99

8. PERSPECTIVES POUR LES INGÉNIEURS 100
8.1 Ingénieur de conception en PME 100
8.2 Des ingénieurs dans différents secteurs d'activité 101
8.2.1 Dans l'automobile 101
8.2.2 Dans l'aéronautique 104
8.2.3 Dans le BTP 107
8.2.4 Dans la banque 108
8.3 Trois transformations possibles 110
8.3.1 En termes de centralisation documentaire 110
8.3.2 En termes d'automatisation 113
8.3.3 En termes de fiabilité 115

9. RECOMMANDATIONS 118
9.1 Recommandations économiques 118
9.1.1 Devenir des données numériques ? 118
9.1.2 Repartir des modalités d'apprentissage pour élaborer des dispositifs de gestion des connaissances 119
9.2 Recommandations professionnelles 121
9.2.1 Remettre le « métier » au centre de l'activité de conception 121
9.2.2 Aider la conception collective 123
9.2.3 Le code au service des logiques « métier » 124

10. CONCLUSION GÉNÉRALE 126

11. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 127

12. ANNEXES 139

INTRODUCTION

Notre projet consiste à interroger le mouvement d'automatisation qui se développe depuis quelques années en matière d'activité de conception afin d'identifier les perspectives d'emploi en niveau et en qualité pour les personnels de conception industrielle et commerciale (ingénieurs, chercheurs et techniciens).

Ce projet propose d'étudier de manière articulée l'évolution des activités de conception et celle des métiers qui les supportent.

Nous disposons de très peu d'études empiriques au sujet de l'impact de l'automatisation liée à l'essor des technologies numériques sur les activités des entreprises, et nous disposons d'encore moins d'information au sujet des activités de conception qui intéressent les filières des techniciens et ingénieurs.

Deux phénomènes ne sont pas étudiés par ces études qui demeurent avant tout macroéconomiques :

- l'organisation des écosystèmes qui se sont mis en place au sein des économies développées et qui relativisent l'influence des seules entreprises ;
- la dynamique intrinsèque des activités professionnelles et des métiers : comment les métiers de conception et d'ingénierie sont-ils affectés ?

Notre étude se veut à la fois économique et sociologique. Il s'agit d'analyser les stratégies des différents acteurs industriels en matière de numérisation et d'automatisation ainsi que d'estimer les perspectives en termes de qualité et de niveau d'emploi. Cet angle économique ne peut se passer de l'étude des activités dans leurs dimensions cognitive, gestuelle et matérielle. Pour cela nous mobilisons les approches de la sociologie du travail et de l'ergonomie cognitive.

L'objet d'étude concerne directement les plateformes de conception ouverte qui associent plusieurs entreprises, des communautés de développement logiciel notamment, des universités et laboratoires technologiques, éventuellement l'implication d'utilisateurs sous forme de crowdsourcing. La question centrale est : dans quelle mesure l'organisation en plateformes de conception ouverte qui conjugue les stratégies de plusieurs partenaires industriels, scientifiques et associatifs, transforme les activités de travail et l'emploi des cadres et ingénieurs de conception, recherche et développement ?

La première partie du rapport présente les activités de conception et les enjeux de leur développement. La seconde partie analyse en détail les dimensions d'organisation en termes de plateformes et de numérisation. La troisième et dernière partie examine les transformations du travail et des compétences au sein des systèmes de conception.

PARTIE 1
ACTIVITÉS DE CONCEPTION : ORGANISATION, ENJEUX ET PERSPECTIVES

1. PRÉSENTATION DU PROJET

1.1 REFORMULATION DES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Depuis le lancement de l'étude, la connaissance du sujet s'est affinée. Le milieu de la conception industrielle a fait l'objet d'analyses multidimensionnelles qui permettent de situer la dynamique de numérisation des activités de conception. Cette dynamique n'est pas récente, on la voit apparaître au début des années 90 sous la forme d'une aide à la conception. Elle va prendre de l'ampleur en compagnie de techniques de management qui peuvent se comprendre au prisme défini par Hatchuel (2011) :
- La générativité, c'est-à-dire la capacité de ces techniques à produire des propositions conceptuellesqui se distinguent des solutions existantes et des standards du domaine considéré ;
- La robustesse, à savoir leur capacité à produire des propositions conceptuellesqui résistent aux variations de contexte.

La générativité des méthodes et techniques développées depuis le cours des années 90 consiste à concevoir et innover rapidement en se focalisant sur la fonctionnalité des objets proposés. Ces méthodes et techniques prennent l'apparence de la gestion de projet, du lean management et de la conception en plateau, et d'une manière plus générique des plateformes de conception au sein d'entreprises-étendues ou en réseau.

La robustesse va s'incarner dans la gestion documentaire des projets d'innovation. Elle prendra plusieurs formes successives : TQM (total quality management), GED (gestion électronique des documents), SCM (supply chain management) pour trouver une intégration jamais égalée avec le PLM (product lifecycle management). Robustesse rime ici avec standardisation des méthodes et composants du produit. Cette standardisation ouvre la voie classiquement aux possibilités de modularisation des activités : c'est-à-dire des activités définies comme des enchaînements de briques élémentaires qui peuvent être assemblées rapidement et sûrement.

Notre étude confirme ainsi qu'il ne peut exister de technologie sans organisation. La technologie est un processus de transformation directement articulé dans l'organisation de l'activité. Charles Perrow (1970), dans la lignée des travaux du Tavistock Institute[1], définit la technologie comme un processus de transformation des inputs en outputs qui va déterminer la structure organisationnelle. La technologie participe en fait à la mise en forme de l'activité avec des parties plus ou moins automatisées. Les parties de l'organisation qui sont automatisées ont fait l'objet au préalable d'une formalisation poussée afin de réduire le plus possible tout aléa dans le déroulement de l'activité. C'est ainsi que l'activité peut rencontrer des exceptions (variabilité) lors de l'accomplissement du travail. Cette variabilité peut être maîtrisée par la formalisation ou non (démarche analysable ou non analysable).

Plus récemment cette représentation de la technologie a été reprise par l'Ecole des Mines de Paris[2]. En fait toute technique est mise en œuvre dans une pratique de gestion. On traite de technique managériale articulée par des outils de gestion qui consistent à réunir l'information, calculer, préparer une décision et la mettre en œuvre. Une technique de

1 - http://www.tavinstitute.org/
2 - http://www.mines-paristech.fr/Recherche/Centres-de-recherche/Centre-de-gestion-scientifique-CGS/

management telle que la plateforme d'innovation que nous étudions, se définit par trois éléments en interaction (Hatchuel et Weil, 1992):
- Un substrat technique ;
- Une philosophie de gestion ;
- Et une vision simplifiée des relations au sein de l'organisation.

Le substrat technique est l'abstraction sur laquelle s'appuieune organisation pour fonctionner : mesure, plan d'expérience, tables de gestes élémentaires, ordinateurs et algorithmes de toute nature pour larecherche opérationnelle et la gestion de production assistée par ordinateur, base derègles, base de connaissance et moteur d'inférence pour les systèmes experts, logiciels,bases de données pour des systèmes d'information de gestion.

La philosophie gestionnaire est ce qui confère à une organisation une signification gestionnaire : « il s'agit du système de concepts qui désigne les objets et les objectifs formant les ciblesd'une rationalisation »(Hatchuel et Weil 1992, p. 124). La philosophie gestionnaireassociée à l'organisation scientifique du travail est un accroissement de la productivité dutravail humain «conçu comme une séquence de gestes à mieux concevoir».Par exemple, les systèmes experts visentl'automatisation de raisonnements dont la notion de décision n'est qu'un produit. L'informatisation de la gestion d'une organisation repose sur une philosophie d'accroissement d'efficacité et de cohérence : efficacité, grâce à la bureautique, d'un certain nombrede tâches administratives, cohérence et sophistication des décisions grâce, par exemple, àl'utilisation d'une base de données commune.

La vision simplifiée des relationsorganisationnelles devrait parler d'elle-même. Par exemple l'OrganisationScientifique du Travail met en avant les figures de la direction et des ouvriers etl'existence d'une relation de travail entre eux et se traduit par la naissance d'un nouvelacteur : les services Méthodes. L'informatisation de lagestion met en scène des utilisateurs et des informaticiens; elleinduit un certain type de rapport de travail entre les différents niveaux hiérarchiquesautour de l'outil informatique, de même que le projet d'une base de données communelaisse entrevoir des utilisateurs connectés autour de connaissances qu'ils contribuent àfaire vivre.

C'est ainsi que l'objet central de l'étude – plateformes numériques, conception ouverte et emploi – est directement lié aux techniques d'organisation de la conception qui depuis une vingtaine d'années orientent les travaux des ingénieurs de conception.
Ces techniques s'incarnent dans deux méthodes majeures que nous avons étudié en détail : la gestion de projet et le PLM.

Le PLM (Product Lifecycle Management) répond à l'objectif de maîtrise de la totalité des opérations d'élaboration de la valeur offerte au client. Il utilise pour cela toutes les technologies disponibles afin de rendre compatibles les bases de données relatives aux produits/services et aux méthodes. Le PLM se présente ainsi comme une méthode d'intégration des informations gérées par une ou plusieurs organisations afin de réduire les temps de collecte et de traitement de l'information. Il supporte donc la gestion de projet afin de réduire les temps de conception et de production.

L'ingénieur de conception est directement affecté par le développement de ces méthodes. L'une des évolutions est la différenciation des rôles et parfois des statuts des ingénieurs. Il n'existe plus un seul type d'ingénieur de conception, il en existe au moins trois : celui qui s'occupe des méthodes de travail (ingénieur-méthodes), celui qui consolide les savoirs et techniques de son métier (ingénieur-métier) et celui en charge du développement d'un lot de projet (ingénieur-projet).

Les objectifs de l'étude consistent dès lors à savoir non plus si le numérique va se développer dans le milieu de la conception, il est déjà très bien installé, mais comment peut-il encore se déployer ? Puis dans quel type d'organisation place-t-il les ingénieurs en charge de la conception ?

1.2 LES ANALYSES DISPONIBLES À PROPOS DES IMPACTS DE L'AUTOMATISATION

Les études qui tentent de rendre compte des effets économiques du numérique (Vendramin et Valenduc, 2016, Mettling, 2015, Bowles, 2014, Smith et Anderson, 2014, Frey et Osborne, 2013) estiment les impacts macroéconomiques à 20 ans de la robotisation et de la numérisation des activités répétitives de manière très statique. C'est-à-dire que la dynamique de l'activité n'est pas spécifiquement prise en compte.

L'étude conduite au sein de l'université d'Oxford en 2013 (Frey et Osborne) a marqué les esprits depuis 2013 et continue à faire office de référence. Cette étude très sérieuse a tenté de quantifier les emplois potentiellement automatisables : 702 catégories d'emplois ont été définies, et une probabilité d'automatisation entre 0 et 1 a été appliquée à chacune en fonction des tendances observées. Les résultats montrent que 47% des emplois aux Etats-Unis enregistrent un risque de 70% en termes d'automatisation d'ici 20 ans. Ainsi 47% des emplois américains d'ici à deux décennies seraient occupés par des robots et automatismes divers. La plupart des travailleurs dans les transports et la logistique, de même que l'essentiel des emplois administratifs et des ouvriers dans les usines seraient susceptibles d'être remplacés par des machines. Roland Berger Consultants (2014) a reproduit cette étude et a obtenu un score de 42% pour le marché du travail français.

Dans cette perspective alarmiste et dramatique, les études se sont succédé durant trois années avant que certaines mises au point soient réalisées (Arntz, Terry et Zierahn, 2016). Cette récente étude introduit une subtilité fort bien venue qui consiste à envisager le devenir des emplois non plus à partir des professions dans leur ensemble, mais depuis les tâches réalisées. De cette manière la part des emplois « automatisables » est considérablement réduite. Par rapport aux estimations de Frey et Osborne, on passerait pour les Etats-Unis de 47% des emplois à haut risque d'automatisation complète à seulement 9%.

Les études macroéconomiques ne suffisent sans doute pas à rendre compte des transformations en cours et à venir. L'automatisation renvoie souvent à la standardisation, et dans un domaine tel que la créativité et la conception, une telle perspective peut faire penser à la domination de quelques oligopoles sur des ensembles industriels nationaux. Outre la difficulté à quantifier des processus économiques et sociaux dont on éprouve du mal à définir les logiques, plusieurs phénomènes nous semblent insuffisamment intégrés à une réflexion sur le travail et l'emploi.

Nous en donnons trois exemples :
- Les écosystèmes qui se sont mis en place au sein des économies développées et qui relativisent l'influence des seules entreprises au profit des multiples interactions entre unités économiques et sociales très différenciées. On désigne en particulier le rôle des plateformes numériques pilotées par un acteur industriel ou scientifique, les phénomènes d'appel à idées des utilisateurs (crowdsourcing) et la place des communautés de conception dans le vaste champ de ce que l'on appelle désormais la conception ouverte ;

- L'amalgame qui est réalisé au sein du vaste ensemble de l'économie numérique collaborative entre activités qui relèvent d'une stricte propriété industrielle (Uber en est le représentant le plus saillant) et activités qui correspondent davantage à une économie du partage. Ainsi quoi de commun entre Wikipédia et Uber ? De manière complémentaire, des activités de "science citoyenne" se développent : elles consistent à faire participer des volontaires à des activités ludiques qui ont un lien avec la recherche scientifique. L'activité des Fab Labs vient également brouiller les frontières entre activité marchande et non-marchande ;

- La dynamique intrinsèque des activités professionnelles et des métiers : comment les métiers de conception et d'ingénierie sont-ils affectés ? Et en particulier dans quelle dynamique de compétence professionnelle sont-ils engagés ? Si les technologies de conception, de production et de distribution sont révolutionnées, il sera toujours nécessaire de réaliser des adaptations en contexte au moyen de compétences détenues localement. Une étude récente met en évidence la spécificité des transformations en cours : « l'ampleur des transformations liées au numérique oblige ceux qui cherchent à en comprendre les impacts sur le travail à mettre le travail concret au «cœur» du regard social » (Bidet et Porta, 2016).

Une étude des processus de numérisation et de la dynamique de l'emploi nous paraît devoir se centrer en priorité sur la « technicité du travail » et envisager les activités et les emplois très peu étudiés : ceux impliqués dans la conception et le développement des produits et services innovants.

1.3 LES ORIENTATIONS DE L'ÉTUDE

Cette étude concerne donc les organisations de conception. Les technologies numériques ont pris naissance dans des creusets de réflexion questionnant l'efficacité des organisations industrielles. Les questions de compétitivité telles que posées au sein des économies occidentales façonnent en quelque sorte la définition des technologies. Mais une fois en place, ces dernières ne doivent pas être conçues comme de simples instruments. Les technologies sont intrinsèquement liées aux actions qui tous les jours sont réalisées. En ce sens la technologie constitue une expérience et nous savons que c'est à partir de notre expérience que nous envisageons nos actions futures. Il en va ainsi des capacités sensori-motrices des personnes au travail ainsi que dans les activités de consommation et de loisir.

1.3.1 LES PERSPECTIVES DU TRAITEMENT INTENSIF DES DONNÉES EN MASSE

La technologie n'est ni fatale, ni neutre économiquement et socialement. Elle fait plutôt partie d'un équipement productif (local ou macroéconomique) dont l'une des propriétés majeures est l'interactivité au sens de Bernard Stiegler (2015).

Le fonctionnement de nos économies peut être analysé dans un triangle « social – technique – physiologique » sous forme de relation transductive (Canguilhem, 1943, 2013 ; Stiegler, 2015). C'est-à-dire qu'aucun de ces termes n'est indépendant des deux autres.

L'engagement des personnes au travail (et au domicile sur Internet) est intrinsèquement lié aux dispositifs constitués de différentes techniques, dont des outils numériques, et de relations sociales dans lesquels ils évoluent.

Notre étude consiste à prendre au sérieux les propos de certains acteurs industriels qualifiés ainsi que quelques réalités nouvelles dans le domaine. Dans cette étude nous partons de ces menaces, sans oublier les promesses, afin de préciser les dynamiques qui sont à l'œuvre dans le domaine de la conception ouverte et numérisée. Nous savons désormais que la numérisation des activités productives, y compris la conception, prend naissance dans l'économie de vitesse incarnée par la gestion de projet et dans la standardisation des organisations innovantes incarnée par l'intégration documentaire (PLM pour l'instant).

Quelques exemples de pointe gagnent à être mis en exergue, non pas tellement pour qualifier le futur des économies, mais davantage pour mettre en perspectives nos réflexions à propos de la numérisation de l'économie :

a) Une vision disruptive extrême est portée par Chris Anderson[3] : « la philosophie fondamentale de Google est qu'il n'est pas nécessaire de savoir pourquoi telle page (d'un site Web) est meilleure que telle autre : si les statistiques des liens disent qu'elle l'est, cela suffit. Aucune analyse sémantique ou causale n'est requise. C'est pourquoi Google peut traduire des langues sans effectivement les « connaître » (étant donné des corpus équivalents de données, Google peut traduire le klingon [langue artificielle de la série télévisée Star Trek devenue jeu vidéo] en farsi aussi aisément qu'il peut traduire le français en allemand). Et c'est pourquoi il peut appareiller de la publicité et des contenus sans aucune connaissance ou hypothèse concernant les publicités ou les contenus » (Anderson cité par Stiegler, 2015, p.95).

b) Selon cette « raison statistique » érigée en substitut des capacités d'analyse des experts en situation, la recherche médicale dans le domaine de la génomique aux Etats-Unis connaît des orientations inédites. L'Institut National du Cancer américain a confié 2,6 pétaoctets[4] de données de son Atlas du génome du cancer aux plateformes Amazon Web Service et Google Genomics contre 18 millions d'euros. Ces plateformes offrent des capacités de stockage et de calcul inédites, un service d'analyse, de partage des données et d'expérimentation virtuelle. De son côté, Facebook a récolté 5000 échantillons de salive dans le cadre de l'enquête « Gene for Good » conduite par l'université du Michigan depuis 2015. Enfin, Apple a lancé une plateforme d'applications médicales (Research Kit) en collaboration avec l'université de Californie et l'hôpital du Mont-Sinaï de New York. Ces applications recueillent des données auprès des volontaires via leur appareil. A terme, Apple pourrait rassembler les données génétiques de ses clients et les transmettre aux chercheurs afin qu'ils les traitent et restituent les résultats de manière personnalisée via les applications (source : Libération web, 3/01/2016).

3 - Chris Anderson est physicien, il a été journaliste avant de fonder une start-up fabriquant des drones.
4 - 1 pétaoctet (Po) = 1015 octets = 1000 To = 1 000 000 000 000 000 octets.

c) Selon l'étude de Roland Berger Consultants (2014) : « le métier de courtier en assurance est un des exemples les plus emblématiques de métier qualifié touché par la révolution digitale, … , le cœur de l'activité de courtage peut maintenant être géré de manière automatique avec le courtier en ligne (Assur3D), tandis que le logiciel de backoffice de courtage Pro CRM tire parti du Big Data pour comparer instantanément un très grand nombre d'offres. Des logiciels prédictifs permettant d'anticiper l'évolution des taux ont également vu le jour, …, la prise en charge, par des logiciels, de tâches toujours plus nombreuses, qui plus est sans besoin d'investissement massif, pourrait conduire à une réduction sensible du nombre de courtiers (impact potentiel de 1800 emplois en France) » (p. 7). Le rapport précise que les métiers du secteur juridique seront également touchés, « le développement de bases de données en ligne, de logiciels tels que Lex Machina (recherche par similarité et formulation de recommandations), LegaLife (rédaction d'actes juridiques basiques) auront tendance à disqualifier les métiers à faible valeur ajoutée tels que analyste junior ou assistant juridique ».

d) Des jeux comme Foldit (identification protéines), Quantum Moves (Problèmes quantiques), Eterna (ARN), Phylo (ADN) ou Eyewire (cartographie des neurones) font appel à la réflexion des citoyens partout dans le monde et ont déjà permis de trouver de nombreuses solutions médicales et scientifiques. Des groupes diversifiés (d'un côté des habitués de jeux vidéo, de l'autre des scientifiques avec leurs étudiants) sont rassemblés afin de se concurrencer dans l'identification de formes de protéines ou de formes physiques. Ces appels à la foule (crowdsourcing) reposent sur l'implication volontaire de passionnés de jeux et de résolution de problèmes. L'issue est assez différente des exemples mentionnés ci-dessus. Nous sommes dans le domaine du non-marchand tout en étant dans le champ de la conception en amont de toute une série d'applications ou d'objets qui connaîtront un débouché commercial par la suite.

Ces quelques exemples tendent à nous indiquer finalement un changement d'époque.

Les technologies numériques autorisent des capacités de stockage et des délais de traitement de l'information qui deviennent gigantesques. Parmi ces technologies, on s'aperçoit que la plateforme prend une place générique. Les plateformes sont systématiquement présentes dans la mise en réseau des ressources, des acteurs et des décisions. Enfin ce sont les capacités humaines qui sont directement impliquées avec une intensité qui doit être interrogée. Il s'agit de l'implication des usagers qui vont bénéficier de services dans lesquels ils seront très intimement impliqués. Il s'agit de contributeurs qui sont appelés à résoudre en assemblée collective ou à distance des questions scientifiques ou techniques. Il s'agit enfin des capacités des employés qui sont et seront remplacées par des automatismes.

Dans chacun des cas c'est un système qui émerge et se met en place afin de réguler l'activité. Les formes d'intervention des humains sont très liées aux cadres sociaux. C'est par exemple une firme puissante qui met à disposition une application qui permettra plus tard de prescrire des traitements médicaux. A l'opposé, ce sont des individus autonomes qui vont se regrouper en association ou en groupe éphémère pour améliorer un dispositif technique ou contribuer à l'avancée scientifique. Ce système comprend dans tous les cas de la technologie dont les formes évoluent avec les usages et les relations entre acteurs qui se déclinent en termes d'influence ou de libre association.

1.3.2 L'EXERCICE NÉCESSAIRE D'UN DISCERNEMENT AU SEIN DES PRATIQUES

Il existe une approche qui permet de penser ces systèmes, elle a pour nom l'organologie[5]. On peut établir sa généalogie à partir des travaux qui situent l'activité humaine dans un cadre d'autonomie de l'action au sein d'un milieu.

Les travaux de Georges Canguilhem (Le normal et le pathologique) ont grandement influencé cette approche que l'on retrouvera chez Gilbert Simondon (Du mode d'existence des objets techniques, 1958, et L'individuation psychique et collective, 1964). Cette approche est développée dans le cadre contemporain du numérique par Bernard Stiegler (2015) dont nous reprenons les propos.

L'« organologie générale » est une méthode d'analyse conjointe de l'histoire et du devenir des organes physiologiques, des organes artificiels et des organisations sociales.Elle décrit une relation transductive entre trois types d' « organes » :
- Physiologiques ;
- Techniques ;
- Sociaux.

L'appellation d'organe peut surprendre pour la technique et le social. Cette approche est en fait héritée et prolongée à partir de l'œuvre de Georges Canguilhem dont de nombreux analystes s'inspirent afin d'étudier le rapport de l'humain au travail et en particulier les conditions de travail.

Canguilhem s'exprime ainsi (2002, p. 68) : « Je me porte bien dans la mesure où je me sens capable de porter la responsabilité de mes actes, de porter des choses à l'existence et de créer entre les choses des rapports qui ne leur viendraient pas sans moi». Se porter bien renvoie intuitivement à nos organes physiologiques, mais ces organes seraient finalement bien isolés sans nos relations sociales et professionnelles. C'est la raison pour laquelle on intègre à cette analyse le concept d'organes sociaux, à savoir les modalités qui nous permettent d'être au contact les uns des autres.

Etant donné que ces modalités peuvent se stabiliser et être durables, nous pouvons les qualifier d'organes. Citons à titre d'illustration : l'organisation du travail au sein de laquelle nous évoluons, les canaux d'information auxquels nous participons (les réseaux sociaux souvent évoqués aujourd'hui n'ont rien de nouveau), nos pratiques de communication verbale et écrite.

Les organes techniques s'inscrivent en appui, en prolongement ou en cadre d'exercice pour les relations sociales ainsi que pour nos organes physiologiques. Nos systèmes techniques, les automatismes mécaniques, électromécaniques, chimiques et biologiques et aujourd'hui numériques peuvent être étudiés sous l'angle de leur élaboration aussi bien que dans la perspective de leur usage. Ainsi le passage de la planche à dessin à la CAO (conception assistée par ordinateur) puis à la maquette numérique marque un accroissement de la capacité de conception des ingénieurs (rapidité accrue, fiabilité augmentée, …).

5 - Organologie est dérivé du grec οργανον, « organon » : outil, appareil.

Une approche convergente est fournie par l'étymologie : le terme du grec ancien « organon » signifie instrument, outil. Autrement dit des moyens qui permettent à l'homme d'agir en différentes circonstances. Un certain nombre de chercheurs s'intéressant à la technique, dont Bernard Stiegler, considèrent cette relation triangulaire comme la base d'étude pertinente de la dynamique de nos organisations sociotechniques.

Pour Stiegler, la relation est transductive dans la mesure où la variation d'un terme d'un type engage toujours la variation des termes des deux autres types. Un organe physiologique – y compris le cerveau, siège de l'appareil psychique[6] – n'évolue pas indépendamment des organes techniques et sociaux.

Par exemple, les communications par messagerie électronique ou bien le travail collaboratif sur documents partagés permettent aux employés de travailler rapidement et à distance. Le gain de temps est indéniable. Mais ce sont aussi les relations sociales de travail qui sont modifiées : certaines organisations en demandant encore plus aux employés. C'est également nos organes physiologiques qui peuvent être affectés par exemple en termes d'addiction à l'outil informatique. Ou encore la préférence accordée aux documents plutôt qu'à l'expérience dans la prise de décision qui doit être rapide. C'est la raison pour laquelle ces trois organes évoluent par interactions les uns vis-à-vis des autres.

Qu'en est-il lorsque les évolutions sont très rapides, voire brutales, au niveau de l'un des organes ? On parle alors de désajustement. Le phénomène n'est pas nouveau dans l'histoire économique et sociale. Il prend la forme de crises qui incitent à trouver de nouvelles voies de développement.

Aujourd'hui, la transformation organologique connaît un bouleversement inédit que Bernard Stiegler appelle – en référence à un concept de Bertrand Gille[7] – l'hyper-désajustement. Celui-ci résulte non seulement de l'accélération de l'évolution technologique, mais du modèle économique néolibéral qui, depuis la « révolution conservatrice », consiste à remplacer les organisations et institutions sociales par des services eux-mêmes technologiques, et totalement soumis à un système économique devenu exclusivement spéculatif. Il y a hyper-désajustement lorsque les organa artificiels formant le système technique court-circuitent à la fois le niveau des organes et appareils psychosomatiques (organes génitaux et cérébraux compris) et le niveau des organismes sociaux. On retrouve ici le rôle de la technologie, bien plus qu'un simple instrument, en tant qu'intégrée au système d'action aussi bien de l'individu que des groupes.

Ce mouvement conduit, selon les termes de Bernard Stiegler, à une prolétarisation généralisée (source : Ars Industrialis, 2016). C'est-à-dire une perte complète des orientations professionnelles et personnelles de la majorité des citoyens et salariés vivant sur un territoire.

---

6 - Appareil psychique non réductible au cerveau, supposant des organes techniques, des artefacts supports de symbolisation et dont la langue est un cas.

7 - Bertrand Gille (1978) montre qu'à partir de la révolution industrielle, la dynamique du système technique s'accroît et accélère sa transformation de sorte que la principale fonction des pouvoirs publics devient la régulation du désajustement entre système technique et systèmes sociaux qui en résulte.

Les orientations principales de notre étude peuvent se présenter ainsi. Il s'agit de prendre au sérieux ce mouvement d'envergure qui affecte et risque de transformer totalement l'organologie générale de nos contemporains. Et dans ce cadre, il s'agit d'étudier ce qui semble être suggéré mais n'est jamais traité véritablement : la dynamique de l'activité des employés de conception de produits et services.

La conception industrielle est directement liée aux capacités d'innovation. Les enjeux sont donc stratégiques et vitaux pour une nation industrielle.

Il s'agit, d'une part, de soutenir la concurrence internationale. Il s'agit d'autre part, et surtout, de préserver et de développer une capacité créative en lien avec nos modes de vie, nos goûts et nos relations sociales.

De ce point de vue, les menaces sont bien réelles. Il s'agit de l'impact de l'usage des technologies numériques sur nos propres capacités neurophysiologiques : capacité d'attention et de concentration, phénomènes d'addiction aux jeux et aux écrans, formation des sensibilités et préférences par l'industrie d'Internet qui est mondialement contrôlée par des acteurs qu'il n'est plus besoin de présenter.

2 LES ENJEUX DE LA CONCEPTION POUR L'INDUSTRIE FRANÇAISE

2.1 LA CONCEPTION COMME ACTIVITÉ

Pour Herbert Simon (1995) concevoir c'est « concevoir des objets, des processus, des idées pour accomplir des buts, et montrer comment ces objets, processus ou idées peuvent être réalisés » (p. 246). Pour Demailly et Lemoigne (1986) concevoir c'est « dessiner, exprimer un dessein par un dessin ou par une forme ou par un système de symboles, …, c'est créer, ou construire, quelque modèle symbolique à l'aide duquel on inférera ensuite le « réel » » (p. 435-436).

Dans ce sens, on peut distinguer les activités de conception routinières des activités de conception non routinières qui sont, elles, créatives.

Une activité de conception créative se définit ainsi par les spécialistes du domaine :
- Est orientée vers l'atteinte d'objectifs au départ peu spécifiés ;
- Se développe dans une situation où des contraintes doivent être respectées ;
- Est située et conditionnée dans un contexte ;
- Requiert une certaine créativité (Bonnardel, 2000) ;
- Requiert la construction et l'affinement progressif de la représentation mentale du problème de conception (Simon, 1973, 1995) ;
- Pour laquelle l'activité mentale s'effectue en interaction avec l'élaboration d'une représentation externe, par exemple un dessin (Schön, 1983) ;
- L'activité est focalisée sur les aspects pertinents du produit ou de la procédure recherchée, ce qui permet d'envisager le rôle de l'expertise lors de la détermination par les concepteurs des caractéristiques à prendre en compte (Bonnardel et Mermèche, 2005).

L'activité de conception fait appel à la créativité individuelle et collective. Elle choisit une cible très souvent mal définie et tente de trouver des solutions via des actions appuyées sur des ressources. On traite ainsi de dynamique « cible – source ».

En termes techniques, la cible est le domaine conceptuel de l'objet à concevoir.

La source est le domaine conceptuel correspondant aux objets existants. Il existe trois types de sources : des sources intra domaines, des sources inter domaines proches, sources inter domaines éloignées (Bonnardel, 2000). Un constat a été établi : plus les personnes s'éloignent des premières sources évoquées, plus leurs productions sont originales.

Mais ce n'est pas la seule source. La créativité est également de l'imagination partagée (Dewulf et Baillie, 1999).

L'imagination renvoie à une mémoire nouvelle, individuelle ou personnelle, « partagée » renvoie au public ou auditoire qui devient partie intégrante de cette mémoire. Grâce aux divers canaux de communication et à nos filtres perceptifs, l'auditoire reconstruit dans son imaginaire l'intention de l'intention initiale (Dewulf et Baillie, 1999). La mémoire des concepteurs est ce qui est dénommé « mémoire de travail »qui permet d'élaborer des représentations mentales sous l'influence des connaissances disponibles en mémoire à long terme ainsi que du contexte. Ce processus est animé par une économie cognitive ou limitation de l'effort cognitif (ressources attentionnelles allouées à une tâche ou nécessaires pour mobiliser un processus cognitif). Baddeley (2000) qualifie de limitées les ressources attentionnelles disponibles en mémoire de travail (MdT).

2.2 LES DIMENSIONS ÉCONOMIQUES DES ACTIVITÉS DE CONCEPTION

2.2.1 L'ENJEU DE LA CRÉATIVITÉ

La conception a besoin de créativité. Une proportion importante de l'activité de conception est réalisée en situation individuelle (Pahl et alii., 1999). Selon ces auteurs, le travail individuel représente près de 70 % du processus de conception, le travail en équipe 30%.

Souvent les personnes créatives sont en mesure de voir ce que les autres ne voient pas, elles font également preuve de flexibilité et sont capables de changer de points de vue (Bonnardel, 2005).

Comment définir la créativité ?

Pour Csikszentmihayi (1996) c'est la capacité à exprimer des pensées inhabituelles, à générer des jugements perspicaces, à introduire des changements fondamentaux dans notre culture, à réaliser des découvertes importantes, et à expérimenter le monde de façon « fraîche et originale » (Bonnardel, 2000, p. 21). Pour Franken (2001), c'est le fait de générer ou de reconnaître des idées nouvelles, des alternatives, ou des possibilités susceptibles de contribuer à la résolution des problèmes.

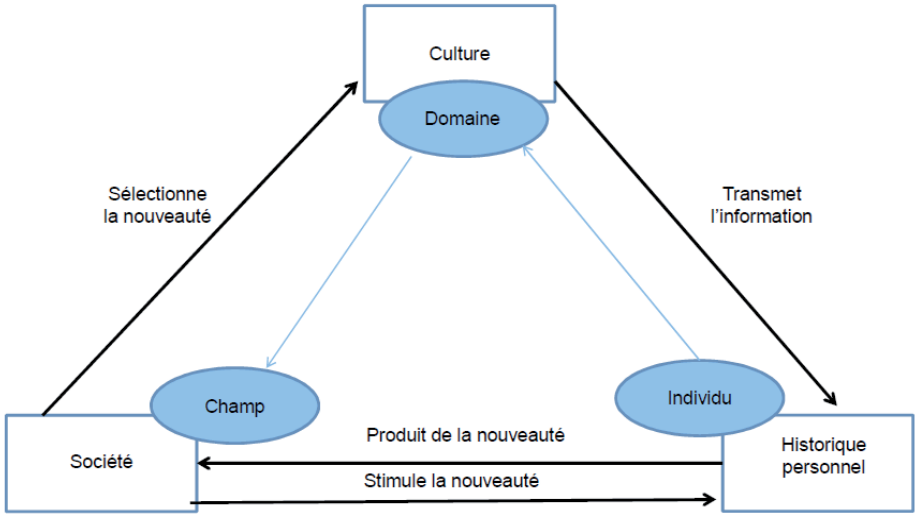
Selon Bonnardel (2002), la créativité est la « capacité à produire une idée exprimable sous une forme observable ou à réaliser une production, qui soit à la fois novatrice et inattendue, adaptée à la situation et (dans certains cas) considérée comme ayant une certaine utilité ou de la valeur » (p. 95).

Ainsi globalement, la créativité résulterait d'un cycle associant trois systèmes (Csikszentmihalyi, 1996 ; Feldman, Csikszentmihalyi et Garner, 1994) :
- L'individu qui apporte des transformations dans les connaissances relevant du domaine ;

- Le domaine qui correspond à un savoir culturel, à un répertoire de connaissances associées à la culture considérée, et qui comporte les idées et les productions sélectionnées par le champ ;
- Le champ qui regroupe un ensemble de personnes (des experts gardiens du domaine) ou d'institutions sociales qui contrôlent un domaine et qui évaluent puis sélectionnent, parmi les nouvelles idées et les productions des individus, celles à retenir (figure 1).

L'individu traite les informations fournies par le domaine. Il les transforme ou les étend grâce à ses processus cognitifs et en fonction de ses traits de personnalité et de sa motivation. Si cette transformation est jugée par le champ (les experts) comme ayant de la valeur, elle est ajoutée dans le domaine. Elle constitue alors un point de départ pour un prochain cycle de transformation et d'évaluation de la conception. Ainsi la créativité relève des interactions entre ces 3 polarités (Bonnardel, 2000).

FIGURE 1 – LES SYSTÈMES DE LA CRÉATIVITÉ ET DE LA CONCEPTION



Source : Csikszentmihalyi (1996) cité par Bonnardel (2000).

La conception proprement dite ne commence qu'après la constitution intuitive d'une image globale de l'objet à concevoir. Les concepteurs font marche arrière à certains moments, ils s'éloignent de la résolution. Ils développent des séquences d'activités qui conduisent à de nouveaux pas de résolution du problème. Les mouvements qui apparaissent comme multidirectionnels se fondent en fait en un seul mouvement convergent vers une seule action. Quatre facteurs structurent l'évolution des représentations mentales des concepteurs :
- Prise en compte de la situation courante (place de la cognition située) ;
- Élaboration de représentations externes (externalisation, dessins) ;
- Réalisation d'analogies ;
- Gestion de contraintes.

Notre étude empirique au sein de quelques plateformes de conception va tenter de saisir ces différentes dynamiques afin de bien cerner les dynamiques qui sont à l'œuvre. Par exemple quels sont les effets de la numérisation sur la dynamique « cible-sources » ? De quelle manière se transforment les mémoires de travail dans le cadre de plateformes ? Comment est affecté le triptyque champ-individu-domaine ?

2.2.2 LE MILIEU DE LA CONCEPTION

Les activités de conception sont prises en charge par plusieurs fonctions et plusieurs catégories professionnelles au sein des organisations industrielles.

La conception proprement dite des produits et services est prise en charge par la fonction marketing et par les bureaux d'étude, ces derniers sont principalement animés par des chercheurs industriels, des ingénieurs et des techniciens. La conception des méthodes d'élaboration des produits est prise en charge par les bureaux des méthodes dont la responsabilité revient également à ces trois catégories professionnelles.

Les chercheurs industriels sont titulaires d'une thèse de doctorat et sont relativement peu nombreux au sein d'une organisation. Ils se consacrent aux activités de R&D très en amont du processus de conception.

Les ingénieurs sont titulaires d'un diplôme particulier préparé en école d'ingénieur. L'ingénieur est considéré comme un cadre au sein de l'industrie française.

Une question importante consiste à préciser quel rôle exact joue l'ingénieur au sein d'une organisation. Ce rôle a évolué au fil de la constitution de l'industrie.

Bertrand Gille (1964) situe la naissance de l'ingénieur à l'époque de la Renaissance. Cette nouvelle figurede l'activité productive se rapproche d'un « artiste et artisan, militaire, organisateur de fêtes, avec toute sa complexité et tout son génie qui lui donnèrent l'illusion d'une efficacité sans bornes ».Les ingénieurs portent « l'espoir d'un progrès technique, l'espoir d'une domination plus complète de la nature »(p. 10).

Les corps d'Etat apparaissent dès leXVIe siècle. Sous Colbert, les premiers corps d'Etat modernes voient le jour afin d'équiper le pays : renforcer et moderniser sa défense et ses voies de communication. L'Etat crée une nouvelle élite avec les ingénieurs militaires, appelés « ingénieurs du Roy » (constituant un seul corps en 1691). La formationdes corps techniques et militaires de l'Etat est confiée à des écoles : Ponts et Chaussées (1747), Ecole des Mines (1783), Ecole Polytechnique (1793).
Durant le XIXème siècle, la position des ingénieurss'affirme et notamment celle des ingénieurs civils. Sous l'impulsion du saint-simonisme, l'ingénieur, « synthèse de l'industriel et du savant », est celui qui permet de diffuser les progrès de la connaissance. L'ingénieur endosse alors un rôle social en travaillant pour la Nation. Avec la création des premières écoles d'ingénieurs civils comme l'école centrale des artset manufactures en 1829, cette figure de l'ingénieur social se développe et se renouvelle ausein de l'école Leplaysienne qui lui attribue des « missions sociales ». Charles Gadéa (2000) y voit les prémices de la figure du cadre. Au regard de l'ensemble de ces éléments, il apparaît que les sociologues des professions caractérisent la construction historique du groupe comme une prise de pouvoir progressive au sein de la société toute entière durant le XVIIIèmeet le XIXème siècle, comme le résume d'ailleurs Charles Gadéa : les ingénieurs ont étendu leur emprise sur l'économie et les usines, ainsi que sur une grande partie des rouages de l'Etat.

Mais la conception ne se réduit pas aux activités de l'ingénieur. Elle implique des décideurs financiers et des spécialistes du marché. Les activités de Recherche et Développement (R&D) sont désormais qualifiées de RID : le « I » étant celui de l'innovation qui n'est concevable que dans un cadre de rentabilité avec des clients potentiels dont on cherche à s'assurer

l'implication. La conception devient progressivement, comme nous allons l'examiner, une étape d'un vaste programme d'innovation dont l'organisation qui le met en place cherche à s'assurer de la fiabilité de chacune des étapes. Dans ces conditions, il s'agit d'apprécier le devenir de ce rôle d'ingénieur qui, autrefois, était puissant.

2.2.3 DIMENSIONS DÉMOGRAPHIQUES

Qui sont les professionnels de la conception ? Il existe une acception étroite des activités de conception qui les relient exclusivement à la fonction de R&D. Cette vision des affaires de la conception et de l'innovation a connu plusieurs aménagements avec la prise en considération des professionnels du marché (marketing) qui s'occupent de scruter les attentes des consommateurs ou souvent de les orienter, puis l'intégration des ressources scientifiques et techniques externes à l'entreprise (universités, concurrents, Start up, fonds d'amorçage, appel à la foule, collaboration avec des communautés d'utilisateurs ou de concepteurs).

Les chercheurs

En 2013, 575.300 personnes participaient à une activité liée à la recherche en France. Elles représentaient 418.100 équivalents temps plein (ETP), effectifs en progression de 9,3 % en 5 ans. Le nombre de chercheurs a progressé de 16,9 % sur 5 ans, passant de 227.700 ETP en 2008 à 266.200 ETP en 2013. Les chercheurs représentent 64 % du personnel de recherche en 2013, le ratio « personnel de soutien pour un chercheur » s'établissant à 0,57 en 2013 contre 0,68 en 2008[8].

Selon la même source, en 2013, les entreprises emploient 161.900 chercheurs en ETP. Cet effectif est en augmentation de 26,1 % depuis 2008. Dans les administrations, le nombre de chercheurs a progressé moins rapidement (+ 5,1 % en 5 ans) et atteint 104.300 ETP.

Depuis 2002, les chercheurs en entreprises sont plus nombreux que ceux travaillant dans les administrations et représentaient, en 2013, 61 % de l'ensemble des chercheurs.

Dans les entreprises, 5 parmi les 32 branches bénéficiaires de la recherche concentrent près de la moitié (48 %) de l'effectif de chercheurs : « activités informatiques et services d'information » (12 %), « industrie automobile » (11 %), pour les « activités spécialisées, scientifiques et techniques » (10 %) et la « construction aéronautique et spatiale » (10 %), « fabrication d'instruments et appareils de mesure, essai et navigation, horlogerie » (7 %). Entre 2008 et 2013, les effectifs de chercheurs des branches de services ont augmenté 7 fois plus vite (+ 77 %) que ceux des branches des industries manufacturières (+ 11 %) et des branches « primaire, énergie et construction » (+ 15 %).

La part des femmes parmi le personnel de recherche s'élevait à 30 % en 2013. Elle est plus faible parmi les chercheurs (26 %) que parmi les personnels de soutien (35 %). Elle est également plus faible dans les entreprises (22 %) que dans les administrations (40 %). Dans les administrations, plus de trois personnels de recherche sur quatre sont titulaires de leur poste. Les titulaires sont proportionnellement plus nombreux parmi les personnels de soutien (88 %) que parmi les chercheurs (71 %), une partie de ces derniers étant des doctorants.

8 - Source : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2016.

Selon toujours la même source, au sein de l'Union européenne, la France occupe la deuxième position en nombre de chercheurs en ETP, derrière l'Allemagne. Le Royaume-Uni est en troisième position.

Au niveau mondial, l'Union européenne occupe la première place avec 1,7 millions de chercheurs en ETP, devant la Chine (1,4 million) et les États-Unis (1,3 million). Si l'on rapporte le nombre de chercheurs à la population active, la France, avec 9,3 chercheurs pour mille actifs en 2013, se place derrière la Corée du Sud, le Japon, mais devant l'Allemagne, les États-Unis, et le Royaume-Uni. Plusieurs pays moins peuplés se situent aux premiers rangs mondiaux, notamment la Finlande, Taïwan et la Suède.

Les ingénieurs et techniciens

Selon la Société des Ingénieurs et Scientifiques de France on compte près d'un million d'ingénieurs en France alors qu'ils n'étaient que 680.000 en 2009. Ce nombre augmente de 4% par an en moyenne. Parmi eux 20,5% sont des femmes, toutes générations confondues. 780 000 ingénieurs sont en activité avec une large proportion de salariés (747.000). 38.000 nouveaux ingénieurs ont été diplômés en 2015, remplaçant 8 à 9000 départs à la retraite.
Selon les sources statistiques qui font autorité au niveau national[9], les données de l'emploi des personnels qui peuvent être considérés comme directement impliqués dans des activités d'ingénierie, de conception et de création industrielle et commerciale se présentent ainsi :
- Les ingénieurs et cadres techniques de l'industrie seraient 274.000 (en moyenne calculée sur 2012-2014) ;
- Les ingénieurs de l'informatique étaient en 2013,355.000 (tous ne sont pas employés dans l'industrie) ;
- Soit un total « ingénieurs » de 629.000 ;
- Les personnels d'études et de recherches seraient 383.000 ;
- Si l'on regroupe ces deux catégories, on peut présenter un ensemble RID avoisinant 1.012.000 personnes en activité en 2013.

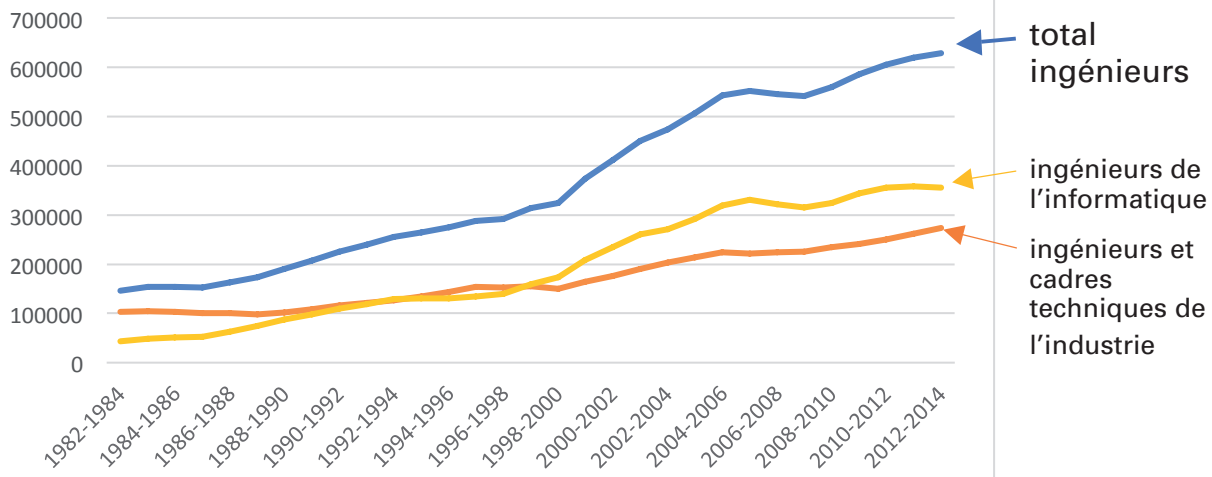
L'évolution est remarquable pour l'ensemble de ces trois populations, mais surtout pour celle des ingénieurs de l'informatique qui connaît sur 30 ans une progression de 725% (+ 166 % pour les ingénieurs et cadres techniques de l'industrie ; + 194% pour les personnels d'études et de recherches). En comparaison, la progression des techniciens informatiques est extrêmement plus faible : seulement de 23% sur la période.

D'un point de vue statistique il n'est pas pertinent de représenter les professions du marketing comme on le fait pour les ingénieurs. Certes tous les ingénieurs ne sont pas impliqués dans des activités de conception innovante, mais la population des professionnels du marketing et du commerce est encore plus large (source DARES, 2015). La population des ingénieurs et cadres techniques de l'industrie s'élève en 2016 à plus de 600.000 personnes. Alors que la population des employés directement impliqués dans la conception commerciale du produit (cadres commerciaux et technico-commerciaux, et professionnels de la communication et de l'information) ou bien susceptibles de prendre des initiatives dans ce sens (remontée d'information, suggestions diverses, …),

9 - Enquêtes Emploi, Insee ; traitement Dares, 2015 (Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques).

c'est-à-dire les attachés commerciaux et représentants et la maîtrise des magasins et intermédiaires du commerce s'élève à la même époque à plus de 1.700.000 employés. Dans ces conditions, il est bien plus délicat d'identifier les apports respectifs de ces différentes catégories commerciales au processus d'innovation. Cependant on pourrait envisager d'isoler la population des cadres commerciaux et technico-commerciaux qui a connu une progression sensiblement comparable à celle des ingénieurs de l'informatique. Cette catégorie de cadres commerciaux s'élève aujourd'hui à 533.000 personnes.

Figure 2 - Progression des effectifs Ingénieurs - France



Source : élaboration personnelle à partir des données Insee, Dares.

Il est important de prendre la mesure de ces évolutions. Les ingénieurs représentent une catégorie sociale en croissance forte et ininterrompue depuis 30 années. Dans le même temps les ouvriers non qualifiés ainsi qu'une partie importante des ouvriers qualifiés voient leur nombre décroître dans des proportions importantes. Mais le solde est loin d'être positif puisque l'ensemble ingénieurs (informatique et industrie) et personnels d'étude-recherche enregistre un accroissement de 736.000 individus sur ces 30 dernières années alors que dans le même temps le total « ouvriers » enregistre une perte nette d'emplois de 1.282.000 individus.

TABLEAU 1 - PROGRESSION COMPARÉE OUVRIERS / INGÉNIEURS

(voir annexe 1 pour les détails)

Effectifs	1982-1984	2012-2014	Variation sur 30 ans
Ingénieurs de l'informatique	43 000	355 000	+725,6%
Personnels d'études et de recherche	130 000	383 000	+194,6%
Ingénieurs et cadres techniques de l'industrie	103 000	274 000	+166,0%
Techniciens de l'informatique	133 000	164 000	+23,3%
Techniciens et agents de maîtrise des industries de process	202 000	239 000	+18,3%
Ouvriers qualifiés des industries de process	264 000	301 000	+14,0%
Techniciens et agents de maîtrise des industries mécaniques	306 000	234 000	-23,5%
Autres Ouvriers qualifiés (hors BTP, réparation automobile et maintenance)	860000	566000	-34,19%
Ouvriers non qualifiés des industries de process, de la mécanique, de l'électricité et de l'électronique, du métal, du bois et ameublement, du textile et du cuir, du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	1671000	646000	-61,34%

Source : DARES (Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques) d'après séries longues de l'Enquête Emploi en continu de l'Insee, 2015.

En ce sens la France connaît une véritable désindustrialisation. Ce fait étant reconnu, il s'agit de savoir d'une part si les effectifs ingénieurs et recherche vont continuer leur progression et dans quelle proportion, d'autre part comment se structure cette évolution au sein même de cette catégorie salariale : assistera-t-on ou pas à une prolétarisation des ingénieurs au sens évoqué par Bernard Stiegler ?

2.3 SOCIOLOGIE DES INGÉNIEURS ET CADRES DE CONCEPTION

Traditionnellement, les sociologues définissent un groupe professionnel au moyen de trois dimensions:
- Le rapport au temps ;
- La conception du travail ;
- Le rapport à la carrière.

Les ingénieurs et cadres se sentent impliqués dans la question du temps de travail. Réaliser des heures de travail est un sujet, qui peut donner lieu à de vifs débats, digne de considération. On dit que l'investissement temporel fait partie des représentations du statut. On ne compte pas ses heures lorsqu'on fait profession de résoudre des problèmes qui engagent globalement une partie de l'organisation qui emploie.

Le travail de cadre tout comme le travail d'ingénieur procure à la fois une reconnaissance matérielle et une reconnaissance symbolique. Certains sociologues définissent les cadres et ingénieurs comme un salariat de confiance. Les ingénieurs ont pour caractéristique de manier couramment l'abstraction, ils font valoir un savoir socialement reconnu, à l'inverse des artisans et ouvriers de métier qui développent un savoir pratique (Vérin, 1993).

Enfin, les ingénieurs et cadres se différencient nettement des autres catégories par les possibilités de carrière qui leur sont offertes : nombreuses, variées et émancipatrices en termes de statut. Cadres et ingénieurs sont les destinataires de choix de la part de leur direction en termes de promesse objective de carrière.

Selon le sociologue américain Crawford (1987), c'est la nature de l'activité des ingénieurs centrée sur l'innovation et la gestion de projets qui les protège de la déqualification même lorsque leur périmètre d'action est limité. L'auteur fait référence à leur latitude pour « décider de la façon et du moment de s'acquitter de leurs responsabilités », en témoigne l'absence de supervision directe. Cette liberté d'organiser le travail serait typique de la nécessaire autonomie à tout emploi technique.

Toutefois les attitudes et comportements de tous les ingénieurs ne sont pas semblables. A mesure qu'un groupe social se constitue, atteint un statut et se développe, il entre au bout d'un certain temps dans un processus de différenciation.

L'analyse mérite d'être complétée par une dimension historique qui peut d'ailleurs contribuer à éclairer ce mouvement de différenciation.

Paul Bouffartigue(1999) développe la notion de « salariat de confiance » : les cadres et ingénieurs sont salariés, mais en tant que tels ils n'entretiennent pas la même relation que d'autres catégories salariées à l'organisation qui les emploie. Ils développent une implica-

tion subjective en passant plus de temps et en investissant plus d'énergie afin de résoudre des problèmes suivant une inspiration proche de celle de leur employeur. Bouffartigue localise dans les travaux britanniques sur les ingénieurs et techniciens les premiers usages de la notion de «travailleurs de confiance» (Amstrong, 1987; Whalley, 1984). Ces chercheurs ont mené des comparaisons internationales sur le travail technique.

La notion de «travailleurs de confiance» permet de penser à la fois l'universalité, et la diversité historique d'un phénomène: « dans tous les pays industriels le capital est contraint de reconnaître certaines formes d'autonomie à une fraction de la force de travail, du fait de son expertise technique, ou des responsabilités d'encadrement qui leur sont déléguées; et les modes de formation, de recrutement, et de stratification des travailleurs techniques, et par voie de conséquence de l'organisation du travail dans laquelle ils se situent, dépendent de constructions sociales, très variables selon les pays et les branches d'activité économique. Ces auteurs, en désaccord avec des interprétations de l'évolution du travail des ingénieursen terme de déqualification, insistent sur l'importance des "structures de carrière" qui organisent l'expérience sociale de ces travailleurs de confiance, et qui la distingue de celle des autres travailleurs » (Bouffartigue, 1999, p. 8).

Mais plusieurs facteurs datés dans l'histoire sociale et industrielle viennent perturber cet état de confiance. Six dimensions viendraient ainsi bouleverser cette partie du salariat :
- Une croissance économique ralentie (alors que le groupe social est en expansion, cf. tableau 1) ;
- Le développement d'un chômage des cadres et donc des carrières ralenties et plus incertaines ;
- Une montée des professions centrées sur l'expertise (voir tableau 1, professionnels des études et des recherches) ;
- Un mouvement de féminisation ;
- Des tensions dans la relation contribution/rétribution ;
- Une banalisation des comportements syndicaux et politiques selon les termes de Bouffartigue (1999).

Tous ces mouvements affectent davantage les cadres au sens large que les seuls ingénieurs. Mais on peut retenir l'idée d'une déstabilisation a fortiori lorsque le volume d'emploi des ingénieurs progresse fortement. Par exemple tous les informaticiens ne vont pas occuper une position de conception dans la définition d'un nouveau logiciel.

Bouffartigue conclut ainsi son analyse : « le clivage statutaire qui délimite les cadres dans les classifications professionnelles, et constitue encore les contours pratiques et formels du groupe, est désormais ouvertement sur la sellette. C'est que les frontières de ce «groupe flou» sont désormais bien davantage brouillées qu'il y a une vingtaine d'années, tandis que ses segmentations internes se sont accentuées. Plus au fond, c'est la spécificité de la relation de confiance qui constituait le groupe qui est profondément remise en question. Sous toute une série de rapports, des rapprochements et des superpositions s'observent entre les catégories de cadres et de professions intermédiaires, qu'il s'agisse des attributs scolaires et sociaux, ou des modes de gestion par les firmes. Dans le même temps, ces mêmes modes de gestion segmentent «cadres de direction» ou «cadres à haut potentiel» des autres cadres. Aux côtés de ces derniers, seule une minorité des cadres hiérarchiques paraissent devoir bénéficier encore de certaines formes traditionnelles du contrat de confiance, au travers desquelles l'allégeance à l'organisation employeuse s'échange contre promesse de carrière et de sécurité. Par contre les «cadres experts» ou «cadres producteurs», toujours plus nombreux, voient la confiance dont ils bénéficient circonscrite à l'exercice, ponctuel et limité dans le temps, d'une compétence technique. » (Bouffartigue, 1999, p. 24).

2.4 DÉMOGRAPHIE DES PROFESSIONS R&D DANS L'INDUSTRIE FRANÇAISE

L'évolution démographique des professionnels impliqués dans les activités de conception et d'innovation en France est assez remarquable. Nous avons détaillé les évolutions macroéconomiques du tableau 1 en termes microéconomiques au niveau de quelques grandes firmes (tableau 2). Mis à part le cas de Dassault Aviation qui a connu une évolution particulière en externalisant notamment une partie de son appareil de conception à Dassault Systèmes, toutes ces firmes enregistrent des évolutions très significatives de leur effectif de R&D.

TABLEAU 2 - EFFECTIFS R&D, FRANCE (PERSONNES PHYSIQUES)

	1990	1996	2000	2005	2010	**Progression 2010/1990**
Airbus	n.d	n.d	2765	4906	5264 (2008)	**+ 90,38%**
Dassault Aviation	4135	2352	1563	1929	1783	**- 56,88 %**
Dassault Systèmes	379	556	800	739	1235	**+ 225,86 %**
Pierre Fabre	n.d	792	917	1132	1247	**+ 57,45 %**
PSA Peugeot Citroën	2498	6174	11088	13396	13281	**+ 431,67 %**
Régie Renault	7152	8479	8637	10793	9615	**+ 34,44 %**
Snecma	n.d	n.d	n.d	2410	2549	
Thalès	1829	1379	6158	7631	7752	**+ 323,84 %**

Source : Enquête spéciale sur les chercheurs et ingénieurs de Recherche et Développement dans les entreprises, Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, années spécifiées dans les collones.

Cette progression des effectifs est très intéressante à étudier. Elle se produit dans un temps industriel au cours duquel la maquette numérique fait son apparition. La planche à dessin cède la place aux représentations en trois dimensions (3D), les documents de conception sont numérisés et transmis rapidement entre services ou entre partenaires d'un écosystème. Cette transformation de grande ampleur doit être étudiée dans le cadre de l'activité collective de conception.

3 L'ACTIVITÉ COLLECTIVE DE CONCEPTION

3.1 EVOLUTION HISTORIQUE DE LA CONCEPTION

L'univers de la conception a été durant une longue période celui de la planche à dessin et du crayon. Jusqu'aux années 70, les bureaux d'études sont des espaces d'imagination et de codification des formes et des fonctionnalités des produits. A mesure que le marketing va pénétrer les milieux industriels, les questions de différenciation des produits et de déclinaison des gammes vont présider aux réflexions d'avant-projet et de lancement des projets d'innovation.

Dans le tableau suivant, la première période s'étend des débuts de l'industrie concentrée sous forme d'usine jusqu'à la fin des années 60. Les produits commercialisés sont peu diversifiés, la question critique réside dans la maîtrise des coûts de fabrication en grande quantité. Dans ce contexte les ingénieurs des méthodes tiennent une place centrale. Par exemple, chez Renault au cours des années 50, l'activité de conception est réalisée par des techniciens avec la planche à dessin, les tests de crash sont réalisés grandeur nature. Les ingénieurs et cadres font du commandement plus que de l'étude et conception.

TABLEAU 3 – CHRONOLOGIE SOMMAIRE DE LA CONCEPTION INDUSTRIELLE

Vague de rationalisation	Concurrence	Compétence organisationnelle critique
1. Production de masse	Prix	Bureau des méthodes (OST, diagramme de Gantt, chronométrage)
2. Economie de variété	1 + largeur et profondeur des gammes	Marketing et Contrôle de gestion (segmentation marché, couple produit-marché, comptabilité analytique)
3. Capitalisme à innovation intensive	1 + 2 + vitesse de conception et de renouvellement des produits	Coordinations horizontales (gestion de projet, gestion par les compétences, knowledge management)

Source : d'après Cohendet et Llerena, 1990.

La seconde période dure une vingtaine d'années (1970-1995, variable suivant les secteurs). Elle consacre le marketing en tant que pilote des dossiers d'innovation. Les bureaux d'étude sont amenés à interagir beaucoup plus intensément avec cette fonction. La CAO (conception assistée par ordinateur) se développe. Désormais l'automatisation ne concerne plus exclusivement l'univers de la fabrication, elle pénètre les activités de dessin. La CAO va permettre des tracés plus précis. Selon Jean-Pierre Poitou (1988), qui a dressé une histoire de l'évolution du travail au sein des bureaux d'étude de la régie Renault de 1898 à 1944, l'objectif est d'établir une définition numérique immédiatement utilisable, disposant de l'ensemble des informations et qu'il s'agit de substituer à la longue suite des opérations traditionnelles dont chacune était source d'erreur : la fabrication à la main, les mesures, le tracé.

La CAO, mais également de nombreux logiciels de conception de type maquette numérique, doivent beaucoup à l'ingénieur français Pierre Bézier. Cet ingénieur qui a réalisé toute sa carrière chez Renault a mis au point la machine-transfert à têtes électromagnétiques pour le moteur de la 4CV, puis l'une des premières MOCN (Machine à outil à commande numérique), il développa l'informatique géométrique qui préfigura la CAO.
Il a innové en proposant une inversion consistant à déduire le calcul à partir du dessin et non le dessin à partir du calcul. Il a mis au point le logicielUnisurf (breveté en 1966) qui permettra par la suite à Dassault Systèmes de développer son fameux logiciel CATIA (la courbe dite de Bézier consiste à appliquer le principe suivant : une surface est le lieu géométrique d'une courbe qui se déplace en se déformant). En faisant glisser une courbe dans l'espace tout en la déformant graduellement, on obtient une surface). Par la suite les travaux de Bézier seront repris auXerox PARCpour élaborer la partie description de courbes et de polices de caractère de PostScript (nouveau langage de description de pages).

Plus généralement, les bureaux d'étude imposeront finalement quatre types de langage :
- Un langage fonctionnel traduisant les besoins du client ;
- Un langage conceptuel structuré par les connaissances-métiers ;

- Un langage physico-morphologique permettant de symboliser les formes de l'objet ;
- Un langage de conception détaillée permettant la nomenclature de l'objet (Le Masson et Weil, 2008).

Pour Poitou (1988), la CAO est une mutation technique qui bouleverse les modes de coordination. Chez Renault, les mécaniciens (travaillant avec des contraintes mécaniques et des critères très précis) et les carrossiers (valorisant la créativité, l'habileté manuelle et l'esthétique) sont invités à approfondir leur collaboration.

La CAO supprime certaines étapes et inverse la démarche de conception :
- Auparavant, la définition partait de la pièce, ensuite les volumes en étaient déduits, les interfaces entre pièces étaient maîtrisés ;
- Avec la CAO : les pièces environnantes sont décrites dans une première étape, ce qui permet de définir le volume de l'objet, dans une seconde étape les pièces constituant l'objet sont dessinées.

Les gains dégagés par la CAO chez Renault ont été spectaculaires : de 3 semaines à une demi-journée pour certaines étapes de dessin. Dans le même temps, une division du travail s'installe ainsi que des routines de travail.

La troisième période débute au cours des années 90, elle est celle de l'innovation intensive. La fonction de conception s'est étoffée. Plusieurs catégories d'ingénieur de conception sont désormais au travail : ingénieur dessinateur, ingénieur méthodes, ingénieur projet. L'innovation devient intensive dans le sens où elle doit être régulièrement répétée. Certains produits ont une durée de vie d'une année, les remises en cause des produits et des méthodes sont constantes.

Rappelons que tout au long des années 80, le nombre des ingénieurs et cadres de l'industrie est très stable (autour de 100.000). A partir de 1990, la progression est croissante : 120.000 en 1992, 135.000 en 1994, 154.000 en 1996, 164.000 en 2000, 224.000 en 2005 pour atteindre 274.000 en 2013 (source : DARES, 2016). La population des ingénieurs s'étoffe considérablement et va donc se structurer en plusieurs familles distinctes. Ce développement est marqué symboliquement par l'émergence de grandes firmes qui élaborent une conception pour concepteurs : l'industrie du logiciel de conception se développe. En France Dassault Aviation libère son département logiciel : Dassault Systèmes voit le jour en 1981 avec 25 ingénieurs et développe la maquette numérique au début des années 90.

Cette troisième époque de conception et d'innovation est aussi celle de l'essor documentaire des produits et processus, de la standardisation des composants pour faciliter l'innovation par reconfiguration et finalement peut être, même si cela peut paraitre paradoxal, de la bureaucratie. La seconde partie du rapport est destinée à éprouver cette hypothèse.

3.2 LA CONCEPTION COMME ACTIVITÉ DE REPRÉSENTATION ET DE RÉSOLUTION COLLECTIVE

3.2.1 RÉSOLUTION DE PROBLÈMES ET PRATIQUES DIVERSES

Les spécialistes de la conception d'un point de vue théorique ont défini celle-ci comme la résolution de problèmes mal définis. Des approches plus empiriques tenant compte des structures cognitives des personnes préfèrent mettre en lumière le parallélisme des activités de d'analyse des problèmes et d'élaboration de solutions. Elles mettent également

en évidence les générateurs primaires, c'est-à-dire le fait que les concepteurs produisent souvent au tout début de leur projet des noyaux de solution auxquels ils restent fidèles dans l'élaboration de leur activité (Darke, 1979-1984). Dans le même temps, les problèmes de conception peuvent présenter plusieurs solutions acceptables plutôt qu'une seule (notamment dans la mécanique et les logiciels).

D'autres observations empiriques montrent qu'une stratégie fondamentale en conception consiste à réutiliser des connaissances à travers un raisonnement analogique (Visser, 1999). La réutilisation est typique de concepteurs professionnels selon Visser (2009). Ces constats tendent à créditer les efforts entrepris par les directions d'entreprise afin d'accumuler l'expérience dans des bases de données documentaires et à tenter de standardiser certaines méthodes de travail.

Mais les activités de conception sont aussi des activités organisées de manière opportuniste. Dans un souci d'économie cognitive, les concepteurs peuvent procéder d'une façon non systématique, multidirectionnelle en formulant des plans locaux, aussi bien à des niveaux abstraits qu'à des niveaux concrets (Visser, 2009).

3.2.2 L'ACTIVITÉ DE REPRÉSENTATION

A partir d'une synthèse de toutes ces observations empiriques, Visser (2009, p. 70) pose que « la conception consiste à spécifier un artéfact (l'artéfact produit), à partir de spécifications de départ qui indiquent – en général de façon ni explicite ni exhaustive – les fonctions à remplir par l'artéfact, ainsi que les besoins et buts qu'ils doivent satisfaire, étant donné certaines conditions (exprimées par des contraintes).

Sur le plan cognitif, cette activité de spécification consiste à construire des représentations de l'artéfact à concevoir – elles-mêmes aussi des artéfacts – jusqu'à ce que ces représentations soient si précises, concrètes et détaillées qu'elles spécifient complètement et explicitement la réalisation de l'artéfact produit ».

Les représentations mobilisées peuvent être d'origine interne ou externe à l'individu.

L'activité de construction des représentations se développe généralement en trois étapes complémentaires, elle est précédée d'une première étape consistant à analyser la situation (analyse des contraintes données dans les spécifications de départ).

TABLEAU 4 – TROIS ÉTAPES D'ÉLABORATION DES REPRÉSENTATIONS

Etapes d'élaboration	définition	modalités
Génération	Mise en œuvre par différents types de processus et opérations : simple évocation de connaissances en mémoire, élaboration de nouvelles représentations à partir d'unités de connaissance sans lien immédiat avec la tâche en cours	Raisonnement analogique et mise en œuvre d'autres sauts non déterministes peuvent jouer un rôle important

Etapes d'élaboration	définition	modalités
Transformation	Transformer une représentation de départ en une autre représentation	Dupliquer (répliquer ou reformuler), Ajouter (introduire information ou altérations), Détailler (découper en composants), Concrétiser (transformer pour perspective plus concrète), Modifier, Révolutionner (remplacer par une alternative)
Evaluation	Jauger une entité vis-à-vis d'une ou plusieurs références	Sources prescrites, construites ou déduites. Stratégies d'évaluation analytique, comparative ou analogique

Source : d'après Visser, 2009.

3.2.3 LA RÉSOLUTION COLLECTIVE DES PROBLÈMES DE CONCEPTION

Les spécialistes des méthodes de conception ont intégré le caractère parfois très collectif des activités contemporaines (gestion de projet, représentant du client dans le processus de création, entreprise-étendue multi-acteurs, plateaux de conception). Les environnements informatiques qui assistent ces activités sont devenus très puissants (PLM : product life-cycle management, entrepôts de données). Pour autant il n'existe pas vraiment de système facilitant la coopération des concepteurs sur un plan cognitif (Darses, 2009).

La difficulté provient du fait que les ingénieurs concepteurs évoluent dans deux mondes assez contradictoires :
- Le monde des objets qui est attaché au métier du concepteur et à son domaine de connaissances. Monde structuré en sous-systèmes, contenu dans un espace fini et déterminé par la nécessité de lever l'ambiguïté ;
- Le monde des processus est caractérisé par les dimensions humaines de l'activité des concepteurs. Ce monde se doit d'être peu hiérarchisé afin de faciliter les interactions et d'avoir la capacité à gérer l'ambiguïté (Darses, 2009).

De ce fait, il existe une contradiction entre l'image idéale du processus instrumental auquel les concepteurs croient participer et le processus social de conception plein d'incertitude et d'ambiguïté (Bucciarelli, 1987).

On relèvera que cette contradiction a été pointée assez tôt dans le domaine de la conception, c'est-à-dire à une époque où les systèmes intégrés de gestion des références (composants et méthodes) étaient très peu diffusés. Cette tradition d'étude ancrée dans l'ergonomie cognitive s'est en effet très tôt interrogée sur la faisabilité des perspectives de rationalisation des activités de conception. Cette interrogation s'est appuyée sur une définition de l'action collective en ces termes : une action collective se développe lorsque les acteurs développent des apprentissages stimulés, perturbés et nourris par les apprentissages de leurs partenaires (Hatchuel, 1996).

En conception, la coopération prend essentiellement deux formes :
- La co-conception représente des phases de projet au cours desquelles les partenaires se rassemblent (en présentiel ou à distance) afin de résoudre conjointement un problème ;

- La conception distribuée qui permet de traiter des aspects liés à la coordination temporelle des ressources et des tâches (Darses, 2009).

La co-conception est plutôt effective en début de projet dans les moments de créativité ainsi qu'en fin de projet. La conception distribuée aurait plutôt tendance à officier en tant qu'intendance des phases de créativité en cours de projet. Si cette représentation de la conception est vraie alors on doit s'attendre à deux phénomènes :
- Une dissociation importante entre créativité et développement ;
- Une fragmentation de la population des ingénieurs de conception en fonction de ces phases contrastées de conception.

Il existe en fait peu d'outils permettant d'assister les concepteurs dans un travail d'interactions symboliques et de rapprochement de points de vue. Cette lacune est aggravée par les développements de formes de travail à la fois plus interdépendantes et plus distribuées que nous analyserons en seconde partie. Dans ces situations de conception distribuée, « les concepteurs ne peuvent plus mobiliser les régulations informelles qui s'opèrent spontanément en coprésence. Il s'agit non seulement d'une perte des possibilités d'échanges non procédurés, mais aussi d'une altération de la dimension multimodale des interactions » (Darses, 2009, p. 47).

TABLEAU 5 – ACTIVITÉS DE SYNCHRONISATION EN CONCEPTION

Type d'activité	Principe de synchronisation	Modalités
Conception distribuée	Opératoire (gestion de projet)	- Importance des processus de coordination - Gestion des interdépendances entre tâches - Plus de la moitié du temps de travail d'un groupe-projet
Co-conception	Cognitive	- Développement conjoint de solutions - Réseau de communication faiblement structuré gouverné par hiérarchie économico-administrative - Référentiel commun

Source : d'après Amalberti et al., (1992), Darses (2009), Février-Quesada et Darses (2008).

3.2.4 LA SYNCHRONISATION COGNITIVE

La conception moderne se structure autour de trois activités cognitives principales et leur intrication est très forte :
- Des référentiels communs ;
- L'intégration des points de vue ;
- Une prise de décision collective.

Ces trois activités permettent la synchronisation cognitive qui se définit techniquement selon Amalberti et alii., (1992)comme l'ensemble des processus cognitifs qui concourent à faire converger les concepteurs vers une solution acceptée par tous, à partir de connaissances du domaine (contraintes, critères, solutions connues, procédures) et de connaissances sur la résolution du problème (buts, stratégies, heuristiques).

L'essor des référentiels communs

Un référentiel est une représentation fonctionnelle commune aux concepteurs qui permet d'orienter et de contrôler leur activité collective (Giboin, 2004). Un tel référentiel rassemble des informations décrivant les composants, pièces, sous-ensembles et produits finis ainsi que les différentes méthodes de réalisation des activités nécessaires pour concevoir. De ce fait, ce document rassemble des représentations mentales tels que les buts, les stratégies, les procédures, les connaissances du domaine, les contraintes et critères.

Le référentiel a pour but de susciter le partage et la construction de représentations mentales permettant de suppléer l'incomplétude des représentations des individus pris un par un (Darses, 2009). C'est la raison pour laquelle il peut intégrer toute une série de représentations externes telles que plans et esquisses, vues 3D, cahier des charges et autres documents.

L'intégration des points de vue

Un processus d'intégration des points de vue est nécessaire chaque fois que les concepteurs réunis dans un projet n'utilisent pas les mêmes niveaux de représentation du produit en raison de spécialisations très différentes en termes de métier. En termes techniques, l'intégration des points de vue consiste à tenter de reconstruire collectivement les différents niveaux de la hiérarchie d'abstraction décrivant le produit. Ces niveaux peuvent être : fonctionnel (la fiabilité par exemple), structurel ou opératoire. Concrètement, l'intégration des points de vue se réalise en comparant les différentes combinaisons de contraintes et à travailler collectivement sur les changements de représentation (Burns et Vicente, 2000).

La prise de décision collective

Au cours d'un projet la capacité d'action diminue progressivement tandis que le niveau de connaissance augmente. C'est un fait stylisé bien connu dans le domaine de la conception de produits complexes. Ceci fait que les décisions deviennent irréversibles en raison d'une convergence des points de vue. D'où l'intérêt de favoriser les meilleures conditions possibles afin d'instaurer le débat entre les différents savoirs en présence. Ce débat devrait permette idéalement d'échanger les points de vue, de les enrichir et de favoriser des apprentissages mutuels entre participants.

3.3 L'INNOVATION OUVERTE COMME CADRE D'EXERCICE DES ACTIVITÉS DE CONCEPTION

Si la conception est une affaire collective, elle l'est aussi à une échelle plus large qu'une seule organisation. C'est ce que l'on dénomme l'entreprise étendue ou entreprise en réseau. Dans le domaine de l'innovation, ce caractère collectif de la conception est dénommé innovation ouverte. Le phénomène se comprend aisément surtout dans le cas des industries manufacturières de grande échelle ou de complexité forte (tableau 6).

TABLEAU 6 – VOLUME DE COMPOSANTS ET DE PIÈCES PAR INDUSTRIE

	Bateau	Avion	Voiture
Nombre de pièces	1 à 10 millions	100.000	10.000

Source : Dassault Systems.

Ainsi, dans l'industrie automobile 85% des 3,7 milliardsd'euros nécessaires pour concevoir et industrialiser la voiture dans les années 90 étaient déjà assurées par des fournisseurs extérieurs (Midler, 1993).

A l'époque du 777 pour 10.000 ingénieurs chez Boeing il y en avait 100.000 à l'extérieur.

Le 777 est le premier avion conçu de manière digitale. Conçu et intégré par Boeing, une partie de la fabrication est confié à des partenaires à hauteur de 30%. Le nouveau modèle Dream Liner 787 est réalisé à 30% en interne.

Ces quelques chiffres permettent de situer l'essor de la notion d'écosystème et d'innovation ouverte : de multiples partenaires sont requis au moment même où les grandes firmes (que l'on dénomme pivots des écosystèmes) se sont fortement bureaucratisées et sont devenues assez peu efficaces dans l'activité d'innovation.

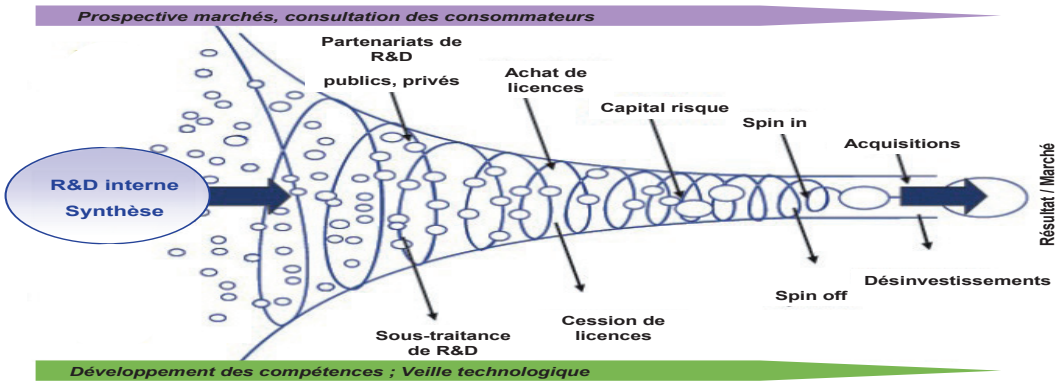
C'est dans ce contexte que se produisent plusieurs glissements en termes stratégiques.

La R&D devient RID pour Recherche Innovation et Développement (Le Masson et Weil, 2002). Il s'agit d'une R&D animée par des préoccupations d'Innovation qui, de plus, est ouverte. La représentation de l'innovation ouverte (figure 2), c'est-à-dire conçue et animée avec des partenaires différents depuis la génération d'idées et son développement en concept de produit/service jusqu'aux dernières étapes de mise en marché a été élaborée par Kline et Rosenberg (1986) avec la volonté de faire comprendre qu'un processus d'innovation n'est jamais figé comme pourrait le laisser penser les formes prises par un programme d'investissement avec ses différentes étapes bien marquées. Une approche linéaire de l'innovation fait penser que des ressources sont réunies pour développer un projet permettant de délivrer un nouveau produit ou service. Une approche ouverte de l'innovation nous permet d'envisager que plusieurs évènements peuvent en fait intervenir soit pour aménager la trajectoire du projet, soit pour l'enrichir, la complexifier ou même la détourner.

Ainsi, comme on peut le voir sur la figure 2, le processus d'innovation est au contact régulier de marchés potentiels (en haut) et des compétences requises pour son déploiement (en bas). Il se nourrit de différents partenariats, de sous-traitance de travaux de R&D et d'acquisitions de ressources humaines en provenance de laboratoires publics (spin in). Un processus d'innovation ouverte dure dans le temps, ce qui nécessite différentes ressources notamment financières. Si son objet principal est l'élaboration de nouveauté commercialisable, il peut toutefois donner lieu à des valorisations telles que le dépôt de brevets et la cession de licences. D'ailleurs dans certains secteurs comme les biotechnologies et l'industrie pharmaceutique, les revenus tirés de ces opérations complémentaires peuvent atteindre des niveaux considérables.

L'expression d'innovation ouverte est relativement récente et attire deux remarques. D'une part le degré d'ouverture doit être nuancé en fonction des rapports de force entre les firmes puissantes qui centralisent les ressources et savoir-faire et les prestataires qui souvent n'ont d'autre choix que de collaborer à des projets qu'ils n'ont pas impulsé. La collaboration industrielle a des limites.

FIGURE 3 – L'INNOVATION OUVERTE

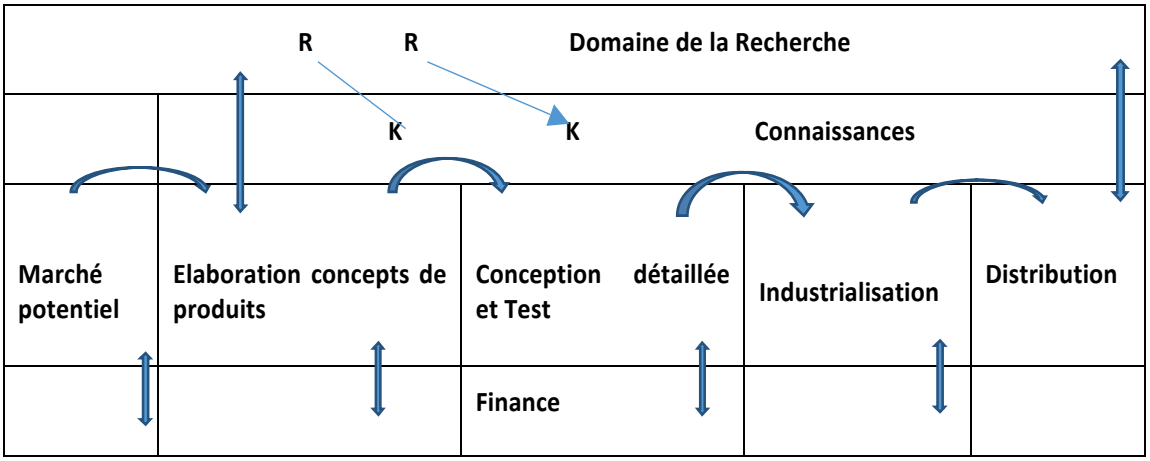


Source : Sachwald, 2008.

D'autre part, cette expression tire son inspiration d'un concept plus ancien qui est l'innovation en chaîne. L'innovation en chaîne procède de multiples interactions entre différents milieux professionnels. Les auteurs de ce raisonnement, Kline et Rosenberg (1986), avaient l'intention de montrer que l'innovation partage finalement peu de points communs avec l'invention d'une personne certes ingénieuse, mais sans doute isolée. Au contraire l'innovation prend sa source dans un milieu structuré par des perspectives de développement scientifique et technologique ainsi que marchand. On n'innove pas à partir de rien. On se situe dans une discipline ou à l'intersection de plusieurs disciplines. D'où l'expression management de l'innovation qui suppose une manière de s'y prendre avec différents interlocuteurs. L'issue du processus est incertaine. La conduite du processus nécessite des prises d'information et des validations de la part de plusieurs intervenants (les feedbacks depuis le marché ou depuis un prestataire de service ou de contrôle technique).

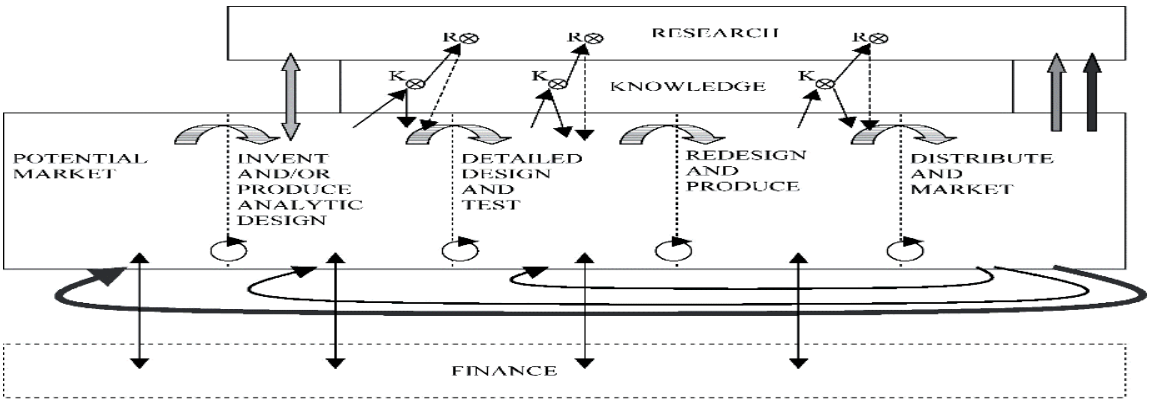
Finalement l'innovation fait appel à un savoir-faire d'assemblage de différents sous-systèmes et de coordination entre différents acteurs :
- Les professionnels de l'entreprise : ingénieurs et cadres de conception, spécialistes marketing, responsables de la propriété intellectuelle et des brevets d'invention, ingénieurs de mise en production ;
- Les professionnels des milieux académiques : chercheurs et ingénieurs publics en lien régulier avec l'entreprise ;
- Les professionnels d'autres entreprises : dans le cadre d'alliances, de clubs professionnels, de clusters, de pôles de compétitivité ;
- Les banques et les fonds d'investissement ;
- Les organismes de certification et de normalisation qui, par les contraintes qu'ils formulent, sont également des guides pour la créativité industrielle ;
- Les communautés d'usagers et de concepteurs (Von Hippel, 1986, 1988, 2006) qui bien que ne figurant pas dans les premières analyses des auteurs peuvent y être ajoutés sans déformation du propos ;
- Les procédures d'appel à la foule.

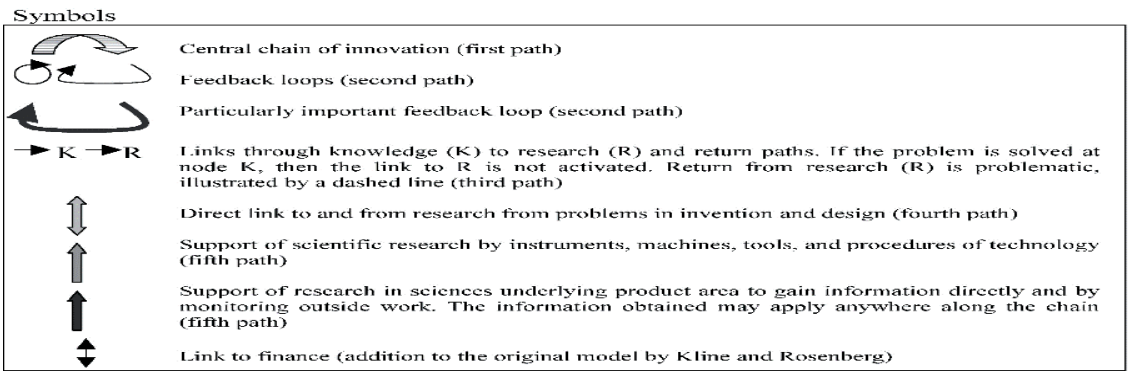
FIGURE 4 – L'INNOVATION EN CHAÎNE (TRADUCTION FRANÇAISE)



Source : Kline et Rosenberg (1986)

MODÈLE ORIGINALE EN ANGLAIS





Source : Kline et Rosenberg (1986)

Les relations entre les différents milieux sont « bouclés » de différente manière soit pour permettre des ajustements de conception, soit pour finaliser ou remettre en cause les résultats des travaux de création industrielle. Il est important de bien saisir les particularités de ce fonctionnement puisque nous avons ici un véritable système de conception ouverte pour lequel la notion de plateforme n'est pas encore mentionnée. Toutefois on distingue nettement une chaîne centrale d'innovation souvent impulsée par un acteur industriel majeur qui progressivement sera dénommé firme-pivot. Cet opérateur industriel alimente son processus d'innovation en connaissances scientifiques et techniques qui sont élaborées précisément dans ce milieu scientifique et industriel.

Cette approche de l'innovation ouverte trouve une autre de ses inspirations dans les travaux de Van de Ven, Angle et Poole (2000) qui mettent en évidence les propriétés non linéaires des processus d'innovation.

Plutôt que de considérer l'innovation comme le projet d'une personne ou d'un petit nombre au sein de relations stables, ces auteurs ont imposé l'idée que l'innovation suppose une variété d'entrepreneurs qui jouent successivement plusieurs rôles. Dans ce cadre les transactions qui s'opèrent doivent être lues comme un réseau en croissance d'intérêts divergents et convergents. Et le processus d'innovation démarre avec une certaine simplicité pour rapidement se complexifier avec des moments de divergence, d'accumulation puis de convergence.

En considérant le cas des industries émergentes, les auteurs ont souligné la propension des firmes à soutenir la viabilité de l'industrie, assimilée à un bien public, pour pouvoir consolider leur avantage compétitif: il existe pour chaque participant à une industrie donnée une tension continue entre organiser ses fonctions et ses canaux de distribution propres et contribuer à la création des ressources et des arrangements institutionnels de l'industrie. Bien que le premier puisse conférer à la firme une position de leader, le second permet de développer les infrastructures qui finalement influencent la survie collective de l'industrie émergente.

Ils considèrent l'infrastructure industrielle comme étant composée de trois sous-systèmes :
- Le premier sous-système s'inscrit dans l'approche porterienne et transactionnelle. Il comprend les mécanismes à travers lesquels les firmes gèrent leur positionnement et les transactions de marché au sein de l'industrie en fonction de leurs activités établies ;
- Le second sous -système concerne l'infrastructure qui soutient l'émergence et la diffusion des connaissances ;
- Le troisième sous-système se réfère aux institutions qui structurent l'industrie. Il n'inclut pas seulement l'action gouvernementale pour réglementer le cadre concurrentiel mais aussi les actions collectives engagées par l'industrie elle-même.

Dans ce cadre, il faut rappeler le niveau global des investissements en R&D en tant que structuration générale de l'industrie.

En 2013, selon le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche2016). Le financement de travaux de R&D par des entreprises ou des administrations françaises, autrement dit, la dépense nationale de recherche et développement (DNRD), a atteint 49,4 Md€ soit 2,34 % de la richesse nationale (PIB). En 2013, en réalisant 59 % de la DNRD, les entreprises sont les principaux financeurs des activités de R&D.
En 2013, les travaux de recherche et développement (R&D) effectués sur le territoire national ont représenté une dépense de 47,5 milliards d'euros (Md€), soit 2,24 % de la richesse nationale (PIB). Les entreprises en réalisent 65 %. Entre 2010 et 2013, la croissance des dépenses de recherche (2,0 % en moyenne par an en volume) est supérieure d'un point à celle du PIB (1,1 %), grâce à l'évolution des dépenses des entreprises (2,8 %). Par contre, la croissance des administrations (0,8 %) est inférieure à celle du PIB (1,1 %).

L'écart entre le montant de la DIRD (Dépense Intérieure de R&D) et celui de la DNRD (Dépense Nationale de R&D) représente le solde des échanges en matière de R&D entre la France et l'étranger, y compris les organisations internationales. En 2013, les financements reçus de l'étranger et des organisations internationales (3,8 Md€) ont représenté 8,0 % du financement de la DIRD. Ils sont inférieurs aux dépenses des administrations et des entre-

prises françaises vers l'étranger (5,8 Md€). Pour les administrations, le solde avec l'étranger est largement négatif (- 1,8 Md€). Pour les entreprises, le solde est seulement de - 0,1 Md€. Les principaux intervenants internationaux, hormis les grands groupes industriels comme Airbus Group, sont l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Union européenne (UE) et le Centre européen pour la recherche nucléaire (CERN).

Avec 2,24 % du PIB consacré à la recherche intérieure en 2013, la France était en deçà de l'objectif de 3 % fixé par l'UE dans le cadre de la stratégie Europe 2020 et aussi de son propre objectif dans le cadre de la stratégie nationale de la recherche (SNR). Elle se situe à la 5e place parmi les six pays les plus importants en termes de DIRD de l'OCDE, derrière la Corée du Sud (4,1 %), le Japon (3,5 %), l'Allemagne (2,9 %), et les États-Unis (2,7 %) mais devant le Royaume-Uni (1,6 %), l'Espagne (1,26 %) et l'Italie (1,31 %).

Les professionnels de la conception relèvent donc de différents milieux professionnels. Ils peuvent appartenir à des établissements publics de recherche s'ils collaborent occasionnellement ou régulièrement à des projets de conception innovante. Ils appartiennent aux établissements industriels et commerciaux qui peuvent participer à ces projets tout en étant localisés dans des pays différents.

Comment le risque est-il partagé au sein de ces écosystèmes d'innovation ouverte ? C'est en fait toute la question soulevée par l'analyse en termes d'infrastructure industrielle. Si les grandes firmes devenues trop lourdes pour innover ont besoin des apports des PMI et start up, comment alors les gains et les risques sont-ils répartis ? Dans l'exercice même de conception, assiste-t-on à de véritables collaborations, à de véritables synchronisations cognitives, au sein desquelles les complémenteurs et sous-traitants disposent d'un accès à toutes les données de conception ? Ou bien ces collaborations sont-elles dirigées en fonction de la propriété industrielle détenue par les seules firmes qui maîtrisent une marque et distribuent les travaux autour d'elles ?

Toutes ces questions prennent forme dans la problématique des plateformes de conception que nous allons développer dans la seconde partie de ce rapport.

3.4 LA MAQUETTE NUMÉRIQUE

Une innovation technologique va se produire au début des années 90. C'est celle de la maquette numérique qui est consubstantielle de l'essor de l'innovation ouverte.
L'informatique permet d'automatiser la production des plans tout en respectant les règles du dessin industriel. Ainsi, les années 90 sont celles de la révolution de la maquette numérique qui remplace la maquette physique et devient le référentiel pour tous les métiers.
Ecoutons ce responsable de la direction des études et techniques chez PSA Peugeot Citroën : « pour être plus réactifs face à l'évolution rapide du marché, nous sommes amenés à réduire le délai de développement des nouveaux projets véhicules. Cette accélération est rendue possible par un usage intensif de la conception assistée par ordinateur, du calcul au stade de la conception et par la mise en place d'un cahier des charges à satisfaire pour chacun des organes et chacune des pièces. En l'absence de moyens de validation physique que constituent les prototypes, une définition réellement tridimensionnelle de la pièce automobile permet d'évaluer par le calcul les performances de celle-ci, d'optimiser le procédé de fabrication et d'obtenir rapidement une présentation physique de la pièce (prototypage rapide) » (document interne, PSA).

Désormais, on parvient à greffer sur l'objet l'ensemble des contraintes et des savoirs. La maquette numérique devient le référentiel de connaissance (Daloz, 2010). L'essor des effectifs de R&D du leader français de la maquette numérique est à ce titre très parlant.

TABLEAU 7 – EVOLUTION DES EFFECTIFS R&D DE DASSAULT SYSTÈMES

	1990	1996	2000	2005	2010	**Progression 2010/1990**
Dassault Systèmes	379	556	800	739	1235	**+ 225,86 %**

Source : Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, « Enquête spéciale sur les chercheurs et ingénieurs de Recherche et Développement dans les entreprises », années spécifiées dans les colonnes.

L'informatique n'est plus employée seulement pour faire des plans, mais devient le moyen de fabriquer et de capitaliser des objets métiers. C'est l'intégration des études (essais, tests, plans d'expérience). Par exemple « des maquettes numériques basées sur la mécanique des fluides permettent de simuler les essais en vol avec une telle précision que l'on pourrait tout certifier par le numérique, même si la réglementation ne le permet pas encore. Dans l'automobile, les crash-test sont déjà remplacés par de la simulation, sauf pour le test final de l'EuroNCAP » (Daloz, 2010).

Dans les années 2000, on étend la notion de référentiel métier au-delà de son domaine de naissance – les BE (bureaux d'étude) – pour aller vers l'articulation avec le BM (bureau des méthodes), la maintenance et les ventes. Toyota constitue un exemple en la matière avec son BE asservi à la production.

Lors du développement du Falcon 7X élaboré par Dassault Aviation, les outils de simulation et de conception fournis par Dassault Systèmespermettent d'opérer une révolution en termes d'apprentissage. Jusqu'ici il fallait développer 50 exemplaires de l'appareil afin d'atteindre le niveau de qualité estimé satisfaisant. Cette fois-ci le niveau de qualité a été atteint dès le premier exemplaire.

La maquette numérique renforce la possibilité de coordination des ingénieurs autour de l'objet. L'objet numérique offre des capacités de manipulation et de simulation qui sont décuplées.

Dassault Systèmes développe des outils permettant la collaboration au sein de l'entreprise (1980-1995) puis au sein des filières industrielles (1995-2005), depuis 2005 la collaboration est trans-filière (exemple de la voiture électrique).
Par la suite, la maquette numérique va s'intégrer à un système encore plus intégré : le PLM. Dassault Systèmes va développer sa propre version du PLM avec la 3D Experience.

3.5 CONCEPTION ET INDICATEURS DE PERFORMANCE

Que produit cet assemblage de ressources et de compétences dans le cadre des différents processus d'innovation ?
En matière de résultat, les pays de l'OCDE ont établi une norme concernant la conduite et l'aboutissement des activités d'innovation. Le Manuel dit d'Oslo fixe les termes d'étude

de l'innovation (Annexe 4). La dernière version du manuel d'Oslo définit quatre catégories d'innovations :
- De produit (bien ou prestation de service) ;
- De procédé (techniques, le matériel et/ou le logiciel) ;
- D'organisation (nouvelle méthode, organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de la firme) ;
- De marketing (nouvelle méthode de commercialisation, changements significatifs de la conception ou du conditionnement, du placement, de la promotion ou de la tarification d'un produit).

Une enquête communautaire sur l'innovation (Community Innovation Survey, CIS) est régulièrement conduitetous les 2 ans dans l'ensemble des pays de l'Union Européenne en prenant appui sur le Manuel d'Oslo. Cette enquête permet de décrire le processus d'innovation au sein des firmes. L'enquête est conduite auprès d'entreprises marchandes et exploitantes de 10 salariés ou plus, en France métropolitaine et des départements d'outre-mer. L'échantillon comporte de 22.000 à 29.000 entreprises selon l'étendue du champ. L'accès aux informations synthétiques est libre dans différents formats numériques. L'accès aux résultats particuliers des entreprises est payant et soumis à un accord des autorités nationales (accord du secret en France obtenu auprès des services de l'Insee).
Plusieurs organismes décisionnaires utilisent les résultats de ces enquêtes à des fins de prévision et de décisions stratégiques. Par exemple, la Direction Générale des Entreprises relevant de la Coordination Interministérielle de l'Innovation et du Transfert rend compte en 2016 de l'innovation réalisée en France à l'aide d'indicateurs de positionnement international.
Les 4 types d'innovation sont évalués à l'aide de différents indicateurs dont le nombre de brevets, de publications scientifiques et le nombre de nouveaux produits introduits sur le marché.

PARTIE 2

ORGANISATION INDUSTRIELLE ET PLATEFORMES NUMÉRIQUES

4 L'INFLUENCE DE L'INNOVATION INTENSIVE SUR LA CONCEPTION

L'organisation en plateforme des activités de conception est tout à la fois l'héritière d'une longue histoire économique et l'irruption d'une manière inédite d'organiser les processus de conception.

Les ports ont très tôt joué un rôle de plateforme ou de hub dans l'intermédiation entre de vastes régions de récolte et de production et les expéditions de produits sur les différents continents. La notion de plateforme a ainsi été attachée à la problématique des transports et de la logistique.

Les formes contemporaines de plateforme attirent principalement l'attention vers deux objets emblématiques : d'une part, les plateformes numériques commerciales organisant les transactions entre un grand nombre de vendeurs et d'acheteurs (marchés biface), d'autre part, les plateformes logicielles qui sont des environnements de gestion et d'utilisation de services applicatifs[10].

La puissance d'organisation des plateformes industrielles fait converger ces deux dimensions : d'une part la capacité à attirer un grand nombre d'utilisateurs de par le fait que des anticipations de succès de la collaboration se développent chez quelques-uns des acteurs, d'autre part, la capacité de connexion, en tendance automatique, des acteurs les uns aux autres et par enchaînement des activités les unes aux autres.

Pour comprendre ce mode d'organisation, il faut se situer dans l'époque de l'innovation intensive (tableau 3). Autrement dit, il faut rappeler les principes d'organisation économique qui ont préparé l'introduction de nouvelles techniques de management. C'est ce que nous faisons (4) en préalable à la présentation des principes de fonctionnement des plateformes en général ainsi que des plateformes numériques de conception (5).

Les principaux acteurs au contact de plateformes sont les firmes installées qui sont dans un rapport nouveau avec leurs clients qui peuvent de plus en plus intervenir dans le processus d'élaboration. Firmes et utilisateurs constituent deux acteurs de base dont les interactions sont rendues de plus en plus complexes par deux autres acteurs à l'influence croissante : les plateformes numériques et les diverses communautés (tableau 8). Nous désignerons avec le terme d'écosystème le cadre des relations entre ces quatre acteurs.

---

10 - En informatique, une plate-forme est un environnement permettant la gestion et/ou l'utilisation de services applicatifs. La terminologie peut notamment désigner : - un système d'exploitation ou un noyau ; - un environnement d'exécution comme une machine virtuelle ; - un environnement dedéveloppement, à condition qu'il intègre son environnement d'exécution; - un serveur web ou d'applications ;- une application web ou logicielle, par exemple : un espace numérique de travail personnalisé, un système de gestion de bases de données, une bibliothèque multimédia, une plateforme de jeux vidéo, un centre de maintenance pour un appareil ou un réseau informatique.

Les plateformes numériques de conception sont nombreuses, elles peuvent être organisées sous forme coopérative (Arduino, Onshape, certains FabLab, …) ou sous forme industrielle. Par exemple « Boost Aerospace » est une plateforme numérique aéronautique européenne, créé en 2009 par Airbus, Dassault Aviation, Safran et Thalès, qui propose sur Internet des services à valeur ajoutée, assurés par une sélection de fournisseurs B2B du domaine (22 acteurs industriels, 1500 partenaires industriels, 11.000 utilisateurs individuels). Ces plateformes sont en plein développement. Leur base financière et sociale est incertaine en raison des potentialités technologiques et organisationnelles très larges. Ce qui est sûr est qu'une plateforme ne peut se passer d'une communauté plus ou moins large.

TABLEAU 8 - ACTEURS ET PROCESSUS DE LA NUMÉRISATION DE LA CONCEPTION

Acteurs majeurs	Processus majeurs
• Firmes installées • Utilisateurs • Plateformes numériques • Communautés de conception	• Activité de conception (4.1.1) • Modularisation (4.1.2) • Gestion de projet (4.1.3) • PLM (4.1.4) • Calcul intensif et crowdsourcing (4.1.6) • Activité communautaire (4.1.7)

Source : Paraponaris, 2015.

Les communautés sont diverses. A ce stade nous en donnerons un aperçu simple afin de ne pas alourdir la présentation. Sur un plan fondamental, une communauté est un lieu où se construisent en permanence des modèles locaux, des représentations partagées, des jargons pour favoriser la synergie des variétés individuelles (Amin et Cohendet, 2008). De manière plus particulière, une communauté d'utilisateurs est un groupe social qui réunit des utilisateurs pour partager leurs connaissances et pratiques sur une activité ou un produit et service en particulier (Parmentier, 2009). Une communauté épistémique est « un réseau de professionnels ayant une expertise et une compétence reconnues dans un domaine particulier et une revendication d'autorité en ce qui concerne les connaissances pertinentes pour les politiques » (Haas, 1992, p. 3).

4.1 LE MODÈLE STANDARD DE CONCEPTION

L'organisation dominante de la conception industrielle correspond très bien aux développements d'une économie fondée sur des standards. Le travail de mise en perspective de cette conception et la critique qui est adressée à partir d'un point de vue créatif sont assez bien résumés par la thèse de Pierre-Antoine Arrighi (2014).

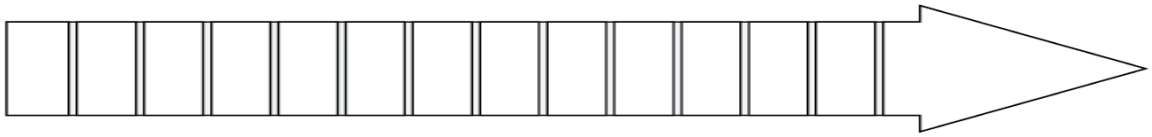
Cette approche dominante de la conception a été adoptée par les grands éditeurs de logiciels et d'outils de simulation. Ces derniers offrent au travers de leurs logiciels une conception prédécoupée avec peu de marges de liberté à des bureaux d'étude qui voient leur travail allégé mais aussi et surtout entravé d'une créativité qu'ils souhaiteraient sans doute développer.

Selon les termes d'Arrighi (ingénieur au sein de Dassault Systèmes) les processus industriels de conception se déroulent massivement via des suites logicielles de conception

numériques qui sont devenues indispensables pour la réalisation de la quasi-totalité des produits manufacturés. La diffusion de ces outils a été facilitée par la démocratisation des ordinateurs associée au phénoménal accroissement de leurs performances (Bozdoc, 2004). « La tendance actuelle est orientée vers une généralisation accélérée de l'utilisation de tels outils, pour l'ensemble des industries, et pour la totalité des phases du processus de conception. La puissance des suites de conception Product Lifecycle Management (PLM) et Product Data Management (PDM) permet de gérer numériquement des étapes clés telles que la conception d'usines, la commande de matière premières ou encore la gestion de la maintenance du produit au sein d'un unique environnement logiciel (Daloz, 2010, Tornincasa et Di Monaco, 2010) » (p. 24).

Ces outils sont venus renforcer la logique de conception séquentielle héritée du taylorisme. Le « New Product Development » (NPD) envisage la conception comme une succession d'étapes visant chacune à améliorer la définition du produit en cours de conception (figure 5). Ces étapes identifiées se succèdent pour progressivement intervertir des degrés de liberté de conception contre de la connaissance sur le produit, ce qui conduit à diminuer au fur et à mesure les incertitudes. La conception s'achève lorsque tous les degrés de liberté ont été épuisés et les incertitudes levées.

FIGURE 5 – LE MODÈLE STANDARD DU PROCESSUS DE CONCEPTION



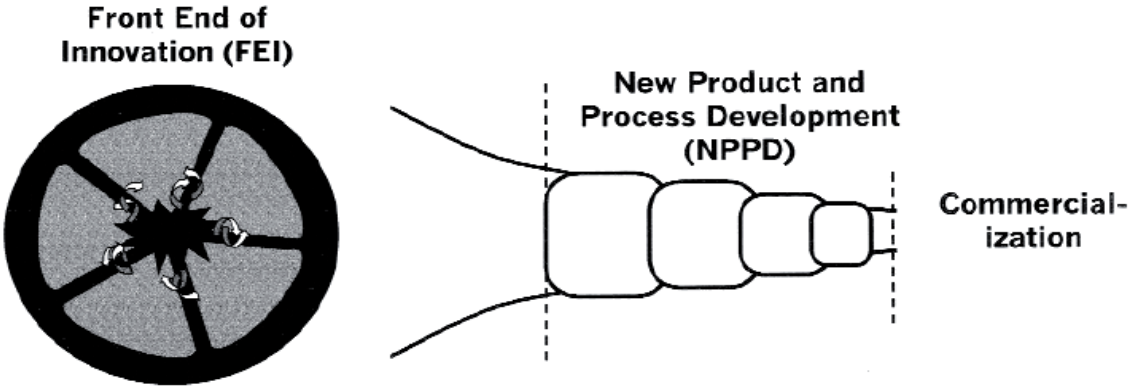
L'intérêt de cette figure apparemment simpliste consiste à mettre en évidence le principe mécanique d'enchaînement des étapes de conception. Il s'agit d'un principe descendant au sein duquel on ne peut pas faire machine arrière. Chacune des cases correspond à une étape de conception. Chaque entreprise occupe à sa manière les différentes cases. Ce n'est pas le plus important. Par contre, le principe à retenir est celui de la priorité des première cases dans le déroulement des autres pour arriver à une conception finale qui devra être, suivant les acteurs des première étapes, la plus fidèle possible aux spécifications définies en amont du processus.

Cette modélisation est issue d'une longue tradition d'ingénierie de la conception initiée afin d'améliorer, de fiabiliser et de systématiser l'élaboration de produits (Pahl et Beitz, 2007), ce qu'elle parvient à faire avec succès. Comme un tel processus de conception comportait un grand nombre d'avantages, il a été très largement diffusé et s'est imposé. Sous sa forme séquentielle il permet d'ajouter à la demande des étapes supplémentaires. La séquence est la suivante : définition fonctionnelle - définition conceptuelle - définition physique - définition détaillée (telle que formulée par Redtenbacher en 1848 avec ses abaques à partir d'un faible nombre de paramètres, travail systématisé par Pahl et Beitz (2007)).

Traditionnellement, ce type de modèle estime que degrés de liberté et connaissance du produit sont deux valeurs opposées. Une phase consacrée à la créativité s'est naturellement imposée en phase amont du processus, qui est dénommée « creative front end ». Un tel mode d'intégration par juxtaposition ne modifie pas les processus de développement déjà standardisés et offre un espace d'exploration censé favoriser l'innovation.

Ainsi deux univers tendent à s'installer en conception : un univers de créativité ouvert aux imaginaires des utilisateurs comme des concepteurs et un univers plus standardisé de développement de conception.Créativité et développement produit sont ainsi traités comme deux phases distinctes (figure 6). Et de cette manière s'est opérée une décomposition en silos métiers.

FIGURE 6 – LES DEUX UNIVERS DE LA CONCEPTION



Source : Arrighi (2014).

Ces processus de conception orchestrent en effet des professions, des connaissances et des techniques variées grâce à des outils informatiques puissants qui garantissent le contrôle, la qualité, ainsi que la maturation des concepts au cours de leur développement (Roy, 1993). C'est justement parce que les concepteurs, avec lesquels ils doivent collaborer (ingénieurs, gestionnaires de projets et spécialistes en marketing notamment), sont déjà massivement équipés par ce type d'outils numériques que le problème de l'intégration avec des designers industriels se pose.

C'est dans ce cadre que la plupart des suites de conception numérique ont été conçues et continuent de l'être (Daloz, 2010). Ces outils visent à progressivement raffiner une ou plusieurs représentations du produit en cours de conception. Les suites logicielles, qui sont de plus en plus complexes, segmentent et décomposent la conception des produits non seulement par métiers et spécialités mais aussi en fonction de la place de l'outil dans le processus de conception. Il est généralement considéré qu'en début de processus les outils doivent permettre d'exprimer des représentations peu définies et que le résultat final de modélisation du produit se doit de correspondre exactement à ce que sera le produit final, à la tolérance de fabrication et d'assemblage près.

4.2 LA MODULARITÉ

La modularité est à l'origine de nombreuses possibilités d'organisation industrielle. Sans modules d'activité, pas d'Uber, ni de possibilité d'individualiser la mesure de productivité. La modularité est un principe de réflexion qui s'est développé avec l'industrie moderne dès l'intervention de F.W. Taylor.

« La modularité relève d'une règle de conception visant à concevoir l'architecture d'un produit en une série de sous-systèmes hiérarchiquement emboîtés, reliés les uns aux autres par des interfaces, physiques et informationnelles, stabilisées et le moins nombreuses pos-

sibles. L'objectif premier d'une telle architecture est de réduire la complexité systémique. » (Frigantet Jullien, 2014, p. 11).

Des exemples de modularité se trouvent chez IBM dès 1961 avec l'ordinateur modulaire qui a fortement influencé le développement de l'industrie informatique. « En concevant une architecture produit modulaire, l'informaticien a rendu possible un approfondissement de la division du travail (interne à la firme dans un premier temps) qui s'est ensuite traduit par une externalisation croissante au profit de start-up et spin-off dont certaines ont grandi (comme Microsoft ou Intel). Finalement, selon leur relecture de l'histoire de l'industrie informatique, la structure industrielle contemporaine (y compris dans sa dynamique actuelle) se situe dans son ADN modulaire (Frigantet Jullien, 2014, p. 11).

D'autres exemples se trouvent dans l'industrie automobile. Chez Renault, l'automobile est divisée en plusieurs sous-systèmes : sous-caisse, plancher, compartiment moteur, poste de conduite, sièges, habitacle, superstructure, faces avant et arrière. Les modules techniques sont pris en charge séparément par différents métiers qui de fait deviennent des modules au sein de l'organisation.

Ainsi module et automatisation vont très souvent de pair.

L'étude de l'automatisation des tâches est un domaine très bien balisé par l'économie et la sociologie du travail (Besson, 1983, Foray, 1987, Jacot, 1988). D'un point de vue industriel, l'automatisation, source de productivité, est toujours préparée par un mouvement de rationalisation qui consiste à modéliser le fonctionnement d'un système « homme-machine » plus ou moins vaste, puis de le stabiliser sous forme d'architecture en modules et en phases, et enfin à tenter d'optimiser son fonctionnement de manière régulière. Autrement dit, à la source des automates et des robots il existe toujours une activité de conception. L'échelle de la conception peut s'étalonner du poste de travail (micro-activité) à l'écosystème de l'industrie (macro-activité, exemple de l'industrie musicale numérique).

Les économies développées ont connu plusieurs vagues de rationalisation. Pour les périodes les plus récentes : les années 80 ont été en Europe de l'Ouest celles de l'automatisation des postes de travail (Coriat, 1990), les années 90 celles des réseaux et des systèmes logistiques en voie d'automatisation (Paché et Paraponaris, 1993), les années 2000 celles de l' « open innovation » (Chesbrough, 2003). La vague de rationalisation en cours, qui a d'ailleurs été préparée par l'innovation ouverte, est celle de la généralisation de la modularité. Elle permet aux acteurs économiques les plus puissants de déployer leur chaîne de valeur au niveau international et leur mise en concurrence se réalise au travers des modules ainsi élaborés.

Un système modulaire ouvert incite à la complémentarité entre différents modules qui peuvent par ailleurs fonctionner de manière relativement autonome les uns vis-à-vis des autres (Baldwin et Clark, 2000, Baldwin, 2007). De manière très sérieuse, le jeu de Lego peut être éclairant de ce point de vue.

Les plateformes développent aujourd'hui de la générativité qui rappelle fortement le concept de généricité développé par Terry Shinn à propos des premiers instruments scientifiques massifs. La généricité est le principe qui permet à différents acteurs développant chacun des ressources particulières de trouver des points d'accord sur quelques principes techniques ou sociaux uniques[11].

Une plateforme est intéressée par l'élargissement de ses collaborations avec des partenaires susceptibles de co-créer de la valeur client. Les API (Application Programing Interface) et SDK (Software Developement Kit) permettent cette générativité, autrement dit fournissent des moyens d'établir des activités communes en maîtrisant les coûts de transaction liés aux différences technologiques. La générativité s'apprécie à l'aide de 4 dimensions sur lesquelles nous reviendrons (Isaac, 2015) :
- L'architecture des ressources informatiques (ouverture, fermeture, semi-ouverture) ;
- Capacité à faciliter l'accès aux plateformes par une ou plusieurs APIs ;
- Capacité à mobiliser une communauté de développeurs ;
- Capacité à impliquer le client.

4.3 LA GESTION DE PROJET

L'introduction de la gestion de projet au sein de l'industrie marque une nouvelle étape dans l'organisation de la vitesse. Elle a été facilitée par la modularité déjà installée. Si l'industrie a toujours recherché la rapidité d'exécution, elle a également recherché la stabilité de son organisation sous la forme de l'adéquation entre produits et processus de fabrication.
La gestion de projet vient bousculer cet ordre des choses en se mettant au service d'une innovation intensive, à savoir renouveler régulièrement l'offre de produits et services, et donc remettre en cause potentiellement les processus de leur élaboration. Paradoxalement cette nouvelle économie de vitesse a besoin de stabilité et même de standardisation.
C'est ce que nous exposons ci-dessous, nous en donnerons une illustration détaillée avec la mise en œuvre concrète de cette démarche au sein de la Régie Renault (4.1.5).

Un projet possède plusieurs caractéristiques qui le distinguent des opérations courantes. Globalement il s'agit de passer d'une « idée » à une « réalité » tangible.
Pour cela, un projet sera éphémère avec un début et une fin, il sera unique en répondant à un besoin spécifique, il sera également complexe et pluridisciplinaire, enfin il se déploiera dans un triangle de contraintes : Coût, Qualité, Délais.

Un projet a besoin d'une gestion appropriée. Parmi les différentes possibilités, il existe des pratiques éprouvées qui ont donné lieu à des référentiels : c'est par exemple le PMBok[12].

Gérer un projet consiste à tenir ensemble cinq objectifs et contraintes. Tout d'abord un projet possède toujours au moins un client avec qui l'organisation s'engage sur un cahier des charges (dimension contractuelle). Ce contrat nécessite des actions conduites par des acteurs dans une certaine complexité puisque les termes du contrat mettent toujours en avant des contraintes de coût, de délai et de qualité. Gérer un projet comporte dès lors des risques qu'il faut savoir identifier et éviter. Une grande partie des outils de gestion de projet a pour but de gérer les risques du projet.

---

11 - Selon Terry Shinn (2000) le concept de généricité renvoie à trois éléments (propos adaptés par nous).
Premièrement, les acteurs s'intéressent particulièrement aux règles qui gouvernent la conception, la construction et l'exploitation d'appareils de précision. La généricité suppose des pratiques compatibles avec la construction et l'utilisation d'appareils qui incarnent les principes fondamentaux de l'instrumentation.
En second lieu, la généricité renvoie à une conception particulière des instruments : elle consiste à respecter la nécessité de maximiser la variété et le nombre des utilisateurs disposant de technologies locales leur permettant d'incorporer les caractéristiques clés du modèle technico-instrumental proposé.
Enfin l'idée de « modularité » est centrale dans la généricité. Elle suppose de concevoir les instruments de façon à ce qu'ils puissent aisément être ouverts et désassemblés en fonction d'un besoin. C'est tout le contraire de la notion de boîte noire. Le concept-souche de l'instrument constitue le point de départ à partir duquel les utilisateurs finaux peuvent refondre leurs propre instruments en réinsérant les aspects pertinents du concept générique dans les systèmes techniques locaux .

TABLEAU 9 – LES ORIENTATIONS DE LA GESTION DE PROJET

Activité Projet	Activité Opération
Non répétitive (one shot)	Répétitive
Décisions irréversibles	Réversible
Incertitude forte	Incertitude faible
Influence forte des variables exogènes	Influence forte des variables endogènes
Processus historiques	Processus stabilisés, gérables en statistiques a-historiques
Cash flow négatifs	Cash flow positifs

Source : Selon Declerck, Debourse et Navarre (1983)

En cours de projet, plusieurs évènements peuvent contrarier les objectifs initiaux : environnement commercial et concurrentiel dynamique, hausse des prix des inputs, affinement des objectifs ou des capacités des acteurs, insuffisance avérée de l'anticipation en phase exploratoire. Dans ces situations, la direction de projet a besoin d'une capacité de réaction importante. Ne pouvant s'appuyer sur l'improvisation, la capacité de réaction va en fait chercher dans l'inventaire des possibilités d'action. C'est ici que les règles d'action jouent leur rôle. Ces règles portent soit sur les composants (modularité), soit sur les opérations et les tâches composant les processus d'élaboration d'une activité complète. L'histoire industrielle nous montre que le choix a été fait de standardiser ces règles. A ce titre le succès des stratégies d'innovation de Toyota est fort souvent cité en matière de standardisation des composants élémentaires de l'automobile qui sont agencés puis ré agencés en fonction des programmes d'industrialisation. De son côté PSA parvient à une réutilisation de l'ordre de 70% des composants d'un nouveau modèle au suivant.

Ainsi la prise de risque qui caractérise un projet s'alimente de standardisation industrielle y compris dans l'univers de la conception.

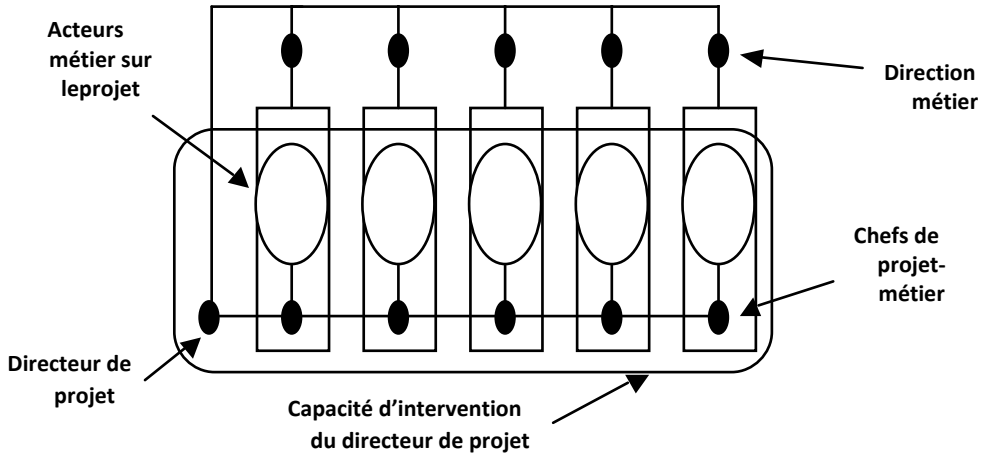
En termes organisationnels, la standardisation est prise en charge par les métiers et les services des méthodes au sein d'une entreprise. Une situation assez courante aujourd'hui réside dans une rivalité entre les exigences de rapidité d'un projet pris en charge par un chef de projet adossé à une direction de projet et les directions métiers (figure 7).

Dans cette complexité, chacun des acteurs est face à un choix parfois délicat : s'engager dans un projet de conception et le soutenir à tout prix ou bien rester fidèle à son métier : ses traditions et exigences et, de ce fait, résister à certaines demandes d'un chef de projet pressé d'aboutir.

Plusieurs illustrations de cette complexité de situation seront présentées avec le cas de la Régie Renault (4.1.5).

12 - https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards.

FIGURE 7 – L'ANTINOMIE DIRECTION MÉTIER – DIRECTION PROJET



Source : Giard, V (1998).

L'histoire des techniques de management de la conception ne s'arrête pas à ce stade. Selon une approche linéaire tendant à segmenter l'activité en deux parties (la créativité et le développement), la conception moderne s'est appuyée sur un principe de modularité facilitant les assemblages et sur un principe d'accélération avec la gestion plus ou moins agile de projets renouvelés.

4.4 LE MANAGEMENT INTÉGRÉ DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT : LE PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT

Il restait toutefois une étape à franchir avec la gestion de l'information. En effet, lorsque les travaux de conception se trouvent répartis sur un ensemble de partenaires, la diffusion et l'intégration des informations des uns vers les autres représentent des enjeux en matière de fiabilité et de rapidité d'innovation. De manière assez similaire à la maquette numérique qui a transformé la manipulation de l'information relative au dessin et à la simulation, le Product Lifecycle Management(PLM) répond à une ambition haute d'intégration de l'ensemble des informations relatives au cycle de vie du produit.

Selon un spécialiste du domaine « la finalité ultime d'un PLM est de supporter et de coordonner l'ensemble des activités en lien avec chaque étape du cycle de vie des produits et/ou services d'une entreprise : innovation produit, définition du besoin, conception, industrialisation, production (ou support à la production), distribution, …. Et le cas échéant (en fonction de la nature du produit) : exploitation, maintenance et support, démantèlement, voire recyclage ... En pratique, la finalité cœur d'un PLM est de supporter et de coordonner les activités centrées sur la conception et l'industrialisation de produit … Toutefois, en fonction de certains critères (nature du produit, type de « business model », stratégie de l'entreprise, …) cette finalité pourra également concerner des activités plus en amont ou plus en aval du cycle de vie d'un produit. » (Interview Bernard Chabot, février 2017).

Le PLM s'inscrit dans la lignée du Total Quality Management (TQM) en visantla cohérence et la traçabilité des différentes activités. Pour cela la disponibilité de la bonne information constitue l'enjeu majeur.

En fait la maquette numérique permet de simuler beaucoup de choses à condition de disposer de données suffisantes. Ce qui n'est pas le cas lorsque plusieurs partenaires collaborent à partir de bases de données particulières dans l'organisation ou bien au sein de différentes organisations partenaires.

Les technologies numériques se sont développées depuis plusieurs années dans ce contexte industriel. Au sein des firmes industrielles, elles ont pris la forme du PLM qui est une solution informatique constituée d'un progiciel plus ou moins paramétré et/ou personnalisé jouant le rôle de composant principal, ainsi que plusieurs autres applications informatiques, plus ou moins intégrées à ce composant (Chabot, 2014). La finalité d'un PLM est de supporter et de coordonner l'ensemble des activités en lien avec chaque étape du cycle de vie des produits et/ou services d'une entreprise (depuis la conception jusqu'à la distribution). Un PLM vise donc à intégrer tout un ensemble de documents de travail qui relèvent de métiers très différents dans un écosystème qui se propose d'innover (cahiers des charges, spécifications techniques, nomenclatures d'assemblage, recettes de mélange, gammes de fabrication, dossiers de vérification, dossiers de validation, plans de contrôles des fiches de méthodes, etc). Technologiquement parlant, la plateforme outillée de son PLM tend à instaurer une connectivité élevée entre l'ensemble des partenaires, ce qui se traduit par une standardisation des relations et des prestations au sein et autour de la plateforme. Selon certains managers consultés dans l'industrie automobile, le PLM est un challenge assez ambitieux, plus ou moins avancé suivant les secteurs qui permet à de grands groupes parfois marqués par leur inertie de capter les ressources de structures plus modestes. Pour d'autres, l'intégration multi-niveaux des plans et logiciels de conception par les plateformes ouvre la voie à une centralisation de cette activité stratégique de création industrielle et d'innovation.

Le PLM peut se prêter à de multiples usages en termes de relation de conception : il peut officier en tant que système d'information à la disposition d'un ensemble de firmes en collaboration, mais il peut tout autant faciliter l'absorption des informations par l'une d'elles au profit d'une stratégie hégémonique de conception qui priverait progressivement les partenaires les moins outillés en la matière. Car « les activités de spécification d'un PLM produisent généralement une grande quantité d'informations qui décrivent par exemple l'organisation de l'entreprise, l'organisation du programme PLM, le périmètre métier potentiel et celui couvert par le programme PLM, les pratiques actuelles de l'entreprise, les pratiques futures de l'entreprise (en utilisant le PLM), le processus métier cible, le modèle sémantique des concepts métier, le modèle logique de données, la cartographie du paysage applicatif » (Chabot, 2014). Une centralisation de ces données par l'un des acteurs de la chaîne de valeur peut en effet ouvrir la voie à une monopolisation des savoir-faire de conception.

UN EXEMPLE DE PLM AVEC LA 3D EXPERIENCE DE DASSAULT SYSTÈMES

Muriel Pénicaud (2007), ex-DRH de Dassault Systèmes présente ainsi l'essor de l'activité de l'éditeur de logiciels : « en 2006, nous sommes arrivés à la conclusion que, parvenus à la maturité d'une solution technologique dans le domaine du design et du project management, notre offre ne devait pas se limiter à une offre de produits logiciels, et que nous étions maintenant suffisamment mûrs pour apporter aux industriels une valeur dans leur manière même de concevoir l'ensemble de leur cycle de vie, de la conception à la production. »

Cet éditeur couvre désormais 12 secteurs d'activité[13].En 2012, la 3DEXPERIENCE est lancée, elle consiste à prolonger les offres de maquettes numériques précédentes (de type Catia et Enovia, voir Annexe 2) en fournissant des possibilités inédites d'intégration systèmes avec les partenaires. Jusqu'alors la firme détentrice de licences de l'éditeur devait acquérir des systèmes facilitant l'interface avec les propres systèmes des sous-traitants et partenaires divers. La plateforme s'appuie sur les activités du groupe dans la 3D, les maquettes numériques complètes et la gestion du cycle de vie des produits. Elle peut être utilisée sur site ou en ligne dans le cadre d'un cloudpublic ou privé.

Selon Olivier Leteurtre (Directeur Général EUROWEST de Dassault Systèmes) : « 12 secteurs d'activité-clients font face aux mêmes challenges (source : document interne Dassault Systèmes) :

1 – Déterminer coûts et délais très en amont des projets (énergie, construction, avionique, infrastructure, …)

2 – Comment faire travailler des experts éloignés dans un écosystème ?

3 – Comment renforcer la dimension internationale en capitalisant l'expérience produit (modularité) et l'expérience process (usines) ?

4 – Mise aux normes règlementaires (qui peuvent changer au cours d'un cycle de développement)

5 – Pilotage aux différents niveaux hiérarchiques étant donné la durée des projets, visibilité.

6 – Technologie (additing manufacturing, nano, tissus bios, souches vivantes) : comment en tirer avantage ? »

Il s'agit de fait de tenter de dé-siloter les organisations afin de coopérer. La transformation numérique c'est la simulation des procédés, … Le numérique c'est la modularité. Une fois que l'objet est créé (produit, process), l'intérêt c'est de pouvoir capitaliser dessus et de réutiliser.

Ce qu'il faut c'est un référentiel unique avec ses processus digitalisés. Si les process sont digitalisés, la traçabilité devient simple.

L'additing manufacturing c'est très intéressant. Pourquoi ? On est sur des promesses de performance très importantes.

C'est l'expérience des objets. On met des capteurs, on enregistre les données. On analyse les données des clients. On peut améliorer et développer de nouveaux usages.

Exemple : équipements sportifs pour centres spécialisés. L'utilisateur entre ses données de santé. Dans le centre, les machines programment un process adapté au client.

L'experience thinking consiste quant à elle à travailler sur l'expérience sociale captée sur les réseaux sociaux. On essaie de détecter des besoins pour aller vers des modèles d'usage et des produits.

---

13 - Aéronautique et Défense ; Transport et Mobilité ; Marine et Offshore ; Équipements industriels ; Hautes technologies ; Architecture, Ingénierie et Construction ; Biens de consommation – Distribution ; Produits de grande consommation – Distribution ; Sciences de la vie ; Énergie et Procédés ; Finance et Services, et Ressources naturelles.

L'évolution de DS c'est de la conception « produit-process », puis PLM, et enfin l'intégration sous forme de plateforme de business au service des secteurs clients ».
Selon Laurent Blanchard(vice-président EMEAD, alliances et services mondiaux de DassaultSystèmes), la plateforme 3DSystems permet aux utilisateurs des accès rapides aux travaux des uns et des autres, une connexion permanente à la plateforme et donc capacité de décision permanente. L'éditeur utilise ce système dans sa propre organisation. Dassault Systèmes compte 15.000 employés (dont 5400 ingénieurs dans 57 laboratoires de R&D) qui produisent 85 millions de lignes de code pour 220.000 clients dans le monde.

Avec 3D system, chaque ingénieur est directement identifié en compétences, car son profil personnel est atteignable numériquement. On peut ainsi disposer d'historiques d'activité personnelle dans un environnement numérique sécurisé et traçable.

Cette organisation peut laisser songeur : qu'en est-il de la créativité des ingénieurs dans un tel système d'information ? Les espaces de réflexion et de discussion professionnelle ont-ils encore une place dans de tels dispositifs ? La question est d'autant plus importante que ces propos sont ceux de l'un des leaders mondiaux du logiciel de conception.

C'est effectivement l'une des deux questions de notre étude. La première consiste à savoir comment est organisée la conception industrielle : nous commençons à disposer d'une perspective assez précise. La seconde concerne directement la dynamique d'emploi des ingénieurs de conception. Nous y consacrons la totalité de la troisième partie du rapport. Mais nous pouvons déjà fournir une illustration des modes d'organisation qui accompagnent cette démarche PLM.

4.5 ILLUSTRATION DE L'ORGANISATION INTÉGRÉE DE LA CONCEPTION AVEC LE CAS RENAULT

Comme nous le précisions dans la section 3.1, chez Renault au cours des années 50 l'activité de conception est réalisée par des techniciens avec la planche à dessin, les tests de crash sont réalisés grandeur nature. Les ingénieurs et cadres font du commandement plus que de l'étude et conception (Poitou, 1988). Dans les années de la R4, les ingénieurs de Renault vivent leur activité professionnelle comme un métier auquel ils s'identifient.Leurs fonctions sont hiérarchiques, mais ils cherchent à valoriser les activités de création et de réflexion. Ils sont très intéressés de « passer de l'imaginaire au réel ».

De la qualité totale au plateau-projet

En 1988 c'est la qualité totale, il faut faire entrer le client dans l'entreprise. Entre 1989 et 1996, Renault forme 5000 cadres à la qualité totale.A la même époque se développent les structures de coordination de projet (voir figure 7). C'est alors qu'une nouvelle forme d'organisation se précise avec le plateau-projet. Techniciens et ingénieurs n'évoluent plus au sein de leur hiérarchie technique. Ils doivent se coordonner avec d'autres métiers dans un espace commun à la vue des uns et des autres.

Ces plateaux comptent parmi les premières plateformes, ils sont composés de sous-ensembles correspondant aux grandes fonctions du véhicule et regroupent les différents métiers concernés (études, essais, méthodes, usines, achats, planification, qualité). Dans ce dispositif l'articulation se fait autour du produit afin de faire dialoguer projet et métier.

Le PLM n'est pas encore introduit chez Renault, mais le dispositif qui se met en place y fait fortement penser. Les directions techniques doivent se mettre au service des projets.
D'une manière générale, les ingénieurs possédant plus de 20 ans d'ancienneté ont le sentiment que la dimension technique a perdu de son importance au profit des dimensions de gestion des délais et de contrôle des procédures de fonctionnement.

Le rapprochement Bureau d'Etudes et Bureau des Méthodes

De manière complémentaire c'est la modularisation qui se met en place. Selon cette approche, le produit est un composé de modules. Chaque module dispose de son propre système de conception-fabrication. Ainsi moteurs et véhicule deviennent deux grands sous-ensembles auxquels sont rattachés bureaux d'étude et bureaux des méthodes qui doivent coopérer de manière étroite.Cette coopération représente une innovation en termes d'organisation.

Selon quelques observateurs, il ne s'agit plus vraiment de concevoir mieux qu'avant et d'atteindre la perfection technique en améliorant les connaissances techniques. Il s'agit davantage d'améliorer la productivité du travail de conception et la rentabilité du véhicule. Les incertitudes organisationnelles se déplacent depuis la connaissance technique et l'apprentissage vers la décision. Autrement dit la logique « gestion de projet » fonctionne à plein. Les réponses techniques se multiplient puisque les interactions sont foisonnantes, mais la décision ne respecte pas forcément l'excellence technique. C'est la loi du « coût-qualité-délai » qui s'installe avec une nette préférence pour la maîtrise des coûts.

Intégration de la voix du client

Chez Renault, à la fin des années 90, est créé la DPC (direction des prestations clients) dédiée à la représentation des clients de manière transversale aux différentes fonctions. Dotée de plusieurs centaines de personnes, elle délivre plus de 70 prestations (sécurité, ergonomie, plaisir de conduire, accessibilité, confort, ...). Aucun client n'est présent physiquement, mais on s'inspire de ses supposés désirs pour influencer les activités de conception.

Dans cette institutionnalisation du mode projet, on peut observer un glissement sémantique : le terme d'innovation se substitue à celui de création. Les plus jeunes ingénieurs parlent d'innovation alors que les plus anciens évoquent la création.

Création du Technocentre - Guyancourt en 1997

Plusieurs milliers de techniciens et ingénieurs sont réunis sur ce très grand plateau afin de réduire les temps de cycle de conception.
Dans la transition des métiers vers des logiques projet et plateaux, les solidarités de métier se transforment, parfois s'affaiblissent. L'essentiel de la coordination est objectivé par la direction sur le produit : la voiture.

Vers une organisation hautement fiable

A partir de 2000, une nouvelle orientation est prise par la direction qui vise un haut niveau de standardisation. A l'instar de beaucoup d'entreprises de cette importance, la Régie envisage la haute fiabilité. Celle-ci a été pensée par un spécialiste des situations exceptionnelles :

Karl Weick qui associe contexte à risque et grande agilité dans le maniement des bonnes réponses.
Dans cette perspective, le choix de l'entreprise a consisté à standardiser les opérations de conception et à tenter de gérer l'événement au plus près. Ce qui se traduit par une alliance entre autonomie des actions et centralisation de l'information. A cet effet, deux documents de référence ont été institués : le « Plan-Gamme »et le « Master-planning ». Ils établissent les délais de développement de la conception des véhicules et sont la manifestation concrète d'une volonté forte de planifier l'action.

Selon des observateurs de l'industrie automobile, cette formalisation des modes de coordination répond à deux principes considérés comme majeurs : « le principe de planification : le master-planning est un planning de développement standard qui s'impose à tous les métiers et qui a la vertu de synchroniser tous les acteurs du projet etle principe de ponctualité qui consiste à considérerle respect des délais comme une priorité absolue, notamment dans le cadre des développements communs avec les partenaires » (p. 331). On retrouve en pratique les principes de la gestion de projet et du PLM.

L'objectif est précisément de coordonner les diverses étapes de conception et d'industrialisation d'un véhicule à travers un calendrier institutionnalisé et applicable à chaque projet. Celui-ci est segmenté en trois grandes phases (amont, conception, industrialisation) et cinq étapes (construction du cahier des charges et choix techniques, convergence vers une voiture cohérente, structuration du lancement et réalisation des outillages, mise au point produit/process, mise en route industrielle).

Le calendrier défini par la direction souhaite planifier les différentes décisions à prendre durant les trente mois nécessaires au développement du produit en distinguant :
- Les domaines de décision : quatre types de réunions (métier/projet, politique technique innovation, avant-projets, maillage/management) et six domaines (design/produit, prestations, produit-process, interfaces métiers, moyens industriels, ressources/ordonnancement) ;
- Les niveaux de décision pertinents : quatre niveaux de décision ;
- Les participants à la réunion et leurs rôles respectifs, la question qui pose problème et enfin les documents qui serviront de support.

Le développement d'un projet est conçu, dès lors, comme une suite d'opérations de travail qu'il est possible d'objectiver et de prévoir « Les cinq étapes s'appuient sur des processus clairement établis qui détaillent, par métier, les rôles et les missions de chaque acteur concerné, comme par exemple la conception d'une pièce (planche de bord), d'un système (éclairage) ou d'une prestation (acoustique). A chaque activité sont associés des données d'entrée,des résultats et un pilote. Puis, les missions des ingénieurs et techniciens sont décrites ainsi qu'une logique d'enchaînement des opérations de travail et les étapes de coordinationnécessaires avec les autres métiers, en d'autres termes les réunions qui s'imposent et leur contenu. Cette formalisation vise à clarifier les rôles de chacun et les modes de fonctionnement à respecter. Les réunions planifiées sont alors de deux natures : les « jalons qualité » qui consistent à faire l'état des lieux de la situation et les « jalons d'interface » qui visent à coordonner les différents métiers de la conception d'un véhicule » (Burlet, 2008, p. 334).

L'une de ces réunions clefs est nommée « DMDR » (Digital Mocke up Design Review). Elle est une « animation autour d'un prototype numérique cohérent, qui a pour but de faire converger l'ensemble des métiers de l'entreprise ». Elle est composée du chef de projet

Ingénierie, de chefs de service, d'ingénieurs représentant les différents métiers et des ingénieurs-projet (« pilote GFE », « PPC »). Sa fréquence est trimestrielle et cette périodicité structure très nettement les activités de travail des ingénieurs en déterminant les procédés intermédiaires entre ces réunions.

En outre, la planification de l'action ne s'arrête pas là puisqu'en étant déclinée par métier, elle prévoit les comités permanents intermédiaires, en précisant leur durée, leur fréquence, en général hebdomadaire ou bimensuelle, les acteurs concernés et même le jour et l'heure de leur réalisation (32 sont référencées en 1999 et leur nombre augmente régulièrement).
De la sorte, des calendriers sont préétablis pour coordonner les diverses activités et, en conséquence, les agendas des fonctions clefs du processus de conception.
Cette standardisation des procédés du travail n'épargne aucune activité puisqu'elle concerne même l'activité d'innovation en imposant des échéances et un enchaînement des opérations. Le développement d'une innovation est structuré par un outil informatique intitulé « DAISI » (Dispositif d'Aide à l'Identification des Systèmes Innovants) qui doit permettre d'identifier les risques de l'innovation et son degré de maturité et d'avancement. Pour ce faire, une cotation a été formalisée et permet de décider des actions à mener. Enfin, une injonction à la planification détaillée au sein de chacun des secteurs et au niveau de chaque fonction dédiée au projet doit permettre d'assurer le respect des délais communs : à l'image des poupées russes, s'emboîtentquatre types de planification, du « master-planning » aux « plannings détaillés des acteurs » quistructurent les activités de travail de l'individu.

Standardisation du contenu du travail

La deuxième forme prise par la standardisation vise à formaliser le contenu du travail en rédigeant pour chaque organe les règles de conception. Cette démarche est intitulée « principe de conception », démarche que la direction définit comme étant fondée sur des standards techniques robustes et applicables dans l'ensemble des cas, regroupés dans la base métier de l'Ingénierie Véhicule. C'est la consécration du raisonnement analogique.
Il ne s'agit plus uniquement d'allouer des temps pour effectuer les opérations de travail mais d'en décrire le contenu. Ces documents formalisés définissent les règles et normes à suivre et spécifient le contenu du travail de conception. La formalisation des standards est assurée par les unités dites « métier » au sein de la structure fonctionnelle supportée par une des directions de la qualité rebaptisée explicitement : « direction des méthodes de conception ».
Dans les années 90 la structure matricielle a permis de diviser la structure de l'autorité formelle entre métiers et projets. La standardisation du travail réintroduit un fonctionnement fondé sur les statuts et les positions au cœur des ajustements entre les individus. Les standards réduisent les alternatives possibles et figent les échanges et les négociations.
Cette analyse approfondie réalisée permet d'illustrer la prégnance de l'organisation par projet au sein de l'industrie automobile. Ce n'est qu'un cas parmi d'autres, mais il témoigne de la puissance du mouvement de standardisation qui semble a priori la meilleure voie pour gérer toute la complexité de l'information relative aux produits, composants et processus d'élaboration de la conception.

4.6 CALCUL INTENSIF ET CROWDSOURCING : DEUX SOURCES SUPPLÉMENTAIRES OU UNE VRAIE RUPTURE ?

Nous abordons maintenant deux processus assez différents par rapport à l'illustration précédente : le calcul intensif (communément big data) et le crowdsourcing. Il ne s'agit pas directement de questions d'organisation de l'activité de conception. Il s'agit de phénomènes de

grande ou très grande ampleur qui se développent en société. Le calcul intensif s'applique à des données d'attitudes et de comportements de consommation qui peuvent influencer le processus d'innovation des entreprises. Ce calcul intensif est très lié aux capacités de recueil et de traitement des données. Il peut être rangé du côté de la « voix du client » et de la fonction marketing. Le crowdsourcing (appel à la foule) participe de la même inspiration : il s'agit de s'inspirer des propositions d'utilisateurs connus ou potentiels (en grand nombre) afin d'optimiser le processus d'innovation.

Ces deux grands phénomènes sont utilisés avec des intensités fort différentes suivant les secteurs d'activité. Surtout, ils présentent une nouveauté par rapport aux techniques de management que nous venons d'examiner (gestion de projet, standardisation, PLM). Il est sans doute trop tôt pour se livrer à une analyse précise des perspectives du développement de ces deux phénomènes de société.

Par contre, il paraît tout à fait réaliste d'envisager l'articulation de ces techniques éprouvées de management des activités de conception et ces deux phénomènes de recueil et de traitement des données. En effet, si une information fiable et précise peut être produite rapidement à propos des orientations de consommation, alors une intégration production-consommation devient envisageable en termes de standardisation. La modularité pourrait y jouer son rôle avec des contraintes de réalisation ultra rapide, le tout servi à partir de plateformes numériques. On voit ainsi l'économie des plateformes numériques prendre sa place :
- Elle est l'héritière d'une histoire de la conception industrielle qui a abouti au PLM ;
- Tout en épousant les capacités offertes par Internet dans une mesure inégalée jusqu'à présent.

Quelle est cette mesure ? Bien qu'elle se développe régulièrement, on peut déjà en donner des ordres de grandeur assez édifiants.

La puissance du calcul intensif

Les processus de calcul intensif se sont installés dans les univers de la consommation (Amazon, Apple et Facebook en sont des emblèmes). Ils reposent sur l'accumulation en grandes masses de données diverses qu'il s'agit de relier les unes aux autres au moyen de corrélations statistiques. Forts de ces corrélations, les acteurs du domaine définissent des attentes et des comportements typiques à partir desquels ils envisagent des concepts de produit. De la sorte, des « data scientists » pourraient se substituer aux spécialistes du domaine (ingénieurs de spécialité, chercheurs scientifiques, techniciens).

Les données massives concernent plusieurs domaines :
- Sciences fondamentales (physique des hautes énergies, fusion, sciences de la terre et de l'univers, bio-informatique, neurosciences) ;
- Economie numérique (business intelligence, Web, e-commerce, réseaux sociaux, e-gouvernement, santé, conception médicaments, télécommunications et médias, transports terrestre et aérien, marchés financiers) ;
- Environnement (climat, risques naturels, ressources énergétiques, smart cities, maison connectée) ;
- Sécurité (cyber-sécurité, sécurité nationale) ;
- Industrie (smart industry, produits sur mesure, chaîne de conception/réalisation de produits de bout en bout) ;

- Méthodes scientifiques et technologies nouvelles.
D'après le Rapport d'Allistène (2013) cité par Stiegler (2015, p. 64) : « les données massives sont traditionnellement décrites par trois caractéristiques :
- La volumétrie : les volumes auront, selon IDC (International Data Corporation), dépassé les 4 zetta-octets (1021) en 2013. C'est l'axe le mieux maîtrisé aujourd'hui, soit par l'utilisation de fermes de PC en Cloud, soit par de gros serveurs, notamment chez les pionniers du Web (Google, Facebook, eBay, Amazon) qui ont développé les infrastructures nécessaires (souvent disponibles en open source) pour passer à l'échelle ;
- La variété (données structurées, texte, parole, image, vidéo, données issues des réseaux sociaux, des capteurs de l'Internet des objets et des mobiles) est la principale source de la valeur, par croisement de ces données multi-sources, mais sa maîtrise demande encore beaucoup de travaux scientifiques et techniques ;
- La vélocité (données arrivant en flux ou devant être traitées en temps réel) nécessite également des recherches pour optimiser les temps de calcul.

Les données massives offrent de très nombreuses opportunités économiques. La France a raté la première étape (les infrastructures), mais peut encore trouver une forte expansion économique dans la mise en œuvre des applications de valorisation des données. Il faut pour cela mettre en place des actions de recherche pour savoir développer les architectures de troisième génération. Intégrant infrastructures, algorithmes, appareils mobiles et applications servant des milliards d'utilisateurs, ces applications généreraient, d'après la mission Afdel sur le big data, plus de 40 milliards d'euros de revenu en 2016 et une création de valeur potentielle de 200 milliards d'euros dans les administrations publiques européennes.Le calcul intensif est aujourd'hui un réel enjeu stratégique, et pas seulement pour la production de nouvelles connaissances scientifiques, mais aussi pour la compétitivité économique et la prévention des risques ».

Une économie de plateformes pour des prestations peu qualifiées

Les exemples de mise en pratique sont foisonnants. Chaque fois, c'est une plateforme qui met en contact au moins deux profils d'action : une attente de consommation et une offre de service.

Par exemple des plateformes comme Freelancers, Foule Factory et Mechanical Turk (Amazon) mettenten relation ces attentes et ces offres. D'un côté, des entreprises ou des particuliers qui ne souhaitent pas réaliser des tâches simples mais non encore automatisables, de l'autre, des contributeurs-tâcherons qui réalisent ces tâches. Les plateformes en question font fonction de place de marché en disposant d'une main-d'œuvre à la demande. Les tâches sont peu qualifiées : rédaction de SMS personnalisés, de commentaires, de classement de contenus. Les tarifs horaires sont compris compris entre 10 et 15 euros (dans le cas du français Foule Factory). Amazon, offrant le système Mechanical Turk, dispose de 500.000 tâcherons dans 160 pays, et paye quelques centimes par tâche.

Les spécialistes de ces organisationsdéfinissent ainsi undigital labor, c'est-à-dire : « une contribution à faible intensité et à faible expertise mise à profit via des algorithmes et des fouilles de données » (Cardon et Casilli, 2015).

Une économie de plateformes pour des conceptions qualifiées

Dans le domaine de travaux davantage qualifiés, le calcul intensif sur données massives s'associe à des pratiques d'appel à la foule (crowdsourcing).
Par exemple, la start-up américaine de construction automobile Local Motors a rendu disponible en open source son logiciel de conception et d'ingénierie « Design1 » pour la conception de ses nouveaux modèles. Ce modèle lui permet de fonctionner avec une équipe réduite à 12 concepteurs, grâce à l'apport d'une communauté de près de 13.000 contributeurs. La construction de cette communauté a également permis à la start-up de proposer à d'autres industriels du secteur de soumettre des projets sur cette plateforme, sous un format de crowdsourcing. Le constructeur français B'Twin ou encore l'américainPeterbilt ont ainsi pu développer des conceptions grâce à ce modèle (Rapport Mettling).

On prend la mesure des économies ainsi réalisées dans la conception, on s'aperçoit que ce processus d'appel à idées se combine à l'activité de communautés. On qualifie également ce processus d' « outside-in » consistant à chercher à capter le maximum de connaissances et d'informations en dehors des frontières de l'organisation. Parfois des plateformes telles qu'Innocentive[14] proposent d'intermédier les relations entre firmes et contributeurs. Cette pratique nécessite d'importants investissements pour adapter la culture et la pratique des services de R&D. Ces derniers doivent passer d'un paradigme où l'objectif n'est plus d'inventer soi-même mais d'être capable de trouver l'innovation ailleurs. L'enjeu pour l'entreprise dans un tel contexte n'est pas tant d'augmenter ses capacités d'invention que d'améliorer ses capacités d'absorption de nouvelles idées (Guittard et Schenk, 2013).
Le terme crowdsourcing apparaît pour la première fois en 2006 dans un article de James Howe de la revue Wired[15], Crowd signifie foule et sourcing signifie approvisionnement. Selon les termes de Howe : on ne se pose pas la question de savoir où se trouvent les travailleurs, ils peuvent se trouver tout près de l'entreprise, ils peuvent être localisés en Indonésie, l'important est qu'ils soient connectés (Howe, 2006). Howe définit une typologie des pratiques de crowdsourcing.

TABLEAU 10 - TYPOLOGIE DES PRATIQUES D'APPEL À LA FOULE

type	fonction	exemples
Crowd creation	Recours au travail créatif de la foule le plus souvent médiatisé par une plateforme.	eYeka, 99designs, Creads
Crowd voting	Recueillir l'avis de la foule de manière explicite ou pas.	Threadless.com, pagerank de Google
Crowd wisdom	Externaliser la résolution de questions complexes à défaut de compétences internes ou de volonté.	Innocentive, Jam d'IBM
Crowdfunding	Financement participatif de projets	Gofundme, Kickstarter

Source : selon Howe (2006).

Les processus de crowdsourcing induisent deux effets majeurs :
- L'enchevêtrement des sphères professionnelles et privées ;
- La transformation des frontières de l'organisation et du travail.

14 - https://www.innocentive.com/
15 - Dont Chris Anderson a été le rédacteur en chef, cf. 1.4.1.

Par exemple, 99designs est une plateforme qui fonctionne abondamment avec le crowdsourcing. Elle est la première plateforme en ligne mondiale sur le marché du crowdsourcing de design graphique, qui met en relation des entreprises à la recherche de design graphiques avec plus de 190.000 designers localisés dans 192 pays (données internes entreprise, 2012). Les entreprises peuvent externaliser leurs besoins en design graphique de manière efficace et abordable en lançant des concours, en collaborant avec un designer en particulier ou en achetant un logo prêt à être utilisé.

Pour sa huitième année consécutive, le chiffre d'affaires de l'entreprise croît de manière exponentielle et avoisine aujourd'hui les 60 millions de dollars américains. Ce sont plus de 500.000 concours de design graphique qui ont été lancés sur la plateforme depuis la création de l'entreprise et chaque mois plus de 10.000 concours voient le jour. Le nombre de projets collaboratifs privés entre graphistes et clients, appelé Projet 1-1, a augmenté de 50 % en un an et constitue désormais 15 % du chiffre d'affaires total de l'entreprise. Les paiements reversés aux graphistes atteignent aujourd'hui les 3,5 millions de dollars en moyenne par mois et totalisent 142 millions de dollars depuis la création du service (données internes entreprise, 2016).

Le dirigeant de 99designs s'exprime ainsi : « le crowdsourcing supprime les frontières dans le marché du travail. Il y a beaucoup de pays isolés qui n'ont pas accès au dynamisme économique international. Des plateformes comme la nôtre peuvent donner des opportunités internationales à des PME et des freelances qui ne travaillent qu'à un niveau local. Sur notre plateforme, on se fie d'abord à la qualité du travail fourni et personne n'ira juger qui vous êtes, de quelle école vous sortez, ou dans quel village vous habitez.
Dans un modèle comme le nôtre, c'est le résultat qui compte, pas la réputation » (Journal du Net, août 2013).

Cette plateforme fonctionne de la manière suivante : un client-entreprise définit son besoin au travers d'un cahier des charges, puis fixe le prix et la qualité un pack prix fixant le montant et la qualité qu'il souhaite y consacrer.
La plateforme ouvre le concours à plus de 1.128.000 designers professionnels. Ceux-ci soumettent en permanence des designs au concours, ils sont déposés dans un espace de la plateforme qui est consultable en permanence.
Au bout de 7 jours, les jeux sont faits et le client choisit l'offre qui l'intéresse après avoir déposé des commentaires et des évaluations sur diverses propositions. Le designer reçoit le prix choisi préalablement par le client, qui reçoit à son tour les droits de propriété du design. Il est également possible de travailler directement avec un concepteur parmi une sélection opérée par la plateforme ou bien de retrouver un concepteur déjà connu et pratiqué. Pour les concepteurs, la plateforme propose un catalogue de ressources.

Cet exemple est sans doute particulier au secteur du graphisme. Mais il mérite d'être exploré au prisme de l'organisation du travail de conception tel qu'il est déployé au sein des industries installées. L'exemple de la Régie Renault nous a montré qu'une standardisation des activités sous forme de modules était possible et pratiquée. Pour l'instant la connexion entre le milieu de la conception industrielle classique et l'univers du crowdsourcing n'est pas réalisée, mais les potentialités sont bien présentes. Ne pourrait-on pas envisager, d'un côté, une sphère de création de nouveauté à l'état potentiel au sein d'une grande entreprise, et, de l'autre, des développements confiés à un ensemble plus ou moins étendu de prestataires de développement de conception ?

4.7 LES COMMUNAUTÉS DE CONCEPTION

Cette hypothèse reste à explorer. Pour l'heure, sa formulation peut être complétée avec l'expérience des communautés de pratiques et de connaissance. L'analyse des communautés est devenue une pratique très courante (Amin et Cohendet, 2004, Amin et Roberts, 2008). Les communautés sont constituées de professionnels ou d'amateurs regroupés, soit dans une entreprise particulière, soit répartis en société et en lien avec une ou plusieurs activités d'entreprises.

L'intérêt de ces communautés réside dans le supplément d'efficacité qu'elles sont susceptibles d'apporter à des organisations en manque de créativité ou de cohésion. Cette capacité proviendrait du fait qu'elles sont constituées de professionnels ou d'individus très au fait de leur activité. De surcroît elles seraient très autonomes par rapport à des principes hiérarchiques qui inhiberaient la créativité.

Nous présentons tout d'abord les principes de l'activité communautaire puis les différents types de communautés avant de terminer sur cette question avec les possibilités de connexion aux plateformes numériques.

Approche générale de l'activité communautaire.

L'analyse du fait communautaire remonte aux travaux de Max Weber (1921) que nous développons ci-dessous.

Weber s'intéresse à ce qu'il appelle la communalisation et la sociation (Paraponaris et alii., 2013).

La communalisation (Vergemeinschaftung) résulte d'un sentiment subjectif d'appartenir à une même communauté (Gemeinschaft). La tradition ou l'affect sont les principaux ressorts de cette appréciation subjective.

Nous retrouvons ces ressorts dans la complexité du fonctionnement communautaire qui associe d'une manière très fragile des sentiments et des attitudes hétérogènes. La communauté est apprise, puisque c'est seulement grâce à un processus de socialisation que nous apprenons à participer à des communautés solidaires.
Elle n'est jamais pure, puisque des liens communautaires sont associés à des situations de calcul, de conflit, ou même de violence. C'est pourquoi plutôt que de communauté, il paraît effectivement préférable de parler de « communalisation » (Vergemeinschaftung), et de chercher comment se constituent et se maintiennent certaines « solidarités diffuses » (Boudon et Bourricaud, 1994, p. 83). Au delà des fondements affectifs ou traditionnels, l'essence de la communauté réside dans son caractère holiste : elle est un tout humain (human whole) dont les membres vivent pour et par elle (Redfield, 1965).

Le nom des communautés fait souvent référence soit aux intérêts disciplinaires partagés, soit au métier de ses membres.

Au contraire, la sociation (Vergesellschafftung) résulte d'un compromis ou d'une coordination d'intérêts motivés rationnellement. Elle peut être rationnelle en valeur (Wertrational), lorsqu'il s'agit de compromis pour la défense d'une même cause, ou en finalité (Zweckrational), quand chacun des partenaires anticipe la loyauté de l'autre quant à la poursuite de buts déterminés.

Les premiers signes de communautés modernes apparaissent dans la genèse d'Internet avec les communautés hippies. En 1967 à San Francisco, durant l'été un grand rassemblement eu lieu avec différentes sortes d'expérience. A la suite, à l'automne, une vaste création de communautés eu lieu : entre 1965 et 1972 des dizaines de milliers de communautés s'établirent (Turner, 2012).
Cependant, les historiens américains (Hugh Gardner, Foster Stockwell, Holloway) estiment entre 500 et 600 le nombre de communautés établies depuis 1663. Judson Jerome estime qu'au début des années 70, 750.000 personnes vivaient en communauté aux Etats-Unis dans plus de mille communautés loin des capitales urbaines.

Généralement, les communautés existent dans le but de partager de la connaissance, ce partage peut servir plusieurs fonctions (Andriessen et Vartiainen, 2006) :
- Résoudre les problèmes individuels immédiats, par exemple à travers l'envoi et la réponse à « qui peut m'aider à résoudre ce problème » ;
- Echanger les expériences, l'apprentissage individuel et la construction d'une perspective plus large de la pratique sur laquelle le groupe travaille ;
- Développer de meilleures pratiques, des manuels et des guides pour l'organisation ;
- Développer des solutions novatrices pour l'organisation.

Le processus communautaire emprunte plusieurs phases (Gongla et Rizzuto, 2001) :
- Une phase d'émergencecorrespond à la formation de la communauté autour d'un petit nombre de personnes ayant un intérêt commun ;
- Une phase de structuration et de construction de la mémoire collective ;
- Une phase d'engagement : la communauté croît en termes de taille et de complexité. Les fonctions clés sont l'interaction des membres et l'accès aux connaissances détenues par le groupe. La communauté en sait davantage sur ses capacités et apprend à s'ajuster et à s'améliorer ;
- Une phaseactivedédiée à la réflexion et à l'analyse. Les membres travaillent conjointement pour consolider et pérenniser la communauté. Celle-ci devient 'responsable' de la mise en commun de la connaissance et de la réponse collective aux défis présentés par l'organisation ;
- Durant une phase adaptative, la communauté devient réceptive répondant ainsi aux conditions externes. Elle développe une capacité d'influence de son environnement.

Activités et contributions des différentes communautés

On distingue aujourd'hui les communautés de pratiques des communautés épistémiques.

Les communautés de pratique

La notion de communauté de pratiques est apparue pour la première fois chez Jean Lave et Etienne Wenger (1991) dans un ouvrage à propos d'apprentissage en situation. Les communautés de pratiques sont alors l'espace où se déroule l'apprentissage en tant que processus de participation à des pratiques sociales et professionnelles. Lave et Wenger (1991) développent ainsi la théorie de l'apprentissage situé grâce à l'étude de ces groupes sociaux. La communauté de pratiques la plus connue est celle des réparateurs de Xerox étudiée par Julian E. Orr en 1990.

Wenger, McDermott et Snyder (2002) définissent les communautés de pratiques comme des groupes de personnes qui partagent une préoccupation, un ensemble de problèmes, ou une

passion à propos d'un sujet, et qui approfondissent leurs connaissances et expertise dans ce domaine en interagissant de manière régulière.

Dans son ouvrage de 1998, Wenger établit trois dimensions qui caractérisent les communautés de pratiques : un engagement mutuel, une entreprise commune et un répertoire partagé. Ces dimensions sont reliées les unes aux autres et permettent de comprendre le fonctionnement des communautés de pratiques :

a) L'engagement mutuel peut être défini comme la capacité des membres d'une communauté de pratiques à s'aider les uns les autres et à construire des relations collaboratives entre eux. Ces relations d'entre-aide permettent de soutenir la structure sociale de la communauté en fortifiant les rapports entre ses membres.

b) Par leurs interactions, les membres créent une compréhension partagée de ce qui les lie : c'est l'entreprise commune. Elle est définie par l'ensemble des actions collectives qui réunissent les membres de la communauté de pratiques, sans se limiter à la définition d'un objectif spécifique.

c) Au fil de leur pratique, les membres produisent des ressources aidant à la négociation au sein de la communauté. Le répertoire partagé est le résultat de l'accumulation de ces ressources. Ce répertoire comprend des supports physiques tels que des prototypes ou des maquettes, mais aussi des ressources intangibles telles que des routines, des mots, des outils, des procédures, des histoires, des gestes, des symboles, des concepts, etc. Le répertoire partagé permet la négociation de significations car il s'appuie sur des ressources qui font référence, qui témoignent d'un engagement mutuel passé et qui peuvent être mobilisés de nouveau dans une situation présente.

Reprenant les caractéristiques énoncées par Wenger (1998), Cohendet et al. (2010) proposent une définition actualisée de la communauté de pratique : « Une communauté de pratique peut être définie comme un groupe ayant une structure informelle, où le comportement des membres se caractérise par l'engagement volontaire dans la construction et le partage des connaissances dans un domaine donné. Une telle communauté peut être considérée comme un dispositif de coordination permettant à ses membres d'améliorer leurs compétences individuelles, à travers l'échange d'un répertoire commun de ressources qui s'élaborent en même temps que s'articule la pratique de la communauté. » (p. 31)

Les communautés de pratiques peuvent se former dans ou hors d'une entreprise. Traditionnellement, les communautés de pratiques sont « spontanées », elles émergent de manière autonome entre des membres ayant une passion commune. Or, il existe désormais des communautés de pratique « pilotées » par les directions d'entreprise, qui au contraire proviennent de la volonté des dirigeants de bénéficier des avantages qu'apportent ce modèle d'organisation (Cohendet et al., 2010, p. 33).

Les communautés épistémiques

Tout autre est le fonctionnement des communautés épistémiques. Selon Cohendet et Llerena (2003) nous sommes dans l'univers de la production de nouvelles connaissances destinées à devenir savoir socialement validé. Les agents sont hétérogènes (ils exercent dans des disciplines parfois distinctes et appartiennent à différentes organisations), ils se rapprochent les uns des autres et persistent dans la relation car ils se reconnaissent comme

pairs, ils respectent une autorité procédurale et, surtout, leur activité consiste à codifier la connaissance.

Au cours des années 2000, d'autres types de communautés vont émerger à la faveur du développement d'Internet : communautés virtuelles, communautés d'intérêt, communautés créatives, communautés en ligne, communautés d'utilisateurs. Les firmes recrutent leurs futurs chercheurs et ingénieurs autant pour leur compétence qu'en raison de leur appartenance à une communauté de savoir, l'intérêt résidant dans les liens entretenus avec leur communauté (David et Foray, 2002).

Les communautés créent donc des connaissances selon des modalités qui les distinguent des hiérarchies fonctionnelles (tableau 11). D'où l'intérêt de mettre en évidence leur existence au sein même des firmes usant de mécanismes d'incitation et de contrôle classiques. Une communauté de connaissance se définit comme « un groupe informel caractérisé par les propriétés suivantes :

1) le comportement des membres se caractérise par l'engagement volontaire dans la construction, l'échange et le partage d'un répertoire de ressources cognitives communes ;

2) à travers leur pratique et leurs échanges répétés, les membres d'une communauté donnée construisent progressivement une identité commune ;

3) le ciment de la communauté de savoir est assuré par le respect de normes sociales propres à la communauté » (Cohendet et al., 2008, p. 32).

TABLEAU 11 – TYPOLOGIE DES COMMUNAUTÉS DE CONNAISSANCE

	Objectifs	Agents	Activités cognitives	Règles de recrutement	Mode dominant d'apprentissage	Principes de cohésion	Incitations
Groupe fonctionnel	Réaliser tâches prescrites	homogènes	Spécialisation par métier	Hiérarchique	Apprentissage sur le tas	Standardisation des tâches	Atteindre objectifs prescrits
Communauté de Pratiques	Développer les capacités dans l'activité	homogènes	Articulation des connaissances à partir d'une pratique donnée	Co-optation	Apprentissage intentionnel par connaissance distribuée	Partage de l'intérêt pour la pratique	Améliorer les pratiques
Communauté Epistémique	Produire nouvelles connaissances	hétérogènes	Codifier connaissance et faciliter circulation	Par les pairs	Recherche et codification intentionnelles	Respect de l'autorité procédurale	Reconnaissance par les pairs

Source : Cohendet and Llerena (2003, p. 284).

Des capacités de conception en réseau

On doit ainsi se poser la question de la possibilité d'externalisation d'une partie plus ou moins stratégique des activités de création. Les exemples ne sont pas forcément très nombreux, mais ils existent. Fort souvent c'est parce que l'entreprise ne détient pas les capacités nécessaires qu'elle fait appel à des partenaires. Ce fait est consubstantiel de l'idée d'indus-

trie. Mais la nouveauté provient des contrats qui sont passés. L'industrie des médias et plus particulièrement des jeux vidéo semble innovante de ce point de vue. Des entreprises de taille importante collaborent avec des communautés sans aucun contrat commercial. « Dans le cadre de l'industrie du jeu vidéo, à travers le cas d'Ubisoft, on montre que, pour la plupart de ces entreprises très innovantes, qui n'ont pourtant ni centres de recherche significatifs, ni de contrats majeurs avec des centres de recherche universitaire, le cœur de la production de connaissances nouvelles et de créativité est 'délégué' à des communautés de connaissance (communautés des 'game designers', ou des graphistes, ou des 'sound designers', ou des programmeurs logiciels, etc..). Ce qui est remarquable dans des sociétés de jeux vidéo ou d'autres industries créatives, comparées aux industries traditionnelles, est que les membres d'une communauté donnée, même quand ils sont assignés à un projet spécifique dans l'entreprise, restent connectés en permanence à leur communauté. Ils échangent quotidiennement avec leurs « pairs », situés aussi bien dans l'entreprise qu'à l'extérieur des frontières de l'entreprise, et ce y compris avec des pairs travaillant dans des entreprises concurrentes. De ces échanges incessants et très riches naissent les nouvelles idées créatives, émergent les nouvelles tendances, sont testés les nouveaux styles et l'intérêt des scenarios futurs. En grande partie, ce travail cognitif fondamental pour la création n'est pas contrôlé par les structures formelles de l'entreprise. Les travaux des communautés ne sont pas nécessairement alignés sur les buts de l'entreprise et sur sa stratégie. Ils sont aussi quelque peu déconnectés de la pression quotidienne de production efficace, conçue pour un but spécifique du marché. Les managers de ces sociétés sont parfaitement conscients qu'ils ne peuvent pas directement contrôler ou 'posséder' les travaux créatifs des diverses communautés. Cependant, le travail cognitif des communautés n'est pas indépendant des processus de décision interne des sociétés de jeux vidéo » (Cohendet et Simon, 2007, p. 587-605).

La capacité créative peut ainsi être répartie sur plusieurs partenaires aux profils professionnels très différents.Dans le cas des industries créatives (Cohendet et Simon, 2007), cette capacité distribuée exerce un rôle structurant qui guide particulièrement la définition et le choix des nouveaux projets. Ces décisions créatives ne résultent pas du seul choix de la hiérarchie des firmes, elles résultent aussi essentiellement de la capacité créative portée par les différentes communautés de connaissance. L'enjeu majeur des firmes du secteur étant d'être en mesure de capter le potentiel créatif accumulé et détenu par les communautés de connaissance.

Pour synthétiser ces différentes analyses, il ne peut nous échapper un très fort parallèle entre la dynamique historique des stratégies industrielles et l'essor des technologies numériques. Une convergence se dessine, elle a été pensée par quelques précurseurs dont Rheingold (1987) qui employa en tout premier le terme de« communauté virtuelle ». En 1992 puis en 1993, il décrit les possibilités offertes par la mise en ligne des ordinateurs. Notamment les possibilités de rencontre par choix autour d'intérêts communs. Il « invoquait les idéaux contre-culturels de coopération et la vision cybernétique de l'humain et de l'ordinateur comme des systèmes d'information collaborant entre eux. Ce faisant il expliquait que les membres de sa communauté virtuelle agissaient comme des agents logiciels les uns pour les autres, devenant dès lors des filtres efficaces pour trier les données clés qui nous seront utiles et intéressantes à titre individuel » (Turner, 2012, p. 254). Selon ses termes, dans les sphères désincarnées de la communication avec l'ordinateur, les gens « redécouvraient le pouvoir du capital cognitif en faisant de la coopération un jeu, un mode de vie – une fusion du capital cognitif, du capital social et de la communion » (Rheingold, 1987, p. 79). L'analyse de Rheingold intéressa les dirigeants de Microsoft Network et d'AOL. Mais ces derniers pensaient que ce qui rendait possible l'établissement d'une communauté

en ligne relevait plus de la technologie numérique à l'œuvre que des réseaux interpersonnels hors-ligne ou d'un idéal contre-culturel partagé.

L'activité communautaire est très intéressante à étudier dans le but de définir la perspective qui la porte : agit-elle pour résoudre des problèmes de conception qu'une firme ne parvient pas à résoudre (dans ce cas on dit qu'elle participe à son « slack créatif ») ou bien s'inscrit-elle dans un développement des connaissances qui cherche à se tenir à distance des strictes exigences économiques ?

L'ensemble des sept processus qui viennent d'être décrits (tableau 8) participe à ce qui est désormais appelé conception ouverte. Cette conception est fondamentalement numérique. La question principale du projet consiste à déterminer quelles seront les interactions majeures entre ces différents processus : quelle structure d'interaction dominante entre eux ?

5 INNOVATION INTENSIVE ET PLATEFORMES DE CONCEPTION

L'analyse conduite à propos du passage à la maquette numérique (3.4) puis à propos du Product Lifecycle Management (PLM ; 4.1.4) tendent à nous faire constater l'affinement d'un système économique et technique orienté à la fois vers l'innovation de produit et vers la modularité et la standardisation. Cet affinement n'étonne pas les spécialistes des systèmes techniques qui à la suite de Gilbert Simondon (1958) envisagent le processus de concrétisation des objets techniques pour expliquer cet affinement. « L'objet technique existe donc comme type spécifique obtenu au terme d'une série convergente. Cette série va du mode abstrait au mode concret : elle tend vers un état qui ferait de l'être technique un système entièrement cohérent avec lui-même, entièrement unifié » (Simondon, 1958, p. 23).
L'organisation de la conception sous forme de plateformes numériques se présente ainsi selon nous comme la concrétisation des mouvements de rationalisation que nous avons étudiés jusqu'ici. Nous présentons tout d'abord les différents types de plateforme pour exposer ensuite leurs dimensions techniques et économiques (5.1 à 5.5), nous envisageons pour finir les différentes perspectives du numérique (6.1 à 6.3).

5.1 GÉNÉALOGIE DES PLATEFORMES

Les premières plateformes sont liées au commerce et en particulier au commerce international. Les ports notamment ont souvent été pensés comme de grands points de rassemblement de marchandises. C'est ainsi qu'a émergé la notion de hub au sens de lieu de convergence d'une multitude de destinations au sein d'une région donnée (l'arrière-pays, l'hinterland) ou au-delà (pour les très grands ports) et de pont à partir duquel une grande masse de marchandises était agrégée et acheminée vers un autre port qui réalisait les opérations en sens inverse.

Ce terme de hub signifie en anglais roue. Le terme « hub and spoke » est utilisé pour évoquer l'idée de rayonnement à partir d'un point central. C'est dans ce milieu des transports, puis de la logistique que la notion de plateforme va prendre sa consistance. C'est une zone très structurée de traitement rationnel des flux qui remplit une fonction d'interface entre plusieurs milieux productifs, commerciaux et de transit. Les ports mais également les aéroports puis les centres de fret seront progressivement concernés par ces infrastructures qui se proposent de gérer une complexité de contraintes de circulation des marchandises.

Le domaine scientifique et technique va reprendre à son compte cette notion de plateforme en tant qu'infrastructure de rationalisation des mises en relation. Les plateaux techniques et les plateformes technologiques publiques facilitent les rencontres entre chercheurs publics et projets d'entreprise. Parfois qualifiés d'espaces neutres de mise en relation, ces infrastructures facilitent l'accumulation de moyens techniques lourds (le CERN en Europe, les Synchrotron et plateformes de génomique en France). Elles permettent également de concentrer les activités de recherche et de conception à grande échelle et favorisent les économies d'échelle en matière scientifique et technique.

Les technologies numériques concrétisent ce type d'organisation en ajoutant des possibilités de traitement de l'information en grandes masses pour des utilisateurs équipés de moyens numériques. C'est ainsi le milieu du commerce qui bénéficie le plus de ces technologies numériques en s'organisant en plateformes de e-commerce. Le commerce traditionnel ainsi que le secteur de la grande distribution sont remis en question par la possibilité d'assurer le même fonctionnement de distribution en réseau avec des moyens plus réduits. Cette économie de moyens est permise par les phénomènes de crowdsourcing et de digital labor étudié ci-dessus (4.1.6.2).

Le tableau 12 nous montre cette économie de moyens en établissant la comparaison entre différentes firmes pour des fonctionnalités de même type ou bien assez proches. Si les offres numériques venaient à prendre définitivement l'avantage sur les offres anciennes, les pertes d'emploi seraient effectivement dramatiques.

TABLEAU 12 – COMPARAISON DES FORMES ANCIENNES DE COMMERCE ET DES PLATEFORMES

Firme	Année création	Nbre employés	Market capitalisation (milliards de dollars)
BMW	*1916*	*116.000*	*53*
UBER	2009	7.000	60
MARRIOT	*1927*	*200.000*	*17*
AIRBNB	2008	5.000	21
WALT DISNEY	*1923*	*185.000*	*165*
FACEBOOK	2004	12.691	315
KODAK	*1888*	*145.000*	*30 (heyday)*
INSTAGRAM	2010	13	1 (acquisition)

Source : Parker, G et Van Alstyne, M (2016) Introduction to Welcome to Platform World, Creative Commons: https://www.slideshare.net/InfoEcon/platform-revolution-chap-01-intro-how-platforms-are-changing-commerce

On peut aller encore plus loin dans les capacités offertes par les plateformes, ce qui intéresse plus directement notre objet de recherche. Les plateformes qui mettent en contact plusieurs partenaires, notamment professionnels ou des communautés, sont aussi des systèmes intelligents de collaboration. Certains spécialistes définissent en effet les plateformes comme des espaces dédiés à l'intégration dynamique de bases de connaissances spécialisées, dispersées entre les firmes et générées dans différentes localisations et à différents moments (Purvis et al.,2001). De telles plateformes ont une fonction générique, au sens où elles permettent de construire et de maintenir les liens cognitifs et les connaissances systémiques qui émergent durant les processus d'apprentissage décentralisé et de spécialisation des firmes à travers la constitution d'une base et d'un cadre de connaissances com-

munes. Le développement de telles connaissances communes au niveau de la plateforme peut prendre plusieurs formes :
- Développer des codes et un langage commun ;
- Élaborer des cadres cognitifs communs et des capacités d'interprétation et de compréhension partagées ;
- Dupliquer des connaissances spécialisées afin d'améliorer la capacité d'absorption de la plateforme.

En fait, il s'agit d'élaborer de la connaissance commune pour réduire l'incertitude. Ce qui ne représente pas un comportement social très novateur. Par contre une question reste dans l'ombre : dans quelle mesure les partenaires sont mis en égalité en termes de niveau d'information ? Les bases de connaissances sont-elles accessibles à tous ou bien les prérogatives des marques et licences limitent-elles de fait les accès ?

5.2 L'EXPÉRIENCE DES PLATEFORMES DE RECHERCHE PUBLIQUE

La genèse des plateformes de conception peut être trouvée dans les premiers instruments mis à la disposition des scientifiques. Jesse Beams (1898-1977) est présenté comme l'un de ceux qui ont instauré ce mode de fonctionnement avec la mise en place de l'ultracentrifugeuse moderne (Shinn, 2000). Il existe différents types de plateformes dédiées à la recherche scientifique.

D'une manière générale, ces plateformes sont des dispositifs qui permettent à différentes parties prenantes (publique/publique ou publique/privée) de mutualiser des moyens (humains, financiers, matériels) sur un même site afin de faciliter les activités de production de connaissances, mais aussi d'innovation et de transfert de technologie (Tremeau et al., 2015).

Les instruments qui seront offerts à l'utilisation des scientifiques et qui deviendront progressivement des plateformes possèdent des propriétés caractéristiques que l'on retrouvera plus tard dans les plateformes de conception ouverte.

Nous reprenons en intégralité l'analyse de Terry Shinn (2000) afin de ne pas déformer ses propos : « les ultracentrifugeuses de Beams étaient de façon caractéristique des machines génériques. Le concept de généricité renvoie à trois éléments. Premièrement, les artisans de la recherche technico-instrumentale s'intéressent à la conception des instruments et aux modalités, régularités et lois qui sous-tendent l'instrumentation. Ils se sentent ainsi moins concernés par les lois de la nature qu'ils ne le sont par celles qui gouvernent la conception, la construction et l'exploitation d'appareils de précision. La généricité suppose des pratiques compatibles avec la construction et l'utilisation d'appareils qui incarnent les principes fondamentaux de l'instrumentation.

En second lieu, la généricité renvoie à une conception particulière des instruments : elle consiste à respecter la nécessité de maximiser la variété et le nombre des utilisateurs disposant de technologies locales leur permettant d'incorporer les caractéristiques clés du modèle technico-instrumental proposé. A travers la maîtrise de principes de base relatifs à l'instrumentation, les artisans de la recherche technico-instrumentale inventent des appareils simples, souples qui sont potentiellement adaptables à un éventail d'applications particulières.

Enfin l'idée de « modularité » est centrale dans la généricité. Elle suppose de concevoir les instruments de façon à ce qu'ils puissent aisément être ouverts et désassemblés en fonction d'un besoin. C'est tout le contraire de la notion de boîte noire. L'ultracentrifugeuse de Beams était générique parce qu'elle était une matrice à partir de laquelle il était possible de créer d'innombrables sortes d'ultracentrifugeuses localement taillées sur mesure. Le concept-souche de l'instrument constituait le point de départ à partir duquel les utilisateurs finaux pouvaient refondre leurs propre ultracentrifugeuses en réinsérant les aspects pertinents du concept générique dans les systèmes techniques locaux » (p. 456-457).

Dans le domaine des biotechnologies, les premières entreprises ont été créées au cœur des universités et ont développé leurs activités dans les laboratoires avec les équipes universitaires, pour pouvoir partager des équipements et des compétences (McKelvey, 1996). L'instrumentation est devenue un enjeu stratégique clé pour conduire des expériences originales. Les chercheurs sont ainsi confrontés à des situations où il est crucial d'avoir accès aux « bons équipements », qui ont été regroupés au sein de plates-formes technologiques (Aggeri et al., 2007).

Les observateurs soulignent que le recours à l'instrumentation dans les sciences de la vie s'inscrit dans une évolution historique recourant de manière très lourde à l'équipement, à l'automatisation et aux nouvelles technologies de l'information pour générer, stocker, analyser et représenter de vastes quantités de données (Gaudillière, 2000).

L'accès aux équipements suppose que les laboratoires investissent et développent leurs compétences et leurs savoir-faire. Cette stratégie trouve cependant sa limite dans les évolutions technologiques qui conduisent à une spécialisation accrue, nécessitant des investissements matériels et humains toujours plus importants qui ne sont envisageables que si les volumes traités sont élevés (annexe 3). Il est alors nécessaire de mettre en commun les ressources pour partager les équipements et maintenir un taux d'utilisation suffisant pour justifier les investissements (Aggeri et al., 2007).

Nous retrouvons avec ce concept de généricité une partie des mouvements de rationalisation de la conception industrielle (modularité, standardisation des méthodes et de l'information). Il y a donc convergence. Cette convergence n'est pas démentie avec le mouvement de numérisation des plateformes de conception que nous allons maintenant examiner.

5.3 LA VARIÉTÉ DES PLATEFORMES NUMÉRIQUES

Selon le Conseil National du Numérique (2015, p. 59), une plateforme « est un service occupant une fonction d'intermédiaire dans l'accès aux informations, contenus, services ou bien édités ou fournis par des tiers. Au-delà de sa seule interface technique, elle organise et hiérarchise les contenus en vue de leur présentation et leur mise en relation aux utilisateurs finaux. A cette caractéristique commune s'ajoute parfois une dimension écosystémique caractérisée par des interrelations entre services convergents ».

De manière très synthétique, une plateforme est un ensemble de composants et de services standardisés et complémentaires qui assurent la coordination entre les acheteurs et les vendeurs (Bresnahan et Greenstein, 1999 ; Eisenmann, 2008). C'est un rassemblement de chaînes de valeur qui appartiennent à différentes activités industrielles.

Il existe une variété de plateformes destinées à des usages différents :
- Plateformes pour l'organisation de voyages ;
- Plateformes de rencontres ;
- Plateformes de recherche d'emploi ;
- Plateformes de recherche de logement ;
- Plateformes d'e-commerce ;
- Plateformes de diffusion musicale ;
- Plateformes d'entrepôt de photos.

Les plateformes de conception sont très peu citées dans les inventaires.

Une plateforme s'inscrit dans une logique d'intermédiation entre acteurs économiques, elle nécessite une infrastructure technique (matérielle, logistique, informatique) et son développement se caractérise par des décisions économiques de type systémique.

5.4 ANALYSE ÉCONOMIQUE DES PLATEFORMES

L'analyse économique des instruments techniques s'est développée avec une certaine ignorance des analyses expertes, notamment celles de la sociologie des sciences dont nous avons donné un aperçu avec les analyses historiques de Terry Shinn.

5.4.1 EFFETS PRODUITS PAR UNE PLATEFORME

D'un point de vue économique, une plateforme produit des effets de réseau.Elles développent des effets vis-à-vis de leurs partenaires. Ces effets ne sont pas que des services rendus directement à tel ou tel usager. Par sa position, une plateforme facilite en fait la création et l'extension de réseaux. L'analyse économique définit la complexité des résultats de cette activité de mise en relation au moyen de l'expression « effets de réseau » (Arthur, 1994, Katz et Shapiro, 1985).

Plus précisément, une plateforme est en capacité de produire cinq types d'effet de réseau qui peuvent entrer en complémentarité (Isaac, 2015).

Effets de réseau directs

L'inventeur du réseau Ethernet, Robert Metcalfe a analysé l'usage des réseaux en posant la question des relations entre le bien/service et le réseau qui permet effectivement l'usage de ce bien/service. En fait un réseau est une structure potentielle d'interaction entre usagers. Et ainsi une loi dite de Metclafe a été admise : « L'utilité d'un réseau est proportionnelle au carré du nombre de ses utilisateurs (N^2) ». Les réseaux de communication et de télécommunication sont les premiers concernés par ces effets directs.

Effets de feed-back positifs

Lorsqu'un usager s'informe sur l'état de l'offre de services et choisit d'utiliser une prestation particulière, il s'inscrit dans un effet de feed-back positif. Il existe aujourd'hui une véritable organisation de ce type de feed-back. Traditionnellement l'industrie s'est construite avec un puissant média de prescription (médias publicitaires, revues d'associations de consommateurs, presse spécialisée, …), mais désormais le client est installé au centre du système de réservation des plateformes. Une plateforme dédiée au tourisme comme Booking enre-

gistre quotidiennement 100.000 nouveaux avis de consommateurs. Ce site marchand dispose d'une base d'avis d'utilisateurs avoisinant 46 millions d'avis (Rapport Annuel 2014, Priceline Inc.). Cette activité de prescription de la part de l'utilisateur est volontaire et non rémunérée. La masse d'informations collectées présente une valeur marchande (non estimée à notre connaissance) qui produit ses effets dans le processus de choix du consommateur et qui donc tend à valoriser l'offre de service de la plateforme.

Effets indirects

« Les effets de réseau indirects existent lorsqu'un bien/service à succès génère la création d'une offre de services complémentaires. Cette offre renforce en retour l'attrait du bien/service qui en est à l'origine » (Isaac, 2015, p. 5). Par exemple, en 2001, une augmentation de 1% des sorties en DVD augmentait les ventes de lecteurs DVD de 0,5%, et une augmentation de 1% des ventes de lecteurs DVD augmentait les sorties de DVD de 0,19%.

Les effets de réseau indirects signalent en fait l'existence d'écosystèmes. Un écosystème est défini comme un ensemble d'entreprises en interaction, de leurs offres respectives et des capacités de complémentarité entre elles (Anderson, 1995 ; Blankenburg, 1999). L'information à propos des capacités et offres respectives des partenaires est centrale et fait l'objet d'une véritable économie de l'information (Richardson, 1972). Chaque entreprise, au contact régulier des autres, se spécialise selon une ou plusieurs compétences particulières. Depuis les travaux de Teece (1986), il est admis que la co-spécialisation est nécessaire pour innover et que ce processus relève par définition d'interactions continues.

Effets de réseau croisés

Les plateformes jouent souvent le rôle de mise en contact entre différents types d'agents économiques : acheteurs/vendeurs, développeurs/utilisateurs. Lorsque la plateforme développe son activité en recherchant des effets de volume qui s'entretiennent de part et d'autre, on est en présence d'un marché biface. Un marché biface peut être non transactionnel (cas fréquent pour les UGC : User Generated Content, les utilisateurs produisent eux-même du contenu) ou transactionnel.

Effets de verrouillage

Ces effets ont tendance à préserver et renforcer des effets de réseau déjà installés. Dans une situation verrouillée, un utilisateur peut être durablement freiné dans ses choix en raison du coût engendré par le changement de technologie ou d'habitude. Les coûts de changement (switching costs) sont les coûts que subissent les consommateurs quand ils changent de fournisseur ou de bien ou service. Exemples de coûts de changement pour les biens ou services en réseau : coûts d'apprentissage, coûts de conversion ou de compatibilité, coûts de recherche d'un nouveau fournisseur.

Mais on peut constater une tendance à l'atténuation des coûts de migration d'un système à l'autre. Des techniques d'interopérabilité entre plateformes sont déjà en usage pour faciliter le basculement de groupes de données entre technologies informatiques voisines (technologie dite des containers de Docker).

La saturation des effets de réseaux

Dans de nombreux réseaux de communication, les effets de réseaux sont locaux ("friends and family"). C'est-à-dire que les utilisateurs peuvent, au bout d'un certain temps d'utilisation, se satisfaire de la situation existante et ne pas chercher l'accumulation supplémentaire de valeur.

5.4.2 LES PROCESSUS CONCURRENTIELS ENTRE PLATEFORMES

Les règles économiques de base

Arthur (1994) a mis en évidence les rendements croissants d'adoption. C'est-à-dire que plus le nombre d'utilisateurs d'un système croît plus le dit système gagne en valeur pour d'autres utilisateurs potentiels. C'est souvent le cas pour les infrastructures et systèmes de communication et de télécommunication.

Ainsi une plateforme peut devenir dominante sans pour autant proposer la meilleure qualité ou le plus grand nombre de fonctionnalités. Sera dominante la plateforme qui aura réussi à attirer le plus grand nombre d'utilisateurs, notamment en persuadant quelques utilisateurs clés qui assurent à la plateforme une certaine visibilité.

Plateforme propriétaire vs plateforme ouverte

Economides et Katsamakos (2006) montrent que la plateforme propriétaire prend le dessus sur la plateforme ouverte en termes de part de marché et de rentabilité lorsque la première offre une qualité technique supérieure et des fonctionnalités supplémentaires par rapport à la seconde et lorsque les coûts de changement vers la plateforme ouverte sont élevés. En règle générale, la plateforme qui est intégrée verticalement entre développeurs et utilisateurs prend l'avantage sur les formes plus ouvertes.

Politique de prix

Une grande variété de pratiques de prix existe. Ce qui n'est pas étonnant compte tenu des deux faces d'une plateforme (acheteur – vendeur).

Préférences des utilisateurs de plateforme

Les utilisateurs d'une plateforme demandent de la variété et de l'actualisation (promesse de nouveauté plus ou moins élevée dans le futur, Zhu et Iansiti, 2012). Ceci étant, la préférence utilisateur n'a pas grand sens à être considérée de manière isolée dans une configuration de type plateforme. Le choix des consommateurs est lié à la qualité offerte par la plateforme : variété du nombre d'applications dans le présent et le futur, et nombre de consommateurs déjà utilisateurs des services (Blondel et Edouard, 2015). Face aux utilisateurs se trouvent des développeurs qui intègrent deux critères : la base installée de consommateurs et le montant des coûts fixes relatifs à leur prise en charge.

Les utilisateurs peuvent exprimer peu d'attrait pour la variété et se montrer peu réceptifs aux offres futures de qualité : les utilisateurs sont déclarés « myopes ». Inversement les utilisateurs peuvent se montrer très sensibles à la variété et attendre beaucoup du renouvellement de l'offre des plateformes.

Des situations intermédiaires

Les plateformes mobilisent les clients afin de créer leur valeur. Le client devient une véritable ressource à laquelle il faut avoir accès, mais dont l'accès peut également être protégé au moyen des effets croisés (de ce fait accéder au client devient payant). Les clients produisent constamment de l'information (on dit que ces clients sont calculables et traçables), cette information est également protégée. Enfin différentes formes de participation conduisent à une intégration plus ou moins poussée du client dans la création de valeur : co-conception, crowdsourcing, co-production, co-branding, marketing viral, communauté de clients).

Déroulement de la concurrence

Lorsque les utilisateurs sont « myopes », la plateforme déjà en place peut se maintenir facilement face aux offres concurrentes.Le modèle de Zhu et Iansiti (2012) permet d'envisager trois configurations concurrentielles différentes :

a) Les effets de réseau sont faibles et les utilisateurs sont visionnaires et patients. Une plateforme entrante peut s'imposer ou coexister avec une plateforme qui a dominé jusqu'à présent. Mais si la préférence pour le présent devient forte et si les effets de réseau repartent à la hausse, alors la plateforme déjà installée reprendra son monopole.

b) La préférence pour la variété présente est forte et les effets de réseau indirects sont élevés : la plateforme en place conserve son avantage de premier installé en fidélisant ses utilisateurs fort nombreux.

c) Les utilisateurs sont patients, visionnaires et sont à l'affût des choix des futurs utilisateurs (qualité, variété d'applications futures). Dans ce cas, la plateforme qui s'imposera sera celle qui recevra les meilleures anticipations de la part des utilisateurs. Mais dans ce dernier cas toujours, la plateforme installée peut grandement bénéficier de son éventuelle bonne réputation.

Conséquences

D'une manière certaine une plateforme dominante possède une forte influence au sein d'un système de relations économiques. La technologie développée par la plateforme oriente les actions des firmes partenaires soit en amont, soit en aval. La plateforme structure en fait l'écosystème qui se développe autour d'elle. Elle peut même structurer des écosystèmes alentour qui entretiennent des relations de clientèle, de fourniture ou de complémentarité avec elle. Dans ce type de configuration, les règles d'usage de la plateforme sont structurantes à moyen et parfois long terme. A ce compte, une plateforme peut être qualifiée de bien public orienté par un sponsor (une firme dominante) qui structure les activités d'une multitude d'autres firmes (Koenig, 2012).

La question consiste à savoir quels sont les acteurs qui profitent le mieux, le plus, et sur quelle durée, des effets générés.

Les effets de réseau n'expliquent pas tout et surtout ne déterminent pas tout. Dans de nombreux secteurs (voyages, rencontres, emploi, logement, e-commerce, musique et photo), il existe des plateformes dominantes (non pas une mais toujours plusieurs) auxquelles s'associent tout un tissu économique, plus ou moins vaste, que l'on qualifiera d'écosystémique.

Cinq nuances peuvent ainsi être apportées à une économie hégémonique des plateformes (Isaac, 2015) :
- Les effets de réseau influencent partiellement la concurrence qui tend à s'exercer sur toute une série de dimensions sensibles pour les utilisateurs (prix, autonomie, design) ;
- Les effets de réseau peuvent s'épuiser au-delà d'un seuil critique d'utilisateurs (plusieurs services à effet de réseau peuvent coexister lorsqu'ils ont franchi une certaine masse critique) ;
- L'asymétrie d'information entre consommateurs et producteurs est telle que les atouts et limites des plateformes ne sont pas forcément reconnues par les premiers ;
- Dans la plupart des cas, l'équilibre au sein d'un marché s'établit entre plusieurs plateformes ayant atteint un seuil critique ;
- Les oligopoles structurant le cœur du marché sont entourés d'une frange concurrentielle composée de petites entreprises de niche (atouts des sites spécialisés par rapport aux généralistes, ergonomie délicate des sites à offre très large et profonde).

5.4.3 FONCTIONS D'UNE PLATEFORME

Les plateformes se livrent à deux types d'analyse économique : celle de leurs effets dans le cadre d'un marché et celle de leur fonctionnement technique et social. C'est cette seconde analyse qu'il nous faut maintenant aborder.

L'architecture des plateformes se compose de deux éléments majeurs : l'implémentation (ou mise en oeuvre) et l'interfaçage (Iansiti et Levien, 2004). L'implémentation est une approche « propriétaire » destinée à résoudre des questions d'éloignement technologique entre les ressources qui composent l'écosystème. Les implémentations sont des améliorations assez peu visibles opérées par chacun des partenaires de la plateforme et ceci de manière souterraine, alors que les interfaces de la plateforme représentent la partie visible et incarnée des solutions établies au cours des développements. Les interfaces sont des points d'accès pour les différents partenaires. Une interface définit en fait le fonctionnement possible de la plateforme ainsi que l'utilité des technologies embarquées.

La qualité des interfaces entre composants est importante. Un couplage étroit entre composants implique des dépendances fortes. L'interdépendance entre composants est si forte que s'en extraire devient très coûteux (résilience faible).Alors qu'un couplage plus lâche induit une dépendance plus faible. Dans ce cas, une modification des propriétés de l'un des composants produit peu d'effets sur la composition du composant en contact (la résilience est élevée). Ces constats valent autant pour les dimensions techniques que pour les dimensions de management (Iansiti et Levien).

Tant que les liens sont faibles, tant que les interfaces sont peu contraignantes, les firmes de l'écosystème peuvent supporter des changements d'implémentation (technologie ou management).

TABLEAU 13 – LIEN À LA PLATEFORME ET TYPE DE COUPLAGE ENTRE COMPOSANTS

Force couplage Lien à la plateforme	Faible	Forte
Dépendance à la plateforme	-	+
Résilience	+	-

Source : d'après Iansiti et Levien, 2004.

Les effets de dépendance, de verrouillage et de résilience se propagent en réseau. Il faut imaginer des processus qui mettent en relation des moyens de conception, production et distribution. Ces processus possèdent des centralités (les plateformes) et des fonctionnements courants (interfaces entre deux firmes par exemple). Les plateformes sont de véritables nœuds de réseau : leur utilisation est obligatoire pour bénéficier d'une prestation. Une firme très éloignée d'une plateforme, n'utilisant pas directement ses services, peut être affectée durablement par un aménagement de la technologie et/ou du management de la plateforme. Cet effet peut tout aussi bien entrer dans la catégorie « effet direct » que dans celle d'« effet indirect ».

A partir de cette analyse fondée sur la force des couplages/interfaçages de plateforme, on comprend assez facilement les enjeux attachés à la maîtrise des technologies incorporées aux plateformes.

Selon Iansiti et Levien une plateforme n'existe qu'au travers de son usage. Les plateformes les plus développées sont celles qui sont à l'origine du développement d'écosystèmes larges et variés. Pour cela une plateforme doit créer de nombreuses opportunités pour les membres de l'écosystème, elle doit également être assimilée et acceptée, enfin elle doit pouvoir évoluer en lien avec les technologies embarquées.

Une plateforme remplit quatre types d'utilités pour les firmes qui participent à son activité :
- Fournir des solutions à des problèmes généraux.
- Equilibrer les actions d'implémentation et d'interfaçage.
- Ouvrir de manière sélective la Plateforme afin d'équilibrer effets d'externalités et enjeux de contrôle.
- Structurer et développer l'écosystème.

5.4.4 ANALYSE DES ÉCOSYSTÈMES ET DES PLATEFORMES

Les plateformes prennent tout leur sens économique dans la formation et le développement des écosystèmes d'affaires.

Un écosystème économique est une représentation élaborée par l'observateur ou le chercheur afin d'identifier la coalition hétérogène d'entreprises relevant de secteurs différents et formant une communauté stratégique d'intérêts et de valeur. Ces entreprises sont structurées en réseau autour d'un ou plusieurs leaders qui imposent ou font partager leur conception commerciale ou leur standard technologique.

Un écosystème d'affaires se forme le plus souvent à la suite de la convergence d'une grande variété d'industries qui se restructurent autour des technologies de l'information, de communication et de l'Internet pour atteindre un but commun. Les entreprises de l'écosystème s'affrontent et coopèrent à la fois, d'où le concept de «coopétition» illustrant le caractère paradoxal des interactions.

La notion de « Business Ecosystem » permet de modéliser le jeu interactif entre plusieurs industries (Moore, 1993). L'ouverture de l'architecture des constructeurs informatiques (IBM) aux industries microélectroniques (Intel) et logicielles (Microsoft) afin d'aboutir à des offres conjointes en est l'exemple le plus diffusé. Un exemple plus récent d'écosystème est constitué par la collection de firmes qui, de par leurs relations, tentent d'élargir les

modes de diffusion des « contenus » que sont les produits audiovisuels courts (animations diverses, musique) et longs (films). Peppard et Rylander (2006) qualifient ainsi de « Cottage Industry » le système de relations liant les éditeurs de contenus (Disney, NBC, Sony) officiant comme banque de données, les opérateurs télécoms, les fournisseurs d'accès internet et les usagers. Dans un tel type d'écosystème, les interactions sont forcément très nombreuses et très dynamiques.

A l'occasion du développement de son nouveau modèle – le Dream Liner 787 – Boeing ne réalise que 30% de la production en moyens propres. Le risque du programme industriel repose sur l'écosystème des partenaires et non pas sur Boeing seul.

Pour faciliter ces effets écosystémiques, des moyens techniques sont souvent requis pour les plateformes : il s'agit de permettre aux entreprises complémentaires d'accéder aux données et fonctionnalités d'une offre particulière[16] ou bien de partager la conception de l'offre avec des utilisateurs. Dans ce cas, une boîte à outils ouverte dotés d'outils simples (Von Hippel, Parmentier, 2007) est mise à disposition afin d'éviter les cycles essai-erreur entre l'utilisateur et le producteur, et de traduire directement la conception de l'utilisateur dans le langage du producteur. Les boîtes à outils ouvertes pour l'innovation sont constituées d'outils qui favorisent la création du contenu et la personnalisation de l'offre et d'outils de création d'activités autour de l'offre. Une telle boîte à outils organise les interactions dans la communauté, entre les lead users et autres types d'utilisateurs, entre la communauté et l'entreprise, favorise la production et l'échange d'innovations, l'échange de contenus créatifs, augmente l'utilité du produit innovant pour toutes les catégories d'utilisateurs, et initie ainsi des rendements croissants d'adoption.

Pour comprendre le fonctionnement d'un écosystème, il faut s'efforcer de définir précisément les formes que prennent la coévolution entre membres, le leadership assuré par une ou plusieurs firmes et la vision partagée qui tend à s'imposer :
- La notion de coévolution des membres hétérogènes sous-tend leur interdépendance. Cette interdépendance détermine leur efficience et leur survie ;
- L'existence d'une ou des firmes centrales influence la direction à prendre par le rôle de leadership qu'elles endossent ;
- Une vision partagée et un destin commun se dégagent dans l'écosystème et permettent de bénéficier des externalités engendrées dans l'écosystème.

Dans le cas de la conception ouverte, la définition de ces trois propriétés d'écosystème suppose une analyse empirique des plateformes de conception et des communautés équipées de tous leurs processus (tableau 8).

La question du pouvoir dans les écosystèmes d'affaires est d'autant plus importante qu'elle ne se limite pas à un secteur particulier mais à un grand nombre d'organisations de manière transversale (Moore, 1996). Ces organisations sont complémentaires tout en étant en concurrence pour l'imposition de routines et de normes de fonctionnement : distributeurs, sous-traitants, complémenteurs, prestataires externes, fournisseurs de technologies, universités, administrations.

Iansiti et Levien (2004) définissent les plateformes comme des architectures structurantes des écosystèmes. Ainsi la plateforme et l'écosystème tendent à se confondre.

16 - Avec des API (Application Programing Interface) ou des SDK (Software Developement Kit).

Une, ou un petit nombre, de firmes tend à contrôler les fonctionnalités offertes par la plateforme (rôle de sponsor de la plateforme). Le sponsor offre un ensemble d'outils et de règles du jeu à l'ensemble des membres de l'écosystème (Blondel et Edouard, 2015). Trois défis sont présents dans cette situation :
- Gérer un vaste réseau d'innovateurs en leur offrant la viabilité économique de leur modèle d'affaire ;
- Maintenir la cohésion de l'écosystème fondé sur la plateforme en rendant les partenaires dépendants de la plateforme ;
- Améliorer les capacités de la plateforme, notamment les capacités dynamiques (celles qui assurent la pérennité : capacité d'absorption et d'adaptation).

Les études disponibles en matière de plateforme sont exclusivement centrées sur les plateformes d'e-commerce ou de partage d'information à l'exception des études spécialisées dans les problématiques de plateformes en ligne de développement informatique « open source ». Les études consacrées à la structure des plateformes « open source » sont à considérer dans la mesure où elles donnent une idée des modes de production et d'utilisation de l'information par les firmes qui élaborent une conception innovante. Nous en fournissons un aspect en présentant le marché de la simulation numérique.

5.5 L'OFFRE LOGICIELLE

5.5.1 LES ÉDITEURS : DE LA CAO AU PLM

L'offre de logiciel se divise en plusieurs parties (Ertugrul Arik, 2016) :
- La vente de licences ou d'abonnement ;
- L'intégration du logiciel dans l'environnement du client ;
- Le support et la maintenance.

Le modèle de revenu repose sur des contrats de vente de licences ou d'abonnements. Généralement, il s'agit de licence d'utilisation par utilisateurs qui inclut des correctifs pour un meilleur fonctionnement du logiciel. Les éditeurs de logiciels cherchent à augmenter la valeur-client par l'amélioration et la succession de différentes versions du logiciel et la vente par bundle (par paquet). La mobilisation de ressources humaines se fait en interne ou en externe par la sous-traitance ou l'offshore. Cela passe par le renforcement avec des experts, le partage de la connaissance et les politiques de partenariat ; soit avec d'autres éditeurs de logiciel, soit avec des SSII pour pallier une carence commerciale et technique.

La maximisation des recettes est obtenue par différents moyens complémentaires : le versionning et le bundling, le verrouillage des clients ou bien une couverture géographique et sectorielle la plus large possible.

Les éditeurs de logiciels optimisent les coûts en agissant soit sur la masse salariale avec l'offshore ou alors en imitant les innovations des autres. Ils industrialisent la gestion des codes sources, le partage de connaissances et proposent des formations pointues à leurs ingénieurs. La mutualisation des moyens, la standardisation des offres et l'homogénéisation des outils permettent de maîtriser les marges.

Les leaders mondiaux du marché sont à l'origine installés dans a maquette numérique ou la gestion des systèmes d'information, et désormais déployés dans le PLM :

- Siemens PLM Software, une division de Siemens Industry Automation Division ;
- Dassault Systems ;
- Autodesk ;
- PTC.

Dans des domaines ou secteurs spécifiques, on trouve d'autres acteurs tels que Oracle et SAP, Altair Engineering, ANSYS, CD-adapco et MSC Software. D'autres éditeurs de logiciels spécialisés peuvent être en compétition directe ou indirecte comme Adobe, ARAS, Aveva, Bentley, Intergraph (propriété d'Hexagon), Microsoft, Nemetschek, Onshape, Salesforce.com, ainsi que les éditeurs de logiciels servant d'autres secteurs.

TABLEAU 14 – LES TROIS LEADERS DE L'OFFRE PLM

	R&D (2012)	Intensité R&D	Ventes (millions, 2012)	Croissance ventes (sur 3 ans)	Employés (2012)	Croissance employés (sur 3 ans)
Dassault Systèmes	368,1	18,1	2028,3	17,5%	10122	8,9%
Parametric Technology Corp	162,9	17,1	951,7	10,2%	5897	4,5%
Siemens PLM Software	Non disponible					

Source : World - 2000 companies ranked by R&D.

5.5.2 LE MARCHÉ DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE

Une activité complémentaire à plus large spectre est disponible sur le marché, c'est la simulation numérique basée sur les mathématiques.

Le secteur du calcul scientifique regroupe l'ensemble des logiciels spécifiques permettant de réaliser des calculs mathématiques et des simulations notamment pour l'industrie. Deux types de logiciel sont offerts : les logiciels de calcul symbolique (mathématiques fondamentales) et les logiciels de calcul numérique (mathématiques appliquées et simulations). Le marché mondial du calcul scientifique était en 2008 de 560 millions de dollars (logiciels et services). MathWorks (éditeur de Matlab) en réalisant 63 %, mais réalisant près de 100 % dans le calcul numérique. MathWorks a réalisé 800 millions de dollars de chiffre d'affaires en 2015, dont plus de la moitié hors des Etats-Unis.

En France, trois plateformes se partagent le marché du calcul numérique : Octave et Scilab pour le logiciel libre et Matlab pour le logiciel propriétaire.

MathWorks développe Matlab et Simulink à partir d'une plateforme propriétaire qui a été définie sur la base d'un modèle d'affaires classique de type facturation de licences (tarification différenciée « étudiants et institutions de formation », « industrie »). Chez MathWorks des centaines d'informaticiens assurent les mises au point et la communauté des utilisateurs (3500 collaborateurs dont 30% hors des Etats-Unis) génère ponctuellement des propositions de mise au point. Les prestations complémentaires sont très réduites pour le logiciel Matlab. On peut parler d'intégration quasi-totale du processus d'innovation. Les effets indirects au sein de l'écosystème sont donc plutôt faibles.

TABLEAU 15 – LES ORGANISATIONS DU MARCHÉ DU CALCUL NUMÉRIQUE

	Matlab	Scilab	Octave
Date création	1983	1994	1988
Sponsor	MathWorks	INRIA (ENPC jusqu'en 2007)	Communauté de contributeurs-Financiers anonymes
Statut	SA non côtée	Consortium jusqu'en 2011 puis SAS	Aucun (communauté de chercheurs)
Droits propriété	Propriétaire	Semi libre puis libre (licence CeCILL)	Libre (licence GNU-GPL)

Source : Blondel et Edouard (2015).

SCILAB a été créé en 1994 par des chercheurs de l'INRIA (spin-off) et de l'ENPC en open source (calcul numérique distribué par Internet). Scilab intègre en 2008 la communauté ouverte sous licence CeCILL compatible GPL. 22 personnes dont 18 développeurs s'occupent de la mise au point, maintenance et promotion, ce qui permet 100.000 téléchargements en 2014. Les clients en sont des lycées, des universités et écoles ingénieurs, des industriels.
Scilab est un logiciel libre professionnel avec droit de licence et payant pour les versions personnalisées. En 2003 est créé le consortium Scilab (13 membres fondateurs puis 24 en 2008), en 2008 est réalisée l'intégration au réseau de recherche Digiteo. Chaque membre (industriel et public) paie une cotisation et a un droit de regard sur l'évolution des fonctionnalités du logiciel. En 2010 est créé Scilab Entreprises (SA capital de 148K euros) avec quatre actionnaires fondateurs dont Denis Ranque (président du CA Airbus), 10 actionnaires salariés se sont ajoutés. En 2012 une fin est mise au consortium. Le consortium Scilab continue d'exister malgré sa dissolution. Il fédère et mobilise les acteurs scientifiques et 18 industriels et les utilisateurs professionnels.

Nous avons affaire à une communauté scientifique (INRIA) qui s'est adressée au monde industriel, le réseau constitué à ce jour définit les besoins et exigences des professionnels pour le logiciel. La communauté est élargie aux utilisateurs au-delà des industriels officiels. L'adhésion est libre, les tests de versions, commentaires publics et système d'échange de fichiers sont organisés (ATOMS) et permettent de proposer des fonctionnalités sans validation interne. L'objectif est de hisser la contribution des développeurs externes à la logithèque ScilabX-cos à hauteur de 90%. Scilab est impliqué dans Sytematic (Dassault) et dans Teratec (CEA) : donc un fonctionnement écosystémique associant du communautaire, du réseau institutionnel et des systèmes d'affaire.

6 PERSPECTIVES DU NUMÉRIQUE

6.1 RECENSEMENT DES PLATEFORMES NUMÉRIQUES

Sur la base de ces analyses économiques et techniques, nous avons sélectionné un échantillon significatif de plateformes en activité. L'appellation de plateforme peut parfois induire en erreur. Il ne s'agit pas systématiquement de plateformes physiques. Souvent la plateforme désigne une organisation de la gestion de l'information sous forme de PLM soutenu par un ou plusieurs logiciels. Ainsi on peut parler de plateforme numérique.
Nous avons identifié plusieurs types de plateforme (tableau 16).

6.1.1 DES PLATEFORMES AVEC PLUSIEURS PIVOTS

Airbus comme beaucoup d'autres firmes de l'aéronautique fait appel à un très grand nombre d'équipementiers et de prestataires. La gestion des relations (commandes, livraisons, …) nécessite la régulation de systèmes d'information considérables. La société utilise les offres de PLM de plusieurs sociétés dont les solutions logicielles de Dassault Systèmes. Toutefois des questions surgissent toujours aux interfaces avec les systèmes d'information des partenaires. Le traitement de cette question est pris en charge depuis quelques années par une plateforme nommée BoostAeroSpace.

Sur le plan juridique et financier, il s'agit d'une joint-venture créé en 2011, Airbus Group, Airbus, Dassault Aviation, Thalès et Safran en détiennent chacun 20%. Sa présidence change tous les ans afin d'alterner entre les cinq actionnaires. Les fondateurs de BoostAeroSpace ont investi 11 millions d'euros pour développer la plateforme. Depuis, 2 à 3 millions d'euros sont réinjectés chaque année (source Usine Nouvelle, 07/07/2016). La société emploie cinq personnes et a réalisé 3,5 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2015.

L'objectif est comparable à celui poursuivi par Boeing il y a une dizaine d'années. Boeing avait lancé une plateforme numérique nommée Exostar. Celle-ci a rencontré un écueil : une faible utilisation au-delà du cercle de ses fondateurs. BoostAeroSpace a au contraire choisi un système de développement en cascade. Les fournisseurs de rang 1, comme Liebherr, Daher, Zodiac et MBDA, ont rejoint la plateforme en 2012-2013. BoostAeroSpace est destiné à standardiser les échanges entre les acteurs de la filière. Pour cela elle tente de regrouper les demandes d'amélioration des utilisateurs, puis les transmet aux opérateurs des différents services (AirSupply, AirCollab, AirDesign). Tous les ans, des réunions sont organisées pour définir les nouvelles fonctionnalités de la plateforme.

AirDesign est opéré par Dassault Systèmes, pour mettre en commun les maquettes, les modèles 3 D et les configurations des produits.

AirCollab est opéré par Thalès, pour partager des documents et organiser des réunions. AirSupply est géré par l'allemand SupplyOn pour le suivi des commandes et des livraisons. Le tout est accessible sur le cloud.

On retrouve ici le mouvement de standardisation décrit au sein de l'industrie automobile. Le volume des tâches traitées semblerait justifier une convergence sous contrôle des modalités de conception.

« BoostAeroSpace facilite la connexion des fournisseurs et des sous-traitants à leurs clients, dans la mesure où il met à leur disposition un portail unique », explique Laurent Martin-Rohmer, le responsable d'AirSupply (source Usine Nouvelle, 07/07/2016). Se familiariser avec cinq ou six systèmes différents représentait un coût important et une perte de temps pour les sous-traitants. Latécoère estime y consacrer 10 % de coûts d'ingénierie supplémentaires. S'accorder sur des modes de travail standard permet aux acteurs de la filière aéronautique de se focaliser sur des opérations à plus forte valeur ajoutée.

AirDesign en est à ses débuts de déploiement, AirCollab et AirSupply sont plus avancés. Quelque 1.000 sociétés utilisent AirCollab. Plus de 2.000 relations clients-fournisseurs

sont enregistrées sur AirSupply. Le responsable de la structure juge que son utilisation procure en moyenne un gain de temps de 10 % pour les activités administratives. Clients et fournisseurs peuvent ainsi se mettre d'accord en amont sur les commandes. « Les bénéfices d'AirSupply sont spécifiques à chaque client : gains en réactivité dans la collaboration sur les quantités et délais de livraison, réduction des ruptures d'approvisionnement, diminution des stocks et des encours, gain d'image… », précise-t-il (source Usine Nouvelle, 07/07/2016).

Mais AirSupply n'est pas une « marketplace ». Selon la même source : « le but n'est pas de venir chercher des contrats. La plateforme ne fait que reproduire les relations déjà existantes entre clients et fournisseurs ». Elle accueille aussi des fournisseurs non européens et compte en intégrer de plus en plus.

Cette plateforme représente un véritable système de gouvernance des relations avec les tiers. Elle accompagne sans doute un mouvement de pression sur les partenaires, en particulier sur les sous-traitants.

Par exemple, AirSupply propose des services comme les OTD (on time delivery) collaboratifs. L'OTD est un indicateur calculé par les donneurs d'ordres pour mesurer la performance d'un fournisseur selon le nombre de commandes livrées à l'heure. Tous les sous-traitants ont reçu au moins une fois un mauvais OTD, pour de multiples raisons : changement du design d'une pièce à la dernière minute, machine qui tombe en panne. Le problème, c'est qu'il existe généralement un écart entre la note donnée par le donneur d'ordres et la perception du fournisseur. Sur AirSupply, un fournisseur peut dire s'il est d'accord ou non avec l'OTD émis par son client. « S'il n'est pas d'accord, il peut déclencher un cycle de collaboration qui permettra de s'accorder sur les causes d'écart à la date de livraison attendue par le client », explique Marie-Noëlle Lepers, la responsable d'AirSupply chez BoostAeroSpace (source Usine Nouvelle, 07/07/2016). Cette fonction a été utilisée pour la première fois par Airbus Helicopters avec ses principaux fournisseurs. « Auparavant, les OTD donnaient lieu à des discussions sans fin, jusqu'à quatre mois après la réalisation de la commande, se souvient Paul Brines, le responsable du déploiement d'AirSupply chez Airbus Helicopters. Le service collaboration sur la plateforme nous a fait gagner du temps, et cela permet à nos fournisseurs de s'exprimer plus facilement s'il y a un problème. » Selon lui, elle a contribué à augmenter la performance des fournisseurs de 5 % (source Usine Nouvelle, 07/07/2016).

La gestion des demandes de dérogation sur la qualité est en cours de développement sur AirSupply. Lorsqu'un fournisseur fabrique une pièce comportant un défaut mineur, comme une rayure, il peut demander à son client une dérogation aux normes qualité. Ce processus prend du temps, car la demande passe par plusieurs départements côté client et côté fournisseur. Lorsqu'elle est automatisée sur la plateforme, les deux parties peuvent accéder aux photos de la pièce et aux autres documents permettant d'attester si celle-ci peut déroger à la norme ou non.

En plus d'être un outil de travail, BoostAeroSpace a permis aux acteurs de l'aéronautique de réfléchir ensemble à des solutions pour améliorer la fiabilité de leur chaîne logistique. Depuis 2012, ils se réunissent tous les ans pour partager des bonnes pratiques. Airbus, Thalès, Safran et leurs fournisseurs parlent presque d'égal à égal. Les grands acteurs sont ainsi confrontés à la réalité de leurs fournisseurs.

TABLEAU 16 - PLATEFORMES DE CONCEPTION OUVERTE LES PLUS REPRÉSENTATIVES

Plateformes	Firme(s) pivot	Ecosystème
Boost Aerospace	plateforme numérique aéronautique européenne, créé en 2009 par Airbus, Dassault Aviation, Safran et Thalès.	22 acteurs industriels, 1500 partenaires industriels, 11.000 utilisateurs individuels
Excelcar	PSA (40 ingénieurs et cadres de conception)	syndicat professionnel de la métallurgie UIMM 35-56 - pôle de compétitivité ID4CAR - Faurecia, Cooper, Coriolis Composites - Universités de Bretagne Sud et de Bretagne Occidentale
Soleil (synchrotron)	CEA – CNRS Plusieurs stations expérimentales dont Cosmetomics	Cosmetic Valley, Optics Valley, PME, Université Cergy Pontoise Au total : 3000 chercheurs / an
Plateforme chimique Rhône Alpes	4900 personnes Plusieurs plateformes, Osiris ou pas de gestionnaire tiers	Chimie de transformation
Plateforme chimique Le Havre	5739 personnes Pas de gestionnaire tiers	Chimie de transformation
Plateforme chimique Fos-Berre-Lavera	3280 personnes Mutualisation autour de Lyondell et Ineos. Pas de gestionnaire tiers.	Chimie de transformation

Source : Paraponaris (2017).

6.1.2 DES PLATEFORMES AVEC UN SEUL PIVOT

Ce type de plateforme est organisé autour d'une firme importante qui entretient une marque reconnue et s'en sert pour asseoir son autorité. Ce type de firme maîtrise la conception du produit et pilote ses relations avec les fournisseurs à l'aide des outils de la gestion de projet (cahier des charges, planning des réalisations, jalons, revues de projet) et du contrôle qualité. Les limites de son développement technologique tiennent dans sa capacité d'innovation. La complexité du produit et une certaine lourdeur des structures de lancement des projets d'innovation rendent généralement ces firmes moins innovantes que des structures beaucoup plus légères. C'est ainsi que les PLM permettent d'objectiver une relation de dépendance entre des start up et PMI et les grands donneurs d'ordre. Ces derniers absorbant finalement les fruits des innovations développées par de petites structures industrielles. De par les objectifs poursuivis en termes de standardisation de l'information, les PLM incitent fortement les différents partenaires à utiliser des formats identiques en termes de traitement de l'information. Etant donné que ces formats font l'objet d'une négociation entre partenaires, on comprend que ceux qui détiennent le plus de pouvoir en termes d'organisation et en termes financiers finissent pas imposer leurs propres standards.

Le projet Excelcar peut en fournir un exemple. Excelcar a été lancé en avril 2015. C'est une plateforme destinée à devenir une ligne pilote pour la mise en œuvre de matériaux com-

posites dans l'automobile, avec de la dépose robotisée et à haute cadence de fibres sur un support. Cette ligne, qui a fait appel aux savoir-faire de plusieurs partenaires, devrait permettre à PSA de réduire le poids de ses véhicules tout en améliorant la fabricabilité et la qualité perçue des carrosseries (source L'Usine Nouvelle, 30/04/2015).

Le projet ne sera pas réservé à un usage interne. PSA veut créer autour de son site un pôle d'excellence en carrosserie. Le constructeur a convaincu plusieurs partenaires industriels, dont Faurecia et Cooper Standard, de le rejoindre. Il a aussi reçu le soutien des collectivités territoriales. Une association loi 1901 a été créée pour gérer le financement et les prêts de personnel. Les objectifs consistent à développer des projets collaboratifs en R&D et industrialisation, ouvrir la voie à des cycles de formation et assurer une montée en compétences des PME de la région. Les collectivités territoriales sont sollicitées pour les investissements nécessaires à ce nouveau modèle. Il est évoqué un projet de subventions compris entre 10 et 20 millions d'euros.

On retrouve dans ce programme industriel, le même mouvement de standardisation des composants et sous-ensembles (côté produits) et des activités de conception. Selon l'un des responsables du site : « ce projet s'inscrit dans notre plan innovation process. Avant, nous concevions un véhicule et le procédé de fabrication en découlait. Aujourd'hui, nous disposons de briques technologiques dont nous sommes sûrs qu'elles atteindront le niveau de performance souhaité. Nous voulons que les procédés ne soient plus une simple conséquence du produit, mais au contraire que ce soient eux qui mènent l'amélioration de la performance ».

Autrement dit, et en suivant les pratiques que Toyota a installé dans l'industrie automobile, la conception de l'objet ne relève plus de l'univers de la créativité de quelques spécialistes du produit. C'est à partir des règles de conception, qui ont fait la preuve de leur robustesse, que l'on doit envisager la création de nouveaux objets. Cette robustesse va permettre de maîtriser les délais de conception et de développement. Par contre, le défi de la générativité de ces règles sera chaque fois à relever. Pour rappel la générativitéest la capacité des techniques à produire des propositions conceptuellesqui se distinguent des solutions existantes et des standards du domaine considéré, alors que la robustesse est la capacité à produire des propositions conceptuellesqui résistent aux variations de contexte.

Il faut replacer cette plateforme Excelcar dans la politique industrielle du groupe PSA. Le directoire de PSA a défini une politique de plateformes dès les années 90. C'est au moins 75% des automobiles Peugeot et Citroën qui relèvent de trois plateformes (deux véhicules sont réputés relever d'une même plateforme lorsqu'ils partagent au moins 60% de leur coût de revient). Les plateformes consistent à mettre en commun les différents composants des véhicules. En 2012 PSA et General Motors ont conclu un accord de partage de plateformes. En 2013, le Président du Directoire, Carlos Tavares, a défini une dizaine d'objectifs stratégiques dont l'amplification de l'utilisation des plateformes à travers le monde.

40 ingénieurs et cadres sont employés pour faire fonctionner Excelcar, une quinzaine d'entre eux sont issus de PSA Peugeot Citroën. « Nous fonctionnons comme une cantine numérique, indique un responsable,chaque entreprise, laboratoire, apporte son savoir-faire, ses innovations. Notre objectif consiste à développer des véritables pépites industrielles » (document interne PSA).

La plateforme Excelcar s'inscrit dans la réindustrialisation du site de PSA à Rennes qui a perdu plus de 1.400 emplois au cours des derniers mois. 3 000 personnes travaillent en-

core sur ce site de montage de véhicules qui table sur un nouveau modèle en 2017 (source L'Usine Nouvelle, 30/04/2015).

Ce site développe trois ensembles d'activité : des projets d'innovation, des prestations d'expertise, des formations. Ces activités sont soutenues par plusieurs moyens techniques et intellectuels : une plateforme numérique de conception (3DMat), une ligne d'assemblage expérimentale, un espace de coworking, des formations et journées d'étude.

3DMAt est une plateforme d'ingénierie numérique reliant les utilisateurs de code (dont les grandes entreprises industrielles), les éditeurs de logiciel et les laboratoires techniques. L'objectif est de développer les compétences de ces acteurs ainsi que d'autres au sein de la région. Il s'agit donc de la régulation d'un écosystème dans lequel PSA est pivot. La firme met à disposition des équipements et favorise les rapprochements et en retire différents apports techniques (compétence en codage) ainsi qu'en créativité avec les propositions de différentes PMI.

6.1.3 DES PLATEFORMES PUBLIQUES POUR DES EXPÉRIENCES INDUSTRIELLES

Un troisième type de plateforme doit être présenté même s'il n'est pas des plus nouveaux. Il s'agit des plateformes de recherche de grande envergure fort souvent initiées par des pouvoirs publics pour développer la recherche scientifique. Certaines fonctionnalités de ces grands équipements, de par leur propriété de généricité (cf. 5.2), permettent de réaliser toutes sortes de simulations et de tests de technologie pour des entreprises industrielles.

C'est le cas du synchrotron développé par les chercheurs de la physique des hautes énergies dans les années 1940-1950. Le synchrotron est un accélérateur de particules produisant un faisceau de rayons X très puissant, stable et fin. Ce faisceau tourne à grande vitesse dans un anneau et est ensuite orienté vers des laboratoires, appelés « lignes de lumière », généralement trente ou quarante, qui sont répartis tout autour de l'anneau (Simoulin, 2012).

La France compte deux installations de ce type (SOLEIL à Saclay et Grenoble). A titre d'exemples des entreprises telles que L'Oréal utilisent des lignes de lumière avec l'aide de gros logiciels afin de tester des molécules. Dans le domaine de la chimie médicinale et de la pharmacie, Servier est intéressé par la nature de l'interactionentre la molécule et sa cible. Les données structurales apportées par les expériences de diffraction des rayons X permettent de guider les chimistes qui conçoivent ces molécules, de façon presque « visuelle ».

Des recherches sont également envisagées à la fois en amont et en aval dans le processus d'obtention de nouvelles molécules, notamment pour caractériser les formes cristallines desproduits purs, sous forme de poudres, grâce à des techniques comme le SAXS.

Snecma Propulsion Solide (SPS) utilise l'infrastructure pour l'aide à la conception de ses moteurs à propergol solide et des matériaux composites pour la défense, l'aérospatial et l'industrie. SPS a eu une première approche concrète du potentiel analytique de SOLEIL dans le cadre d'une expérience réalisée au cours de l'été 2010. Pour les ingénieurs de SPS, SOLEIL propose de nouveaux moyens de caractérisation de matériaux et permet d'accéder à des informations à une échelle plus fine que celle obtenue avec des équipements de laboratoire traditionnels. La réalisation d'essais complémentaires avec les équipements et le personnel de SOLEIL devrait permettre à SPS de préciser l'intérêt des techniques

Synchrotron pour ses problématiques industrielles actuelles et pour ses projets d'avenir (source : Synchrotron).

6.1.4 AUTRES PLATEFORMES

Le terme de plateforme est également attribué à de grandes structures qui ne sont pas forcément mutualisées, mais qui, du fait de la proximité de leurs activités et parfois de leur proximité géographique, entretiennent des liens évidents en termes d'évolution technologique.
C'est le cas des plateformes chimiques et pétrochimiques. Cela peut également être le cas pour des projets volontaristes de développement régional. Un opérateur universitaire fait fonction de pivot au sein d'un écosystème de PME et PMI qui tentent de mutualiser certains éléments de technologie.

6.2 UNE COMPLEXITÉ DE PERSPECTIVES

6.2.1 LES PERSPECTIVES TRACÉES PAR LES RAPPORTS OFFICIELS

Comme nous le soulignions au début de ce rapport, les effets de l'automatisation sur l'emploi peuvent beaucoup varier selon les secteurs d'activité et le contexte économique. Il semble hasardeux pour l'instant de s'exercer à une synthèse tant les écarts de prospective sont importants.

Les quelques études récentes (cabinet Roland Berger, 2014, Frey et Osborne, 2013, Bowles, 2014) présentent des perspectives plutôt alarmantes en termes d'effet net sur l'emploi industriel et de service. L'étude de Bowles estime que la moitié des emplois européens est soumise à un risque d'automatisation.

Mais, à l'inverse, d'autres études tentent de mettre en lumière les créations d'emplois liés à la robotisation. L'International Federation of Robotics (IFR) annonce 450.000 à 800.000 nouveaux emplois créés dans le monde entre 2017 et 2020. Ces emplois seraient directement liés à la robotique. Les emplois indirects qui seraient générés permettraient d'atteindre les 2 millions d'emploi essentiellement dans l'industrie agroalimentaire, les énergies renouvelables, l'automobile et l'électronique. Pour autant, une étude prospective réalisée aux Etats-Unis en 2014 auprès de 2000 experts ne parvient pas à départager les analyses à propos de la création d'emplois (Pew Research Center, 2014).

En complément, les attitudes des citoyens sont clairement dichotomiques en fonction de leur position : convaincus de l'utilité des robots pour les tâches pénibles ou dangereuses, ils sont enclins à penser que les effets économiques seront très négatifs en termes d'emploi.

Le taux de robotisation est de 282 robots pour 10.000 salariés en Allemagne et de 125 en France (International Federation of Robotics). Une comparaison macroéconomique fait remarquer une relation positive entre robotisation et croissance de la valeur ajoutée dans l'industrie. D'où l'intuition que la robotisation, via l'abaissement des charges, pourrait influencer la localisation des industries naissantes dans les pays à haut revenu, contrecarrant ainsi les mouvements de délocalisation notamment pour la mécanique, l'automobile et l'électronique, mais plus difficilement pour le textile et la chaussure qui sont estimées plus difficilement robotisables selon l'International Federation of Robotics.

Cette perspective questionne la définition et la comptabilité de l'emploi industriel. S'agit-il de l'emploi au sein du secteur industriel ou plus largement de l'emploi total en lien avec les activités industrielles ? Par exemple tous les services à l'industrie (ingénierie, conseil, conception et intégration de robots, bureaux d'études, …). Face à la question, l'INSEE s'est livré à la définition d'une « sphère productive » qui représenterait un tiers de l'emploi total en 2011. Selon cette approche, l'emploi industriel serait réduit à seulement 11,5%. Au sein de cette sphère productive, les emplois de production abstraite prennent le pas sur la production concrète (source : Insee, 2015).

En trente ans, les fonctions exercées au sein de l'économie productive ont radicalement changé de nature. Pour les fonctions de production concrète (qui correspondent aux emplois de fabrication industrielle et production agricole notamment, peu qualifiés en général), les effectifs ont été divisés par deux. En 2011, leur part au sein de la sphère productive n'est que de 30 %, contre 56 % en 1982. De ce fait, les zones d'emploi où les effectifs de la sphère productive baissent fortement le doivent très largement à l'effondrement des fonctions de production concrète : - 72 % à Longwy et Lunéville, - 65 % à Maubeuge (Insee, 2015).

À l'inverse, au sein de la sphère productive, l'effectif des fonctions de production abstraite (conception-recherche, prestations intellectuelles, production culturelle) et des fonctions de gestion et d'intermédiation (commerce interentreprises) est en très forte progression de l'ordre de + 47 % (Insee, 2015). Ces fonctions sont sur le point de devenir majoritaires au sein des activités productives, une partie d'entre elles ayant été externalisées au sein d'entreprises de services, qui constituent la composante tertiaire de la sphère productive. Ces fonctions, à forte valeur ajoutée, font appel à une main-d'œuvre beaucoup plus qualifiée que celles de production concrète. Leur développement traduit la mutation, sur le territoire français, de la sphère productive vers l'économie de la connaissance, de l'information et de la production immatérielle. Bien insérées dans l'économie mondialisée, elles sont très concentrées au sein du territoire national. Elles se localisent en priorité dans l'agglomération parisienne et dans les métropoles régionales, ce pourquoi on les qualifie en général de fonctions métropolitaines. Toutes les zones d'emploi où la sphère productive progresse le doivent au développement de ces fonctions.

Le déroulement de l'activité de travail s'est constitué depuis les débuts de la grande industrie sur une relation dialogique humain-machine. La machine est conçue comme un complément de l'activité humaine pour les dimensions routinières, risquées ou ultra-précises en univers confiné. La cobotique est le néologisme qui se propose de rendre compte des activités qui font collaborer l'humain et le robot. Le robot prend en charge la répétitivité et la précision des tâches, l'humain apportant des régulations intelligentes. Les systèmes cyber-physiques permettent d'assurer la coordination, la surveillance et la commande des équipements productifs (Kohler et Weisz, 2016).

Dans cette perspective, il faut prendre garde au fait que les robots ne remplacent pas des métiers mais des tâches. Il faut cependant nuancer cet énoncé qui est en fait complexe. L'argument technologique est en quelque sorte mêlé avec l'argument économique. Si cet énoncé est au premier abord logique, il n'en demeure pas moins que ce sont les stratégies économiques et en particulier financières qui régulent désormais les activités industrielles. Dans ce cadre, le robot remplace l'humain dans la réalisation des tâches et réduit dans le même temps les charges. Rien ne permet d'affirmer que le temps libéré pour l'humain sera, dans le cas d'entreprises industrielles ou de service, investi en priorité dans une économie de la qualité et du développement durable. Tout d'abord il s'agirait

d'assurer une transition en finançant des plans de formation exigeants, d'autre part il deviendrait nécessaire d'élargir le système de décision des firmes (participation citoyenne à la définition de la qualité).

6.2.2 LE MODÈLE NORD-AMÉRICAIN DES GAFA

Les développements de l'intelligence artificielle provoquent beaucoup d'émois en mobilisant les imaginaires sur le plan de la technologie et moins sur le plan de l'organisation. Les GAFA (Google, Amazon, Facebook et Apple) qu'il faudrait compléter d'IBM et Microsoft sans doute, sont régulièrement présentés comme les avant-gardes du développement de l'intelligence artificielle au service du commerce à l'échelle planétaire. Les capacités mises en avant sont le recueil et le traitement en très grandes masses de l'information ainsi que la rapidité jamais égalée de prise de décision automatique ou en tout cas très rapide. L'Intelligence Artificielleest un terme créé en 1956 à la conférence de Dartmouth. Il désigne le fait pour une machine de réaliser des processus de raisonnement habituellement réalisés par des êtres humains. Le champ de l'Intelligence Artificielle est très large et couvre différentes disciplines telles que la compréhension, le calcul, le raisonnement, l'apprentissage, la perception et le dialogue en langage naturel.

L'une des dernières propositions est réalisée par IBM avec Watson. Cette plateforme cognitive est une combinaison d'intelligence artificielle qui permet de gérer des interactions entre une application et un utilisateur via le langage naturel en utilisant des extractions d'entités nommées, de la reconnaissance vocale et de l'annotation de texte.

Les potentialités sont très importantes et encore en partie inexplorées. Mais on oublie régulièrement une étape qui est l'amorce de ces vastes plateformes de traitement de données. Quelques observateurs le remarquent toutefois : « Watson nécessite donc un important travail préparatoire : celui de la structuration et de l'organisation des données en amont. Pour que l'émulsion prenne, un ensemble de questions est donc prédéfini. Elles sont ensuite classées et soumises au système Watson pour que celui-ci s'entraine à « comprendre » ces thèmes particuliers … Autant la technologie reste compréhensible, autant l'entrainement du système demeure un processus complexe. La création de l'ontologie est la clé de la réussite du projet », constate Barbara Rochet (document IBM). D'où l'idée de bien connaître le métier du client, et d'en connaître la dialectique, le champ sémantique et l'ensemble du vocabulaire qui s'y rapporte. Sopra Steria explique d'ailleurs avoir recruté des profils adaptés dans certains métiers, comme la défense, l'aéronautique ou la banque … Par ricochet, un projet Watson suit un cycle différent des traditionnels projets informatiques de grande ampleur (document entreprise). Cela se voit notamment dans la répartition des coûts. « On constate que, dans un projet Watson, les coûts de développement baissent au profit d'une augmentation assez forte des coûts liés aux spécifications, à la création de corpus, des questions types et de leur classification », résume Pierre Laurent.Nous avons à peu près le même ratio entre le développement, la constitution des données et le test – qui est aussi un élément important lorsqu'on parle de langage naturel. « » Généralement, il est une convention dans le calcul d'un forfait d'un projet informatique : pour 1 jour de développement, on compte 2,5 jours de pilotage, conception et tests. Pour Watson, la partie accompagnement et données – celle en amont donc - est bien plus importante » (source : MagIT, décembre 2016).

Dans ces développements artificiels, on oublie régulièrement que des opérateurs très peu qualifiés interviennent pour tester, alimenter en données, et animer les pages d'accueil des GAFA.

Un exemple avec Mechanical Turk développé par Amazon. C'est une plateforme (présentée comme market place) de micro-travail distribué à l'échelle planétaire. Le principe est celui de la parcellisation des tâches (Casilli, 2015). Les tâches sont définies par Amazon sous forme de hits (human intelligence tasks). Ce sont des tâches de type écrire des commentaires, cliquer, regarder des photos ou des vidéos, créer des playlists à partir d'un ensemble de morceaux de musique. Ces tâches sont rémunérées à la pièce de l'ordre de quelques centimes. La frontière avec l'activité de loisir est parfois mince. Ces tâches sont très standardisées et simplifiées à l'extrême.

Mises bout à bout et donc recomposées avec des algorithmes elles deviennent des services spécifiques : bases de données structurées, corpus de contenus. Ces services ne peuvent pas être pris en charge par des intelligences artificielles.

Une entreprise peut s'adresser à ce système d'Amazon afin de commander le travail de centaines de milliers de personnes. Antonio Casilli qui a étudié en détail ces organisations digitales, combinaison de technologie numériques puissantes et de travailleurs manuels très peu qualifiés, conclut que le digital labor doit inciter à « ne plus considérer la production de valeur comme un acte volontaire et spécialisé, comme c'était le cas pour les publications d'images, de billets de blogs ou pour les travaux de documentation » (Casilli, 2015). Nous sommes en présence d'une plateforme de micro-travail avec une hyperstandardisation des actions. « Le système Mechanical Turk est moins un ensemble de tâches spécialisées qu'une manière de replacer les activités de non-travail et les usages ordinaires dans le contexte des opérations productives dont elles ne se différencient plus » (Casilli, 2015).

A nouveau pas de technologie sans organisation, ce constat se vérifie systématiquement. Dans cette perspective : assistera-t-on bientôt à une conception répartie en tâches parcellisées et, pour la plupart, hyperstandardisées ? Cette perspective ne semble pas imminente pour des raisons de faisabilité cognitive (il faut disposer de connaissances spécialisées pour créer de la nouveauté) ainsi que pour des raisons de propriété intellectuelle. Néanmoins cette perspective mérite d'être conservée en mémoire.

6.2.3 QUELQUES FIRMES ALLEMANDES DANS LE NUMÉRIQUE

S'exprimant sur les différences entre France et Allemagne en matière de plans industriels du numérique, Louis Gallois (président du think tank la Fabrique de l'industrie) estime que le plan allemand est clairement orienté vers l'offre. « On a vu les fournisseurs d'automatismes et les constructeurs de machines s'organiser pour développer les technologies de production de demain, afin de fournir l'usine du futur à leurs clients.
S'il y a une telle mobilisation de la part de ces offreurs, c'est parce qu'il y va de leur avenir en tant que premiers fournisseurs mondiaux d'équipements industriels. Ils sont à un moment charnière où leur offre doit prendre en compte le passage au numérique. Ils pèsent d'un tel poids dans la performance industrielle et commerciale allemande qu'on assiste à une véritable mobilisation pour ne pas rater ce virage, sous peine de perdre la prééminence technologique. En France, notre offre est beaucoup plus limitée. C'est du côté de la demande, liée à la modernisation de notre appareil productif, que se situe notre problème le plus urgent : le sous-investissement dans la robotisation et l'automatisation pèse sur notre productivité et notre compétitivité ».

Plusieurs grandes firmes allemandes témoignent de cette orientation.

Adidas

Cette firme a installé deux lignes de production expérimentales qui composent sa « Speedfactory ». Plusieurs robots et imprimantes industrielles 3D communiquent entre eux, produisent des chaussures de sport sans aucune intervention humaine. Adidas espère fabriquer 1 million de paires par an (300 millions de paires sont vendues chaque année). Ce mode de fabrication est destiné à réduire les coûts de production, et optimiser la logistique en direction du commerce en ligne.

Dans les bureaux, des aménagements conséquents sont envisagés afin d'optimiser la productivité de bureau. Un immeuble-laboratoire nommé « Pitch » a été conçu pour « inventer de nouvelles organisations du travail plus créatives ».
Les trois étages du bâtiment installé à Herzogenaurach, ont été aménagés en fonction de concepts organisationnels différents. Seuls points communs entre les étages : on y trouve de grands casiers numérotés pour conserver son ordinateur et ses documents. Car aucun des 300 salariés qui occupent « Pitch » n'a de bureau fixe. Par ailleurs, chaque salarié a reçu un casque multimédia qui communique avec les différents objets connectés de l'immeuble. Diffuser une vidéo se fait par commande vocale. Les notes manuscrites jetées sur le « whiteboard » d'une salle de réunion peuvent aussi être mises au propre et transférées vers les ordinateurs des participants. Le bilan de l'expérience est actuellement en cours et les meilleurs modèles de travail seront étendus à la majorité des départements d'Adidas (source : Thomas Schnee, Médiapart, 22/12/2016).

Bosch

Souvent pionnier, l'équipementier automobile et producteur d'électroménager Bosch développe « Next Generation Workplace ». Ce programme consiste à installer une nouvelle base de logiciels sur les 240.000 postes de travail fixes et mobiles de l'entreprise dans le monde entier. Cet ensemble de logiciels est conçu pour faciliter la mise en réseau et simplifier les processus d'échanges et de consultations dans et hors de l'entreprise. La logique de fonctionnement de l'ensemble s'approche de celle des réseaux sociaux privés. Cependant, pour une entreprise comme Bosch, qui a mis en place près de 100 modèles de temps de travail, et qui pratique la « job rotation » avec son management, ou encore le « home office » avec ses salariés, ce programme ne consiste pas simplement en l'installation de quelques petits logiciels malins et pratiques pour améliorer le travail au quotidien. C'est au contraire la base indispensable qui va permettre à l'entreprise de révolutionner son organisation du travail, afin de mettre en œuvre une organisation mondiale plus souple et plus individualisée et qui peut contribuer, explique-t-on chez Bosch, « à créer des espaces de liberté et de réflexion profitables tant à l'entreprise qu'à l'individu » (source : Thomas Schnee, Médiapart, 22/12/2016).

Volkswagen

Début 2016, Volkswagen est entré dans l'actionnariat du Centre allemand de recherches sur l'intelligence artificielle (DFKI) qui, avec 800 chercheurs, est l'un des plus gros centres privé-public de ce genre au monde. «Les robots utilisés chez Volkswagen travaillent en moyenne 35.000 heures pour un coût total de 100.000 à 200.000 euros, soit un coût horaire de 3 à 6 euros, maintenance et consommation électrique comprises », explique Horst Neumann, l'ancien directeur du personnel de VW et co-initiateur du projet.

Pour Volkswagen, qui évoque des coûts horaires humains oscillant entre 11 euros en Asie et 50 euros en Allemagne, un robot capable de travailler à ce prix, 20 heures par-jour et sans se plaindre, dispose donc d'un avantage irrattrapable.

En termes macroéconomiques

Certains dirigeants allemands (le directeurde Siemens Joe Kaeser et l'économiste Thomas Straubhaar)soutiennent la création d'un salaire minimum universel, meilleur moyen à leurs yeux d'assurer la transition d'un modèle économique à un autre sans trop de casse sociale.

« Nous n'allons pas enterrer la journée de huit heures. Mais le temps de travail à la carte va continuer à se développer. Savoir à quelle heure je travaille, ce n'est plus très important», déclarait en 2015 Ulrich Grillo, le patron de la Fédération de l'industrie allemande (BDI). Le BDI et le BDA (les deux principales fédérations patronales allemandes) estiment que la digitalisation va accentuer la spécialisation et la division du travail. Ce qui va renforcer la sous-traitance et conduire à de « formidables gains de flexibilité ».
Idéalement, ces gains doivent permettre aux salariés de mieux « maîtriser leur emploi du temps ». En clair, les salariés pourront mieux choisir leur temps de travail enfonction des objectifs à remplir et de leurs contraintesprivées. Cependant, « les formes de travail qui vont apparaître ne doivent pas être limitées par un excès de régulation », précise les organismes d'employeurs.
Il faut limiter le « potentiel de freinage des syndicats », précisentJoe Kaeser et Thomas Straubhaar. Face à ces demandes, les syndicats allemands mettent en garde contre une évolution qui pourrait transformer « chaque salarié en petit entrepreneur » et conduire à la désagrégation des standards sociaux et de la protection du travail.
Par ailleurs, le salarié « libéré » qui travaille un ou deux jours par semaine à la maison, est soumis au risque de ne plus faire la différence entre vie privée et vie professionnelle. Nous retrouvons ici une proximité avec le travail hyperstandardisé de Mechanical Turk d'Amazon. « Le danger que le salarié laissé à lui-même en fasse plus est évidemment réel.
Le fait qu'il devienne aussi pour une partie de son temps son propre "surveillant" est problématique car il ne se rend plus forcément compte de ses limites et du moment où il les dépasse », relève Wilhelm Bauer, directeur de l'Institut Fraunhofer pour les sciences et l'organisation du travail (source : Thomas Schnee, Médiapart, 22/12/2016).

Pour le président du syndicat IG Metall Jörg Hofmann, «le niveau des performances exigées dans le monde de l'entreprise a énormément augmenté ces dernières années ».
Il estime ainsi que, « logiquement, le stress et les maladies psychosomatiques ont suivi le mouvement.
L'évolution du temps de travail est devenue une des principales préoccupations de nos adhérents. Et les employeurs doivent comprendre que la flexibilisation du temps de travail ne peut se faire sans contrepartie.
En retour, les salariés doivent obtenir la possibilité de mieux co-décider en la matière ».
Vis-à-vis du développement de ces nouvelles organisations du travail issues de la numérisation et de la robotisation, la position officielledu syndicat est donc marquée par une « bienveillanceméfiante ». « L'utilisation des robots offre la chance d'améliorer la compétitivité et de sécuriser l'emploi…, déclarait M. Hoffmann récemment en évoquant une dimension plus internationale du problème.
Mais il faut faire évoluer les métiers et les tâches des salariés. L'homme ne doit pas devenir l'assistant du robot. Pour cela, de nouvelles qualifications sont nécessaires. ».

En effet, si l'on peut considérer que la riche Allemagne devrait avoir les moyens de former sa main-d'œuvre et de s'adapter à la nouvelle donne, il n'en sera pas de même pour des pays sous-industrialisés et à la main-d'œuvre peu ou mal qualifiée. « Le Bangladesh, le Vietnam ou encore le Pérou et le Brésil, risquent d'être les vraies victimes des progrès de la robotisation », souligne M. Hoffmann.
Ne pas perdre la main, c'est ce que souhaite ardemment la ministre sociale-démocrate Andrea Nahles, qui vient de présenter un livre blanc sur le « Travail 4.0 », où toute proposition énoncée se base sur des solutions négociées entre les partenairessociaux. Également au programme, la création d'uncompte formation, utilisable tout au long de la vie professionnelle et majoritairement abondé par l'État. « Nous avons besoin d'un nouveau compromis entre sécurité et flexibilité. D'un côté, les employeurs sont toujours plus soumis à la concurrence internationale et les exigences des clients sont volatiles.
De l'autre, les salariés ont d'autres désirs. Ils préfèrent être à l'heure chez eux, quitte à s'asseoir à leur bureau pour travailler encore un peu à la maison », explique la ministre.
Et de penser que l'Allemagne peut «mieux maîtriser la révolution numérique grâce au partenariat social et à l'économie sociale de marché, qui doivent représenter une alternative claire à certains des modèles exploiteurs venus de la Silicon Valley.
Nous ne devons cependant ne pas oublier une chose : la révolution numérique arrive plus vite que beaucoup ne le pensent. Nous n'avons pas de temps à gaspiller » (source : Thomas Schnee, Médiapart, 22/12/2016).

Pour terminer, soulignons qu'IG Metall, le premier syndicat d'Europe en termes d'effectifs, a créé une plateforme pour les travailleurs des plateformes.
Un portail sur lequel ils peuvent s'organiser et évaluer leurs recruteurs.
Un contre-pouvoir, donc, organisé par un syndicat, avec la possibilité pour les travailleurs de récupérer les données et de pouvoir eux-mêmes accorder un sens à ces données-là.
La DGB, Confédération allemande des syndicats qui compte six millions d'adhérents, a produit un rapport sur les travailleurs des plateformes numériques pour déterminer ce qu'il faudrait faire en termes de politiques publiques pour les protéger.

Pour l'instant aucune prise de position n'a été réalisée en direction des activités de conception et du travail spécifique d'ingénieur.

6.3 L'ÉVOLUTION DES OUTILS D'AIDE À LA CONCEPTION

Les activités de conception sont des fonctions de production abstraite. En tant que telles elles ont toujours bénéficié de l'apport de techniques d'assistance à la conception.
Plusieurs formes d'assistance existent (Bonnardel, 2006, p. 140) :
- Méthodes de conception destinées à faciliter le processus de développement de produits ou centrées sur la compréhension des attentes et besoins utilisateurs mais dont la mise en œuvre peut requérir des méta-connaissances ;
- Recommandations ergonomiques ;
- Systèmes informatiques d'aide à la conception.

Cette dernière forme peut se décliner en 4 catégories :
- Informatique-nounou : aide les créateurs à mieux gérer leur travail créatif en facilitant les questions d'emploi du temps, de gestion de projet, la représentation et la manipulation d'idées créatives (Attfield, 2005, Decortis, 2005) ;

- Stylo-copain : facilite la communication entre plusieurs acteurs (échange d'idées entre communautés ; Edmonds, 2005, Fischer, 2005, Maher, 2005) ;
- Coach : aide à la création au niveau mise en œuvre de processus cognitifs (évocation d'idées créatrices, évaluation de solutions de conception) ;
- Collègue : duo humain-machine : l'utilisateur propose une idée initiale – l'ordinateur modifie de façon aléatoire ou opportuniste – utilisateur modifie – machine ré-intervient (Lubart, 2005).

Il existe également des méthodes facilitant la coopération au sein des groupes de travail :
- La méthode Hybrid permet de constituer un référentiel commun à tous les acteurs impliqués dans un projet innovant ;
- L'environnement EDC (Envisionment and Discovery Collaboratory ; Arias et Fischer, 2000) facilite le traitement d'informations contextualisées lorsque les acteurs sont éloignés géographiquement et/ou s'ils ne peuvent interagir au même moment[17];
- D3E (Digital Document Discourse Environment) permet de coordonner les interactions et de les structurer autour de thèmes considérés comme importants (Piolat et Bonnardel, 2001)[18].

L'essor du numérique a généralisé l'interaction des ingénieurs avec les systèmes d'aide à la conception à base de connaissances. Il s'agit de systèmes qui diversifient les sources d'inspiration aussi bien pour les recherches intra domaines que pour les explorations inter domaines proches et inter domaines éloignés. Il s'agit d'enrichir les espaces de points de vue. Par exemple en offrant la possibilité de sélectionner des images au sein d'une vaste bibliothèque qui propose des associations entre aspect et valeur (voir le système IAM-eMMa : Interactive Abduction Mechanism in an Environment for Multimedia Authoring[19].

Une partie de cet ensemble de systèmes d'aide à la conception existait avant l'essor du numérique. Celui-ci renforce aujourd'hui les processus de l'innovation et de la conception ouverte. Il s'agira à l'avenir de déterminer dans quelle mesure cette numérisation des activités favorise la réflexion et l'apprentissage des principes de conception pour l'ensemble des participants aux écosystèmes d'affaire.

17 - http://l3d.cs.colorado.edu/systems/EDC/
18 - http://d3e.sourceforge.net/
19 - http://www.kidresearch.jp/publications/final-cc99-nakakojietal.pdf).

PARTIE 3

ACTIVITÉS DES INGÉNIEURS ET DYNAMIQUES D'EMPLOI

Les développements réalisés dans les deux premières parties du rapport confirment la nécessité de définir et d'analyser l'organisation pour comprendre les évolutions technologiques et finalement analyser les perspectives de l'emploi des ingénieurs et personnels de conception industrielle.

Ainsi nous dressons une synthèse des dimensions organisationnelles des activités de conception. Nous y rappelons la pouvoir structurant des méthodes de management qui tendent à instaurer une nouvelle relation entre les sources et les cibles dans l'univers de conception. Nous y montrons également l'effet de l'organisation des activités sur les mémoires de travail et la gestion de l'information et des connaissances.

Dans la section suivante nous dressons les perspectives en matière d'activité des ingénieurs. Nous analysons à la fois la position des ingénieurs et personnels de conception dans l'organisation du travail et leur contribution à l'élaboration de l'offre des entreprises dans lesquelles ils sont employés. Nous fournissons des illustrations détaillées pour les secteurs de l'automobile et de la construction aéronautique. Des compléments sont fournis pour le BTP et une partie des activités bancaires. Cette section donne lieu à trois perspectives majeures d'évolution.

Enfin la dernière section est consacrée aux recommandations. Elle occupe une place réduite eu égard aux objectifs de ce rapport qui sont avant tout analytiques et prospectifs. Mais il nous a semblé utile d'avancer quelques pistes de réflexion en matière de technologie de conception au moment où beaucoup de questions se posent et restent sans réponse. Quelle place réserver aux automatismes dans la prise de décision et les processus d'innovation ? Est-on en mesure de se soustraire à la vitesse de réalisation suggérée par les méthodes modernes de management ?

7 SYNTHÈSE DES DIMENSIONS ORGANISATIONNELLES

7.1 L'ORGANISATION CANONIQUE DE LA CONCEPTION INDUSTRIELLE

Au fil du temps, les bureaux d'étude se sont dotés d'outils numériques (CAO puis maquette numérique) qui ont permis des gains de temps notamment par une gestion systématique de l'information. La réalisation de ces gains de productivité a répondu aux objectifs économiques des principales organisations industrielles. La révolution numérique en cours de réalisation s'inscrit dans cette orientation économique. La technologie est produite au sein de considérations économiques et sociales. Les institutions qui régissent les décisions dans nos sociétés autorisent la poursuite de ces objectifs de compétitivité. Dans ce cadre institutionnel de compétition par l'innovation, les systèmes de conception sont fortement mobilisés. Si les gains de productivité sont recherchés dans le domaine de la fabrication et de la logistique par différentes modalités d'automatisation, ils sont également à l'ordre du jour dans le domaine de la conception. C'est la raison pour laquelle il serait illusoire de considérer la révolution numérique en cours comme un phénomène autonome, par exemple

purement technologique.
Les considérations économiques et sociales ont progressivement défini une organisation canonique de la conception industrielle qui s'organise autour d'une économie de vitesse de création de nouveauté (avec les méthodes de flux tendus et d'ingénierie de projet), de modularisation objet-processus de conception (avec un découpage en lots de projets) et une distribution des travaux au sein de réseaux de prestation (notamment sous-traitance).

Ce qui frappe dans ce domaine réside dans le formalisme de l'organisation des activités de création. D'ailleurs les méthodes et outils de PLM qualifient d' « objet » tout ce qui compose un vaste système d'action et de décision : qu'il s'agisse de contrôler une tâche et d'en informer une base de données, d'adresser un ordre à un fournisseur, d'organiser une réunion de travail ou encore de définir un projet de R&D qui se déroulera sur plusieurs années. L'univers de la conception est devenu un univers d'hyper-information. Certes il n'est pas du tout original de constater que toute action se nourrit d'information, mais nous avons constaté que la structuration par le PLM de toute réflexion autour d'objets et par émission et réception d'information avait tendance à minorer l'expérience industrielle accumulée dans les métiers des entreprises.

Ce constat est partagé par plusieurs observateurs et spécialistes du domaine. Si la conception reste ce domaine protégé et couvert par le secret industriel, elle tend également à se banaliser en s'insérant dans un flux d'activité piloté d'aval en amont et d'amont en aval par des objectifs économiques. Ces objectifs positionnent les différents processus et tâches particulières dans un même défi de réalisation en temps et qualité. Un principe d'équivalence s'est ainsi établi entre des opérations qui sont très distantes aussi bien en termes de contenu d'activité qu'en niveau de qualification pour les prendre en charge.

7.2 UNE BUREAUCRATISATION

Cette organisation canonique de la conception industrielle n'étonne en fait pas les sociologues qui connaissent bien l'histoire industrielle des pays occidentaux. Cette histoire est celle de la bureaucratie.

7.2.1 L'ESSOR DE LA BUREAUCRATIE

Rappelons que la question de la bureaucratie relève d'une longue histoire mouvementée. Nous avons rassemblé quelques éléments de définition selon l'approche de Max Weber (annexe 5). Selon ce sociologue, il existe des manières plus rationnelles que d'autres pour réaliser un ensemble de tâches et finalement organiser de vastes processus d'administration et de production. L'orientation bureaucratique consiste à définir un principe de gouvernement des hommes et des choses selon un principe qui a priori est fondé en rationalité. Une fois défini, ce principe devra être appliqué pour fournir efficacité pour les usagers et confort de travail pour les agents en charge de l'activité productive.
Après avoir permis l'essor des grandes administrations publiques et privées, la bureaucratie a reçu de sévères critiques au sujet des blocages qu'elle était susceptible de générer et qu'effectivement elle générait. Michel Crozier est l'un des sociologues les plus connus dans cette critique. Mais il demeure que le constat de la persistance de ce modèle bureaucratique est bien avéré tout autant que la manifestation toujours très vive de ses critiques. Si la bureaucratie est toujours vivace c'est que les règles de coordination qu'elle a fourni aux acteurs économiques n'ont pas encore trouvé d'alternative crédible. Ces règles permettent de la coordination sur un grand nombre de marchés (emploi, concurrence commerciale,

droit propriété) qui deviennent donc de plus en plus organisés. Certes ces règles sont souvent nombreuses et non moins souvent contradictoires, conduisant à des fonctionnements éloignés des prévisions, mais la bureaucratie continue son développement. A titre d'illustration, le tableau 17 reprend nos données précédentes avec une focalisation sur les personnels administratifs. Elle se développe autant dans le secteur public que dans le secteur privé et n'épargne aucun des pays développés. Selon le politiste américain David Graeber (2015) cette expansion peut être rattachée à une certaine économie de marché qui entraîne une augmentation extrême de relations qui ne sont pas basées sur la confiance, mais sur la maximisation de l'intérêt individuel. Des moyens très élaborés de mise en œuvre, de surveillance et de coercition sont ainsi nécessaires à défaut d'autres formes de relations sociales plus respectueuses d'un intérêt commun.

TABLEAU 17 – DÉVELOPPEMENT DES PERSONNELS ADMINISTRATIFS

Familles professionnelles (FAP 2009)	1982-1984	2012-2014	Variation sur 30 ans
L4Z - Techniciens des services administratifs, comptables et financiers	138 000	397 000	+187,7%
L5Z - Cadres des services administratifs, comptables et financiers	224 000	636 000	+183,9%

Source : d'après DARES, op.cit.

Sur longue période, les spécialistes de l'univers de la conception (Le Masson et Weil, 2008) mettent l'accent sur l'autonomie des activités d'ingénieur au cours du temps. Selon eux, la naissance des bureaux d'étude puis le développement de la conception moderne s'établissent dans un paradigme industriel modelé par la bureaucratie. Toutefois, même si cette bureaucratie est très puissante pour organiser les grandes fonctions de l'entreprise et édicter les règles de décision, l'univers de la conception demeurera particulier. Il est le domaine de la créativité organisée ne cessant de se renouveler. Cette approche présente un intérêt indéniable pour saisir de l'intérieur certains mouvements majeurs tels par exemple que la centralité du couple « générativité-robustesse » (voir 1.2), l'idéation « concepts-connaissances » (fondée sur une interaction dynamique entre un domaine de connaissances et un ensemble de propositions créatives), l'ingénierie simultanée et l'importance des lignées de conception. Mais cet univers de la conception ne se développe pas uniquement de manière autoréférentielle. La conception est inséparable d'un mouvement économique d'investissement et d'élaboration de la plus-value. Les activités de conception ont peu de sens en dehors d'une organisation plus large des actions techniques.

Ce mouvement s'incarne dans le triptyque fort bien établi « coût-qualité-délai ». Faisant office de guide organisationnel, il va donner naissance au cours des décennies industrielles à tout un ensemble de méthodes de management.

7.2.2 LES OUTILS DE GESTION DU DÉVELOPPEMENT BUREAUCRATIQUE

Les spécialistes des méthodes de management ont montré que de véritables outils de gestion font autorité dans la vie des entreprises et des administrations. Un outil de gestion représente un ensemble de raisonnements et de connaissances reliant de façon formelle un certain nombre de variables issues de l'organisation et destinées à instruire les divers actes classiques de la gestion (Moisdon, 1997). Ces outils de gestion sont en fait assez subtils dans leur mise en pratique car ils peuvent séparément ou bien simultanément remplir plusieurs fonctions au sein d'une organisation (David, 1998, 2001). S'ils permettent en priorité le contrôle et poussent à la conformité des actes aux ordres hiérarchiques, les outils de gestion permettent également d'auditer le fonctionnement de l'organisation, d'explorer les al-

ternatives aux stratégies et comportements ancrés et aussi d'accompagner le changement. L'univers de la conception est soumis à l'administration par ces outils de gestion. Nous en fournissons trois illustrations très fréquentes qui se manifestent fortement depuis une vingtaine d'années.

La formalisation des procédures

Formaliser permet en fait d'exercer un contrôle avant que l'action démarre mais aussi après. Il s'agit donc d'un outil de contrôle a priori et a posteriori. Les témoignages sont fréquents en ce domaine du management pour faire remarquer deux niveaux de décision : l'un qui définit contenus et méthodes de conception, l'autre qui consiste à sélectionner parmi les options proposées et en fonction des contextes.

La formalisation des procédures est devenue la règle dans l'univers de la conception. Cet ingénieur qui a réalisé une grande partie de sa carrière dans les systèmes électroniques embarqués dans les navires ou avions fait remarquer que dans les systèmes de défense, il est très important d'installer une compatibilité des systèmes (protection, armement, etc …). L'opérationnalité des systèmes doit être assurée car de très nombreux sous-ensembles et composants sont présents. Les informations doivent pouvoir être assemblées par le responsable de l'intégration de la structure qui reçoit toutes ces pièces. Tout système électronique de commande qui est candidat au développement exige des normes. Celles-ci concernent en premier lieu l'effectivité des interactions entre composants. Les interfaces doivent être connues par les différents prestataires même s'ils n'interviennent pas directement dans la conception du sous-système de leurs partenaires. Par exemple, pour un navire de défense, une plateforme inertielle accueilletoutes les données, les analyse et les rend accessibles pour l'action. Des protocoles de formatage de fichier sont définis pour intégrer l'ensemble de ces fichiers et permettre le traitement de l'information. Chaque entité est définie ainsi que chaque variable mais aussi le format informatique (format entier, réel, double précision, …). Chaque paramètre peut alors produire le langage commun très prégnant dans l'intégration. Le langage commun se traduit par des référentiels spécifiques : système par système et par quantité physique. Ce qui permet in fine à chaque entreprise, à chaque lot de projet, de fournir le composant avec ses dimensions physiques et électriques. Chaque développeur fournit des composants qui s'insèrent dans des systèmes, c'est-à-dire qu'il faut fournir toutes les entrées et sorties du sous-système livré afin que les partenaires puissent fournir leur propre sous-système.

L'expansion du régime de l'écrit

L'industrie s'est développée avec une documentation de plus en plus fournie. Cette documentation se décline aujourd'hui en de très nombreux supports parfois redondants et contradictoires. Dans le secteur automobile, les observateurs montrent que l'autorité change de nature. La quasi-totalité des communications se réalisent par le média écrit. Cela n'empêche pas les coordinations verbales, mais ces dernières sont plutôt vécues comme marginales.
Effectivement, une fois définies, les procédures encadrent l'action de son début à sa fin, suivies du report de son résultat vers les autorités. Cette dimension est devenue très forte dans son pouvoir de structuration des actions. Le PLM exige des masses d'information élaborées, diffusées, stockées et analysés sous forme écrite ou plutôt insérées dans des messages et fichiers électroniques. C'est à partir de cette information que les procédures peuvent être confirmées et le processus de conception mis sous contrôle pour remplir les objectifs de délai et de qualité (et donc de coût).

Mais la CAO et les PLM ne font pas pour autant disparaître un autre type d'écrit qui est le manuscrit. Ainsi dans l'aéronautique les bureaux comportentencore un nombre parfois important de documents manuscrits.

Standardisation du travail

Dans le domaine académique on a pris l'habitude de penser qu'une proportion importante de l'activité de conception est réalisée en situation individuelle. Selon quelques spécialistes le travail individuel représente près de 70 % du processus de conception, le travail en équipe 30% (Pahl et alii., 1999). La question consiste à savoir si ce travail individuel est authentiquement autonome, c'est-à-dire qu'il ne prend sa source et vise sa cible qu'à partir des moyens intellectuels de l'ingénieur ou du technicien.

Dans l'industrie automobile, des observateurs montrent que la standardisation des contenus s'est imposée à l'expertise individuelle.

Standardiser le savoir de conception peut répondre à l'angoisse face à l'incertitude : d'une manière générale pour tout concepteur face aux défis de résolution de problème, mais également en termes organisationnels car la standardisation est un moyen de prédéfinir la coordination entre plusieurs ensembles de travaux.

Cette pratique de standardisation peut étonner dans le domaine de la conception : la créativité serait-elle suspendue ? Elle pose dans le même temps la question de son effectivité : dans quelle mesure un standard défini par une personne sera-t-il accepté et mis en œuvre par une autre personne ?

Ce constat est partagé par un autre sociologue qui a conduit une longue étude dans l'aéronautique. Il fait remarquer : « le travail des ingénieurs spécificateurs cristallise le mouvement de standardisation de l'activité, des tâches, des outils, des procédés et des pratiques portées par la rationalisation industrielle du travail. Qu'il s'agisse du travail sur les logiciels de C.A.O. et de calculs, des circuits informatisés de validation et d'archivage de données (les workflow), des méthodes d'analyse causale des problèmes rencontrés, des pratiques de planification et ou encore des formes de compte rendu de travail et d'avancement, ces ingénieurs sont contraints par un cadre d'activité étroitement prescriptif » (Petit, 2016, p. 435). Il poursuit : « standardiser consiste à travailler efficacement et poser un cadre qui« structure » ces ingénieurs. Pourtant, le renforcement de ce système socio-technique de prescription et de formalisation peut aussi être vu comme une atteinte à l'idée même d'innovation et créativité, supposées être au cœur de l'activité de conception et, par ailleurs, fortement encouragées par les responsables hiérarchiques de l'entreprise » (p. 436).
Un chef de bureau d'études de conception générale de l'entreprise étudiée confirme ce constat : « le travail de conception est de plus en plus industriel et de moins en moins créatif. Il faut prendre des choses qui existent. C'est une industrialisation de la conception, il faut toujours faire la même chose en somme. Avant, le chef d'unité était un expert, un référent technique, quelqu'un du métier. Alors qu'aujourd'hui, on lui demande de faire de la gestion, de la planification ».

Ainsi le travail individuel du concepteur s'inscrit dans des séquences d'activité qui sont pratiquement prédéfinies. Lorsqu'il travaille seul, le concepteur (dont le titre doit être complété comme nous le verrons dans la section 8) utilise de fait des sources qui sont en majeure partie définies par certains de ses collègues sous forme standardisée et il doit

livrer son travail selon un format particulier qui lui est imposé et dans des délais également imposés.
L'univers de la conception industrielle a accueilli au fil de sa constitution plusieurs technologies informatiques (CAO et maquette numérique, calcul intensif (voir 4.1.6) ainsi que différentes méthodes de management : la modularisation (voir 4.1.2), la gestion de projet (4.1.3), le PLM (4.1.4) et bien d'autres que nous n'avons intégré à notre analyse (TQM, flux tendus, lean management). En définitive ces méthodes prennent appui sur des contraintes de concurrence et de compétition par l'innovation rapide pour justifier l'introduction de principes de standardisation des activités et de contrôle des tâches.

7.3 UNE ORGANISATION SEGMENTÉE DE LA CONCEPTION

Que produit ce mouvement continu de standardisation ? Ce processus de standardisation utilise des supports écrits. Destiné à assurer la coordination entre différentes activités dans l'espace de l'organisation mais aussi dans sa temporalité (changement de produits, de techniques, de méthodes), l'écrit en réalité constitue une difficulté qui est connue et analysée. Goody (1979) a très bien analysé cette difficulté en montrant qu'un énoncé mis par écrit permet des examens détaillés. L'écrit est de fait une décontextualisation et une abstraction.

Les documents qui accompagnent les règles de standardisation sont de fait des outils de communication qui structurent les activités de conception et de production. On comprend que ces documents fassent l'objet d'enjeux importants entre les différents acteurs de la conception et de l'usine de manière plus générale. A fortiori, dans une organisation matricielle qui souhaite combiner rapidité d'exécution et double commandement (par les métiers et par les projets), le standard de conception constitue un objet de négociations entre plusieurs niveaux de management. Nous entrerons plus loin dans le détail de ces niveaux. Nous en mentionnons ici deux principaux : le pilotage des projets et la réalisation des tâches de conception. Ces deux niveaux, qui font penser à l'articulation prescription-exécution, prend place dans des structures matricielles (voir figure 7 en 4.1.3). Les projets sont mis en place si et seulement si un client est directement ciblé. Ces projets sont temporaires et consomment des ressources sous contrainte forte de délai. D'où la nécessité de spécifier le plus possible, et sans doute du mieux possible, les différents processus permettant d'achever la conception du produit. Les services méthodes se mettent ainsi au service du projet en formulant des standards d'activité les plus pertinents. La direction de projet délivre de son côté des procédures qui modèlent et orientent l'activité de chacun des ingénieurs réalisateurs.

Une très bonne illustration est fournie par l'évolution de l'industrie automobile depuis le début des années 2000.

Un accroissement de la complexitéau sein de la conception se produit avec l'augmentation de l'interdépendance entre les éléments du système de conception. Cette interdépendance a au moins deux raisons :
- La première réside dans la complexification de la conception du produit (développement de l'électronique et des interactions dangereuses susceptibles de se produire au sein du véhicule. Dans ce contexte, l'apprentissage et les pratiques de travail fondés sur une démarche d'essais-erreurs ne peuvent définitivement plus être utilisés ;
- La seconde tient dans la multiplication des interactions engendrées par la mise en place de l'organisation matricielle. La complexité est mise en scène pour légitimer l'évolution en

cours à l'instar de la représentation graphique de la croissance exponentielle des interfaces en fonction du nombre d'individus devant interagir (Burlet, 2008).

Cette question de volume des interfaces est éloquente. Très souvent dans l'industrie, et lorsque les équipements sont étudiés dans une perspective d'informatisation, la question du temps passé à échanger des arguments et à ajuster les actions est mise en avant. L'argument de nombreux informaticiens industriels consiste à qualifier les ajustements entre humains comme consommateurs de trop de temps. Par exemple si 25 personnes doivent interagir, c'est 300 interfaces entre elles qui vont se produire avec autant de risques de dérive. L'automatisation des interfaces est donc préférable. Cette automatisation passe soit par une machine, soit par une standardisation des actions de chacun sur son poste de travail et de chacun avec ses collègues (les interfaces).

On voit alors mieux se dessiner les deux niveaux :
- Une conception générale qui prescrit des standards et qui donc oriente la plupart des travaux ;
- Une conception détaillée qui prend en charge la conception proprement dite mais sans doute de manière amoindrie en référence aux débuts des bureaux d'étude.

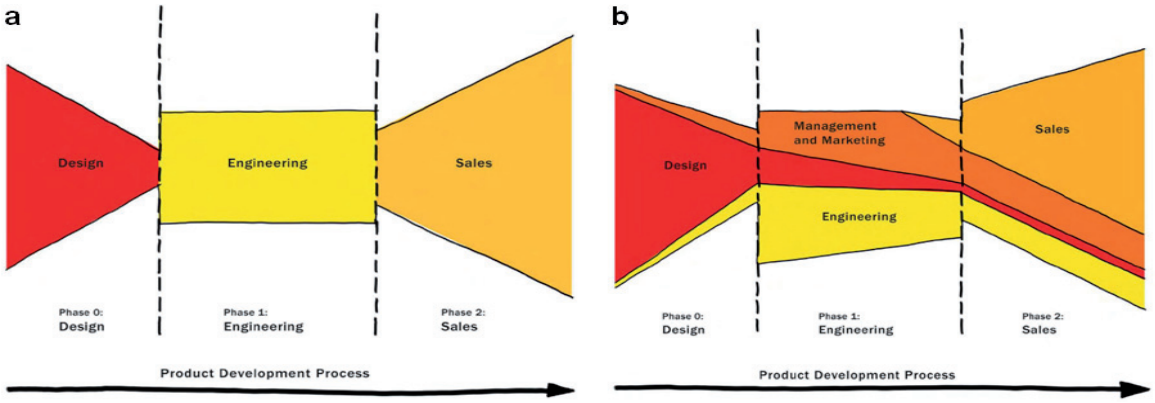
Cette structure à deux niveaux est bien résumée par notre collègue : « par conséquent, le mouvement de rationalisation n'épargne pas les activités et méthodes de travail. Il s'agit d'optimiser les solutions techniques trouvées en introduisant la prévisibilité et la calculabilité dans les méthodes de travail elles-mêmes, modifiant substantiellement la nature des activités de travail des ingénieurs et cadres techniques et la nature des savoirs mobilisés » (Burlet, 2008, p. 287).

7.4 UNE CRÉATIVITÉ DÉLAISSÉE ?

Dans ces termes, la conception n'est plus vraiment la conception créative que nous décrivions en début de rapport. La créativité se développe au milieu de trois polarités : un individu (1) qui développe des connaissances au sein d'un domaine (2) comportant des idées et des productions sélectionnées par un champ (3) qui regroupe à son tour un ensemble de personnes (des experts gardiens du domaine) ou d'institutions sociales qui contrôlent un domaine et qui évaluent puis sélectionnent, parmi les nouvelles idées et les productions des individus, celles à retenir (Csikszentmihalyi, 1996 ; Feldman, Csikszentmihalyi et Garner, 1994). Formellement cette définition pourrait s'appliquer aux exemples pratiques que nous sommes en train de relater, mais force est de constater que dans ces conditions, les trois polarités sont très déséquilibrées. Le champ, en l'occurrence, les méthodes de management occupent l'essentiel de l'espace des choix des ingénieurs et les techniciens qui sont en position de conception détaillée.

Une réflexion est conduite par certains spécialistes de la conception qui estiment qu'à force de régler les méthodes des concepteurs et les procédures d'ajustement dans les projets, on perd en créativité. Les services de conception générale et la R&D fixent trop vite et trop en amont l'ensemble des spécifications. A la suite de leur travail, il existe trop peu de possibilités de modifier le contenu de l'objet en cours de conception (partie a de la figure 8). Et de surcroît toute demande de modification en provenance du marché fait inévitablement problème.

FIGURE 8 – DEUX MODÈLES POSSIBLES D'ORGANISATION DE LA CONCEPTION



Source : Arrighi, 2014.

Ce type de conception génère sans doute un niveau élevé de robustesse (capacité à produire des propositions conceptuellesqui résistent aux variations de contexte) mais le doute surgit lorsque l'on songe à la générativité (capacité à produire des propositions conceptuellesqui se distinguent des solutions existantes et des standards du domaine considéré). En effet dans la partie a de la figure 8 on perçoit très bien l'étanchéité qui peut exister entre les deux grands segments de la conception moderne.

Il s'agit pour Arrighi d'une véritable perte de créativité. En s'appuyant sur des exemples concrets que nous développerons dans la section 8, cet ingénieur-docteur expérimenté suggère une variante (partie b de la figure 8) qui serait en définitive une vraie concourrance à grande échelle.

La concourrance a été initiée dans le domaine du management de projet afin d'accélérer la réalisation des projets. Elle consiste à superposer la réalisation de plusieurs tâches ou activités d'un projet plutôt que les faire se succéder dans le temps. On comprend le gain de temps qui peut être réalisé. Par contre, lorsque ces tâches ou activités se nourrissent en information, la conduite du projet est menacée en termes de qualité de réalisation puisqu'il n'est pas certain que les acteurs aient eu le temps de correctement se coordonner. La concourrance est présentée comme un principe efficace, dans les faits elle pose beaucoup de problèmes de communication.

Cette alternative fait plus de place à la collaboration entre création, conception et industrialisation. Dans une certaine mesure les orientations initiales peuvent être aménagées. Les modifications demandées par le client pourraient également avoir des chances d'être prises en considération. Des propositions de ce type existent, elles sont mises en pratique dans de petites structures, souvent dans le domaine des jeux multimédias et de la confection. En tous cas, les raisonnements qui appuient ces propositions connaissent une audience croissante avec la légitimité apportée par des scientifiques internationalement reconnus tels que Buxton (2010) qui travaille chez Microsoft ainsi que par d'autres chercheurs dont nous reprendrons les travaux en section 9.

7.5 PERSPECTIVES

L'exercice de mise en perspectives des tendances observées sur une période particulière est souvent un exercice risqué. L'éventail des options de développement des technologies

numériques, a fortiori des intelligences artificielles, peut paraître en effet très ouvert. Mais, ainsi que nous l'avons réalisé, la dimension technologique mérite d'être replacée dans une dynamique un peu plus large qui est celle de l'économie et des méthodes de management. La technologie prend naissance dans une réflexion d'organisation des ressources orientées vers des buts. Une dialectique est installée au sein de l'industrie entre organisation et technologie. De ce fait le champ des possibles, au moins à moyen terme, paraît plus aisé à envisager. Nous en avons donné une illustration parmi d'autres en exposant la méthode d'analyse de l'école des mines de Paris (voir 1.2) : les techniques managériales sont qualifiées au moyen de trois dimensions : un substrat technique, une philosophie de gestion et une vision simplifiée des relations au sein de l'organisation.

7.5.1 UN EXERCICE EXPÉRIMENTÉ DE MISE EN PERSPECTIVE

Une telle mise en perspective des organisations de conception et de l'activité d'ingénieur a été réalisée dans le passé. Elle a régulièrement fait l'objet de controverses. La plus durable, car elle est fondatrice, est celle qui est régulièrement mobilisée explicitement, mais aussi souvent sans référence directe, à propos du progrès social.

Rappelons la pensée de Max Weberpour qui la rationalisation qui affecte les activités humaines renvoie à un principe de raison justement mobilisé pour domestiquer les forces de la nature. Pour celui-ci, les progrès de la science et de l'économie, en tant qu'incarnation avancée de la raison, orientent les activités humaines. Finalement l'auteur ira jusqu'à penser que ce mouvement rationnel, qui s'incarne dans la bureaucratie (la prise de recul du scientifique, le traitement ordonné des informations, le commandement selon des fonctions spécialisées), est la meilleure des formes d'organisation du travail. Une critique à cette perspective a été formulée par l'Ecole de Francfort (1944). Animée par plusieurs philosophes allemands, ce courant de pensée invite à séparer l'efficacité des techniques (par exemple celle du marketing et de la publicité) du progrès social. Selon ces auteurs la bureaucratie peut s'avérer très efficace y compris en subordonnant les citoyens à ses principes d'organisation. Cette inversion des termes entre autonomie des choix des citoyens et techniques sociales provoque une perte de sens.

Régulièrement, lors de périodes intenses de rationalisation, ces analyses ressurgissent ainsi que la controverse. Ainsi une opposition s'est installée depuis quelques années entre les observateurs qui analysent l'émergence d'une classe créative (Florida, 2005) occupée à créer notre modernité (architectes, artistes, metteurs en scène d'événements, scientifiques, informaticiens de l'intelligence artificielle, …) et d'autres analystes qui insistent plutôt sur le renforcement des logiques bureaucratiques aboutissant à des organisations très standardisées et un travail de bureau finalement abrutissant (Sennett, 2006 ; Crawford, 2009 ; Graeber, 2015).

Une analyse complémentaire à propos de l'intelligence artificielle a également été développée au début des années 90. La technologie y est montrée non pas comme un mouvement autonome mais comme dynamique ancrée dans des disciplines scientifiques et techniques éprouvées et validantes : les systèmes-experts sont une nouvelle étape dans l'histoire de l'automatisation des savoirs. Des interdépendances particulièresse mettent en place entre les connaissances et la manière dont on les traite. Il faut replacer la connaissance humaine et le savoir-faire dans une dialectique avec l'outil technique : l'acteur de l'intelligence artificielle est un expert. Il dispose d'un patrimoine de connaissances formé au fil de son action, de son expérience et des positions qu'il a pu occuper. (Hatchuel et Weil, 1992).

Cette analyse produite il y a plus de vingt ans mérite d'être inscrite en exergue des études contemporaines du numérique : « Dès lors, l'automatisation d'une partie de ce capital de connaissances ne peut se faire sans sa collaboration active (celle de l'expert) ; mieux encore, il est le seul à même d'apprécier la qualité de l'automatisation réalisée, donc la validité des résultats du système » (Hatchuel et Weil, 1992, p. 127).

Toutefois n'oublions pas la rationalité économique qui vient orienter puissamment le travail de l'expert, ses interactions avec différents services et finalement sa reconnaissance au sein même de l'organisation industrielle.

En effet, certains travaux (Bauer et Cohen, 1982) ont envisagé une progressive routinisation du travail des ingénieurs avec par exemple une gestion des connaissances des salariés devenant systématique et orientée vers des objectifs économiques particuliers. Les travaux plus récents tendent à montrer que des cycles de management se succèdent depuis plusieurs décennies. Ces cycles conjuguent des défis de compétitivité et des solutions de type méthodes de management qui effectivement bouleversent à la fois le contenu des compétences des ingénieurs et leur rôle dans le système général de décision au sein de l'entreprise.
Les solutions qui s'incarnent dans les méthodes de management ne font pas mystère. Enoncées en termes simples mais néanmoins fidèles aux différents faits d'organisation que nous avons rapportés jusqu'ici, il s'agit en définitive de réduire les délais de conception afin de rester concurrentiel. Cette réduction des délais permet d'envisager des innovations répétées destinées à renforcer la présence de l'entreprise sur ses marchés. Cette dynamique ne peut être soutenue que si des moyens puissants sont mis en place dans l'organisation afin de contenir les coûts supplémentaires qui se manifestent dans cet exercice de flexibilité. En majeure partie, ces moyens sont ceux de la standardisation des méthodes (pour contenir les coûts et prédéfinir la qualité) et de la gestion par projet (maîtriser les délais).

Une illustration très parlante de cette solution organisationnelle se manifeste avec le dessein d'intégrer quasi automatiquement la conception et la fabrication.

7.5.2 CONCEPTION ET PRODUCTION ADDITIVE : QUELLES INTÉGRATIONS ?

La coordination conception-industrialisation a constamment soulevé des problèmes au sein des organisations industrielles. Le mouvement historique a abouti à retirer aux usines les capacités de conception pour les confier à des bureaux d'étude autonomes. Puis de puissantes méthodes de gestion, à l'instar du PLM, ont envisagé d'intégrer toutes les données des différentes étapes afin de permettre un pilotage harmonieux. Cette perspective s'est réalisée accompagnée de nombreux problèmes de mise en œuvre. La conception additive (les imprimantes 3D) est présentée comme la solution automatique qui permettrait de réduire une grande partie de ces problèmes de mise en œuvre.

L'industrie allemande a pris en charge ce défi. La société TRUMPF avec Siemens développe une solution logicielle permettant d'optimiser et de rationaliser la fabrication additive de pièces métalliques à l'aide d'imprimantes depuis la conception des pièces jusqu'à leur impression.TRUMPF est un constructeur de systèmes laser qui est spécialisé dans la fusion des métaux au laser. Le projet de ces deux firmesconsiste à intégrer la fabrication additive des pièces métalliques dans le processus de production. L'objectif particulier vise à intégrer l'ensemble du processus de fusion laser des poudres métalliques dans les imprimantes de la société TRUMPF au sein du logiciel NX™ de Siemens.

Selon le président-directeur général de Siemens PLM Software (concurrent direct de Dassault Systèmes) le système sera totalement intégré en termes d'information, aucune conversion de données ne sera nécessaire. Les outils de conception, de simulation, d'impression 3D et de programmation de commande numérique des pièces métalliques seront tous intégrés dans un même système. La machine et le logiciel pourront interagir entre eux de manière intégrée.

En France, Dassault Systèmes (DS) offre des services équivalents. L'orientation est la même : intégrer les différentes étapes en termes d'information afin de gagner du temps du début de la conception à l'achèvement de l'industrialisation. DS a développé une solution de ce type pour et avec Airbus. Le responsable Airbus des méthodes et outils pour la structure de l'avion nous a livré quelques informations.

L'impression 3D existe chez Airbus depuis 2014. Elle procure un gain de coût et un gain de masse. Les nouveaux avions sont équipés en moyenne de 1000 pièces imprimées en 3D, elles sont en plastique, bientôt elles seront en titane. Cela bouleverse la façon de concevoir les avions, a priori il n'existe pas de limite à la complexité des pièces. Cela modifie également le système industriel puisque les stocks sont réduits, ainsi que les transports de pièces entre différents sites. Le travail des bureaux des méthodes (BM) est donc bouleversé à son tour puisque les pièces peuvent être scannées directement sur un site industriel.

La collaboration avec DS a été développée afin de maîtriser les coûts de développement qui étaient prévus comme assez élevés. Airbus souhaitait disposer d'un système intégrant plusieurs outils existants chez DS et qui permettrait au concepteur le guidage dans la conception de la pièce. Sans cela le niveau de complexité visé ne serait pas atteint. De plus, le système envisagé devait briser les frontières entre spécialistes. Sachant que la spécialisation des concepteurs s'est construite autour des outils de conception disponibles, Airbus souhaitaitdisposer d'outils manipulables par des employés plus polyvalents.

La collaboration ente DS et Airbus a démarré au cours de l'été 2014. Le développement a duré une année et demi chez DS. L'outil est MyShape qui permet de réaliser la conception aussi bien que la simulation : on vient y plugger des solutions internes pour le calcul de structure. On définit une allocation d'espace puis les interfaces, c'est-à-dire comment la pièce va se connecter avec les autres.

Le processus d'activité de conception se déroule alors à l'identique des descriptions que nous avons livrées précédemment.

Les interfaces entre pièces sont prédéfinies. Un autre logiciel de conception très répandu dans l'industrie – CATIA (annexe 2) – permet de constituer une forme solide et plusieurs solutions sont automatiquement proposées à l'ingénieur concepteur.

De cette manière, Airbus obtient des plans 3D en une semaine (contre 1 mois avec une méthode traditionnelle).

Ce système a été déployé sur 100 utilisateurs depuis décembre 2016 puis avec le réseau des partenaires. Le gain représente un facteur 4 en termes de délai, en masse le gain est de 20 à 30 %.

Les perspectives de développement sont diverses : des pièces en titane, et en aluminium, une standardisation des imprimantes, une taille plus grande et des machines plus rapides. La perspective en termes d'avionique tend vers des avions avec des pièces légères et creuses.

7.5.3 UNE NUMÉRISATION AU SERVICE DES COMMUNS DE LA CONNAISSANCE ?

Une autre perspective est moins hégémonique, mais sans doute tout aussi intéressante.

Le rapport du Conseil National du Numérique (2015) insiste sur les liens étroits entre numérique et « communs » et appelle à un approfondissement de ces liens. « L'avènement de l'informatique et le développement des premiers logiciels ont été accompagnés de l'essor d'une culture du partage et de la coopération, incarnée notamment par le mouvement du logiciel libre. Une culture qui se retrouve aussi dans les protocoles ouverts d'échanges, bases du réseau internet. Les contributions de communautés de développeurs à la réalisation de logiciels largement utilisés ou la rédaction collaborative d'articles d'encyclopédie montrent l'efficacité et la robustesse de ce mode de production. Les règles de gouvernance qui y sont associées en permettent le libre usage, l'amélioration continue et la pérennité, tout en facilitant la diffusion des ressources produites. L'irruption massive du numérique dans la plupart des champs de l'activité humaine crée des situations nouvelles où les réseaux facilitent l'émergence de larges communautés distribuées, susceptibles de se mobiliser pour créer et partager les savoirs. Ces communs de la connaissance sont autant de gisements d'initiatives, de créativité et de mobilisation des individus dans un but collectif. Le numérique, qui permet la copie et la diffusion à un coût très faible, a en effet permis de s'affranchir des limites territoriales et de changer d'échelle » (p. 276).

Dans cette perspective, plusieurs modalités d'organisation accompagnent l'essor de la numérisation des activités de conception (tableau 8). Une forme classique d'économie capitaliste se prolonge avec le numérique (consommation via e-commerce, places de marché électronique, …), une forme qualifiée de 2.0 ou de capitalisme net hiérarchique associe fonctionnement capitaliste et création collaborative de valeur via les réseaux sociaux. Cette forme économique est hybride, nous y sommes entrés sans vraiment nous en apercevoir. Ce caractère hybride prend son sens en consultant le qualificatif employé par Stark à propos de formes émergentes de l'activité économique post-industrielle. Ce sociologue a étudié certaines entreprises d'Europe de l'est post-soviétique. Au sein d'une hétérarchie, on peut croiser de multiples systèmes de valeurs, principes organisationnels et autres mécanismes d'évaluation des performances : « les hétérarchies créent de la richesse en favorisant l'émergence de plusieurs approches dans l'évaluation de la valeur » (Stark, 2001). Dans ce modèle la production est ultra socialisée et la distribution de la valeur est privatisée et sous influence financiarisée. La valeur est donc captée par ceux qui organisent le réseau qui ne peuvent faire autrement que d'organiser des réseaux de création de valeur qui reposent sur une connaissance distribuée (Bauwens, 2015).

La troisième forme est représentée par l'activité en communauté d'open source et par le fonctionnement de Wikipédia ou d'OpenStreetMap au sein desquels des règles sont définies afin de partager en commun le code logiciel. Le mouvement des logiciels libres s'est développé depuis 1984 avec le GNU Project de la Free Software Foundation lancé notamment par Richard Stallman. Le principe est qu'un logiciel libre peut être partagé, modifié par chaque développeur pour l'adapter à sa situation particulière ou ses besoins,

il peut être redistribué gratuitement, et les savoirs inscrits dans le code informatique sont eux-mêmes disponibles à tous les autres informaticiens par l'ouverture du code source (Broca, 2013).

TABLEAU 18 -TROIS MODÈLES DE CRÉATION DE VALEUR AVEC LE NUMÉRIQUE

	Droits	Réseaux	Elargissement
Modèle 1 Capitalisme Cognitif	Propriété privée	Firmes multinationales + mass media	Extension plateformes Internet
Modèle 2 Capitalisme Net hiérarchique	Propriété privée & réseaux sociaux (contenus)	Plateformes, marchés biface, capture valeur	Les usages s'enrichissent sans équivalent monétaire
Modèle 3 Production entre pairs	Licences communautaires	Nouvelles infrastructures civiques	Des communs

Source : d'après Bauwens (2013, 2015).

En 1989, Richard Stallman et Eben Moglen lancent la General Public Licence (GPL). La GPL ambitionne de protéger la construction du projet communautaire GNU (GNU's Not Unix), c'est-à-dire une gouvernance adaptée à un type de bien, à une série de règles et normes communautaires et à un projet politique porté par la Free Software Foundation (Le Crosnier, 2015). « La GPL s'appuie sur le droit d'auteur, pour compléter celui-ci par un contrat privé (une licence) qui autorise tout usage (donc offre les quatre libertés du logiciel libre[20]), mais contraint celui qui s'appuie sur du code libre à rendre à la communauté les ajouts et corrections qu'il aura pu apporter. On parle d'une licence virale : tout logiciel qui utilise du logiciel libre doit lui aussi rester un logiciel libre » (Le Crosnier, 2015, p. 158).

Mais cette modalité numérique reste encore très minoritaire même si ses potentialités sont très élevées. Aujourd'hui les frontières entre les modèles 2 et 3 est parfois difficile à distinguer. Et d'ailleurs, une certaine intrication des genres a été l'une des bases du développement des logiciels de simulation numérique.

8 PERSPECTIVES POUR LES INGÉNIEURS

8.1 INGÉNIEUR DE CONCEPTION EN PME

Les orientations de la conception depuis plus de vingt ans intègrent entièrement le rôle des sous-traitants qui sont fort souvent des PME. L'organisation par projet avec lots simultanés (ingénierie concourante), production en flux tendus et développement de la sous-traitance sont trois éléments interdépendants (Durand, 2004). En fait la gestion des projets est étendue aux partenaires : le planning, l'agrégation et le traitement de l'information et le rapport aux standards de conception sont des outils de base pour toute la chaîne de conception au sein de laquelle les sous-traitantes et fournisseurs doivent s'insérer.

20 - Un logiciel libre respecte quatre libertés (Le Crosnier, p. 156) : liberté d'exécuter le programme, pour tous les usages (liberté 0) ; liberté d'étudier le fonctionnement du programme, et de l'adapter à ses besoins (liberté 1), nécessité d'accéder au code source ; liberté de redistribuer des copies, d'aider son voisin (liberté 2) ; liberté d'améliorer le programme et de publier ses améliorations, pour en faire profiter toute la communauté (liberté 3), nécessité d'accéder au code source.

Au sein d'un plateau, il existe souvent un espace réservé aux partenaires, en particulier aux sous-traitants. Ces derniers détachent plusieurs ingénieurs et techniciens pour une partie du projet de conception. Différentes catégories de salariés sont conduites à coopérer dans des conditions qui peuvent être complexes. Car tout en étant présents physiquement sur le plateau et donc directement impliqués dans la réalisation des tâches sous contraintes, ces personnes n'accèdent pas à toute l'information disponible. Par exemple, dans l'aéronautique on certaines données ne sont pas transmises aux ingénieurs détachés par le sous-traitant.

Nous avons eu l'occasion d'accéder au retour d'expérience d'un projet finalement avorté de collaboration à grande échelle. Ce projet facilite la compréhension des enjeux et des pratiques des grands donneurs d'ordre en termes de limites de la collaboration.

Il s'agit d'un projet que nous ne sommes pas autorisés à nommer qui s'est déroulé dans le cadre d'un atelier touchant aux problématiques d'équipement électronique des engins de transport (pour lesquels on peut compter près de 100.000 pièces, voir tableau 6). L'objectif soumis par un ingénieur à sa direction consistait à instaurer une approche collaborative avec plusieurs partenaires dont des autorités nationales de certification, des prestataires de service et des PME. Ce projet s'inscrivait dans les orientations de l'innovation ouverte (voir 3.3). Le projet a dans un premier temps été soutenu par la direction. Après un cycle de concertation et de finalisation qui a duré près de deux années, le projet a finalement été écarté par la direction au motif que le secret industriel était menacé. La direction n'a en fait pas souhaité aller jusqu'au partage des connaissances.

Cet exemple n'est pas unique. La protection des données de conception est systématique appliquée par les grands groupes vis-à-vis de leurs sous-traitants et fournisseurs. Outre la raison du secret, c'est un motif au moins aussi fort d'organisation industrielle qui intervient. De nombreuses firmes élaborent en fait une conception générale puis sous-traitent l'élaboration des plans des pièces et les calculs. Des contrats de fourniture et de sous-traitance sont établis en veillant à la maîtrise des coûts au bénéfice du donneur d'ordre. Les ingénieurs du donneur d'ordre suivent ces contrats et réalisent donc de moins en moins de conception directe.

Plusieurs témoignages d'ingénieur sont à ce sujet éloquents. Ils déclarent ne plus maîtriser les méthodes de conception et s'en remettre à de la sous-traitance. Ce qui n'est pas neutre en termes de dynamique métier au sein de l'organisation. Souvent l'ingénieur chez le donneur d'ordre pilote le sous-traitant qui réalise la conceptionsans toutefois disposer de toutes les compétences nécessaires.

L'activité de l'ingénieur en PME est ainsi très encadrée et même mise sous forte pression, tandis que les ingénieurs travaillant chez les donneurs d'ordre vivent une évolution très complémentaire.

8.2 DES INGÉNIEURS DANS DIFFÉRENTS SECTEURS D'ACTIVITÉ

8.2.1 DANS L'AUTOMOBILE

Une étude conduite au sein des établissements de la régie Renault nous fournit des informations et des analyses précieuses pour la confirmation des analyses réalisées dans ce rapport. Entre 1985 et 2002, les effectifs de l'entreprise ont connu une augmentation de 38%. Cette augmentation numérique a là aussi bénéficié aux ingénieurs et cadres qui représentent plus

d'1/3 de la population en 2002. En 1985, les ingénieurs et cadres représentent 20% de la population totale de l'ingénierie, contre 26% en 1994 et 36,5% en 2002. Les ingénieurs et cadres remplacent les ouvriers (Burlet, 2008).

L'évolution de l'organisation des activités

L'AVP (avant-projet) est le moment où l'on peut innover. Au cours de cette période vont se définir les innovations retenues pour le véhicule et son niveau de standardisation. L'AVP définit la triade coût-qualité-délai et donne lieu à un contrat.

En 1997, Renault a ouvert son technocentre à Guyancourt. La gestion par projet et en plateau s'est intensifiée. Au sein des structures matricielles qui supportent les projets et les plateaux, les comportements favorisés se déplacent de l'expertise vers les capacités de communication.

Les relations sont encadrées par les plannings et les différentes revues de projet qui donnent lieu à de nombreuses réunions.

Les réunions

Près de 50% des chefs de service interviewés disent consacrer au moins 40% de leur temps (jusque 75%) aux réunions contre 7 % à la réflexion. 83 % d'entre eux soulignent une augmentation du nombre de réunions qui laisse peu de place à la prise de recul.

La réunion est devenue l'activité principale et quotidienne. Elle peut prendre différentes formes :
- Réunions institutionnelles : comités permanents regroupant plusieurs niveaux hiérarchiques (comités techniques, comités métiers, comités qualité-coût-délai) ;
- Réunions formelles : périodiques entre pairs ;
- Réunions de travail : ponctuelles pour traiter une question ou résoudre un problème (Burlet, 2008).

Ainsi il n'est pas rare qu'un ingénieur-projet ou qu'un ingénieur-métier assiste à 6h30 de réunion sur une journée de 9 heures de travail effectif.

La réunion permet de s'assurer que les procédures sont suivies. Elle fonctionne comme un dispositif de réassurance de manière à vérifier l'intensité et la direction de l'engagement de chacun.

Trois catégories d'ingénieur

La communauté des ingénieurs est forcément réorganisée avec l'adoption de ces principes de management :
- Les ingénieurs et cadres techniques-métiers rédigent les standards de conception ;
- Les ingénieurs-projet appliquent ces standards ;
- Les ingénieurs et cadres techniques-méthodes rédigent les procédures de travail et contrôlent leur application.

Le renforcement de la spécialisation

L'activité ingénieur est affectée par deux mouvements de spécialisation : fonctionnelle et technique. La spécialisation fonctionnelle accompagne et renforce les principes de l'organi-

sation matricielle en segmentant les activités en deux grands ensembles :
- L'ensemble « métier » qui définit des standards destinés à faciliter et à accélérer la conception de nouveauté ;
- L'ensemble « projet » directement impliqué sur une conception particulière et devant s'appuyer sur ces standards.

Dans cette segmentation, les ingénieurs-méthodes ont pour mission de formaliser toute la connaissance en usage. Ils utilisent les bases documentées par les ingénieurs-projet sur leur activité pour intervenir auprès de ces derniers. Les activités de contrôle et la formalisation qu'elles suscitent sont son principal moyen d'entrer dans le jeu. De ce fait, les ingénieurs-projet ont la sensation que leur savoir est directement remis en cause, faisant de la reconnaissance de leur travail un enjeu central.

Chez Renault, les ingénieurs ne sont plus appelés en fonction de leur spécialité technique. Les ingénieurs-métier définissent et prescrivent les règles de conception. Les ingénieurs projetappliquent ces règles.

La spécialisation technique est la seconde forme de ce grand mouvement de spécialisation. Chez Renault, l'ingénieur est centré sur une spécialité technique et peut intervenir sur plusieurs projets véhicules. Le périmètre technique de chacun est par conséquent focalisé sur un segment assez étroit de connaissances techniques, de compétences et de tâches. Dans ce cas, l'ingénieur peut fortement ressentir de la répétition dans son activité.

L'identité de l'ingénieur

Dans ce contexte, le terme « ingénieur » perd de son usage dans le vocabulaire de la direction au profit de « chef de projet » ou « pilote ». L'identité ou l'identification est un enjeu. Les personnels peuvent s'identifier au métier, à l'activité-projet ou à une époque. Chez Renault, le domaine technique reste très fort dans les représentations des ingénieurs et cadres techniquesdans la structure hiérarchico-fonctionnelle et dont l'ancienneté est supérieure à 15 ans. Ils se sentent toujours appartenir à un domaine technique au sein duquel ils ont progressé verticalement selon le modèle traditionnel de carrière. Cette identification est d'autant plus forte que le domaine technique fait l'objet d'une faible externalisation.

Les compétences de l'ingénieur embarqué sur des projets s'organisent autour de la capacité d'animation, de la représentation des intérêts de la fonction élémentaire dont ils ont la charge et de la négociation. Il leur faut gérer des flux de connaissances.

Une perte de créativité ?

Ces orientations incitent à s'interroger. Certains responsables hiérarchiques en viennent à considérer que l'activité d'innovation relève d'une démarche personnelle déconnectée des objectifs de l'entreprise et rendue impossible par la structuration de l'action. Les bases de données structurent fortement l'activité aussi bien lorsqu'il s'agit d'alimenter ces bases en informations de contrôle que lorsqu'il s'agit de les interroger afin de guider l'action de chacun.

Dans ce contexte de standardisation, l'innovation relève de fonctions dédiées et séparées du travail de conception. Concevoir n'est plus synonyme de créer ou d'innover. Le savoir technique est formalisé et devient dévalorisé chez les ingénieurs-métier car développer le métier est devenu synonyme de rédiger des standards et développer des méthodes.

8.2.2 DANS L'AÉRONAUTIQUE

Bien que les métiers industriels et les structures économiques soient différents, il existe une forte similitude dans les organisations entre les secteurs automobile et aéronautique. Nous indiquons dans cette section quelques points saillants de l'organisation d'une entreprise que nous ne sommes pas autorisés à citer. Les observations et analyses de notre collègue Sébastien Petit de l'Université d'Evry Val d'Essonne nous ont été très précieuses pour développer cette section.

Le processus global de conception

L'ingénieur évolue dans un cadre administratif composé de plusieurs rattachements : le centre gestionnaire du projet de conception, le service qualité, la gestion de production, son bureau d'études. La conception proprement dite est découpée en deux grands ensembles :
- Les bureaux d'étude de conception générale qui développent les sous-ensembles des produits ;
- En aval les bureaux d'étude de conception détaillée qui travaillent en lien avec les ateliers de fabrication. On doit y ajouter les prestataires externes.

Ces activités se nourrissent d'informations qu'il faut actualiser en permanence : calculs, dimensionnements, géométrie et dessins. L'exactitude de ces données permet la robustesse de la conception. Des moyens importants y sont consacrés :
- Revues de documents,
- Revues inter-métiers (les experts du domaine valident le travail des concepteurs),
- Mémoires techniques consignant les pratiques de conception,
- Mémo de coordination technique pour consigner l'état d'avancement,
- Evénements de non-qualité relevés par les fonctions support,
- Dossiers d'étude de conception pour instruire les modifications en cours.

L'organisation en plateaux

Dans la construction aéronautique également, l'organisation en plateau de projet est bien installée. 90 personnes sont affectées sur l'un des plateauxde l'entreprise pour 6 à 12 mois pour la conception détaillée et l'industrialisation des pièces d'un moteur. A titre d'exemple pour cette entreprise de l'aéronautique, les activités de conception consistent à définir les spécifications attendues de l'objet, à conduire les études qui progressivement constituent la configuration du système, du module ou plus simplement d'un objet technique et à entretenir la documentation technique.

Au sein du plateau, les concepteurs sont organisés par pôles de conception de 2 à 6 concepteurs structurés autour d'une famille de pièces du moteur (turbine, compresseur, carter et chambre de combustion), chaque pôle comprenant le plus souvent des personnels issus des bureaux d'études de conception détaillée. Quelques-uns de ces pôles comportent aussi des personnels des bureaux des méthodes, des bureaux d'études de conception générale, de l'intégration, des services achats et des sous-traitants. Chaque pôle est dirigé par un ingénieur qui est tantôt appelé « pilote de conception », tantôt « leader technique » (Petit, 2016). Sur l'un des plateaux étudiés par notre collègue, trois directions se partagent le management :
- La division des moteurs supervisant les programmes de moteurs et allouant les budgets ;
- La direction technique en charge de la conception et du pilotage opérationnel du projet ;

- La direction industrielle qui fournit les équipes opérationnelles et valide l'industrialisation des pièces.

Dans ces conditions, les projets sont régulés par deux catégories de responsables :
- Des pilotes de conception supervisant des équipes de concepteurs ;
- Des modules managers supervisant l'agencement global des différentes équipes.

Le travail des concepteurs sur un plateau s'organise en petits groupes de 2 à 6 personnes d'ingénieurs qui se coordonnent fort souvent par téléphone. Ils disposent d'un espace de travail qui leur permet de travailler relativement isolément les uns des autres même s'ils sont regroupés par 4 dans un même bureau. Ils sont occupés à respecter les délais sur lesquels on les a engagés. « Dans leur espace de travail, les concepteurs, notamment les jeunes ingénieurs affectés sur des plateaux, développent peu de relations au cours d'une journée de travail, ils échangent le plus souvent de façon informelle avec leurs voisins de plateau immédiats. Leurs échanges quotidiens dépassent d'ailleurs rarement le cadre limité des personnels de leur bureau d'études ou de leur secteur d'origine. Les différents pôles de conception n'ont pas le même rythme et ne sont pas solidaires les uns envers les autres. Ils fonctionnent en quelque sorte comme des cellules autonomes confrontées à la sanction du passage de jalons » (Petit, 2016, p. 126).

Une structuration par les réunions

On retrouve le même type de gouvernement par les délais de réalisation que celui étudié dans le secteur automobile.Les réunions sont capitales pour valider les jalons de temps. Elles impliquent surtout les pilotes de conception et les chefs de services et de départements. Les réunions sont affichées dans des agendas électroniques. La technique « webex » (conférence téléphonique à distance) est très pratiquée par les responsables hiérarchiques et par les pilotes de conception sur les plateaux. Ces réunions sont les suivantes (Petit, 2016) :
- Réunions d'avancement de département de conception ;irrégulières et en partie informelles,destinées àvérifier la tenue des délais, le travail des sous-traitants et l'ajustement des échéances et avancées des secteurs d'industrialisation par rapport à ceux de la conception ;
- Réunions d'avancement entre les équipes de conception générale et de conception détaillée ; fréquentes (une fois par semaine) et formalisées, destinées à ajuster leur travail à celui de la conception générale ;
- Réunions d'avancement d'un projet spécifique ; nombre limité de concepteurs, faible dimension technique, destinées à la tenue des délais et des coûts ;
- Réunions de travail entre concepteurs d'un même bureau d'études ; les plus fréquentes, organisées de façon inopinée et informelles ;
- Réunions de travail avec les sous-traitants ; très fréquentes ;
- Réunions gestionnaires quotidiennes ou hebdomadaires.

Le rapprochement conception-industrialisation

Tel que cela est narré par les récits industriels des 10 à 15 dernières années, la conception devrait être plus proche des contraintes de mise en fabrication. L'illustration fournie par l'exemple d'Airbus (voir 7.5.2) est ici confirmée. L'entreprise aéronautique étudiée a suivi cette orientation en rapprochant bureau d'études (BE) et bureau des méthodes (BM) de manière à intégrer le plus tôt possible les différentes contraintes de fabrication. La simulation numérique facilite ce mouvement de rapprochement.

Désormais la fabrication a autant de poids que la conception dans l'argumentation auprès de la direction technique.

Les dimensions numériques de l'activité des ingénieurs

La CAO permet la mise en commun des données, et donc la comparaison chemin faisant de l'avancée des différents travaux. Elle autorise aussi et surtout la simulation notamment lorsqu'un grand nombre de pièces doivent s'agencer dans un système. Désormais des codes de calculs fournissent rapidement les formes aérodynamiques.

Nous reproduisons exceptionnellement le témoignagerecueilli par Petit (2016, p. 309) en raison de sa convergence avec notre analyse : « à partir de quel moment on peut encore dire qu'un bureau d'études fait de la conception ? Mon remplaçant ne touche plus à la partie technique et ne fait plus que du management, il ne sait plus ce que fait techniquement son équipe. Au niveau de mon ancien service, on a perdu notre dernier dessinateur vers 2000. Donc ce sont des bureaux d'études où il n'y a plus de dessinateur, plus personne ne fait du dessin et où les calculs sont sous-traités. On a perdu ces compétences, le savoir-faire technique s'échappe au fur et à mesure. Et à la place, qu'on ne fait plus que de la gestion, du pilotage de projet. On n'a plus le temps de faire de la conception parce que les délais sont raccourcis de partout et on n'a plus les ressources. Les gens sont partis, ils n'ont pas été remplacés. Forcément on est obligé de subir. La problématique, c'est que maintenant, on n'a personne sur place qui est au niveau sur la technique. Et chez les sous-traitants c'est à peu près pareil. Comment mettre en place l'équipe ou le soutien qu'il y avait avant sachant qu'on a une activité éminemment fluctuante et qu'un programme moteur s'étale sur cinquante ans ? Actuellement, on fait ce qu'on peut et on conçoit sur l'expérience rencontrée en interne. Mais l'expérience continue de se perdre et peu à peu, on se retrouve à ne plus avoir l'historique de la conception d'un moteur nulle part dans l'entreprise ».

Une gestion prévisionnelle des compétences

La politique prévisionnelle de gestion des compétences du constructeur aéronautique peut se résumer par la recherche et la stabilisation de quatre profils de concepteurs :
- Les ingénieurs diplômés : au moins deux ans d'expérience sur un projet en tant que calculateur ou dessinateur. Une confiance forte est placée sur eux, une certaine autonomie leur est concédée, y compris en matière d'initiatives à propos de la planification et de la répartition de leur charge de travail. Leur carrière retient l'attention des cadres hiérarchiques qui s'attachent à les placer dans des filièresd'encadrement ;
- Les ingénieurs autodidactes et les techniciens de projet : concepteurs non-diplômés d'une école d'ingénieurs mais qui aspirent à participer à la gestion de projet. L'organisation leur reconnaît des compétences techniques mais aussi gestionnaires. Ils disposent de responsabilités et d'une certaine autonomie mais de façonrestrictive et non obligatoirement adossée à un plan de carrière ;
- Les techniciens de dessin et de calculs : d'un statut moins valorisé que celui des ingénieurs, ils peuvent être amenés ponctuellement à réaliser un travail d'ingénieur d'un point de vue technique mais ils sont globalement détachés des tâches managériales, qu'ils rejettent d'ailleurs ;
- Les jeunes ingénieurs de moins de deux ans d'expérience :l'entreprise investit particulièrement dans cette population et nourrit deux principales attentes à leur égard : qu'ils prennent aisément en charge les tâches de gestion et de pilotage de projet et qu'ils exercent et sachent accomplir des tâches habituellement dévolues aux techniciens. Ces jeunes ingénieurs sont particulièrement exposés sur les plateaux.

Une perspective d'ingénierie du travail de conception

Nous sommes de fait assez éloignés des principes de créativité exposés en début de rapport. On ne peut comprendre l'activité de conception aujourd'hui qu'à la condition de se plonger dans son organisation administrative et économique.

Un constat vaut surtout pour les entreprises industrielles de grande taille et d'une certaine ancienneté : l'activité de conception est durablement engagée dans une bureaucratie des activités créatives. Un niveau de conception générale définit le cadre et certains des contenus des activités créatives. Les niveaux de conception détaillée doivent s'y soumettre.

Les activités créatives relatives à l'objet de conception existent forcément dans un espace particulier. Elles sont prises en charge, sous des contraintes économiques et réglementaires très fortes, par un petit groupe de personnes qui peuvent encore être qualifiées de créatives en termes d'objet. Mais ce petit groupe (parfois en partie externalisé avec des experts indépendants) est très vite complété par des concepteurs de méthodes et de processus pour qui la structure administrative et économique (délai et coûts) est toujours plus urgente et structurante que le contenu de la conception.

Nous reprenons l'analyse à notre sens très pertinente de notre collègue Sébastien Petit : « Les organisations parprocessus et par projet, qui modèlent l'activité de conception, mettent en mouvement une division du travail et une forme de coopération qui favorisent l'instrumentation et la rentabilisation de la mobilisation de chaque concepteur. Celles-ci redistribuent le travail des concepteurs en ouvrant la voie à de nouvelles activités et tâches de gestion … Elles ouvrent ainsi la voie à l'émergence d'ingénieurs spécificateurs qui expriment des compétences à la fois techniques et gestionnaires et qui ne conçoivent pas. La division du travail autour de tâches d'ingénierie paraît, dans cette perspective, mettre à distance le concepteur, ingénieur ou technicien, du processus de conception » (Petit, p. 443).

8.2.3 DANS LE BTP

Le secteur du BTP a toujours été très particulier en termes d'organisation en comparaison de l'industrie. Le fait marquant aujourd'hui est que, sous l'effet de la disponibilité des technologies numériques,la recherche de productivité qui n'a jamais quitté ses dirigeants peut désormais se développer.

Ce secteur est caractérisé par des dimensions d'organisation qui tendent à disperser l'information et de fait à rendre difficiles les coordinations. Ces dimensions sont une forte fragmentation des entreprises intervenant dans une construction (de très grandes entreprises et de très petites et des secteurs d'activité fort éloignés), des interactions complexes entre acteurs, des délais courts de conception et de construction, et un système d'information segmenté entre le chantier et les bureaux de conception.

Dans ce contexte, des opérateurs de l'informatique et des télécommunications étudient des solutions proches des PLM industriels pour le BTP. Ces solutions pourraient améliorer la productivité sur les chantiers. Selon l'un de ces acteurs : « bien que les plans soient numérisés en format DWG ou PDF, les équipes de chantier les impriment régulièrement pour pouvoir les utiliser sur le terrain et les rendre accessibles à chaque intervenant. Annotations et commentaires s'ensuivent et à chaque mise à jour des plans, ce sont une ou deux armoires de documents qu'il faut imprimer de nouveau » (documentation commerciale Intel, 2015).

Il s'agit de développer des systèmes déployés sur des applications mobiles permettant l'intégration des différents intervenants de la construction. Des outils collaboratifs en ligne existent depuis 2012 pour relier les documents des architectes, des conducteurs de travaux, des bureaux d'études jusqu'aux différents artisans et sous-traitants.

Outre la facilitation de l'accès à l'information, ces systèmes peuvent utiliser des plateformes de stockage centralisé dans le cloud.

En pratique, les gains réalisés par les entreprises utilisatrices du secteur prennent la forme suivante :
- Hausse considérable dans l'exploitation des données générées (plus de 2.000 notes de terrain par utilisateur gérées sur les délais d'un projet de construction) ;
- Gain de 2 à 3 heures par jour temps pourles relevés et saisies de terrain ;
- Gain de 1 à 2 journées par semaine pour les équipes de fin de chantier.

On semble ainsi s'acheminer dans le BTP vers une plus grande fluidité d'action entre les centres de direction des chantiers et les activités de construction. Cette évolution rappelle fortement les programmes d'intégration BE-fabrication tels qu'ils sont par exemple déployés en termes de fabrication additive.

8.2.4 DANS LA BANQUE

Nous disposons d'un exemple qui montre qu'une banque a confié une partie de la conception de ses activités au fournisseur de solutions PLM Dassault Systèmes (source : Mag IT, décembre 2014).

La banque BNP Paribas est en effet la première banque au monde à déployer la plateforme PLM Enovia de Dassault Systèmes. L'objectif consiste à gagner en agilité et efficacité face à la montée en puissance de la réglementation dans le secteur financier. La banque va y gérer le cycle de vie de ses produits financiers.

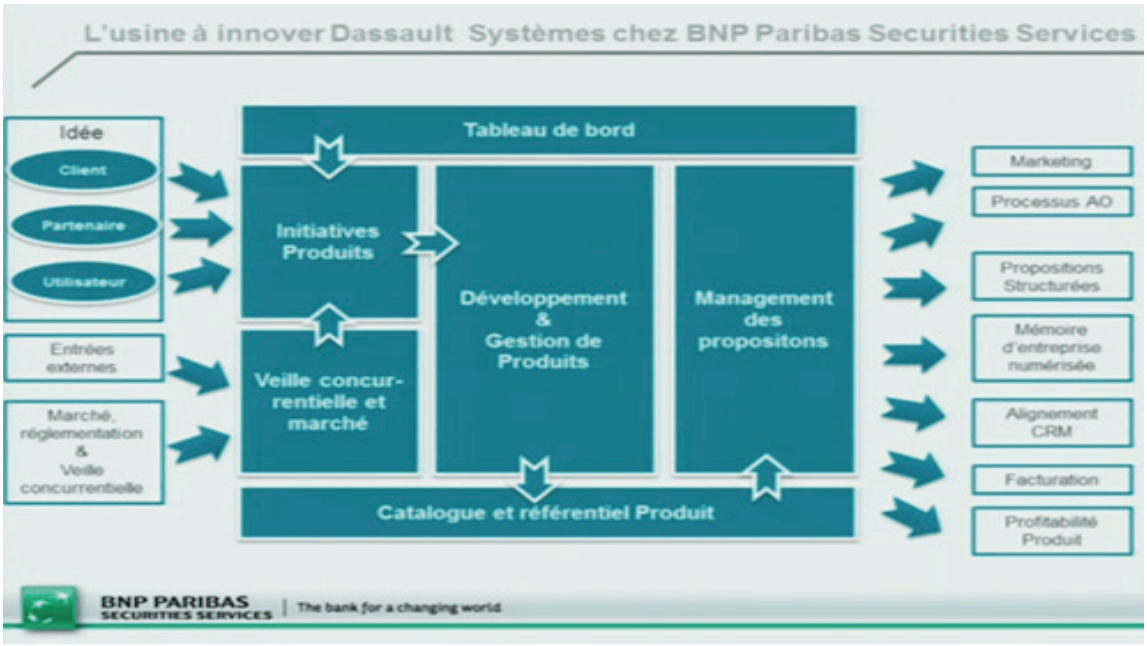
« Depuis la crise financière, un certain nombre de nouvelles réglementations ont été mises en place en Europe et aux Etats-Unis. Cela nécessite de nous y adapter et en même temps, cela ouvre aussi la porte à la création de nouveaux produits destinés à aider les institutions financières à se mettre en conformité », résume le responsable Clearing, Custody & Settlement Products chez BNP Paribas Securities Services.Dans la compétition bancaire, la filiale du groupe BNP Paribas s'est internationalisée. Elle compte désormais 8.000 personnes sur 34 sites et, présente sur une centaine de marchés financiers, elle réalise un chiffre d'affaires de 1,3 milliard d'euros. « Nos équipes produit, qui représentent environ 200 personnes, ont vu leur métier changer », ajoute le responsable. « Tout comme d'autres industries, le produit fait la jonction entre les commerciaux, la production IT et marketing. Ce sont eux qui sont à la source de l'innovation de l'entreprise et des adaptations que nous faisons sur nos offres. Depuis 4/5 ans, nous avons demandé à ces 200 personnes d'être en permanence en veille réglementaire, en veille concurrentielle. Ils doivent lire tous les documents publiés par la banque centrale européenne, par le régulateur américain de manière à filtrer, analyser et identifier les impacts d'une règlementation sur tel ou tel produit. ».

La BNP Paribas Securities Services gère 80 lignes de produits qui représentent 500 produits et services à gérer. Outre la pression règlementaire, c'est la gestion de ces lignes de

produits qui a poussé la banque à s'intéresser aux solutions de PLM, tout comme l'on fait d'autres industries il y a quelques années.

En termes de configuration, l'idée consiste à s'inspirer de l'industrie qui parvient à des niveaux de composition très élevés de composants standards déjà testés et éprouvés (voir 4.1.3) . En juin 2014, un contrat a été conclu avec Dassault Systèmes pour l'implémentation d'Enovia (voir annexe 2). L'équipe projet se compose de 7 personnes et peut s'appuyer sur 10 autres personnes qui viennent des métiers et une trentaine qui participent aux workshops et réunions pour modéliser les processus. Une centaine de personnes dans différents pays et de différentes fonctions sont informées de l'avancement du projet.
Le projet se décompose en 5 grandes fonctions (figure 9). La veille concurrentielle est le premier module à être déployé en 2015, suivi du module « initiatives produits » pour la gestion amont des projets de nouveaux produits, le module de développement et de gestion des produits lui-même, et le module de gestion des propositions, le référentiel produit s'enrichissant à chaque phase.

FIGURE 9 – LA STRUCTURE PLM DE BNP PARIBAS



Source : BNP Paribas, 2015.

La place du référentiel dans un PLM est centrale. Celui-ci permet de regrouper tous les produits et leurs variantes dans un même endroit. Le management précise « le référentiel sera l'opportunité de numériser notre catalogue produit en allant à un niveau très granulaire, jusqu'à attacher des parties de contrat à chaque service, tout le marketing qui va avec le produit, et à terme jusqu'au message SWIFT de confirmation du paiement. » Cette granularité permettra notamment de généraliser la capacité à réutiliser des composants, tout comme PSA réutilise des composants des véhicules précédents pour concevoir un nouveau modèle. Un directeur commercial de Dassault Systèmes souligne : « nous voyons aujourd'hui de plus en plus d'analogies entre l'approche de BNP Paribas et de PSA. Tous deux emploient les mêmes termes, parlant de nouveaux modèles opérationnels, durables et flexibles. Introduire de la rigueur dans la manière de produire des solutions, mais aussi répondre à l'incertitude ou des événements imprévisibles comme la régulation, la concurrence et dans le souci de développer le business. ».

Ce système permet aux utilisateurs de construire eux-mêmes des tableaux de bord au sein desquels ils peuvent capturer de l'information sur le marché dans la première phase, puis de l'information interne. Il est alors envisageable de réduire les délais de mise en place de nouveaux produits sur le marché (20% est l'objectif grâce aux Workflow et à la digitalisation du processus).

8.3 TROIS TRANSFORMATIONS POSSIBLES

L'ensemble de ces observations empiriques nous permet de vérifier plusieurs constantes dans un monde industriel en évolution forte depuis le milieu des années 80. La première est la dialectique qui est inscrite au cœur de ce monde industriel entre technologie et organisation. Les différentes vagues de systèmes et d'outils techniques sont le fruit d'une maturation progressive des organisations qui sont mises au défi de la compétitivité. La seconde constante concerne la succession de rationalisations qui affectent l'industrie. Pour répondre au défi de la compétitivité, des moyens sans cesse présentés comme inédits sont définis à partir d'un principe de raison. En apparence chaque principe de raison (réduire les délais, améliorer la qualité, optimiser la régulation d'un système technique, intégrer plusieurs niveaux d'information à des fins de contrôle, …) est plus englobant et plus puissant que ses prédécesseurs. En fait il s'agit de moyens supplémentaires, certes parfois plus efficients, au sein du grand mouvement de bureaucratisation des activités économiques.

La révolution numérique qui est en train de bouleverser le monde industriel s'inscrit dans ce grand mouvement qui possède plusieurs décennies d'expérience. Ainsi la rationalisation du travail de conception a démarré au cours des années 80 pour un grand nombre de secteurs d'activité. Elle se poursuit en provoquant une séparation entre une création d'ensemble (conception générale) et des parcelles de développement sous contrôle.

Nombre d'ingénieurs sont de cette manière frustrés en termes de maîtrise du contenu de leur travail alors qu'une activité abstraite de régulation incarnée par la gestion de projet et le PLM encadre la majeure partie de leurs actions. Dans cette perspective nous exposons trois évolutions qui devraient renforcer les logiques à l'œuvre.

8.3.1 EN TERMES DE CENTRALISATION DOCUMENTAIRE

D'un point de vue logique, l'information est une interprétation de données qui représentent un état du monde à un moment donné. La donnée est la plus petite portion de réel que l'on ait définie à ce jour. Elle n'est pas exempte de vision subjective puisqu'elle sera traduite différemment par deux personnes différentes (pour l'une, la donnée ''porte'' sera une information ''objet d'art '' alors que pour une autre elle sera traduite en information ''point de sortie d'un espace'').

Une étude réalisée chez EDF en 2000 montrait qu'un cadre supérieur recevait en moyenne 100 pages de documents par jour nécessitant 3 à 4 heures de lecture alors que son emploi du temps ne l'autorisait qu'à seulement 2 heures pour cette tâche.Les cadres produisent en fait de plus en plus d'informations afin de répondre aux sollicitations qui leur sont faites.La surproduction informationnelle se répercute à moindre coût grâce aux progrès techniques sur l'ensemble des destinataires.

On comprend bien l'intérêt pour une organisation de tenter de maîtriser son système d'information.

Les études anthropologiques ont analysé ce problème depuis longtemps. « La variation des modes de communication est souvent aussi importante que celle des modes de production, car elle implique un développement tant des relations entre individus que des possibilités de stockage, d'analyse et de création dans l'ordre du savoir » (Goody, 1979, p. 86).

Nous avons examiné de quelle manière une méthode de management telle que le PLM se proposait de réaliser cette maîtrise de l'information. Les activités de conception comme les autres activités s'inscrivent désormais dans une grande chaîne d'information qui office en tant qu'intendant général des tâches et de leurs délais.

Il est fort probable que l'emprise du PLM aille encore plus loin, ou plutôt qu'elle s'associe à une technologie en plein essor sur les marchés de la consommation : le calcul intensif plus connu sous l'appellation Big Data.

Citons tout d'abord sur quelques expériences de PLM qui nous ont été décrites par un consultant spécialisé dans le domaine.

Il y a quelques années, General Electric s'était doté sur son site de Belfort d'un système PLM commercialisé par Siemens, Team Center©. Quelques années plus tard le choix s'est reporté vers l'un des systèmes concurrents, Enovia©,développé par Dassault Systèmes. Au moment de la bascule d'un système vers l'autre, les chefs de projet se sont rendu compte que les ingénieurs avaient finalement bien intégré l'environnement PLM de la firme allemande. Ils l'avaient à tel point intégré que les installateurs du système suivant ont eu beaucoup de mal à dresser leur étude des besoins utilisateurs. Il s'est en effet révéléque les ingénieurs de General Electricévoquaient leur métier au travers, et au travers seulement, des instruments du PLM en fonction. Leur métier était devenu, pour eux, ce qui figurait sur les écrans.

On prend ainsi la mesure du pouvoir structurant de l'outil. Celui-ci est bien produit par une réflexion en termes d'organisation, mais lorsqu'il est en place et en fonctionnement il devient l'une des parties de l'organisation.

Dans l'industrie pharmaceutique, les laboratoires Pierre Fabre ont connu des premiers pas difficiles dans le PLM. L'organisation en place était devenue « naturelle » pour ses membres, à tel point que personne ne souhaitait se séparer des anciens outils. Or, l'installateur du système (Dassault Systèmes à nouveau) avait prévenu de la nécessitéde la remise à plat des processus, en vigueur.

Cet autre exemple montre la lourdeur des processus de changement de systèmes d'information. Pour être envisagé un système d'information intégrateur doit être justifié par la direction de l'entreprise, de tels systèmes de PLM coûtent cher, et lorsqu'ils sont en place ils doivent être utilisés à plein.

Un grand éditeur de logiciels de PLM se pose à lui-même la question de la gestion de l'information. Servant des milliers de clients dans le monde et brassant des millions de lignes de code, cet éditeur fait face à une gigantesque expansion des connaissances de ses ingénieurs.

A cet effet, une base de connaissances a été créée en 2007 avec beaucoup de contenu mais des difficultés d'indexation et donc d'accessibilité à l'information pertinente. La direction souhaite améliorer cette accessibilité afin que des communautés professionnelles s'impliquent dans les logiciels commercialisés.

Une petite équipe de gestion des connaissances a été mise sur pied afin de prendre en charge ces besoins. Progressivement un système de management des connaissances est mis en fonctionnement, il permet de fournir des réponses aux requêtes des ingénieurs. Il s'agit d'un gain de temps permis en amont par un travail conséquent de rationalisation des liens syntaxiques et sémantiques entre les milliers de données et d'information entreposées dans les différentes bases documentaires de cette firme.

L'étape suivante nous semble résider dans le rapprochement avec les bases de données commerciales.

Rappelons que la mission Afdel sur le Big Data, prévoit que les applications mobiles des citoyens pourraient générer plus de 40 milliards d'euros de revenu en 2016 en France et une création de valeur potentielle de 200 milliards d'euros dans les administrations publiques européennes. L'Afdel pour « Association française des éditeurs de logiciels et solutions internet » a été créée en 2005 pour représenter les éditeurs de logiciels et les sociétés internet et être le porte-parole de l'industrie numérique en France. Rebaptisée Tech In France, elle rassemble plus de 350 entreprises membres (dont 80 % de PME). Le chiffre d'affaires cumulé de ses adhérents s'élève à 8 milliards d'euros.

Désormais des sociétés de conseil se déploient dans l'offre de calcul intensif en dressant des cartes de termes censés représenter des agrégations d'intérêt commercial et technologique. Il s'agit d'une activité d'analyse sémantique à très grande échelle sur des corpus de données très variées : des données personnelles de consommation jusqu'aux données de brevets d'invention en passant par les rapports qualité-prix de différents concurrents sur un marché particulier.

Ce calcul intensif est structuré par des procédures de recherche et d'analyse de données en parallèle. Des capacités de calcul gigantesques sont détenues par quelques opérateurs mondiaux d'Internet. Ces capacités sont utilisées pour vendre de l'espace publicitaire et fournir du renseignement sur mesure aux responsables et managers de marque. Selon les spécialistes du domaine ce mode d'élaboration des informations de marché serait un puissant vecteur de déstabilisation de l'expertise accumulée en termes de marketing.

L'intégration entre Big Data et PLM est donc tout à fait envisageable. Elle est d'ailleurs déjà effective avec les plateformes qui délivrent des services peu qualifiées : transport à la demande (Uber, Blablacar, …) et tâches à la demande (Mechanical Turk, Foule Factory, …) et parfois pour des activités plus qualifiées (99design). Les plateformes d'appel à la foule pour des recherches scientifiques et techniques (Innocentive) ne sont pas encore connectées aux systèmes d'information internes des entreprises.

La genèse des plateformes de conception puis le début d'articulation aux systèmes de fabrication additive (imprimantes 3D) nous ont montré que les rapprochements entre des univers a priori antinomiques étaient possibles. Chaque fois qu'ils l'ont été, l'argument a été le client.

Pour cela, les modules de conception, de fabrication et de distribution sont déjà bien en place. Les industriels veulent aller vite de la conception à la livraison et ils souhaitent maîtriser les coûts. Ce qui passe par des taux de réutilisation élevée des modules de conception et de fabrication.

La voie du client a jusqu'à présent emprunté plusieurs médias (études marketing, sondages consommateurs, tests divers, mobilisation de l'utilisateur dès la phase de créativité, …). Ce-

pendant une limite a toujours persisté en termes de rapidité de remontée de l'information ainsi que parfois en termes de représentativité. Ces limites semblent désormais balayées avec le fonctionnement 24/7[21] d'algorithmes de prédiction des choix des consommateurs.

Ces algorithmes sont basés sur le « smarter marketing » (marketing individualisé)qui est un outil de profilage algorithmique des consommateurs qui transforme le marketing et la publicité en « services ». Egalement, ils se fondent sur les techniques de datamining qui élaborent les cas singuliers suivant un système de rapports entre diverses mesures sans se référer à des normes statistiques pourtant reconnues comme la moyenne et l'écart-type.

Ces techniques sont très explicitement et cyniquement présentées par l'un de ses promoteurs (Chris Anderson, rédacteur en chef de Wired, dans L'âge des Petabits) : « C'est un monde dans lequel des quantités massives de données et les mathématiques appliquées remplacent tous les autres outils qui pourraient être utilisés. Exit toutes les théories sur les comportements humains, de la linguistique à la sociologie. Oubliez la taxinomie, l'ontologie, et la psychologie. Qui peut savoir pourquoi les gens font ce qu'ils font ? Le fait est qu'ils le font, et que nous pouvons le tracer et mesurer avec une fidélité sans précédent. Si l'on a assez de données, les chiffres parlent d'eux-mêmes » (cité dans Cardon, 2012).

Si cette intégration PLM – Big Data se concrétise, elle sera certainement rude pour le domaine de la conception et en particulier des métiers.

Pourra-t-on en l'occurrence parler d'automatisation de la conception ?

8.3.2 EN TERMES D'AUTOMATISATION

Les transitions de la planche à dessin à la CAO puis à la maquette numérique connectée aux autres processus de décision de l'organisation au moyen d'un PLM ont indéniablement marqué des changements importants. A chacune des transitions, des degrés différents ont été atteints dans la progression de l'automatisation. Quelles sont les tâches qui ont été affectées ?

Il s'agit de certaines tâches de prise d'information telles que la dimension des pièces, les possibilités de combinaison de différentes pièces ou solutions chimiques. Il s'agit également d'informations relatives à la simulation du comportement d'un objet ou d'un système en contexte artificiel. Il s'agit aussi d'informations relatives au marché (réglementation, pression concurrentielle, disponibilité de fournisseurs, …) qui sont constamment collectées et analysées par des automates de calcul intensif.

Evoquer une automatisation desactivités de conception serait très certainement erroné puisque par définition la conception repose sur des actes créatifs. La conception devrait en toute logique représenter le dernier espace préservé du mouvement d'automatisation de l'industrie. Par contre l'aide à la conception est directement concernée par ce grand mouvement. Pour s'en persuader de manière rationnelle il nous faut répondre à deux questions stratégiques : qui décide de l'automatisation et comment est-elle opérée ?

21 - Le fonctionnement 24/7 a été défini par Crary (2013) comme l'organisation à l'échelle planétaire de vastes systèmes de traçabilité, non plus seulement des produits, mais des comportements humains dans la consommation mais aussi dans les activités de loisir, y compris les plus intimes. En agrégeant des milliards d'information, les firmes de l'Internet (les Gafa en particulier) font industrie, et non plus seulement commerce, des données.

Nos différentes analyses permettent de répondre assez directement à la question de l'engagement de la responsabilité de l'automatisation de certaines activités d'aide à la décision.
La décision d'automatisation est impulsée à partir des considérations économiques qui organisent les entreprises industrielles. Ce fait est très bien mis en perspective par les analyses de l'ergonomie cognitive.

Les systèmes de conception sont concernés par une interdépendance entre des acteurs qui développent des raisonnements. Ces derniers se nourrissent de communications très fréquentes et intenses. Pour une direction de BE l'enjeu réside dans la bonne orientation de cette activité de communication : « la maîtrise des risques d'un projet repose sur la transparence des échanges et la confiance entre protagonistes » (Darses, 2009, p. 49). Pour les spécialistes, nous sommes alors dans une situation d'« hypercommunication » qui résulte d'une « adhocratie technicienne ». Ce mode d'organisation est en fait très subtil puisqu'il consiste à permettre une certaine souplesse d'ajustement entre des activités de conception a priori autonomes car créatives tout en imposant des décisions de gestion tout à fait inflexibles.

En l'occurrence, une « adhocratie technicienne est un réseau faiblement structuré formé de concepteurs auto-organisés, où dominent l'ajustement mutuel et les débats techniques. Ce réseau est gouverné par une hiérarchie économico-administrative qui entretient des relations distantes avec les activités de conception proprement dites » (Darses, 2009, p. 49).
Le centre de décision de l'automatisation est donc clair. Il est justifié à l'aide du concept de plateforme qui emprunte plusieurs déclinaisons suivant le secteur d'activité : organisation en plateau ou structure d'accueil.

Par exemple, une structure d'accueil dans la conception de systèmes électroniques est destinée à recevoir les différents éléments élaborés par plusieurs équipes différentes (souvent rattachées à différentes entreprises).Cette structure d'accueil permet d'assembler des fichiers, c'est un automate qui brasse différents fichiers de commande. La conception proprement dite est réalisée à partir de compétences métiers encapsulées dans des modules pilotés par différentes entreprises. Des algorithmes de traitement ont pour but d'agencer ces différents modules. Le concepteur est apte à réaliser sa conception sans le support a priori de cette structure, par contre le protocole va appeler son travail et l'y insérer dans la structure d'accueil. La structure d'accueil fournit donc un environnement de développement logiciel qui nécessite des licences (propriétaires ou libres) qui coûtent assez cher.

Dans cette véritable économie de la conception, les ordres de grandeur sont les suivants :
- Le coût de l'infrastructure plateforme représente 5 à 6 ans de développement ;
- Le coût de conception de chaque module : 6 mois (les différents modules sont élaborés en simultané).

L'infrastructure coûte donc très cher et de ce fait son propriétaire ouvre sa structure d'accueil aux utilisateurs sans toutefois ouvrir ses modules métiers. Son intérêt est que la plateforme permette le plus possible de connexions d'accueil et qu'elle dure le plus longtemps possible. Pour cela la standardisation est souvent préférée afin de durer tout en permettant le plus grand des accueils aux différents concepteurs.

Une fois réglée la question de la prise de responsabilité, il reste la question des modalités : comment s'engagent les processus d'automatisation d'aide à la conception ?

Ces modalités reposent sur deux grands principes qui concernent la cible de l'automatisation. Celle-ci s'adresse toujours à la dimension comportementale d'une action et non pas à son intention. Elle est complétée par le second principe qui est la modularité. Autrement dit pour passer d'une activité réalisée par l'humain à une activité prise en charge par un automatisme, il est nécessaire de réaliser une étude assez longue de formalisation de l'activité humaine. Dans ce cadre, l'activité humaine est identifiée et découpée en gestes élémentaires qui sont ré agencés en activités élémentaires. Ce n'est qu'à ce prix qu'une automatisation peut être effective. L'observation suivant laquelle les machines agiraient à la place de l'humain est en fait fausse. Il n'existe pas de pensée des machines, mais plutôt des séquences d'activité standardisées qui peuvent être combinées à des vitesses surhumaines qui donnent effectivement l'illusion qu'une pensée automatique existe. Il s'agit plutôt d'une régulation à très grande vitesse de modules de tâches.

De ce fait la prise de recul par rapport aux méthodes de management qui consistent à accélérer certaines activités de conception semble très difficile. Les encadrants s'en remettent à ces méthodes qui leur sont présentées comme rationnelles par principe. De surcroît l'organisation sociale de l'activité devient parsemée d'automatismes (une automatisation totale étant impossible). Dans ces conditions que se passe-t-il ?

Un ingénieur en responsabilité sur une de ces méthodes fournit un éclairage assez représentatif des mouvements actuels : « Les gens du bureau d'études se sentent lâchés par leur hiérarchie, ils ont l'impression que leurs chefs ne peuvent pas les aider pour prioriser et répondre aux demandes … Il faut reconstruire un système de pilotage qui permette aux opérationnels d'avoir une vision sur ce qu'ils font, pour savoir répondre aux personnes qui viennent les voir. Pour moi ce n'est pas excessif que les gens du bureau d'études apprennent à davantage piloter leur activité et sachent prioriser les demandes que d'autres services leur font. Le problème aujourd'hui c'est que les manageurs la plupart du temps ils sont aussi paumés qu'eux »(Petit, 2016, p. 184).

Dans ces conditions l'automatisation ira croissant dans les prochaines décennies. Ce faisant, elle pose clairement une question de fiabilité des systèmes de conception.

8.3.3 EN TERMES DE FIABILITÉ

La troisième transformation en cours au travers des plateformes numériques de conception ouverte est sans doute la plus ambitieuse car elle vise une alliance d'une subtilité relativement inédite entre système technique et système social. En effet, une fois enclenché le mouvement d'automatisation des opérations d'aide à la décision de conception, il s'agit de garantir une grande sûreté de fonctionnement à un système composé d'algorithmes de calcul intensif, de bases de données souvent peu connectées entre elles, de plans de réalisation fortement contraints en délai et d'équipes de conception régie par des outils de type PLM.

Tout d'abord il faut que pour ces systèmes soit défini le contenu de la fiabilité.

Une première définition vient du domaine informatique. La sécurité des systèmes d'information vise plusieurs objectifs :
- La disponibilité des capacités de traitement de l'information tout au long des plages d'utilisation prévues ;
- L'intégrité des données en termes d'exactitude et de complétude ;

- La confidentialitédes données ;
- La traçabilitédes données et leur conservation ;
- l'authentificationdes utilisateurs ;
- La non-répudiation et l'imputation : aucun utilisateur ne doit pouvoir contester les opérations qu'il a réalisées dans le cadre de ses actions autorisées, et aucun tiers ne doit pouvoir s'attribuer les actions d'un autre utilisateur.

Le monde industriel, de son côté (Norme AFNOR X 60-500), a défini la fiabilité en se donnant des indicateurs tels que le MTBF (mean time between failures : temps moyen entre pannes ou durée moyenne entre pannes). C'est la moyenne arithmétique du temps de fonctionnement entre les pannes d'un système réparable. La panne rend tout système indisponible ce qui retarde l'achèvement des activités en cours. On imagine la paralysie qui pourrait affecter des systèmes de conception articulés avec des productions additives (imprimantes 3D) et du calcul intensif sur des données publiques de consommation. Afin de rendre de tels systèmes optimaux, c'est-à-dire d'augmenter le plus possible leur temps effectif de bon fonctionnement, il faut s'intéresser à d'autres types de disponibilité : celle des personnes qualifiées, celle des transports et de la logistique, celle des serveurs informatiques, en somme celle de l'organisation conçue comme un tout.

A cet effet, un nouveau mouvement s'est développé dans le monde économique : celui des organisations hautement fiables. Ce mouvement s'inspire notamment des travaux du sociologue américain Karl Weick. Ce dernier s'est intéressé aux situations hors normes tels que les grands accidents industriels ou bien les situations d'improvisation. Dans ces situations, les contextes sont complexes et structurés par des variables très interdépendantes. Pour Karl Weick, les « organisations hautement fiables » sont des organisations flexibles.

Son raisonnement tend à montrer que la fiabilité d'une organisation ne réside pas dans des modèles scientifiques élaborés, mais dans les pratiques comportementales des acteurs. Autrement dit un modèle (d'organisation) n'est jamais un système véritablement en action. La fiabilité est invisible puisqu'elle consiste à empêcher l'irruption d'un événement nuisible. Toutefois, l'auteur suggère de s'intéresser également aux comportements qui succèdent directement à un problème important. Plus que d'essayer d'éviter les accidents, il est utile de créer les conditions et capacités pour les gérer en faisant par exemple en sorte que les dégâts ne s'amplifient pas.

Les préconisations consistent alors à s'exercer en situation d'incertitude. Des simulations et des leçons tirés des événements accidentels devraient permettre d'élaborer des références en termes de comportements souhaitables et d'exercer les membres de l'organisation aux attitudes de vigilance. De telles préconisations incitent les responsables à développer les actions de simulation et les tiennent en alerte sur la recherche d'alternatives aux routines en place.

Si l'on compare ces orientations au mouvement de standardisation et de gestion par projet, on doit se rendre à l'évidence : l'intersection paraît très réduite.
L'essentiel des efforts de rationalisation nous semble porter sur la vitesse d'exécution et la standardisation des tâches plutôt que sur l'enrichissement du répertoire des conduites alternatives. Mais pour autant, les systèmes de conception en usage, même très standardisés, ont besoin d'une certaine autonomie des ingénieurs.

Une illustration est fournie avec le constat d'un directeur de département d'une entreprise aéronautique qui livre un commentaire à propos de la standardisation : « Dans un atelier de

fabrication, il y a sûrement des standards de production qui sont non pas plus faciles à imposer mais plus facile à déterminer, parce qu'il y a des aspects qui ne varient pas. En bureau d'études c'est assez différent. Ce qu'on cherche à standardiser avec le lean management, c'est la durée d'exécution d'une tâche, d'un livrable. On peut alors attribuer une durée de deux heures, quatre heures, six heures, huit heures etc. àune tâche, en tout cas en principe. Dans les faits on constate que c'est moins évident que cela ; il est assez difficile d'établir des standards ou des tâches types qui correspondraient à une durée bien précise. On a réussi à en répertorier mais c'est assez minime. Par rapport à ce constat, je pars du principe qu'on ne doit pas chercher à standardiser à tout prix parce qu'on sait que les standards, s'ils ne correspondent à rien de précis, ne seront pas tenus. Pouvoir savoir, comprendre et communiquer sur son propre travail et celui des autres c'est déjà un changement majeur. Ça compte plus à mon sens que le fait de poser des standards un peu partout » (Petit, 2016, p. 181).

Autrement dit, et c'est un constat régulier en milieu industriel, tout système d'organisation élabore lui-même ses besoins propres, notamment en termes d'autonomie en son sein afin d'exercer des actions de régulation.

Des autonomies existent même au sein de l'organisation segmentée de la conception avec un pilotage exercé par la hiérarchie économico-administrative. Mais ces autonomies sont sans doute trop faiblement supportées et reconnues par des hiérarchies qui investissent la majeure partie de leurs efforts dans l'optimisation du taux de réutilisation des modules de conception (voir 4.1.3).

Une illustration des critiques adressées à ce modèle d'organisation provient des concepteurs de plus en plus frustrés par le modèle standard de la conception (voir figure 5).
Les critiques sont nombreuses (Burdea, 2003) :
- Alors qu'ils prescrivent usuellement les spécifications des produits, ils ne sont pas autorisés à suivreleur création tout au long du processus afin que leur conception initiale ne soit pas trahie (Tovey, 2002) ;
- Lorsqu'ils s'expriment lors de phases de « creative front end » (voir figure 6), ils opèrent généralement en mobilisant des médias de conception traditionnels tels que le maquettage, « clay modeling » ou encore le « sketching » (Fällma, 2003a, 2003b). Ces médias, qui permettent des explorations intensives et qui favorisent la créativité, possèdent l'avantage de fournir plutôt un moyen de suggestion et d'exploration que de prescription spécifique. De plus, ces médias comportent une large part d'ambiguïté et fournissent peu de détails. Ces atouts se transforment en contrainte dès lors qu'il s'agit de les transmettre à d'autres concepteurs ;
- En compartimentant la créativité et en limitant l'intervention des designers industriels aux phases amont du processus, il existe un fort risque de mauvaise interprétation ou de simplification de leur concept initial, ce qu'ils vivent alors comme une trahison ;
- Il est également courant que des impératifs de développement spécifiques tels que des délais très courts ou l'obligation d'utiliser une technologie particulière, surviennent. Il est alors demandé aux designers industriels d'intervenir sur des objets quasiment entièrement conçus. Au cours de telles situations, les phases créatives sont généralement les premières à être sacrifiées.

En résumé, les critiques concernent une logique de séparation au sein de l'univers de conception. Dans le milieu, il se dit que les spécialistes s'accommodent très mal des interventions tardives qu'on leur impose. Ils comparent cette sollicitation à de « l'habillage de bossu » (Loewy, 1963).

A l'évidence, la haute fiabilité représente un chantier important pour l'industrie française qui doit améliorer la qualité de ses produits, mais également celle de ses processus de conception et de développement. Des études plus approfondies pourraient permettre d'observer et d'analyser les évolutions dans les décennies futures.

Au final, les trois tendances mises en avant (centralisation documentaire, automatisation et fiabilité) nous conduisent à opérer un retour sur les principes de la créativité exposés en tout début de rapport. A l'évidence le choix des sources d'inspiration ainsi que les outils d'aide à la conception sont fortement prescrits par le système de gestion. Si l'on peut comprendre les contraintes de compétitivité et leur traduction en outils sophistiqués d'aide à la décision, on peut rencontrer un peu plus de difficultés pour assimiler la raison qui ferait que l'élaboration de ces outils serait exclusivement inspirée par une instance de programmation des méthodes et projets. Une chose est de fournir de l'aide à la décision, une autre est d'élaborer des canaux d'alimentation de ces outils. Une question émerge : pourquoi les pratiques et expériences de la majorité des ingénieurs ne sont-elles pas mobilisées afin d'enrichir les référentiels d'aide à la conception ?

9 RECOMMANDATIONS

9.1 RECOMMANDATIONS ÉCONOMIQUES

9.1.1 DEVENIR DES DONNÉES NUMÉRIQUES ?

Les différents systèmes de gestion vont générer un trafic croissant de données. La question de l'usage de ces données se pose. Dans le même temps c'est la question du coût d'utilisation qui commence à se poser.

Les données ont deux sources :
- PLM, procédures projet et référentiels métiers pour les données de conception,
- Calcul intensif dans les bases de données utilisateurs et usagers (big data) pour les données de consommation.

Les données de consommation sont produites en grande masse par différents opérateurs : les GAFA, des sociétés de conseil et des agences de communication spécialisées. La maîtrise de ces données représente un enjeu colossal. Les bases de données sont renouvelées en permanence par des algorithmes 24/7. Les puissances de calcul sont telles qu'elles justifient la privatisation des données personnelles pour les différents prestataires du Big Data.

Quels en sont les effets pour les activités de créativité et de conception ? Il faut s'attendre à une exacerbation de différents antagonismes déjà bien installés :
- Entre industriels et canaux de distribution qui maîtrisent une grand partie des informations clients ;
- Entre firmes pivot des plateformes de conception et partenaires ;
- Entre donneurs d'ordre de travaux de conception et sous-traitants ;
- Entre administrateurs des projets de conception et structures métiers au sein de l'entreprise.

Le devenir des données numériques devra être posé afin de clarifier les droits de propriété entre les différents protagonistes. Une domination des grandes chaînes de distribution

est à prévoir pour les biens de grande consommation. Une domination des GAFA est à redouter dans la plupart des secteurs économiques intéressant la conception industrielle.

C'est la question des prix d'acquisition des données qui devrait être débattue, mais également la question des sources de création qui méritera d'être clairement posée. Pour cela, plutôt que de partir des Big Data et remonter la chaîne de valeur jusqu'à l'industrie, nous suggérons de partir des compétences des ingénieurs.

9.1.2 REPARTIR DES MODALITÉS D'APPRENTISSAGE POUR ÉLABORER DES DISPOSITIFS DE GESTION DES CONNAISSANCES

Les sciences humaines et sociales disposent de nombreux modèles d'analyse des attitudes et comportements au travail. En particulier, le champ de la psychologie du développement fournit une théorie de l'apprentissage qui est directement utilisable en contexte de conception industrielle dans la perspective de valoriser les métiers afin d'innover. Nous rappelons brièvement les fondements scientifiques de ce champ de recherche avant d'exposer quelques perspectives pratiques.

En situation d'activité, l'individu développe de manière plus ou moins intense des apprentissages. Le premier responsable de l'apprentissage est la personne en situation d'apprendre et nulle autre.

Gérard Vergnaud (1981) distinguepour cela « concepts rationnels » et « concepts dans la tête du sujet ». Les connaissances en actes (dans la tête de l'individu) servent de point d'appui pour élaborer des connaissances (les connaissances génèrent des connaissances). Vergnaud propose de définir l'élaboration des concepts comme un processus empruntant à trois ensembles :
- L'ensemble des situations de référence donnant du sens au concept (contexte) ;
- L'ensemble des invariants opératoires qui sont constitutifs du concept (objet d'étude) ;
- L'ensemble des signifiants qui permettent de symboliser le concept ainsi que ses propriétés et les situations qu'il permet de traiter (vocabulaire).

L'activité de la personne est décisive dans la formation des invariants en ce qu'elle décide, par les transformations engendrées au cours des actions elles-mêmes, de la construction des premiers invariants.

Le '' schème '' est l'unité à ce jour la plus réduite pour analyser les processus d'apprentissage. Le schème ou« carte causale » constitue une généralisation de l'expérience personnelle.

Les « schèmes concernent tous les registres del'activité : les gestes, les jugements et les raisonnements intellectuels, le langage, lesinteractions avec autrui et les affects »(Vergnaud et Récopé, 2000, p. 43). En termes fonctionnels, « le schème estune forme d'organisation de l'activité, dont la fonction première est d'engendrerl'activité ».

Pour les experts qui nous intéressent, cette théorie des schèmes pose en fait que les raisonnements que toute personne développe sont rarement de type logique. Ils raisonnent sur des cas, en référence à leur expérience passée (invariants opératoires), puis par analogie (inférences et règles d'action). On emploie la notion de « double régulation de l'activité par la situationet le sujet » afin de rendre compte de la richesse des activités d'interprétation et d'analyse des situations (Rogalski, 2004).

TABLEAU 19 – LES QUATRE ÉLÉMENTS D'UN SCHÈME

Elément	Composition
*Invariants opératoires	Ce que le sujet tient pour vrai (« théorèmes en-acte»)et ce que le sujet tient pour pertinent (« concepts-en-acte »).
[x]Inférences	Prises d'informations, calculs et contrôles permettant l'ajustement, ici et maintenant, du schème aux variablesde situation.
[y]Règles d'action	Composantes effectrices, engendrent des suites d'actions conduisant au résultat recherché.
[z]Anticipations des résultats	Liées au but visé par la mobilisation du schème.

Source : Coulet (2011).

En pratique, tout individu apprécie la situation à partir de ce qu'il sait (invariants opératoires*), il prend des informations et analyse des données (inférences[x]), il envisage une action[y] tout en anticipant les résultats[z] de son comportement. Ces quatre éléments interviennent simultanément ou à tour de rôle et plus d'une fois dans l'activité de régulation exercée par le sujet.

De nombreuses études empiriques ont mis en évidence cette activité de régulation :
- Deaborn et Simon (1958) à travers une étude auprès de cadres intermédiaires d'une même entreprise ont mis en évidence que la perception d'une situation complexe ou ambigüe est fortement influencée par ce qui appartient au sujet et non uniquement par les caractéristiques de la situation elle-même ;
- Rogalski et Samurçay (1989) étudiant le travail d'officiers de sapeurs-pompiers, définissent le processus de décision comme une activité de résolution de problèmes au cours de laquelle se combinent plusieurs tâches : recueil d'informations, évaluations, anticipations conduisant à des actions visant à contrôler les processus, activités de planification, de gestion et de partage des tâches ;
- Suchman (1987) présente l'interaction de deux utilisateurs avec une photocopieuse Xerox évoluée, munie d'un système expert d'aide. La machine dit ce qu'il faut faire, et les utilisateurs sont censés le faire. Ils sont engagés dans une interaction interprétative et constructive de la situation telle qu'elle se déroule, alors que la machine est dépendante d'un plan qui détermine son comportement et la prive de toute ressource interprétative. Il est montré que les utilisateurs mobilisent le plan comme une ressource interprétative supplémentaire, et non pas comme le générateur de l'action. D'une manière plus générale, un utilisateur est toujours dans une boucle réciproque d'interprétation, utilisant les instructions pour faire sens de l'environnement, et l'environnement pour faire sens des instructions.

La mobilisation des schèmes d'action et d'apprentissage replacent l'activité concrète des experts et ingénieurs au cœur des activités de conception. On perçoit ainsi très bien les limites de toute tentative de prescription. On mesure surtout la richesse dont on se prive lorsqu'on ne mobilise pas tous les schèmes à disposition au sein d'une organisation.

La communication de grande ampleur accompagnant le Big Data a tendance à vanter les avantages de processus d'apprentissage automatique, c'est-à-dire réalisés par des automates artificiels de manière robuste car adossés à des volumes gigantesques de données. Cette communication nous semble trompeuse dans la mesure où elle aboutirait à estomper la créativité en germe chez les acteurs de la conception.

L'approche de l'activité de conception en termes de schème apparaît beaucoup plus riche en termes de créativité puisqu'elle ne fait pas uniquement appel à l'expérience accumulée dans le passé mais promeut également l'imaginaire de chacun des acteurs (ce que le sujet tient pour vrai : « théorèmes en-acte »et ce que le sujet tient pour pertinent : « concepts-en-acte »).

Sur cette base, nous proposons trois grands types d'action destinées à renforcer la place et le rôle des métiers au sein des activités de conception ainsi que plus généralement au sein de l'entreprise.

9.2 RECOMMANDATIONS PROFESSIONNELLES

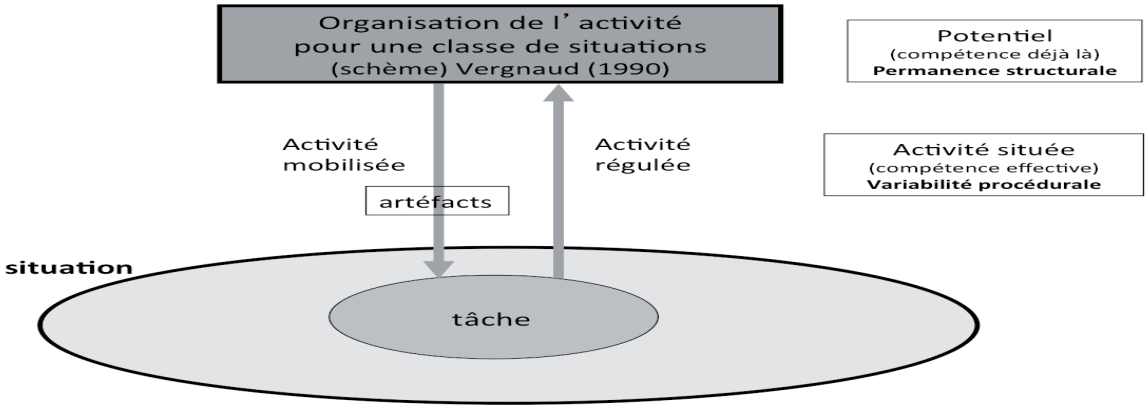
9.2.1 REMETTRE LE « MÉTIER » AU CENTRE DE L'ACTIVITÉ DE CONCEPTION

D'une manière générale, ce sont aujourd'hui les technologies de gestion (PLM et projet) qui orientent les activités de conception. Cette position ne sera pas tenable à moyen terme car elle prive les experts et ingénieurs de l'exercice de leur capacité de création. Pour inverser la tendance il faut rééquilibrer les priorités en donnant une meilleure place aux métiers.
Les théories regorgent de méthodes inventives, mais elles ont très peu d'occasions de démontrer leur efficacité au sein de l'entreprise :« General Design Theory » de Takeda et Yoshikawa (1990), « Axiomatic Design » de Suh (1990), « Coupled Design Process » de Braha et Reich (2003), « Infused Design »de Shai et Reich (2004), théorie « Concept-Knowledge » d'Hatchuel et Weil (2003).Selon Hatchuel et al., (2011) ces théories contemporaines de la conception sont en mesure de fournir plus de générativité et autant de robustesse.

Pour permettre à ces méthodes inventives d'enfin entrer dans l'industrie, il faut faire confiance aux métiers présents dans l'organisation et les placer en position de proposition robuste et créative. Il faut partir de la compétence effective des professionnels.

La compétence est à la fois un potentiel d'action et une activité située pilotée par un schème (Coulet, 2017). Ce qui fait la richesse créative de la compétence du professionnel réside dans l'interaction qui se développe entre lui et la situation (figure 10). La compétence est une organisation de l'activité (potentiel) mobilisée pour traiter une tâche donnée dans une situation déter¬minée (activité située), mais, également, un ensemble de régulations, visant à restruc¬turer cette organisation en tirant profit de l'expérience acquise lors de sa mobilisation (Coulet, 2011, 2017).

FIGURE 10 - LA COMPÉTENCE : UN POTENTIEL ET UNE ACTIVITÉ SITUÉE

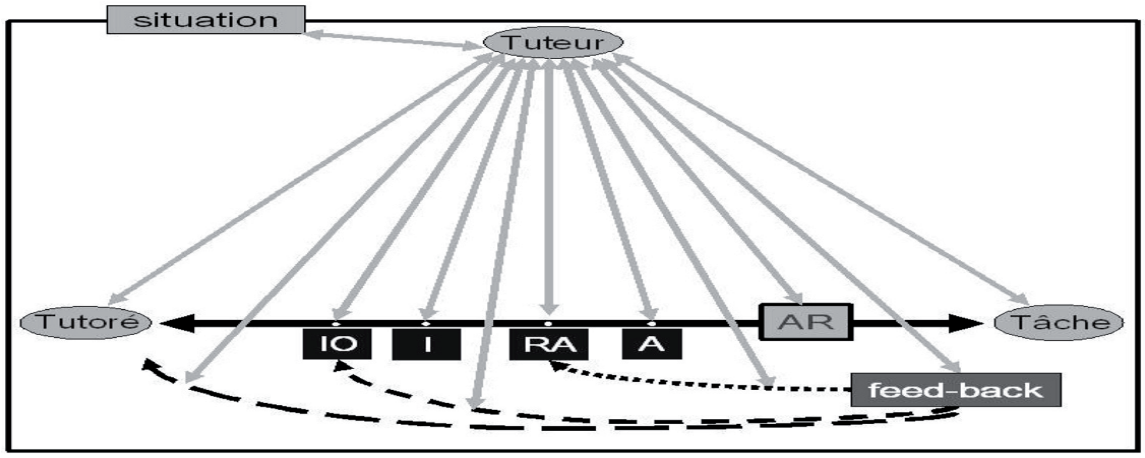


Source : Coulet (2011, 2017).

La compétence est alors définie comme : une organisation dynamique de l'activité, mobilisée et régulée par un sujet pour faire face à une tâche donnée, dans une situation déterminée (Coulet 2011, p. 17).

Ainsi, Jean-Claude Coulet de l'Université de Rennes (2017) propose de mettre en avant des dispositifs de tutorat ou de compagnonnage. Selon ce spécialiste, ces dispositifs sont certainement plus adaptés au développement des connaissances individuelles que des dispositifs de formation classiques. De plus, ils peuvent beaucoup gagner en efficacité dès lors qu'un cadre théorique leur offre la visibilité des processus et la possibilité de systématiser leur mobilisation. Ce cadre est présenté en figure 11. Par exemple, demander systématiquement à l'individu d'exprimer ses attentes (anticipations) au regard de l'action qu'il s'apprête à engager pour, une fois celle-ci réalisée, lui demander de les comparer aux résultats effectivement obtenus, représente un levier puissant pour guider la mise en œuvre de régulations ciblées, telles que :
– La recherche d'autres façons de faire pour parvenir aux résultats escomptés (recherche de règles d'action vicariantes grâce à des régulations en boucle courte) ;
– La recherche (grâce à des régulations en boucle longue) des raisons des écarts constatés entre les anticipations explicitées et résultats obtenus.

FIGURE 11 - MODÈLE D'AIDE AU DÉVELOPPEMENT INDIVIDUEL DES COMPÉTENCES (MADIC)



Source : Coulet, 2011.

Légende (voir tableau 19) : IO (Invariants opératoires), I (Inférences), RA (règles d'action), A (Anticipations), AR (Activité de Régulation).

Une autre proposition consisterait à élaborer des référentiels de compétences. Ceux-ci seraient développés de manière consensuelle à partir des pratiques réelles de travail. Des savoirs d'expérience pourraient alors être organisés pour représenter chacun des métiers au sein de l'organisation. Pour notre collègue : « dans une telle approche, les référentiels de compétences, sans pour autant perdre leur caractère normatif, deviennent des outils évolutifs (grâce à des révisions régulières) véritablement appropriés par les individus pour exploiter, de façon systématique et théoriquement fondée, la richesse tirée de l'expérience de l'exercice d'un métier en perpétuel devenir. En outre, il va de soi que l'élaboration de tels référentiels peut s'avérer particulièrement motivante, dans la mesure où ils donnent du sens au métier (aspect lié au collectif) mais aussi aux velléités créatrices de chacun pour y développer son style » (Coulet, 2017, p. 42).

Nous proposons d'approfondir cette perspective en envisageant un soutien aux collectifs créatifs.

9.2.2 AIDER LA CONCEPTION COLLECTIVE

Selon Françoise Darses « l'aide à la décision collective doit viser non pas le cercle étroit de la formulation de la décision, mais, au contraire, le cycle de vie d'une décision : de l'énoncé initial du problème (donnée d'entrée du processus de décision) jusqu'au résultat de la vérification de la mise en œuvre de la décision arrêtée (la donnée de sortie en aval) » (Darses, 2009, p. 51). Ainsi l'énoncé explicite de la décision, sous forme de compte-rendu par exemple, n'est qu'un état de transition dans le processus. Il faut considérer que la décision n'est définitivement adoptée que lorsqu'un artefact a été installé. D'une manière plus générale, une organisation gagnera en efficacité lorsqu'elle parviendra à rendre compte non pas tellement de la décision elle-même, mais plutôt de la construction de la décision.

Cette perspective consiste à promouvoir des espaces de synchronisation cognitive. Un autre spécialiste dont nous avons déjà cité les travaux à plusieurs reprises, Pierre-Antoine Arrighi, développe le même type d'arguments. La conception a besoin d'espaces de confrontation tout au long de ses processus sous peine de perdre en créativité. Il s'agirait d'aménager la linéarité des processus de développement tels qu'ils fonctionnent à la suite de la phase d'idéation qui demeure la seule phase réellement créative. De tels espaces de confrontation pourraient irriguer la totalité des processus de conception et de développement.

Selon Darses (2009), le média de ces espaces s'incarne dans les opérations d'argumentation. Argumenter vise à convaincre autrui et lui faire partager une idée ou une opinion sur la base d'un raisonnement et de preuves, le tout dans un contexte particulier et a priori bien défini. De manière opérationnelle, un argument est « la combinaison d'une proposition qui est appuyée par une (ou des) raison(s) » (Toulmin, 1996). Par exemple : si on choisit telle méthode, on gagne en fiabilité mais on retarde la fin du projet. La raison de l'argumentation est formulée comme une contrainte ou un critère.

Dans cette perspective, Darses (2009) propose deux directions :
- Développer des outils soutenant un processus d'argumentation en situation synchrone ou asynchrone ;
- Formuler des cadres conceptuels rénovés qui décrivent plus explicitement ce que sont les nouvelles situations de conception.

Ces propositions ne sont pas seulement théoriques. Elles ont été mises en œuvre au sein d'une unité de Thalès. Elles sont le fruit d'une réflexion d'un ingénieur expérimenté qui a développé une réflexion structurée destinée à définir un mode d'innovation basé sur le patrimoine de connaissances domestiques d'une organisation. Cette réflexion a donné lieu à la soutenance d'une thèse (Saulais, 2013) et de plusieurs publications scientifiques (Ermine et Saulais, 2016).

Selon l'auteur, le patrimoine intellectuel de l'entreprise contient des éléments de base qui permettent de tracer un certain nombre de trajectoires technologiques de l'organisation. L'identification de ces traces nécessite du temps, mais elle permet de dégager une plus-value car elle permet d'extrapoler des évolutions de manière motivée. Le recensement du corpus intellectuel sur plusieurs dizaines d'années, de son analyse et de sa projection dans

la carte des connaissances de l'organisation permet d'identifier les trajectoires empruntées par l'entreprise, de les comprendre et de les argumenter.

Pour réussir ce projet de reconstitution du patrimoine intellectuel, il est nécessaire de promouvoir les communautés techniques et professionnelles (voir 4.1.7). Il faut également dégager un temps suffisant pour réunir des experts à plusieurs reprises.

Lorsque ces conditions sont réunies, on peut démarrerl'opération de représentation du patrimoine intellectuel. Des outils de représentation graphiquesont utilisés pour la stimulation de la créativité. Le processus de créativité est basé sur un mécanisme d'émergence de type chaotique qui va s'appliquer sur le patrimoine intellectuel existant, grâce à ces outils de représentation. L'élaboration denombreux éléments prospectifs à partir d'une réflexion approfondie articulée autourdes différents tronçons temporels des trajectoires de connaissances inventives montre l'émergence de nouveaux éléments susceptibles d'enrichir le patrimoine intellectuel de l'entreprise.

La stimulation de la créativité ainsi mise en œuvre s'applique dans un premier temps à chacun des acteurs de la connaissance, qui sont porteurs (individuellement ou par combinaison) des trajectoires technologiques de l'organisation. Cependant ces trajectoires ne sont pas isolées, et interagissent entre elles selon un réseau complexe d'interactions. Ce réseau d'interaction peut être appréhendé à travers le réseau social des acteurs (communauté de pratique). Dans un deuxième temps, la création de nouvelles connaissances produites peut se réguler par l'intervention de la communautéd'acteurs de la connaissance qui est impliquée.

Ce projet conduit à terme par Pierre Saulais montre qu'une contribution raisonnée à la prospective et à lastratégie technique peut être élaborée au cours d'une démarche bottom-up s'appuyant sur l'utilisation individuelle ou collective des connaissances inventives d'une collection d'experts.

9.2.3 LE CODE AU SERVICE DES LOGIQUES « MÉTIER »

Une troisième et dernière proposition suggère de pousser plus avant la reconnaissance des métiers en modifiant les activités de spécification des PLM.

Un certain nombre de spécialistes des méthodes de PLM ont dressé le bilan de deux décennies de pratiques d'installation en entreprise (Chabot, 2014 ; Vanden Bossche-Marquette, 2013).

Ces professionnels mettent en évidence deux grandes familles d'écueil rencontrées par le fonctionnement des PLM en France :
- Une définition des besoins trop axée sur la dimension fonctionnelle ;
- Des livrables trop orientés vers la documentation.

La définition des besoins est capitale pour installer un système d'information aussi puissant qu'un PLM. L'erreur de base consiste à choisir une approche trop informatique. Très souvent les progiciels de PLM sont choisis très en amont dans un projet alors que les besoins des utilisateurs ne sont pas encore réalisés. De fait les sociétés qui installent ces solutions ainsi que les organisations clientes se contentent de dresser des inventaires des procédures en vigueur et occultent entièrement la cohérence des métiers qui les soutiennent. Selon

Bernard Chabot « au lieu de capturer ce que l'on doit faire (indépendamment de la manière de le faire), on capture la manière dont les choses sont ou seront réalisées, qui les réalisera et avec quels moyens, quelles ressources … C'est à dire que la capture des besoins métiers est réalisée au niveau procédure qui décrit la manière de réaliser une activité au lieu d'être réalisée au niveau processus qui décrit ce qui doit être réalisé ».

Autrement dit on fige un système de décision pour longtemps, ce qui semble pour le moins paradoxal lorsqu'on se propose d'innover de manière répétée.

La seconde famille d'écueil concerne la documentation. Un PLM génère un volume très important de données. Le classement de ces données pose un grand problème car les données sont souvent redondantes sans que l'on puisse s'en rendre compte en raison de la diversité des langages utilisés par chacun des services de l'entreprise.

Les alternatives proposées par les experts du domaine consistent à soustraire la définition des métiers de la domination de l'outil informatique.

Les solutions proposées reposent sur des ontologies[22] métiers, c'est-à-dire sur la représentation précise, concise et exécutable de 100% du « quoi » (concepts, règles, processus et données décrivant toute la logique métier), indépendamment du «comment» informatique (source : Société ODASE, document interne, 2013).

L'une des solutions, celle d'ODASE, propose une plate-forme sémantique structurée par des ontologies et met à disposition des applications qui autorisent le test préalable des modèles d'activité avant de passer à l'écriture des programmes du PLM. Ces applications aboutissent à réduire les coûts de développement grâce à des « robots » logiciels qui vont produire automatiquement l'équivalent de l'ontologie dans le langage de programmation choisi par l'entreprise (industrialisation et non codage « à la main »).

Les avantages de cette approche « métier » sont nombreux.Les informaticiens disposent d'une plate-forme logicielle de type génériquequi regroupe tousles composants (indépendants de la logique applicative) requis par une application. Cetteplateforme – comme un lecteur de DVD « jouant » l'ontologie – abaisse fortement lecoût de production et augmente la fiabilité et la performance de l'application, en réutilisantdes composants standards (reasoners, stores, process engine, etc.) optimisés et ouvertssur le futur (exploitation automatique du parallélisme des processeurs multi-coeurs).

L'application peut facilement être modifiée: l'ontologie est adaptée en fonction desnouvelles exigences et l'application est générée à nouveau.

L'application est développée de manière agileà partir de spécifications qui commencentpar être incomplètes. À chaque itération, l'ontologie est enrichie, validée par les expertsmétier et l'application est générée. Le passage de l'idée au programme est ainsi très rapide. Et comme l'ontologie est indépendante d'un langage de programmation, il est possible deréutiliserla même ontologieavec une technologie informatiquedifférente (source : ODASE, 2013).

---

22 - « Une ontologieest l'ensemble structuré des termes et concepts représentant le sens d'un champ d'informations, que ce soit par les métadonnées d'un espace de noms, ou les éléments d'un domaine de connaissances. L'ontologie constitue en soi un modèle de données représentatif d'un ensemble de concepts dans un domaine, ainsi que des relations entre ces concepts. Elle est employée pour raisonner à propos des objets du domaine concerné. Plus simplement, on peut aussi dire que l' « ontologie est aux données ce que la grammaire est au langage » (source Wikipédia, 2017).

10 CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre étude avait pour but de dresser un état des lieux des écosystèmes d'innovation qui se sont mis en place au sein des économies développées afin d'apprécier la dynamique intrinsèque des activités professionnelles et des métiers de conception industrielle.

A l'issue de nos différentes analyses, un constat de convergence entre différents mouvements tend à s'imposer.

D'un côté, l'industrie s'est dotée de puissants moyens d'intégration de ses différentes activités. Ces moyens accordent une place centrale à la régulation par l'information. De l'autre côté, sur les marchés de consommation, des moyens encore plus puissants (Big Data) se sont structurés afin d'influencer fortement la forme et le contenu de l'offre industrielle. Ces deux grands mouvements ont en commun la suprématie des données. Les choix statistiquement majoritaires font autorité.

Cette convergence fait problème puisque la place des connaissances et des métiers est minorée dans la dynamique industrielle. La créativité semble réservée à une portion réduite du processus de conception, ce qui peut faire craindre un affaiblissement des capacités d'innovation à l'échelle du système industriel.

Dans cette régulation cybernétique de l'industrie, les plateformes occupent une place centrale. Elles prennent une forme davantage numérique que physique. Il s'agit d'ensembles numériques de type PLM accompagnés d'outils de gestion de projet ou lean management. Certes ces plateformes ne servent pas de la conception sur-mesure à des entreprises qui disposeraient de moyens réduits. Mais ces plateformes organisent des écosystèmes qui posent problème. Si en termes médiatiques, ces écosystèmes sont par définition ouverts et orientés en priorité vers l'innovation, en réalité ils sont de puissants verrous pour l'information des partenaires. En fonction de leur position dans l'écosystème, chaque partenaire dispose de droits d'accès limités aux données gérées par les PLM. Ainsi l'innovation n'est pas vraiment collaborative.

En termes de dynamique d'emploi, nous avons axé le rapport sur les perspectives qualitatives. Certes les statistiques montrent que les professions des études et de la recherche connaissent une progression quantitative positive (voir tableau 1 et figure 2). Dans cette croissance des emplois, les ingénieurs informatiques enregistrent le facteur le plus élevé. Cependant des mesures plus détaillées par secteurs industriels et même par entreprise seraient nécessaires afin de dresser des perspectives quantitatives plus robustes.

Globalement l'emploi des ingénieurs va continuer à croître dans les prochaines années, mais on ne peut pas se prononcer pour le moyen et long terme. A court terme, les profils qualitatifs de compétence des ingénieurs sont assez clairs. L'idée commune de l'ingénieur de conception ressort complètement bouleversée par les évolutions des vingt dernières années. Des spécialisationssont fortement inscrites désormais dans l'univers de la conception. L'ingénieur-méthodes, l'ingénieur-métier et l'ingénieur-projet se partagent l'activité avec une nouvelle frontière entre pilotage administratif et économique de la conception et réalisation des lots ou modules de conception.

Dans ce contexte, les technologies numériques vont continuer à se développer. Elles vont intégrer de manière croissante les sphères de la production et de la distribution.

Elles permettront une régulation cybernétique massive et ultra-rapide à la manière de la hiérarchie économico-administrative qui régit actuellement les systèmes de conception (voir 8.3.2).

Nous avons souligné les risques d'affaiblissement de la créativité pour les ingénieurs. Ce qui pourrait rapidement se traduire par une perte de maîtrise technologique pour les entreprises installées et de facto une perte de capacité stratégique majeure. En contrepoint nous avons suggéré quelques axes de réflexion pour soutenir les métiers, socle de la maîtrise industrielle des activités, et encourager la créativité au sein des organisations. Ces recommandations gagneraient à être consolidées avec l'appui d'associations professionnelles qui œuvrent dans cette direction .

Afin d'approfondir les risques et les opportunités à l'échelle internationale d'autres études seraient nécessaires. En particulier, le scénario de la monopolisation des conceptions par quelques plateformes d'envergure mondiale nous paraît constituer un sujet très sérieux. En mobilisant l'argument statistique, ces plateformes (essentiellement les GAFA) sont en train d'imposer une attitude économique qui nie la véritable créativité et qui ira forcément de la sorte contester la légitimité des professions.

Face à la puissance du calcul intensif l'alternative réside dans le droit. L'argument juridique est en capacité de réduire du mieux possible le processus de colonisation de l'espace public (Rouvroy et Berns, 2013) enclenché par les capacités de calcul intensif.



11 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adner, R., (2006) «Match your Innovation Strategy to your Innovation Ecosystem», *Harvard Business Review, april, 98-107.*

Aggeri, F., Le Masson, P., Branciard, A., Paradeise, C., et Peerbaye, A (2007) « Les plates-formes technologiques dans les sciences de la vie », *Revue d'Economie Industrielle, 120, 21-40.*

Amalberti, R., Falzon, P., Rogalski, J et Samurçay, R (1992) *Communication et coordination dans les cockpits automatisés,* Paris: DGAC, CNAM.

Amin A., et Cohendet, P (2004) *The Architecture of Knowledge,* Oxford University Press, Oxford.

Amin A., et Roberts Y (2008)*Community, economic creativity and organization*, Oxford Press.

Amstrong, P (1987) «Engineers, management, and trust», *Work, Employment and Society,* 1, 4, p. 421-440.

Anderson, C (2008), «The End of Theory. The data deluge makes scientific method obsolete », *Wired*, 23 juin.

Anderson, C (2009) *Free: The Future of a Radical Price,* New York, Hyperion.

Anderson, C (2012) *Makers: The New Industrial Revolution,* New York, Crown Business.

Andriessen, E. et Vartiainen M., Eds, (2006) *Mobile Virtual Work: A New Paradigm ?*, Springer.

Arntz, M, Gregory,T et Zierahn (2016) The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries. A Comparative Analysis, *OECD Social, Employment and Migration Working Papers.*

Arrighi, P.A. (2014) Modèles d'intégration des designers créatifs dans les processus de conception industriels. Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Baddeley, A (2000) The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, pp.417–423.

Baldwin, C.Y., et Clark, K.B (2000) "Design Rules. The power of modularity". *Harvard Business Review*, September-October, 81-93.

Baldwin C.Y (2007) Frameworks for Thinking about Modularity, Industry Architecture, and Evolution, *Sloan Industry Studies Conference,* Boston Mass.

Bauer, M. & Cohen, E., (1982) « Les limites du savoir des cadres : l'organisation savante comme moyen de déqualification ». *Sociologie du Travail,* 24(4), p. 451–472.

Bauwens M (2015), *Sauver le monde : vers une économie post-capitaliste avec le peer-to-peer*. Paris : Les Liens qui Libèrent.

Benavent, C (2016) *Plateformes. Sites collaboratifs, marketplaces, réseaux sociaux, comment ils influencent nos choix. Paris : FYP éditions.*

Benguigui, GMontjardet, D (1984) « Le travail des ingénieurs », *Culture Technique*, n°12, pp. 103-111

Besson P, (1983) *L'atelier de demain*. Presses Universitaires de Lyon.

Bidet, A., et Porta, J (2016) « Le travail à l'épreuve du numérique : Regards disciplinaires croisés, droit/sociologie », *Revue de droit du travail*, n° 5, mai.

Bloch, M (2013) *L'anthropologie et le défi cognitif,* Paris : Editions Odile Jacob.

Blondel, F. et Edouard, S (2015). « Entrer sur un marché dominé par une plateforme : vertu d'une stratégie ouverte sur le marché du calcul numérique ». *Canadian Journal of Administrative Sciences*, 32(3), 1–13.

Bobillier Chaumon, M.E (2011) L'impact des technologies de communication sur les cadres, *Rapport de la recherche en partenariat GRePS/APEC,* décembre.

Bonnardel, N (2006) *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques,* Marseille : Solal.

Bootz J.P et Kern F (2009) *Les communautés en pratique : leviers de changements pour l'entrepreneur et le manager,* Editions Hermès – Lavoisier.

Bouffartigue, P (1999) Les cadres : la déstabilisation d'un salariat de confiance. Document de travail LEST CNRS. Aix en Provence.
Bozdoc, M. (2004). The history of CAD. http ://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm

Bowles, J (2014) *The computerisation of European jobs, Institut Bruegel,* July.

Broca, S (2013) *Utopie du logiciel libre : du bricolage informatique à la réinvention sociale,* Paris : Le Passager clandestin.

Brzeski, C, Burk, I (2015) Die Roboter kommen Folgen der Automatisierung für den deutschen Arbeitsmarkt, ING, Di Ba, april.

Bucciarelli, L (1987) Engineering design thinking. *Proceedings of ASEE Annual Conference,* p. 791–801.

Burdea, G., et Coiffet, P. (2003). "Virtual reality technology". *Presence: Teleoperators and virtual environments,* 12, p. 663–664.

Burlet, M. (2008) *Des cadres à l'organisation, de l'organisation aux cadres. Le cas des ingénieurs et cadres techniques du secteur de la conception de Renault.* Thèse de doctorat de sociologie, Lille : Université des sciences et technologies.

Burns, C et Vicente, K .A. (2000) "A participant-observer study of ergonomics in engineering design: how constraints drive design process". *Applied Ergonomics*, 31, p.73–82.

Buxton, B. (2010). Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design. *Morgan Kaufmann.*

Canguilhem, G (1943, 2013) *Le normal et le pathologique.* 12ème édition. Paris: PUF.

Cardon, D (2015) *A quoi rêvent les algorithmes ? Nos vies à l'heure des big data,* Paris : Editions du Seuil.

Cardon, D. et Casilli, A (2015) *Qu'est-ce que le Digital Labor ?,* Paris : INA Éditions.

Cardon, D (2012) « Regarder les données », *Multitudes*, 49, p.138–142.

Casilli, A. A. (2015) « Digital Labor : travail, technologies et conflictualités », in Cardon, D. et Casilli, A., *Qu'est-ce que le digital labor ?,* Paris : Editions de l'INA, p.10-42.

Chabot,B., Gautreau,P., et Sommacal, B(2014) « Améliorer l'efficacité d'une démarche PLM en s'appuyant sur les connaissances métiers », 7ème Colloque International GeCSO - Gestion des Connaissances dans la Société et les Organisations, Aix Marseille Univ, juin.

Chesbrough, H.W., (2003) Open Innovation: *The New Imperative for Creating and profiting from technology.* Boston : Harvard Business School Press.

Christensen, C.M (1997) *The Innovator's Dilemma*, Harvard Business School Press.

Cohendet P., et Llerena P., (1990) « Nature de l'information, évaluation et organisation de l'entreprise », *Revue d'Economie Industrielle,* 1° trimestre, pp. 141-165.

Cohendet, P, Grandadam, D, et Simon, L. (2008) « Réseaux, communautés et projets dans les processus créatifs ». *Management International,* 13, 1: 29 43.

Cohendet, P. et Simon, L. (2007) Playing Across the Playground: Paradoxes of Knowledge Creation in the Video Game Industry, *Journal of Organizational Behavior,* 28, p. 587-605.

Conseil National du Numérique (2015), *Ambition Numérique,* rapport annuel, Paris, http://cnnumerique.fr/wp-content/uploads/2015/04/2306_Rapport-CNNum-Ambition-numerique_sircom_print.pdf

Coriat, B (1990) *L'atelier et le robot.* Paris : Christian Bourgois.

Coulet, J.C. (2011) « La notion de compétence : un modèle pour décrire, évaluer et développer les compétences »*, Le Travail Humain,* Vol. 74, n°1, 1-30.

Coulet, J.C. (2013) « La conceptualisation dans l'activité individuelle et collective : implications pour le management des connaissances et des savoirs », Actes du 6ème Colloque GeCSO, Université de Lorraine, juin.

Coulet, J.C. (2017) « Processus de genèse des connaissances et des savoirs. Implications pour le management des compétences individuelles et collectives », in Gastaldi, L., Krohmer, C., et **Paraponaris, C. (2017)** *Activités et Collectifs. Approches cognitives et organisationnelles,* Aix-en-Provence : Presses Universitaires de Provence, p. 23-46.

Crary, J., (2013) 24/7: *Late Capitalism and the Ends of Sleep.* London and New York: Verso.

Crawford, S (1987) « Ingénieurs français et déqualification », *Sociologie du Travail*, vol. 29, n°2.

Csikszentmihalyi, M., (1996) Creativity: flow and the psychology of discovery and invention, New York: Harpper Colins.

Daloz, P., et al., (2010)« Concevoir les outils du bureau d'études : Dassault Systèmes, une firme innovante au service des concepteurs ». *Entreprises et Histoire,* 58, p. 150–164.

Darke, J (1979-1984) "The primary generator and the design process", in Cross, N (Ed.), *Developments in design methodology* (p. 175-188), Chichester, England: Wiley.

Darses, F (2009) « Résolution collective des problèmes de conception », *Le Travail Humain,* 72, p. 43–59.

David, A. (1998) « Outils de gestion et dynamique du changement », *Revue Française de Gestion,* 120, septembre-octobre, p. 44-59.

David, A. (2001) "Models implementation: A state of the art", *European Journal of Operational Research,* vol. 134, n° 3, p. 459 - 480.

Deaborn, D.C., et Simon, H.A. (1958) "Selective perception: a note on the departmental identifications of executives". *Sociometry*, 21, 2, p. 140-144.

Declerck, Debourse et Navarre (1983) *Méthode de Direction générale : le management stratégique,* Editions Hommes et Techniques.
Direction Générale des Entreprises – Coordination Interministérielle de l'Innovation et du Transfert (2016) L'innovation en France. Indicateurs de positionnement international.

De Larquier, G., et Marchal, E (2008) Le jugement des candidats par les entreprises lors des recrutements. Document de travail CEE, n° 109.

Demailly, A., Lemoigne, J.L (1986) *Théories de la conception,* in Demailly, A., Lemoigne, J.L (Eds) Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel, 435-446, Lyon : Presses Universitaires de Lyon.

Dewulf, S et Baillie, C (1999) *CASE – Creativity in art, science and engineering : how to foster creativity ?* London: Imperial College of Science, Technology and Medicine.

Durand, J.-P., (2004) *La chaîne invisible. Travailler aujourd'hui : flux tendu et servitude volontaire*, Paris: Editions du Seuil.

Economides, N. et Katsamakas, E (2006) « Two-sided competition of proprietary vs. open source technology platforms and the implications for the software industry". *Management Science*, 52(7), 1057–1071.

Eisenmann, T (2008) « Managing proprietary and shared platforms ». *California Management Review,* 50(4), 31–53.

Ermine, J. et Saulais, P. (2016) « Emergence d'innovation technologique incrémentale par

application, à des experts, de l'analyse du patrimoine intellectuel inventif », *Revue d'Economie et de Management de l'Innovation,* 1, 49, p.103–140.

Eymard-Duvernay, F., et Marchal, E (1997) *Façons de recruter. Le jugement des compétences sur le marché du travail,* Paris: Editions Métaillé.

Fällman, D. (2003a). Design-oriented human-computer interaction. Proceedings of the ACM-SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1, p. 225–232.

Fällman, D. (2003b). In romance with the materials of mobile interaction. Doctoral dissertation, Department of Informatics, Umeå University.

Feldman, Csikszentmihalyi et Garner, H., (1994) *Changing the world: A framework for the study of creativity,* Westport: CT: Praeger.

Fernandez R.M. et Weinberg N, (1997) "Sifting and sorting: personal contacts and hiring in a retail bank", *American Sociological Review,* 62, 6, 883-902.

Février-Quesada, T. et Darses, F. (2008) Asynchronous vs synchronous cooperation in innovative design organization, *Actes de COOP'08,* 8th international Conference on the Design of Cooperative Systems. Carry-le-Rouet, France, p. 217–230.

Florida, R., (2005) *The Flight of the Creative Class. The New Global Competition for Talent,* New-York: HarperBusiness.

Foray, D (1987) *Innovations technologiques et dynamique industrielle : L'exemple de la fonderie,* Presses Universitaires de Lyon.
Frey, C.B., et Osborne, M. A. (2013) *The Future of Employment,* Oxford Martin School.

Frigant, V., et Jullien B (2014) « Comment la production modulaire transforme l'industrie automobile », *Revue d'Economie Industrielle*, 1, 145), p. 11-44.

Gadea, C (2000) *Sociologie des cadres,* Paris : La Découverte.

Gadea, C (2003) *Les cadres en France, une énigme sociologique,* Paris: Belin.

Gaudillière J.P (2000) "Les logiques instrumentales de la génomique », *Biofutur*, 206, 20-23.

Gawer, A., (2014) "Bridging differing perspectives on technological platforms: Toward an integrative framework". *Research Policy,* 43(7), 1239–1249.

Giard, V (1991) *Gestion de projets.* Paris : Economica.

Giboin, A (2004) « La construction de référentiels communs dans le travail coopératif », in Hoc, J.M et Darses, *F Psychologie ergonomique : tendances actuelles.* Paris : Presses Universitaires de France, p. 119–139.

Gilbert, P. et Thionville, R (1990) *Gestion de l'emploi et évaluation des compétences. Des emplois aux hommes et des hommes aux emplois,* Paris: ESF édition.

Gille, B (1964) *Les ingénieurs de la Renaissance,* Hermann, 1964.

Gille, B (dir), (1978) *Histoire des techniques : Technique et civilisations, technique et sciences,* Paris : Gallimard, collection La Pléiade.

Goody, J (1977) *The domestication of the savage mind, Cambridge University Press. TraductionLa raison graphique, la domestication de la pensée sauvage,* Paris: Editions de Minuit, 1979.

Gongla P., et Rizzuto C.R., (2001) « Evolving Communities of Practice: IBM Global Services Experience », *IBM Systems Journal,* 40(4): 842-862.

Graeber, D., (2015) *Bureaucratie, l'utopie des règles,* Paris: Editions Les Liens qui Libèrent.

Guittard, C., et Schenk, E (2013) « Les conditions de la sagesse de la foule et ses conséquences managériales : le Crowdsourcing », 6e Colloque International GeCSO - Gestion des Connaissances dans la Société et les Organisations, Université de Lorraine, juin.

Haas, P.M (1992) "Epistemic Communities and International Policy Coordination". *International Organization,* 46, 1: 1–35.

Hatchuel, A. et Weil, B., (1992) *L'expert et le système,* Paris: Economica.

Hatchuel A., (1996) « Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription » in Terssac, G et Friedberg, E (Eds) *Coopération et conception,* Toulouse : Octarès, p. 101-122.

Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y., et Weil, B. (2011) A systematic approach of design theories using generativeness and robustness. Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, 2, p 87–97.

Howe, J., et Robinson, M (2006) The rise of crowdsourcing. *Wired Magazine*, 14 juin.

Iansiti M et Levien R (2004) The Keystone Advantage. What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability. Harvard Business School Press.

Insee (2015) *Méthodologie des sphères d'activité de l'Insee,* Insee Première n° 1538, Paris, Février, http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1538#inter4

Jacot, J.H (1988) Modes d'organisation et technologie. Introduction de l'automatisation dans les PMI, Lyon : Presses Universitaires de Lyon.

Joubert L, (2015), Des collectifs numériques ? Le cas de Wikipédia, Mémoire de Master 2, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence.

Kline S.J., et Rosenberg N., (1986) « An overview of innovation », in Landau R, Rosenberg N (Eds), *The positive sum of strategy.* National Academy Press : Washington.

Kohler et Weisz, (2016) Industrie 4.0. Les défis de la transformation numérique du modèle industriel allemand, Paris : La Documentation Française.

Lahlou, S., Nosulenko, Valery, Samoylenko, Elena (2012) *Numériser le travail. Théories, méthodes et expérimentations.* Paris : Lavoisier.

Lave J., Wenger E. (1991) *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge, Cambridge University Press.

Le Bellu, S (2011) Capitalisation des savoir-faire et des gestes professionnels dans le milieu industriel : mise en place d'une aide numérique au compagnonnage métier dans le secteur de l'énergie, Thèse de doctorat en Sciences cognitives, Université de Bordeaux 2, septembre.

Le Crosnier, H. (2015) *En communs : une introduction aux communs de la connaissance,* Caen: C&F Editions.

LeMasson P., et Weil B. (2002) « De la R&D à la RID : morphogenèse de la conception dans les grandes entreprises. Le cas Sekurit-Saint-Gobain », Séminaire du Gerpisa.

LeMasson P., et Weil B. (2008) « La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études », dans HatchuelA., Weil B. (dir.), *Les nouveaux régimes de la conception. Langages, théories, métiers,* Paris, Vuibert, p. 51-66.

Loewy, R., (1963) *La laideur se vend mal,* Paris: Gallimard.

Mettling, Bruno (2015) Transformation numérique et vie au travail, *Rapport ministériel*, septembre.

Midler C (1993) *L'auto qui n'existait pas, management des projets et transformation de l'entreprise,* Paris : InterEditions.

Moisdon J.C., (Ed) (1997) *Du mode d'existence des outils de gestion.* Paris : Editions Séli-Arslan.

Moore J.F., (1993) "Predators and Prey: A New Ecology of Competition", *Harvard Business Review,* May/June, 75-86.

Moore, J.F (2013) Shared purpose: A thousand business ecosystems, a connected community and the future, CreateSpace.

Norme Afnor X 60-500 (1988) Terminologie relative à la Fiabilité - Maintenabilité - Disponibilité, Paris : Editions Afnor.

Paché, G., Paraponaris, C (2006) *L'entreprise en réseau : approches intra et inter-organisationnelles*. Editions de l'ADREG, http ://asso.nordnet.fr/adreg/, 177 pages. Réédition de **Paché, G., Paraponaris, C (1993)** *L'entreprise en réseau.* PUF, collection Que-Sais-Je ? n° 2704, 128 pages.

Pahl, G., Beitz, W. (2007) *Engineering design : A Systematic Approach.Third Edition.* London: Springer London Ltd.

Pajarinen, M, Rouvinen, P (2014) Computerization Threatens One Third of Finnish Employment, *ETLA*, 13 January.

Paraponaris, C, Sigal, M, Vion, A (2013) « Socialisation et génération des connaissances : distinguer les collectifs des communautés ». Actes du 6ème Colloque Francophone « Gestion des Connaissances, Société et Organisations », Nancy Université, 5-7 juin.

Parmentier, G (2009) Innover avec des communautés d'utilisateurs. Thèse ès Sciences de Gestion, Université de Grenoble.

Paulus, P. B., et Nijstad, B. A. (2003) *Group creativity: Innovation through collaboration.* Oxford: *Oxford University Press.*

Pénicaud M., (2007) Dassault Systèmes: l'innovation organisationnelle en 3D, Ecole de Paris du Management.

Peppard J., Rylander A., (2006) "From value chain to value network : insights for Mobile Operators", *European Management Journal,* Vol.24, n°2, 128–141.

Perrow C., (1970) *Organizational analysis: a sociological view*. Londres : Tavistock.

Petit, S., (2016) *La rationalisation du travail intellectuel. Ethnographie de l'activité de conception industrielle.* Thèse de Doctorat, Paris Saclay.

Poitou J.P. (1988) Le cerveau de l'usine : histoire des bureaux d'étude Renault de l'origine à 1980, Aix-en-Provence, Université de Provence.

Purvis, R.L., Sambamurthy, V., et Zmud, R (2001) "The assimilation of knowledge platforms in organizations: an empirical investigation", *Organization Science,* Vol. 12, p. 117-135.

Rabardel P (1995) Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains. Paris, Armand Colin.

Rabardel P. (2002) « Le langage comme instrument ? Eléments pour une théorie instrumentale élargie », in Clot Y. (dir.) Avec Vygotski, Editions La Dispute, Paris, 265-289.

Rapport d'Allistène (2013) Contribution d'Allistène et des pôles de compétitivité à la stratégie nationale de recherche Sciences et Technologies du Numérique, juillet.

Rapport Roland Berger Consultants (2014) « Les classes moyennes face à la transformation digitale. Comment anticiper ? Comment accompagner ? », octobre.

Rapport Mettling (2015) « Transformation numérique et vie au travail », Documentation Française, septembre.

Rheingold, H. (1993) *The virtual community.* Addison-Wesley.

Rifkin, J (2013) *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, The Economy, and The World.*

Rogalski, J. (2004)"Psychological analysis of complex work environments". In M. Fisher, N. Boreham & B. Nyham (Eds.), *European perspectives on learning at work: the acquisition of work process knowledge*, p. 218-236. Luxembourg : CEDEFOP 56.

Rogalski, J., Samurçay, R (1989) "Analysing verbal protocols to infer strategies in the control of dynamic environment with distributed decision making", in Bainbridge, L et Reinart, S (eds), Cognitive process in complex tasks, Paris : CNRS.

Rouvroy, A. et Berns, T.(2013) « Gouvernementalité algorithmique et perspectives d'émancipation. Le disparate comme condition d'individuation par la relation ? », *Réseaux*, 1, 177), p. 163–196.

Roy, R (1993)"Case studies of creativity in innovative product development. *Design Studies*, 14, p. 423–443.

Sachwald, F (2008) *Réseaux mondiaux d'innovation ouverte, systèmes nationaux et politiques publiques.* Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Paris, France.

Saulais, P. (2013) *Application de la gestion des connaissances à la stimulation de la créativité des experts et à la planification de la R & T en milieu industriel de haute technologie.* Evry: Institut Mines-Télécom.

Schön, D., (1983) The reflective practitioner. How professional think in action, Basic Books, New York.

Sennett, R., (2006) *La culture du nouveau capitalisme,* Paris: Albin Michel.

Shinn T., (2000) « Formes de division du travail scientifique et convergence intellectuelle. La recherche technicoinstrumentale ». *Revue Française de Sociologie,* 41-3 : 447-473.

Simon, H.., (1995) "Problem forming, problem finding and problem solving in design". In Collen, A., & Gasparski, W., *Design & Systems*. New Brunswick: Transaction Publishers.

Simondon, G. (1989) *Du mode d'existence des objets techniques.* Editions Aubier, Paris. Première édition 1958.

Simondon, G. (1989) *L'individuation psychique et collective.* Editions Aubier, Paris. Première édition 1964.

Simoulin, V (2012) « Les ressorts de la flexibilité instrumentale, elle-même support de l'interdisciplinarité », *Revue européenne des sciences sociales,* Vol. 50, n° 2, p. 67-92.

Stark, D. (2001) Ambiguous assets for uncertain environments: Heterarchy in postcolonial firms. In Di Maggio, P., *The Twenty-first century firm: changing economic organization in international perspective.* Princeton, p. 69–104.

Stiegler, B (2015) *La Société Automatique*. Paris: Fayard.

Stiegler, B (2014) Digital Studies, organologie des savoirs et technologies de la connaissance, Paris : Editions Fyp.

Suchman, L. (1987) *Plans and situated actions: the problem of human/machine communication. Cambridge:* Cambridge University Press.

Theureau J. (2010) « Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action » », *Revue d'anthropologie des connaissances,* 4(2), 287–322.

Theureau J. (2006) *Le cours d'action: méthode développée.* Toulouse : Editions Octares.

Tornincasa, S., et Di Monaco, F. (2010) The future and the evolution of CAD. Proceedings of the 14th international research/expert conference: trends in the development of machinery and associated technology.

Toulmin, S. (1993) *Les usages de l'argumentation,* édition originale 1958, Paris : Presses Universitaires de France.

Tovey, M. (2002) "Concept design CAD for the automotive industry". *Journal of Engineering Design*, 13, p. 5–18.

Tremeau, A., Martin, D. et Devillez, A., (2015) « Institutional work in academic technological facilities: A multi-case study from the field of biotechnology in France". *The Journal of High Technology Management Research,* 26 (2), pp.137–148.

Turner, F (2012) *Aux sources de l'utopie numérique. De la contre-culture à la cyberculture, Steward Brand, un homme d'influence,* Caen : C&F éditions.

Vanden Bossche-Marquette, M (2013) « Le projet Louvois. Comment maîtriser la complexité informatique ? », Document de travail. ODASE

Van de Ven A H, Poole M S. (2000) "Methods for studying innovation processes". Van de Ven A H, Angle H L, Poole M S (ed). *Research on the management of innovation. The Minnesota Studies.* 2ème éd. New York : Oxford University Press, 2000, p. 31-54.

Vendramin, P., et Valenduc, G (2016) "Work in the digital economy: sorting the old from the new", Institut Syndical Européen (European Trade Unions Institute).

Vergnaud G. (1990) « La théorie des champs conceptuels », *Recherche en didactique des mathématiques,* 10, 2/3, 133-170.

Vergnaud G. et Récopé M. (2000), « De Revault d'Allonnes à une théorie duschème aujourd'hui », *Psychologie française,* 45, 1, 35-50.

Vergnaud, G. (1981). *L'enfant, la mathématique et la réalité,* Berne : Peter Lang.

Vérin, H., (1993) *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIè au XVIIIè siècle,* Paris: Albin Michel.

Vermersch P., (2003) *L'entretien d'explicitation*, Paris : ESF Editions.

Visser, W (1999) « Etudes en ergonomie cognitive sur la reutilization en conception: quelles leçons pour le raisonnement à partir de cas ? », *Revue d'Intelligence Artificielle*, 13, p. 129-154.

Visser, W (2009) « La conception : de la résolution de problèmes à la construction de repré-

sentations », *Le Travail Humain,* vol. 72, p. 61-78.

Von Hippel, E. (1986) "Lead users: a source of novel product concepts". *Management Science*, 32(7): 791.

Von Hippel E. (1988) *The sources of innovation*. Oxford: Oxford University Press.

Von Hippel Eric, (2006) *Democratizing Innovation,* The MIT Press.

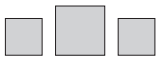
Von Hippel, E. (2001) Perspective: User toolkits for innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 18(4): 247-257.

Weber, M (posthume 1921), Economie et société, traduction du tome 1, Plon ; édition de poche, Pocket, 1995.

Wenger E. (1998) *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity.* Cambridge, Cambridge University Press.

Wenger E., McDermott R., Snyder W.M. (2002) *Cultivating communities of practice,* Boston, Harvard Business School Press.

Whalley P. (1984) "Deskillig engineers ? The labor process, labor markets, and labor segmentation», *Social problems,* 32,2.



12 ANNEXES

ANNEXE 1 – DYNAMIQUE DE L'EMPLOI PAR FAMILLES PROFESSIONNELLES

Familles professionnelles (FAP 2009)	1982-1984	2012-2014	Variation sur 30 ans
M2Z - Ingénieurs de l'informatique	43 000	355 000	725,6%
W1Z - Formateurs	43 000	146 000	239,5%
V4Z - Professionnels de l'action sociale et de l'orientation	104 000	322 000	209,6%
N0Z - Personnels d'études et de recherche	130 000	383 000	194,6%
L4Z - Techniciens des services administratifs, comptables et financiers	138 000	397 000	187,7%
L5Z - Cadres des services administratifs, comptables et financiers	224 000	636 000	183,9%
H0Z - Ingénieurs et cadres techniques de l'industrie	103 000	274 000	166,0%
P3Z - Professionnels du droit (hors juristes en entreprise)	35 000	90 000	157,1%
A2Z - Techniciens et cadres de l'agriculture	27 000	67 000	148,1%
U0Z - Professionnels de la communication et de l'information	64 000	157 000	145,3%
U1Z - Professionnels des arts et des spectacles	165 000	391 000	137,0%
J6Z - Cadres des transports, de la logistique et navigants de l'aviation	37 000	87 000	135,1%
V0Z - Aides-soignants	256 000	598 000	133,6%
B7Z - Cadres du bâtiment et des travaux publics	75 000	164 000	118,7%
V3Z - Professions paramédicales	204 000	428 000	109,8%
J4Z - Agents d'exploitation des transports	54 000	112 000	107,4%
R4Z - Cadres commerciaux et technico-commerciaux	262 000	533 000	103,4%
S2Z - Employés et agents de maîtrise de l'hôtellerie et de la restauration	191 000	371 000	94,2%
G1Z - Techniciens et agents de maîtrise de la maintenance	244 000	466 000	91,0%
V2Z - Médecins et assimilés	201 000	381 000	89,6%
V5Z - Professionnels de l'action culturelle, sportive et surveillants	202 000	376 000	86,1%
Q1Z - Techniciens de la banque et des assurances	105 000	192 000	82,9%
P2Z - Cadres de la fonction publique (catégorie A et assimilés)	250 000	448 000	79,2%
Q2Z - Cadres de la banque et des assurances	149 000	263 000	76,5%
L2Z - Employés administratifs d'entreprise	220 000	371 000	68,6%
V1Z - Infirmiers, sages-femmes	353 000	567 000	60,6%
T3Z - Agents de gardiennage et de sécurité	146 000	219 000	50,0%
R2Z - Attachés commerciaux et représentants	359 000	524 000	46,0%
J5Z - Agents administratifs et commerciaux des transports et du tourisme	137 000	197 000	43,8%
T0Z - Coiffeurs, esthéticiens	152 000	210 000	38,2%
S1Z - Cuisiniers	270 000	363 000	34,4%
B6Z - Techniciens et agents de maîtrise du bâtiment et des travaux publics	230 000	300 000	30,4%
J1Z - Ouvriers qualifiés de la manutention	371 000	460 000	24,0%
R1Z - Vendeurs	680 000	839 000	23,4%
M1Z - Techniciens de l'informatique	133 000	164 000	23,3%
E2Z - Techniciens et agents de maîtrise des industries de process	202 000	239 000	18,3%
J3Z - Conducteurs de véhicules	655 000	774 000	18,2%
W0Z - Enseignants	917 000	1 060 000	15,6%
T4Z - Agents d'entretien	1 112 000	1 283 000	15,4%
R0Z - Caissiers, employés de libre service	256 000	294 000	14,8%
E1Z - Ouvriers qualifiés des industries de process	264 000	301 000	14,0%
L6Z - Dirigeants d'entreprises	134 000	152 000	13,4%
P1Z - Professions intermédiaires administratives de la fonction publique (catégorie B et assimilés)	369 000	409 000	10,8%
B5Z - Conducteurs d'engins du bâtiment et des travaux publics	73 000	79 000	8,2%
B4Z - Ouvriers qualifiés du second œuvre du bâtiment	491 000	530 000	7,9%
F3Z - Ouvriers qualifiés du travail du bois et de l'ameublement	92 000	95 000	3,3%
B2Z - Ouvriers qualifiés du gros œuvre du bâtiment	365 000	376 000	3,0%
A1Z - Maraîchers, jardiniers, viticulteurs	333 000	326 000	-2,1%
L1Z - Employés de la comptabilité	330 000	316 000	-4,2%
B3Z - Ouvriers non qualifiés du second œuvre du bâtiment	144 000	137 000	-4,9%
P0Z - Employés administratifs de la fonction publique (catégorie C et assimilés)	806 000	762 000	-5,5%

B1Z - Ouvriers qualifiés des travaux publics, du béton et de l'extraction	99 000	93 000	-6,1%
R3Z - Maîtrise des magasins et intermédiaires du commerce	585 000	547 000	-6,5%
L3Z - Secrétaires de direction	172 000	159 000	-7,6%
G0A - Ouvriers qualifiés de la maintenance	209 000	193 000	-7,7%
T1Z - Employés de maison	245 000	223 000	-9,0%
C2Z - Techniciens et agents de maîtrise de l'électricité et de l'électronique	159 000	143 000	-10,1%
D2Z - Ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal	178 000	151 000	-15,2%
S3Z - Patrons et cadres d'hôtels, cafés, restaurants	251 000	212 000	-15,5%
D4Z - Ouvriers qualifiés de la mécanique	167 000	141 000	-15,6%
G0B - Ouvriers qualifiés de la réparation automobile	218 000	181 000	-17,0%
J0Z - Ouvriers non qualifiés de la manutention	440 000	356 000	-19,1%
M0Z - Employés et opérateurs de l'informatique	46 000	36 000	-21,7%
S0Z - Bouchers, charcutiers, boulangers	308 000	241 000	-21,8%
F5Z - Techniciens et agents de maîtrise des matériaux souples, du bois et des industries graphiques	40 000	31 000	-22,5%
D6Z - Techniciens et agents de maîtrise des industries mécaniques	306 000	234 000	-23,5%
L0Z - Secrétaires	589 000	431 000	-26,8%
Q0Z - Employés de la banque et des assurances	348 000	253 000	-27,3%
K0Z - Artisans et ouvriers artisanaux	157 000	107 000	-31,8%
D1Z - Ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal	160 000	103 000	-35,6%
C1Z - Ouvriers qualifiés de l'électricité et de l'électronique	83 000	49 000	-41,0%
P4Z - Armée, police, pompiers	673 000	381 000	-43,4%
A3Z - Marins, pêcheurs, aquaculteurs	58 000	32 000	-44,8%
B0Z - Ouvriers non qualifiés du gros œuvre du bâtiment, des travaux publics, du béton et de l'extraction	358 000	186 000	-48,0%
E0Z - Ouvriers non qualifiés des industries de process	397 000	186 000	-53,1%
F4Z - Ouvriers des industries graphiques	121 000	56 000	-53,7%
F1Z - Ouvriers qualifiés du textile et du cuir	151 000	66 000	-56,3%
D3Z - Ouvriers non qualifiés de la mécanique	356 000	150 000	-57,9%
C0Z - Ouvriers non qualifiés de l'électricité et de l'électronique	83 000	32 000	-61,4%
D0Z - Ouvriers non qualifiés travaillant par enlèvement ou formage de métal	114 000	41 000	-64,0%
F2Z - Ouvriers non qualifiés du travail du bois et de l'ameublement	86 000	30 000	-65,1%
A0Z - Agriculteurs, éleveurs, sylviculteurs, bûcherons	1 610 000	533 000	-66,9%
F0Z - Ouvriers non qualifiés du textile et du cuir	277 000	21 000	-92,4%

Source : DARES(Direction de l'Animation de la Recherche, des Etudes et des Statistiques) d'après séries longues de l'Enquête Emploi en continu de l'Insee, 2015.

ANNEXE 2 – L'OFFRE DE LOGICIELS DE CONCEPTION PAR DASSAULT SYSTÈMES

CATIA, numéro 1 mondial sur son marché, est le principal outil de CAO de l'éditeur, et son application historique. C'est sa solution PLM pour la création collaborative 3D. CATIA adresse le processus de développement de produit, depuis sa conception initiale jusqu'à sa mise en service.Catia comprend 130 produits.

CATIA (« Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée ») est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) créé au départ par la société Dassault Aviation pour ses propres besoins sous le nom de CATI (acronyme de conception assistée tridimensionnelle interactive). La compagnie Dassault Systèmes fut créée en 1981 pour en assurer le développement et la maintenance sous le nom de CATIA, IBM en assurant la commercialisation. Pour le public anglophone, le sigle a reçu dans les manuels l'interprétation *Computer-Aided Threedimensional Interactive Application*.

CATIA a la possibilité de s'interfacer avec un logiciel PLM — C'est toujours le cas dans le secteur industriel. La connexion la plus aisée se fait avec les applications ENOVIA de Dassault Systèmes (VPM, 3DCOM, LCA, Smart team, 3DExpérience) mais les applications concurrentes proposent également une interface.

CATIA est composé de plusieurs ateliers pour la conception mécanique, électrique, etc... en fonction des licences achetées.

CATIA qui est une des sous-parties d'une solution PLM/PDM complète.

SolidWorks couvrent les logiciels de conception mécanique 3D, de simulation, gestion des données produit et de collaboration. Ils sont généralement proposés comme une suite de produits, mise à l'échelle des besoins du client. Les clients peuvent choisir d'ajouter d'autres produits SolidWorks qui fournissent des simulations supplémentaires et des fonctionnalités de PDM. Ils sont utilisés par les entreprises dans la machinerie, le médical, les biens de consommations, les outils et moules, les secteurs d'électricité et d'énergie et par les fournisseurs de l'industrie aéronautique et automobile.

Contrairement à Catia, Solidworks c'est un seul produit qui fait tout avec 70% des fonctionnalités de Catia et la moitié du prix.

CAA V5, un environnement de développement ouvrant CATIA, DELMIA et ENOVIA à l'extérieur grâce à des interfaces C++ et Java.
Spatial, représente un ensemble de composants de modélisation et de visualisation 3D. Cette marque est issue de l'acquisition en 2000 du modeleur ACIS, alors propriété d'Autodesk.

DELMIA, logiciel de simulation d'usine issu pour l'essentiel de l'acquisition de Deneb, Delta et Safework. DELMIA couvre les logiciels de fabrication numérique de l'entreprise du PLM. Il permet aux fabricants de définir, planifier, créer, surveiller et contrôler virtuellement tous les processus de production, depuis le début des processus de planification et de simulation d'assemblage jusqu'à la définition complète de l'installation de production et l'équipement.

ENOVIA pour la gestion collaborative et globale du cycle de vie (le PLM), avec historiquement VPM (Virtual Product Management : Système de gestion de produit) puis son succes-

seur VPLM, DMU, auxquels se sont rajoutés SmarTeam puis MatrixOne. ENOVIA fournit le cadre de collaboration pour l'entreprise des logiciels PLM. Il s'agit d'un environnement en ligne qui implique des créateurs, des collaborateurs et des consommateurs dans le cycle de vie du produit.

SIMULIA pour la simulation et les tests virtuels, issue de l'acquisition de la société Abaqus en 2005. SIMULIA automatise les processus standards de simulation, les déploie dans toutes les organisations, distribue les charges de travail sur les ressources informatiques et gère les résultats de la simulation pour améliorer la prise de décision collaborative. Il est conçu pour répondre aux besoins des entreprises avec des logiciels de produit réaliste et de procédés de simulation pour réaliser des simulations réalistes plus facilement accessibles grâce aux applications de simulation intégrées et collaboratives.

3DVIA pour la démocratisation de l'usage de la 3D (« 3D comme média »). Cette marque se décompose en trois produits principaux :

3DVIA Studio, logiciel permettant de travailler de façon collaborative afin de produire des expériences de haut niveau et de les publier sur des plateformes multiples (PC, Mac) ;
3DVIA Composer, permet aux utilisateurs de diffuser des procédures d'assemblage, des illustrations techniques et du matériel de marketing en utilisant des images 3D et d'autres données 3D qui restent compatibles avec les données produits ;

3DVIA.com est un site communautaire en ligne regroupant des artistes et des passionnés pour trouver, partager et créer des contenus numériques 3D. Le site met en valeur les expériences 3D interactives.

EXALEAD est une infrastructure pour les moteurs de recherche avec des applications orientées recherche et Internet. EXALEAD est un fournisseur mondial de logiciels d'accès à l'information pour l'entreprise et le Web.

DRAFTSIGHT est un programme gratuit de conception assistée par ordinateur en 2D pour les particuliers compatible avec le format. DWG. Il est compatible Windows, Linux, et Mac.
Netvibes fournit des tableaux de bord intelligents pour suivre et gérer l'information du Web en temps réel.

GEOVIA délivre des solutions logicielles minières.

3DSwYm est une plateforme sociale pour partager l'information interne et externe.

BIOVIA, numéro 1 mondial sur son marché, apporte des solutions d'innovation scientifique dans les domaines de la biosphère et des matériaux (gestion des données scientifiques, modélisation et simulation des molécules, des matériaux et des comportements biologiques, informatique chimique et biologique, biologie des systèmes et thérapeutique intégrée, recherche en réseau, gestion du laboratoire d'entreprise, gestion de la réglementation et de la qualité, maîtrise des processus de collaboration, gestion des inventaires de produits chimiques).

3DEXCITE, fournit aux professionnels des solutions de visualisation en temps réel pour créer des expériences numériques, interactives, marketing et commerciales.

ANNEXE 3 - SIX LOGIQUES DE PLATES-FORMES DE BIOTECHNOLOGIE

	Pasteur / plate-forme d'imagerie	CEA / Evry	Transcriptome PACA Marseille	Ipsogen	RoBioMol	Eurogentec
Financement	Financement public	Financement public	Financement public	Financement privé	Financement privé et public	Financement privé
Gamme de service proposée	Etroite	Large	Large	Etroite	Large	Large
Maturité technologique	Mature	Non mature, supplantée	Non mature, supplantée	Mature	En développement	Mature
Modalités d'accès	Sélection sur projets	Direct pour interne, projet pour externe	Sélection sur projets	Commercial	Commercial	Commercial
Tarification	Cout marginal	Cout marginal	Cout marginal puis cout complet	Cout complet	Cout complet	Cout complet
Taux d'utilisation	Fort	40%	40%	Faible	40%	Fort
Usager/client	200 à 300 utilisateurs internes à l'institut Pasteur	Utilisateurs internes au CEA 70%, aux laboratoires hors CEA et aux industriels 30%	Académiques internes, extérieurs et industriels	Académiques, centres cliniques anticancéreux, groupes pharma et entreprises biotechs	50% de laboratoires académiques, 20 % de sociétés biotech, 30% de groupes pharma	Services et produits proposés à des clients académiques et industriels européens
Articulation recherche / dispositif technique	Oui, Mission de la plate-forme est le renouvellement des technologies	Oui, La plate-forme permet à l'équipe de travailler sur ses	Oui / Non volonté au départ, mais plus après 2003.	Oui dans le cadre de R&D coopérative avec les labos	Oui, l'amélioration des technologies font partie de la mission de la plate-	C'est un processus d'innovation incrémentale par rapport

Ont contribué aux études de cas : Pasteur (F. Aggéri et Pascal Lemasson), CEA/Evry (Ashveen Perbaye), Transcriptome PACA (Anne Branciard et Caroline Lanciano), Ipsogen (Anne Braciard et Caroline Lanciano), RoBiomol (C. Genet) et Eurogentec (F. Aggeri et Vincent Mangematin).

ANNEXE 4 – LE MANUEL D'OSLO

On peut retrouver la totalité de la seconde édition du manuel à l'adresse suivante :

http://www.oecd.org/fr/sti/inno/2367523.pdf

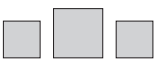
La dernière version du manuel d'Oslo définit quatre catégories d'innovations :
- De **produit** (bien ou prestation de service) : une innovation de produit correspond à l'introduction d'un bien ou d'un service nouveau ou sensiblement amélioré sur le plan de ses caractéristiques ou de l'usage auquel il est destiné. Cette définition inclut les améliorations sensibles des spécifications techniques, des composants et des matières, du logiciel intégré, de la convivialité ou autres caractéristiques fonctionnelles ;
- De **procédé** : une innovation de procédé est la mise en œuvre d'une méthode de production ou de distribution nouvelle ou sensiblement améliorée. Cette notion implique des changements significatifs dans les techniques, le matériel et/ou le logiciel ;
- **D'organisation** : une innovation d'organisation est la mise en œuvre d'une nouvelle méthodeorganisationnelle dans les pratiques, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de la firme ;
- De **marketing** : une innovation de marketing est la mise en œuvre d'une nouvelle méthode de commercialisation impliquant des changements significatifs de la conception ou du conditionnement, du placement, de la promotion ou de la tarification d'un produit.

ANNEXE 5 – DÉFINITION DE LA BUREAUCRATIE

L'une des premières définitions consistante de la bureaucratie a été fournie par Max Weber (1921). On qualifie son approche de définition étroite. Cet auteur s'intéresse à l'efficacité des organisations tout d'abord dans le domaine du travail de bureau des armées puis de l'administration en général. Il propose un principe d'organisation qui permet selon lui d'éviter l'arbitraire, les effets de séduction ou encore le poids des traditions. Dans cet esprit il définit un modèle idéal de gestion des fonctionnaires sensés incarner l'efficacité de son modèle bureaucratique.

1. Les individus sont soumis à une autorité uniquement dans le cadre de leurs obligations impersonnelles officielles.
2. Les individus sont répartis dans une hiérarchie d'emplois clairement définie.
3. Chaque emploi a une sphère de compétences clairement définie.
4. L'emploi est occupé sur la base d'un contrat.
5. Le recrutement se fait sur la base des compétences (diplômes et/ou expérience).
6. La rémunération est fixe, en fonction du grade hiérarchique.
7. L'emploi est la seule occupation du titulaire.
8. Logique de carrière : la promotion dépend de l'ancienneté et de l'appréciation des supérieurs hiérarchiques.
9. Les individus ne sont pas propriétaires de leur outil de production.
10. Les individus sont soumis à un contrôle strict et systématique dans leur travail.

Les règles et procédures doivent être appliquées de façon impersonnelle par des agents spécialisés. Ces agents appliquent les règles sans discuter des objectifs ou des raisons qui les fondent. Ils doivent faire preuve de neutralité et oublier leurs propres intérêts personnels au profit de l'intérêt général. Et les règles doivent être établies sur la base de critères objectifs définis par des experts de chaque domaine considéré.



Achevé d'imprimer sur les presses numériques
de l'imprimerie MALINVAUD & C^ie^

Dépôt légal : septembre 2017