

Sommaire

| | |
|---|----|
| Introduction | 6 |
| I – Revue de la littérature et cadre théorique | 12 |
| I – 1 – La conception : un processus multiple et variable dans le temps | 12 |
| I – 1 – 1 – La conception, variable dans le temps : historique de la conception – du processus de conception aux outils d'aide à la conception..... | 12 |
| I – 1 – 2 – La conception, un processus multiple : les différentes étapes du processus – utilité relative des normes et nécessaire liberté..... | 17 |
| I – 2 – La place des plateformes de conception et la question des outils numériques tels que le PLM dans le processus de conception actuel | 22 |
| I – 2 – 1 – La plateforme, un outil plural pouvant faire référence à de multiples réalités..... | 22 |
| I – 2 – 2 – Le processus de conception d'aujourd'hui et la nécessité, pour les outils de gestion, de s'adapter à une « situation de travail » nouvelle..... | 26 |
| II – Méthodologie | 31 |
| II – 1 – Positionnement épistémologique, raisons et implications | 33 |
| II – 2 – Choix méthodologiques, pertinence et application | 37 |

| | |
|--|----|
| III – Résultats..... | 41 |
| III – 1 – L’outil d’aide à la conception, des réalités multiples..... | 41 |
| III – 2 – Différentes phases perçues du processus de conception..... | 43 |
| III – 3 – Les effets décelés des outils d’aide à la conception, paradoxes et hésitations..... | 45 |
| III – 4 – Une gestion du processus de conception qui impacte l’utilisation faite des outils d’aide..... | 48 |
| III – 5 – Le PLM, entre intégration efficace et coercition qui entrave le processus de conception..... | 50 |
| Conclusion..... | 54 |
| BIBLIOGRAPHIE..... | 56 |
| ANNEXES..... | 61 |

« *Toute innovation est anormale.* »

L'ensorcellement du monde, Boris Cyrulnik (1997)

Les nouvelles plateformes de conception, le PLM et leurs implications dans le processus de conception : portées et limites

L'innovation renvoie, dans l'inconscient collectif, à la fois au fait de restaurer, de transformer radicalement, de faire évoluer ou, plus encore et peut-être principalement, d'inventer. En termes économiques, elle est caractérisée par l'évolution significative d'un produit ou d'un service, ou bien par une nouveauté radicale, inconnue jusqu'alors. Il s'agit, de par ses caractéristiques, d'une notion complexe, en ce qu'elle naît non seulement d'un certain procédé créatif – puisqu'il s'agit d'une idée neuve, d'un germe intellectuel – mais est également une réalisation concrète qui doit répondre aux attentes des consommateurs. L'innovation se différencie donc de l'invention puisqu'elle revêt, de fait, un caractère opérationnel marqué, objectivé par une mise en œuvre concrète, soit la réalisation matérielle de l'idée originelle à destination du marché d'utilisateurs (Loilier & Tellier, 2013).

Aujourd'hui, enjeu économique majeur, l'innovation est érigée en facteur clé de la compétitivité des entreprises. On la considère même comme l'une des dynamiques principales de la croissance économique. En 2002, la Commission Européenne recommande concrètement « plus de recherche pour l'Europe » et, à ce titre, donne aux états membres un objectif de 3% du Produit intérieur brut (PIB) à consacrer à la Recherche et au Développement, quoique l'innovation ne soit pas uniquement le fait des ressources allouées à ce domaine.

Si nous nous intéressons couramment à l'innovation et à ses effets, nous avons davantage de difficultés, en revanche, à connaître ses sources et ce qui, partant, la modèle. Effectivement, les premiers travaux scientifiques consacrés à l'innovation, en particulier ceux de Joseph Schumpeter, l'ont considérée comme une simple « boîte noire », soit un résultat de fait. Uniquement appréhendée en tant qu'aboutissement, nous ignorions les origines de l'innovation, son contenu et jusqu'à son processus de réalisation. A cette première analyse se substitue le modèle linéaire et hiérarchique de l'innovation, qui scinde clairement la recherche, la fabrication et le marché – ou la mise en circulation de l'innovation. Pourtant, ce dernier modèle ne paraît pas, non plus, satisfaisant (Kline & Rosenberg, 1986) : l'investissement en Recherche n'aboutit pas nécessairement à l'innovation et la plupart des idées créatives ne se transforment pas en innovations à succès ; il faudrait environ 3000 idées afin de générer un produit commercialement rentable (Stevens & Burley, 1997). C'est ici que naît l'importance du processus de conception, auquel nous allons nous intéresser dans ce mémoire. Effectivement, s'il est possible d'innover sans faire de recherches, il est en revanche impossible d'innover sans avoir initié un processus de conception. Ce dernier se positionne donc en processus central du processus d'innovation (Kline & Rosenberg, 1986).

La conception peut être définie comme une recherche de solutions les plus optimales à un problème mal circonscrit a priori (Visser, 2009), ou de solutions « satisfaisantes » plutôt qu'« optimales », du fait des contraintes existantes (Simon, 1969). La notion recouvre donc nécessairement, d'emblée, une multitude de processus de conception, selon la nature du problème à résoudre, les connaissances des parties prenantes, les représentations mentales de chacun ou tout autre caractéristique mouvante, notamment le fait que les individus ne sont jamais capables de disposer de l'intégralité de l'information requise ni d'envisager toutes les solutions possibles.

Nous comprenons également la conception comme la création de nouveaux objets (produits, services, dispositifs) à travers différentes pratiques : elle représente un mixte de tâches de création et de tâches de réalisation, puisqu'il s'agit d'une part d'envisager, au travers de représentations nombreuses, les solutions adéquates à un problème donné, d'autre part de concrétiser ces solutions pensées en démarrant un processus de matérialisation, le tout sous contraintes (Darses & Falzon, 1996).

Le processus de conception est aussi nécessairement collectif puisque, reposant généralement sur un nombre important d'informations et de connaissances, il requiert le dépassement des limites individuelles afin de parvenir au résultat attendu (de Terssac, 1996). En tant qu'activité collective, qui rassemble différents acteurs, la conception est donc d'emblée basée sur un rapport de « prescriptions réciproques », où les individus sont tour à tour prescripteurs et opérateurs (Hatchuel, 1996) ; en effet, les savoirs, répartis entre les individus, doivent pouvoir transiter efficacement entre eux, ce qui laisse deviner que chacun, tour à tour, est amené à partager ses acquis avec les autres selon l'avancement du projet.

Le processus de conception est également de moins en moins réversible au cours du temps, du fait du degré de liberté qui diminue tandis que le projet avance et que le problème de départ, large et peu circonscrit, se précise et se concrétise dans l'apports de solutions (Midler, 1993). Ainsi, le résultat de la conception est a priori incertain et la piste à suivre reste d'abord plus ou moins inconnue (de Terssac, 1996). Il n'y a donc « pas de chemin pré-déterminé vers la solution : on connaît un certain nombre de procédures utiles et de méthodologies de conception, on peut s'appuyer sur des projets similaires déjà traités ou sur des prototypes existants, mais il faut à chaque fois réinventer les étapes qui séparent les spécifications de la production » (Darses & Falzon, 1996).

Ces deux caractéristiques de coopération et d'incertitude, qui fondent le processus de conception, nous font penser de ce dernier qu'il est assez spécifique, en ce qu'il paraît effectivement relativement variable selon les projets, les équipes impliquées ou encore les connaissances des individus (de Terssac, 1996). Ce point peut nous amener à penser qu'il s'agit d'un processus extrêmement ardu à structurer ; pourtant, depuis qu'il existe au sein des firmes, il a toujours eu tendance à être formalisé, dans une optique d'efficience.

Dès lors, nous pouvons envisager la conception tel un processus de structuration de l'action puisqu'il s'agit, en termes de gestion, de coordonner au mieux les activités des différents individus qui prennent part au processus de conception et d'intégrer leurs productions de manière optimale (de Terssac, 1996). Pour autant, cette structuration est complexe puisque nous la comprenons mouvante. A ce titre, nous devinons que les bons outils de normalisation du processus de conception doivent avoir pour caractéristique la réversibilité accompagnée d'une certaine rigidité, ce qui ne paraît pas naturellement cohérent. A ce sujet, nous pouvons parler d'objets qui font à la fois preuve de « robustesse » et de

« générativité » (Hatchuel, 1996), soit d'objets qui allient force, efficacité et possibilité d'engendrement et d'élaboration.

Depuis une vingtaine d'années, cette normalisation complexifiée se manifeste notamment par une recrudescence de l'usage et du développement des dispositifs d'aide à la conception. Les entreprises, dans un souci de raccourcissement des délais et de réduction des coûts, et sans vouloir négliger la qualité de la production, entendent, par ce biais, orienter l'action des individus « concepteurs ». La plupart du temps, les outils d'aide à la conception formulent un certain nombre de règles dont la force coercitive varie. La complexification croissante du travail amène un certain changement dans la nature du travail de conception : les parties prenantes sont désormais assistées par de nouvelles technologies. Nous pensons notamment et en particulier au Product Lifecycle Management (PLM, ou gestion du cycle de vie produit). Initialement apparu afin de soutenir le travail des bureaux d'études et des méthodes de l'industrie de la mécanique complexe dans les secteurs automobile et aéronautique (David & Rowe, 2014), le PLM voit aujourd'hui son utilisation se généraliser, notamment car il semble permettre des gains de temps considérables, tant lors de la phase de développement de l'ouvrage et de la conception des processus (Grieves, 2006), que tout au long de la vie du produit (Jarratt et al., 2011). Cela peut sembler, d'emblée, se matérialiser par un plus grand contrôle des tâches et une régulation accrue du processus de conception ; à ce compte là, nous pourrions intuitivement évoquer un certain frein à la créativité des individus, donc potentiellement moins d'innovation.

Ainsi, même si ces outils sont d'abord pensés en tant que moyens de respecter au mieux les objectifs coûts et délais impartis par les entreprises, il nous apparaît qu'ils peuvent également rajouter des contraintes au sein d'un processus qui en comporte déjà – de par sa nature collective (Darses & Falzon, 1996). Les auteurs parlent, au sujet de ces outils d'aide à la conception, d'une structuration de l'action dans le processus de conception qui peut être fermée, semi-ouverte ou ouverte (Erschler, 1996 ; Millot, 1996 ; Lopez, 1996 ; Huguet et alii., 1996 ; Soubie et alii., 1996). La structuration fermée laisse entendre que les solutions à la problématique de départ sont générées automatiquement par les dispositifs techniques, sans que le concepteur puisse intervenir en fonction du contexte et de la réalité ; or « l'application automatique d'une décision élaborée par un processus automatisé apparaît problématique et discutable » (Erschler, 1996). La structuration semi-ouverte reste assujettie aux principes de base de l'automatique mais « l'homme joue un rôle central dans le choix et l'application de la

solution » (Erschler, 1996). La structuration ouverte est celle dans laquelle l'homme peut s'extraire des actions admissibles pour la machine et faire preuve d'initiatives ; les outils d'aide à la conception sont ici relégués au rang de supports d'échange entre les membres et d'intermédiaires pratiques. En tant qu'éléments structurants de l'action mais dans une optique de soutien, d'accompagnement, voire d'émergence de l'innovation, les outils sus cités, tels que le PLM, devraient pouvoir naturellement s'inscrire dans une logique de structuration ouverte. Nous posons pourtant ici la question de savoir si ces dispositifs, normés (Stark, 2005), ne rajoutent pas, dans des conditions particulières, un certain degré de coercition sur l'activité des concepteurs et ne s'apparentent pas, de ce fait, plutôt à des outils de structuration semi-ouverte, voire fermée ; auquel cas, nous cherchons à déterminer s'ils ne sont pas inadaptés au processus de conception selon ses phases, car nous verrons qu'il n'est, en réalité, pas uniforme.

Nous nous intéresserons, dans ce mémoire, au processus de conception en général et à l'outil PLM en particulier. Nous évoquerons, plus largement, les plateformes de conception – dont le PLM est en fait une extension – qui représentent tous les moyens mis en œuvre par les entreprises afin de coordonner au mieux leurs activités dans un but fédérateur et d'efficience. L'enjeu sera de déterminer dans quelles mesures les outils d'aide à la conception tels que le PLM doivent être utilisés lors du processus de conception – non uniforme – afin d'encourager l'innovation ; nous examinerons ces dispositifs d'aide à la lumière des théories de la conception fermée, semi-ouverte ou ouverte, et poserons la question de savoir à quel type de structuration ils se rapportent. Nous utiliserons également, comme précisés plus haut, les concepts de « robustesse » et de « générativité » (Hatchuel, 1996), afin de rendre compte de la difficulté pour ces outils d'aide à la conception de s'adapter à la situation d'innovation – nœud de tensions contraires ardues à optimiser de concert.

Pour ce faire, dans une partie théorique (I), nous présenterons préalablement un historique de la conception, qui nous permettra notamment de mettre en exergue l'évolution de la gestion du processus au fil du temps et l'organisation attenante nécessaire (I-1-1) ; nous nous attacherons ensuite à préciser les différentes étapes du processus de conception tel qu'il est entendu actuellement, en discutant notamment de l'arbitrage entre normes et libertés laissées aux concepteurs lors de ces différentes étapes (I-1-2) ; pour finir, après les avoir présentés (I-2-1), nous poserons la question de la place des nouvelles plateformes de conception et de l'outil PLM, notamment au travers du prisme des différentes étapes du

processus (I-2-2), ce qui nous permettra de discuter leur utilité relative concernant le fait d'innover. Dans une seconde partie méthodologique (II), nous expliquerons les raisons de notre positionnement épistémologique et ce qu'il implique (II-1), puis nous ferons part de nos choix méthodologiques plus en détail (II-2). Enfin, dans une troisième et ultime partie, nous présenterons nos résultats (III) : des outils d'aide à la conception recouvrant effectivement des réalités multiples (III-1), une perception par les acteurs de différentes phases constituant le processus (III-2), des paradoxes évidents et des hésitations nombreuses concernant les dispositifs étudiés (III-3), une gestion du processus de conception impactant nécessairement l'utilisation faite de ces outils (III-4), enfin une oscillation perceptible du PLM entre intégration réussie du processus et entrave de celui-ci (III-5).

I – Revue de la littérature et cadre théorique

I – 1 – La conception : un processus multiple et variable dans le temps

Lorsque nous évoquons la « conception », nous faisons référence, en réalité, à une pluralité de manières de concevoir. La conception, processus complexe s'il en est, est aujourd'hui, en effet, radicalement différente d'hier (1). Au sein d'une même époque donnée, elle diffère également selon les individus impliqués dans son processus, sa gestion, voire les différentes phases qu'elle implique (2).

I – 1 – 1 – La conception, variable dans le temps : historique de la conception – du processus de conception aux outils d'aide à la conception

Peu étudiée jusque dans les années 1990, la conception représente en réalité un enjeu considérable pour les entreprises depuis le début du siècle dernier ; laissée de côté dans les travaux scientifiques, elle était tantôt considérée par ces derniers comme une activité non productive et dénuée de valeur, tantôt opposée à la réalisation, car appréhendée largement en amont de celle-ci. Le déroulement historique que nous proposons ci-dessous montre pourtant que, même en subissant des transformations radicales, le processus de conception a toujours été structuré, au sein des firmes, selon des modalités variables qu'il est intéressant d'étudier (de Terssac, 1996). Etant donné que nous cherchons à comprendre combien les nouveaux outils d'aide à la conception sont normalisés et structurants, nous trouvons intéressant de conduire un historique qui montre clairement dans quelles mesures la conception a perpétuellement été ordonnée, jusqu'aujourd'hui.

Nous n'évoquerons pas la conception avant le 19^{ème} siècle, car elle ne nous apporte pas d'éclairage majeur quant à la structuration du processus dans les entreprises, bien que l'introduction de critères de gestion dans l'organisation du travail soit antérieure à l'ère industrielle et au taylorisme (Ramirez, 2009), dont nous traiterons en premier.

Les modèles industriels et tayloro-fordiens de la conception, effectifs de la fin du 19^{ème} siècle jusque dans les années 1980, se caractérisent avant tout par la normalisation des modes opératoires, des critères de rentabilité financière et une distinction marquée des tâches et des postes entre ingénieurs et techniciens. Ainsi, le travail des concepteurs est ici approché comme radicalement différent et scindé des activités productives (Poitou, 1988 ; de Terssac, 1996). Dans ce schéma de production, métiers et outils de conception sont standardisés selon les principes de la chaîne fordienne : flux continu, imposition de normes spatiales et temporelles coercitives, structures hiérarchisées, systèmes automatisés de production et optimisation des ressources. Les bureaux d'études, créés dans les années 1870, qui accentuent pourtant la dimension collective du travail de conception, ne font en réalité qu'intensifier les individualités des concepteurs, dans la mesure où ces derniers cherchent à s'autonomiser (Le Masson, Weil, 2008). Nous observons là un processus de conception qui se veut extrêmement structuré, standardisé, planifié, et qui pour la première fois comporte des objectifs d'efficacité financière et productive explicites ; certains auteurs y voient même une « conception réglée systématique » (Le Masson, Weil, 2008). Les ingénieurs sont finalement blâmés pour leur manque de participation à l'innovation par certains acteurs économiques, qui leur reprochent également de ne fonctionner que selon des normes bureaucratiques et de s'apparenter davantage à des techniciens.

Les années 1960 marquent les prémisses de la crise du procès de production tayloriste et fordiste. L'activité de conception connaît, dès lors, de nouvelles formes de rationalisation qui entendent l'harmoniser avec d'autres segments productifs, notamment la fabrication. Ces transformations sont en particulier associées au développement des systèmes automatiques au sein des ateliers de fabrication, qui ouvrent des possibilités d'amélioration perpétuelle de la production à la chaîne.

A partir des années 1970, l'outil informatique, nouvellement introduit dans les bureaux d'études, vient accélérer radicalement les échanges et fait poindre de nouvelles formes de coopération entre les concepteurs. L'informatique de conception apparaît pourtant, de prime abord, comme le continuum naturel de la rationalisation des outils de travail des concepteurs – entamée depuis les débuts de la période industrielle – puisqu'il entend, de fait, garantir l'« optimisation du capital constant existant » (Janco, Furjot, 1972), de par la préparation, la surveillance, l'exécution et le contrôle du travail. Néanmoins, c'est également ce même outil qui permet une meilleure coordination des différentes parties prenantes au processus de conception. Un débat s'anime entre les uns, qui pensent l'outil informatique comme l'occasion de décloisonner le processus de conception et de mieux gérer les différentes cognitions des individus, et les autres, pour lesquels la machine vient priver l'homme des aspects intellectuels que son travail comportait, le cantonnant à un simple rôle d'exécutant (Mills, 1966).

Quoi qu'il en soit, les supports informatiques sont généralisés dans les entreprises à partir des années 1980 et leur utilisation par les concepteurs devient inévitable. L'avènement de la conception assistée par ordinateur (CAO), à partir de 1980, accélère nettement les temps de conception, réduit les délais de production et améliore les rendements de la firme. La CAO permet au concepteur de toujours être relié à un serveur informatique, ce qui lui octroie la possibilité de partager son avancement, en temps réel, avec les autres agents de l'entreprise ; nous la comprenons comme l'ancêtre du PLM. Elle généralise l'utilisation, par tous, d'un unique support, matérialisé numériquement. Plus intéressant qu'un modèle matériel – un dessin classique par exemple – le modèle numérique permet un travail instantané, collectif, pluriel et simultané.

C'est à partir de la généralisation de la CAO que nous commençons à évoquer l'organisation par projet et le modèle de l'ingénierie concourante, modèle largement dominant et encouragé depuis les années 2000, car supposé amener davantage d'innovations au sein des entreprises. En effet, la CAO permet à des concepteurs issus de secteurs distincts d'intervenir simultanément sur un même projet alors qu'ils sont à des niveaux d'avancement différents (Midler, 1993 ; Garel, 2003). Cela constitue le fondement des caractéristiques de l'ingénierie concourante, qui entend rapprocher la conception de la production, de manière à intégrer en amont dans la conception les problèmes susceptibles de survenir en aval (Perrin et alii., 1996).

Le processus de conception se veut alors plus intégré, et nous laisse entrevoir l'innovation comme la résultante d'une coopération aboutie entre les différents segments de la production.

Il nous apparaît donc que l'entreprise d'aujourd'hui doit en réalité conduire un arbitrage efficient entre recherche de performances économiques et quête perpétuelle d'innovations, qui ne vont pas nécessairement de pair car reposent sur des tensions contraires. Alors que les performances économiques peuvent être traditionnellement ambitionnées via une approche par fonctions, décomposition fonctionnelle de l'entreprise au système hiérarchique fort (Giard, 1996), la naissance de l'innovation se fait sans doute mieux au sein d'une structure moins hiérarchisée, plus collective, qui est en mesure de répondre plus facilement à l'instabilité et l'incertitude qui caractérisent le contexte économique et entrepreneurial actuel.

De ce fait, les outils d'aide à la conception doivent, en théorie, pouvoir s'adapter à ces situations paradoxales. C'est donc a priori afin de répondre à cette problématique que des dispositifs tels que le PLM ont été pensés. Ainsi, ils doivent pouvoir permettre la conception d'un produit en tenant compte, tout à la fois, des nombreuses contraintes et spécificités de chacune des phases du cycle de vie du produit, et des contraintes contradictoires du contexte d'innovation intensive (Hatchuel & Weil, 1999). Nous pensons plutôt que de tels outils ne savent pas forcément s'apparenter à ces deux fonctions simultanément, mais qu'ils semblent plutôt être adaptables selon ce que l'homme décide d'en faire, à quel point il entend instrumentaliser le processus de conception et surtout combien il les exploite lors du processus – c'est-à-dire à quels moments. De ce fait, nous n'appréhendons pas le PLM comme un matériel apportant forcément l'innovation, quoiqu'il soit préalablement conçu dans cette optique, mais plutôt comme un outil capable de rationaliser le plus efficacement possible les rapports collectifs lors du processus de conception. Nous avons l'intuition qu'un tel instrument peut sans doute recouvrir des réalités différentes, notamment, peut-être, selon les phases du processus de conception, puisque nous verrons, par la suite, qu'il s'agit d'un processus morcelé et non uniforme (Darses & Falzon, 1996).

Quoique reposant sur les intellects croisés d'innombrables acteurs, nous relevons grâce à cet historique que le processus de conception entend être rationnalisé depuis qu'il existe : même s'il semble, de facto, être plus encadré au début du siècle dernier, nous avons vu que les nouvelles formes d'organisation le formalisent également, en promouvant toutefois

l'altérité et la coopération. En réalité, l'organisation se caractérise aujourd'hui par une complexité certaine, qui consiste à la fois en la mobilisation d'une force collective importante – nécessitant une certaine adéquation cognitive entre les membres participants – mais également en la rationalisation optimale des échanges entre les différentes parties prenantes afin de conserver un certain cadre, nécessaire à l'aboutissement du projet et au respect des délais et des coûts imposés.

Le débat quant à la machine et quant à l'outil informatique en particulier est loin d'être naissant, et nous constatons que, depuis son avènement, les chercheurs se sont posé la question de savoir si l'outil informatique pouvait encourager l'innovation – en octroyant la possibilité aux concepteurs d'une meilleure adéquation cognitive – ou, au contraire, l'amoindrir – en déshumanisant le travail d'ingénieur et le transformant, ainsi, en simple tâche exécutive. C'est ce débat, en particulier, qui a fait émerger l'idée d'une utilisation seulement partielle des nouveaux outils d'aide à la conception – notamment du PLM – lors du processus de conception en entreprise. Nous avons en effet constaté, comme précisé plus haut, que ce dernier n'était pas univoque et tendait à être pluriel et différencié selon les moments en cours (Darses & Falzon, 1996) ; nous avons également vu que le PLM était a priori conçu dans un objectif d'intégration, de fluidification et d'amélioration de la performance du développement produit (Merminod, Mothe, Rowe, 2009). Ces deux aspects nous sont apparus comme intéressants à articuler, et c'est ainsi que nous avons décidé de questionner l'utilisation efficiente des outils d'aide à la conception tels que le PLM selon les phases du processus de conception afin d'encourager au mieux l'innovation. Ce point n'a, effectivement, pas encore été étudié jusque-là dans la littérature scientifique en sciences de gestion.

Ce questionnement nous amène à la seconde section de cette première partie, puisque nous allons à présent analyser le processus de conception tel qu'il existe aujourd'hui ; nous poserons, par la suite, la question de savoir s'il n'est pas plus intéressant de s'interroger quant au moment opportun de l'utilisation du support informatique dans une optique de davantage d'innovation, plutôt que de généraliser son utilisation à l'ensemble du processus de conception. Voyons donc maintenant quelles sont les différentes étapes du processus que nous venons d'évoquer, afin d'être ensuite à même de comprendre quels outils sont adaptés à chacune d'elle, pour quelles raisons et dans quelles mesures.

I – 1 – 2 – La conception, un processus multiple : les différentes étapes du processus – utilité relative des normes et nécessaire liberté

Nous venons de voir que le processus de conception est largement structuré depuis qu'on le reconnaît en tant que tel au sein des entreprises. Cependant, nous avons aussi mis en avant le fait qu'il s'agit d'un processus scindé, donc répondant à des logiques différentes selon les phases. Nous avançons également que la formalisation accrue d'un processus de conception peut amener la réduction des niveaux de communication entre les différents acteurs et, partant, également impacter l'innovation, en la décourageant (Hatch & Cunliffe, 2006). Les concepteurs, qui bénéficient en effet de moins d'autonomie, peuvent développer un sentiment d'impersonnalité qui les coupe des aspects « créatifs » de leurs occupations et les cantonne à un rôle d'automate reproduisant fidèlement les gestes imposés par les formalités bureaucratiques. Ce faisant, nous pouvons légitimement nous poser la question de savoir si la flexibilité et la spontanéité dans le travail de conception – et, partant, dans le processus d'innovation, puisque nous avons vu en introduction que les deux sont liés – ne sont pas deux caractéristiques utiles à ce dernier, et, en ce cas, dans quelles proportions et lors de quels moments.

Les années 1990 signent l'avènement de ce que nous nommons la « structure matricielle » de l'organisation. Cette structure se caractérise par un nombre d'interfaces croissant et des individus inter-agissants nombreux. Elle est donc notamment définie en termes de flux, puisque ce sont les informations transitoires qui la matérialisent. En fait, une telle organisation apparaît dès lors que projets et métiers se différencient : la structure hiérarchique semble s'effacer au profit d'équipes projet, quoique ces dernières doivent respecter les standards imposés. Ainsi, « les stratégies valorisées ne sont plus l'accumulation des connaissances dans une perspective de loyauté envers les responsables hiérarchiques et les normes professionnelles qu'ils portent, mais la négociation au cœur de relations conflictuelles avec les pairs » (Burlet, 2008). Nous avons ici l'impression d'une structure qui vient à la fois dépasser l'approche par fonctions de l'entreprise – qui décompose la production entre conception, méthodes, fabrication et maintenance et érige un contrôle hiérarchique très

affiché – et l'approche par produit de l'entreprise – avec des divisions regroupant des produits de même famille et une hiérarchie forte, qui vient contrôler chaque fonction (Giard, 1996). Afin de toujours mieux s'adapter à l'instabilité et l'incertitude croissantes – conséquences des transformations de l'environnement concurrentiel et des exigences de la clientèle, la structure dite « matricielle » semble promouvoir, de concert, rapidité d'exécution et double autorité, des métiers et des projets.

Nous trouvons ceci intéressant à relever puisque nous savons que c'est dans ce contexte organisationnel précis que l'entreprise a vu les projets de co-développement et la distanciation des équipes croître (Merminod, Mothe & Rowe, 2009), donc l'usage des technologies de l'information et de la communication se généraliser, en support, notamment, du travail collaboratif virtuel (Nijssen & Frambach, 2000 ; Nambisan, 2003). Ainsi, c'est pour supporter un processus de développement produit davantage distribué et remplacer un système d'information composé d'outils hétérogènes que la technologie PLM a été de plus en plus utilisée par les entreprises (Merminod, Mothe & Rowe, 2009).

Par ailleurs, dans la structure « matricielle », la conception et ses acteurs semblent valorisés, puisque leur pouvoir est, de facto, accru. La structure matricielle place donc les parties prenantes au sein d'une double structure, participative concernant la conception, et hiérarchique du point de vue de la production (de Terssac, 1996). Et, même s'il s'agit d'une organisation qui apparaît naturellement « ouverte » et ultra collaborative, nous remarquons que le fait de vouloir y adapter des outils, tels que le PLM, montre que sa rationalisation est nécessaire afin de conduire des projets structurés, peu chronophages et qui permettent à l'entreprise de maîtriser ses coûts.

Ainsi, l'organisation du processus de conception selon ces principes nous fait penser à des échanges fluidifiés entre les parties prenantes, davantage de flexibilité et une autonomie accrue des travailleurs. Pour autant, il est important de rappeler que ce type d'organisation reste tout à fait structuré, sinon plus que les précédents, du fait de l'interdépendance entre les éléments du système de conception, qui vient complexifier nettement les procédures et nécessite, dans un souci d'efficience, un aménagement adéquat et précis, comme nous venons de le voir avec l'exemple de l'outil PLM. Nous pensons donc, ici, que la notion de « flexibilité » ne semble plus tout à fait antinomique à celle de « formalisation », ce qui, a priori, nous paraît paradoxalement.

En somme, l'organisation matricielle s'avère donc être la conduite d'un processus de conception avec des équipes « intégrées » et une coopération forte entre les membres, qui entend faciliter l'émergence d'échanges tout en tentant de les structurer au mieux, dans un objectif affiché de maîtrise des délais et des coûts. Nous pensons qu'il s'agit peut être davantage d'un équilibre à trouver – toujours fragile et « sur le fil » – entre normes et libertés laissées aux concepteurs, davantage qu'une simple autonomie débridée, afin d'encourager la naissance du processus d'innovation au sein des entreprises. Ce questionnement, stratégique pour la firme, de la gestion du processus de conception, est celui qui nous intéresse tout particulièrement dans ce mémoire.

Il nous apparaît donc à présent probant de présenter les différentes phases qui caractérisent le processus de conception, afin de déterminer comment ces dernières fonctionnent et quelles sont les améliorations possibles en la matière, notamment au travers du prisme de la coopération – que nous considérons, nous l'avons vu, comme la pierre angulaire de la conception. Le fait d'analyser le processus de conception et de chercher à en déterminer les étapes est important : cela va nous permettre de mieux appréhender l'utilité d'outils d'aide, tels que le PLM, selon les attendus et implications des différentes phases décrites. Après avoir montré que les nouveaux contextes organisationnels dits « matriciels » ont nécessité l'adaptation de dispositifs adéquats car extrêmement coopératifs, nous souhaitons mettre en exergue le fait que, peut-être, considérée intrinsèquement, l'activité de conception, non uniforme, ne peut pas prétendre être gérée à partir de ces dispositifs seuls, et que, selon les moments, les attentes ne sont pas les mêmes et n'ont pas à être confondues ni conduites par les mêmes biais.

Ainsi, le processus de conception peut être caractérisé à la fois par des périodes de coopération forte entre les membres – la co-conception – et à la fois par des laps de temps durant lesquels ce sont les compétences individuelles qui sont importantes et sollicitées avant tout – la conception distribuée (Darses & Falzon, 1996).

La co-conception prend forme lorsque les partenaires se rassemblent – à distance ou non – dans le but de résoudre un problème conjointement (Darses, 1996). Ce moyen de coopérer est effectif en début et en fin de projet. Nous parlerons là de véritable « communauté des objectifs », qui prend tout à fait le pas sur les individualités en présence (Dameron, 2002).

Nous sommes ici confrontés à une interrogation, qui consiste à savoir comment les parties prenantes peuvent non seulement parvenir à se coordonner mais également à développer conjointement une solution optimale. Car, si le problème de la coordination se pose, le plus difficile à résoudre reste encore de comprendre et d'élucider comment construire un unique raisonnement depuis des schémas cognitifs différents, plus ou moins nombreux et dont les répertoires de connaissances sont hétérogènes (Hoopes & Postrel, 1999 ; Carlile, 2002, 2004). En réalité, nous pouvons nous demander si la structuration recherchée – celle de la coordination – n'est pas nécessairement inutile : si les valeurs identitaires véhiculées par l'appartenance au groupe-projet sont assez fortes – ce qui est le cas a priori – les individus sont en mesure d'agir très harmonieusement et réalisent, dès lors, la tâche commune. En effet, se coordonner, c'est se structurer, mais cette structuration peut apparaître, d'emblée, plutôt naturelle et nécessairement peu normée. Cette affirmation nous permet de comprendre qu'ici, ce sont les moyens de communication entre les membres qui sont importants, et de rappeler qu'effectivement, la transparence des échanges et la confiance entre les protagonistes sont deux conditions sine qua non de la maîtrise des risques du projet de conception (Midler, 1996).

La conception distribuée est, quant à elle, effective à mi-parcours. Ici, il s'agit davantage d'une coopération complémentaire, puisque les acteurs doivent avant tout faire appel à leurs ressources individuelles, puis veiller à les mettre à la disposition de tous. Chaque partie prenante est tenue de résoudre, de manière isolée, le sous-problème attribué. Les tâches sont préalablement distribuées et chacun doit s'acquitter de sa propre nécessité. Ces tâches participent naturellement à la résolution collective du problème, mais la phase de conception distribuée ne nécessite pas, contrairement à la co-conception vue plus haut, d'ajustements cognitifs importants. Autrement formulé, c'est la coordination des échanges qui doit être perpétuellement améliorée : ici, les informations doivent transiter toujours plus rapidement et plus massivement entre les individus (Darses, 1996).

Nous pouvons voir que le processus de conception n'est plus considéré uniformément, comme il tendait à l'être auparavant : dans un modèle tayloro-fordien de la conception, très rationalisé et organisé, la conception distribuée est la manière classique de fonctionner tout au long du processus, où les tâches sont clairement définies dans le but d'une réalisation commune. En revanche, depuis que les équipes projet de la conception sont davantage

intégrées, que le processus de conception prend de plus en plus une dimension collective – à présent devenue l’enjeu majeur de la conception – et nécessite une meilleure adéquation entre les cognitions des membres, l’organisation est devenue « matricielle » et se structure notamment autour d’outils d’aide à la conception – fédérateurs – qui permettent à chaque concepteur, lors de chacune des étapes du projet, de suivre l’avancement général et les ajouts des membres participants, le tout en temps réel.

Mais, si les phases de conception distribuée trouvent effectivement leurs réponses dans des méthodes précises à appliquer (telles que le Kanban) ou dans des systèmes informatiques de coordination, les phases de co-conception, en revanche, posent problème en ce qu’elles reposent avant tout sur une « hypercommunication » entre les membres (Weil, 2008). De ce fait, il nous apparaît, intuitivement, qu’elles doivent être a priori faiblement structurées, et plutôt gouvernées par les membres qui s’auto-organisent, les échanges informels, l’ajustement mutuel et une structuration ouverte – qui laisse une place majeure aux initiatives individuelles.

C’est de ce paradoxe entre synchronisation opératoire – nécessaire en phase de conception distribuée – et synchronisation cognitive – utile en phase de co-conception, (Amalberti et al., 1992) dont il s’agira dans la deuxième partie de ce mémoire. Nous y demanderons en effet si les nouvelles plateformes de conception et l’outil PLM ne permettent pas une meilleure adéquation cognitive entre les membres, tout en rationalisant le processus de conception, respectant par là même les caractéristiques de la structure matricielle de l’organisation – confrontée à un management de plus en plus paradoxal (Merminod, Mothe & Rowe, 2009). Effectivement, ces outils collaboratifs de pointe sont pensés comme le moyen d’allier fiabilité et productivité. Cependant, comme nous l’avons déjà soulevé, ces deux objectifs sont avant tout antagoniques (Weick & Roberts, 1993). Nous poserons également la question de savoir dans quelles mesures la rationalisation apportée par de telles technologies permet une structuration ouverte du processus de conception, encourage l’innovation et permet aux ingénieurs de conserver la part créative de leur activité.

I – 2 – La place des plateformes de conception et la question des outils numériques de type PLM dans le processus de conception tel qu'il est mené actuellement

Afin de bien comprendre de quoi il est question lorsque nous évoquons les nouvelles « plateformes de conception », nous présenterons toutes les sortes de plateformes existantes et, par là même, les différencierons (1). Cela permettra une lecture claire des différents usages faits des plateformes de conception – et partant, du PLM – notamment au regard des nombreux enjeux caractéristiques du processus de conception tel que nous le connaissons aujourd’hui (2).

I – 2 – 1 – La plateforme, un outil plural pouvant faire référence à de multiples réalités

La plateforme semble, initialement, relativement compliquée à caractériser. Lorsque nous cherchons la définition que nous fournit le dictionnaire, il s'avère que nous nous retrouvons confrontés à de nombreux sens, qui vont du domaine de l'armement à celui des travaux publics. Couramment, nous pouvons avancer que la plateforme est une sorte d'interface et de point d'échanges divers. Les premières plateformes ont trait au commerce international, puisque nous en donnerons l'exemple des ports : espaces étendus d'échanges de marchandises, ils sont une zone de flux transactionnels et tiennent lieu d'interfaces entre plusieurs régions, pays ou milieux productifs. Le terme « hub and spoke » semble particulièrement adapté à la notion de « plateforme », en ce qu'il suggère l'idée d'un rayonnement à partir d'un point central. Ainsi, la plateforme est d'abord entendue comme un espace structuré de flux qui administre la complexité des contraintes engendrées par des

affluences de marchandises considérables. De ces premières définitions, nous pouvons penser que la plateforme correspond à un outil de structuration ouverte, qui permet une certaine médiation entre les acteurs utilisateurs, et sert de support à leurs transactions sans que le système soit contraignant.

C'est à partir des années 2000 que la plateforme apparaît réellement au sein des entreprises et que les domaines scientifiques et techniques s'en emparent. En particulier, nous en donnerons l'exemple du PLM, qui en constitue une des extensions les plus familières et les plus exploitées dans les firmes. Initialement utilisée dans les secteurs aéronautique et automobile, la gestion du cycle de vie produit est ensuite diffusée dans d'autres industries, avec des solutions développées, par exemple, par Dassault Systèmes, Siemens ou PTC (Merminod, Mothe & Rowe, 2009). Elle octroie aux acteurs du projet de conception la possibilité de disposer d'une représentation virtuelle d'un produit physique ainsi que de gérer la collaboration de par le stockage, la coordination et le contrôle des informations relatives au développement (Grieves, 2006). L'accent est ici porté sur les mises en relation, soit – comme nous avons pu l'évoquer dans la première partie de ce mémoire – la problématique majeure des firmes en termes de conception actuellement. Les plateformes permettent, en effet, de connecter différents acteurs et de leur fournir des moyens techniques, informatiques et numériques d'ampleur. Elles constituent, en ce sens, des systèmes intelligents de collaboration. En réalité, elles peuvent être érigées en clefs de voûte du système économique et technique actuel, car elles semblent permettre aux structures davantage d'innovation, de par leur aspect collaboratif ; nous éclairerons ce propos dans la seconde section de cette deuxième partie.

Historiquement, la plateforme de conception recouvre de nombreuses réalités. Il existe notamment plusieurs sortes de plateformes pour la recherche scientifique, qui prennent l'aspect de dispositifs octroyant la possibilité à de multiples acteurs de mettre en commun un certain nombre de moyens (humains, financiers, matériels) sur un même site dans le but de faciliter la production de connaissances, l'innovation ainsi que le transfert de technologie (Tremeau et al., 2015). Par exemple, le domaine des biotechnologies voit la notion de plateforme apparaître lorsque leurs entreprises sont intégrées au milieu universitaire afin de partager au mieux équipements et compétences (McKelvey, 1996) : de cette façon, entreprises et chercheurs se rassemblent, et peuvent accéder aux « bons équipements » réunis au sein des

plateformes technologiques (Aggeri et al., 2007). L'utilisation généralisée des plateformes dans le domaine des sciences se fait dans une logique de recours systématique à l'équipement et à l'automatisation afin de générer, stocker, analyser et représenter une large quantité de données (Gaudillière, 2000) – soit ce que fait un PLM aujourd'hui en entreprise.

Une plateforme numérique est pour sa part définie comme « un service occupant une fonction d'intermédiaire dans l'accès aux informations, contenus, services ou biens dit  s 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 éco-systémique caractérisée par des interrelations entre services convergents » (le Conseil National du Numérique, 2015). Ici, la plateforme n'apparaît plus comme un système de structuration ouvert, mais plutôt semi-ouvert : l'automatique comprend des principes de base qui définissent le cadre des actions, sans plus tenir compte des aléas ou perturbations potentielles (Erschler, 1996).

Afin de montrer davantage combien les plateformes revêtent des réalités différentes, nous pourrons également évoquer le fait que certaines d'entre elles sont dominantes, lorsqu'elles bénéficient d'un plus grand nombre d'utilisateurs et d'une visibilité accrue. C'est notamment sur ce point que se différencient les plateformes propriétaires des plateformes ouvertes : les premières ont tendance être plus puissantes en termes de part de marché et de rentabilité si elles sont techniquement supérieures et si les coûts de changement vers les secondes sont élevés (Economides & Katsamakos, 2006). Les plateformes dominantes influencent très largement les firmes et structurent les écosystèmes qui se développent autour d'elles. A ce titre, elles modèlent les activités d'un nombre de firmes considérable (Koenig, 2012) et offrent également un ensemble d'outils et de règles du jeu aux membres de l'écosystème (Blondel & Edouard, 2015). Là, la plateforme revêt un caractère de système de structuration tout à fait fermé, puisque les solutions sont générées automatiquement (Erschler, 1996) en fonction du plan de la firme dominante, qui vient imposer sa propre coercition et son cadre aux autres entreprises utilisatrices.

En résumé, il existe aujourd'hui une multitude de plateformes mises à disposition, dans des domaines aussi éloignés que l'organisation de voyages et la recherche d'emploi ou de logement. Quoi qu'il en soit et malgré des utilisations variées, la plateforme est toujours l'intermédiaire entre plusieurs acteurs économiques ; elle suit une logique systémique,

puisqu'elle instaure un canal entre les parties prenantes et leur permet d'enrichir mutuellement leurs connaissances, voire d'en créer de nouvelles. Ce faisant, la plateforme engendre des « effets de réseau » et participe à les étendre (Arthur, 1994 ; Katz & Shapiro, 1985). Le fait de ne pas uniquement nous intéresser aux seules plateformes de conception nous apporte un éclairage supplémentaire afin de bien cerner les enjeux globaux portés par ce concept : quel que soit son domaine d'utilisation, la plateforme est médiatrice et génératrice de connaissances.

Nous avons pu voir au cours de ce développement que les plateformes sont ardues à définir et qu'elles recouvrent, à l'évidence, des réalités diverses et des champs d'application variés. Elles peuvent, selon la manière dont elles sont exploitées, correspondre à des systèmes de structuration fermé, semi-ouvert ou ouvert de la conception. Généralement, elles sont comprises comme des architectures structurantes des écosystèmes (Iansiti & Levien, 2004), qui donnent souvent l'avantage à des firmes déjà leaders sur le marché – et correspondent donc à des outils structurants « fermés » du processus de conception. Cependant, elles ont toutes la caractéristique de permettre une meilleure collaboration entre les différentes parties prenantes d'un projet et, en cela, nous pouvons nous demander si un outil tel que le PLM, qui répond aux mêmes logiques, ne représente pas un dispositif efficace pour le processus de conception tel qu'il est entendu aujourd'hui, soit de plus en plus flexible, décloisonné, collectif, intégré et pluriel. A priori créé afin de répondre aux nouvelles exigences du processus de conception, il nous semble effectivement que le PLM pourrait sans doute mieux accompagner certaines phases de celui-ci, et qu'il aurait, au contraire, des difficultés d'adaptation lors d'autres. C'est cette interrogation qui fera l'objet de la section suivante.

I – 2 – 2 – Le processus de conception d’aujourd’hui et la nécessité, pour les outils de gestion, de s’adapter à une « situation de travail » nouvelle

Nous avons pu voir, jusqu’ici, que le processus de conception a toujours été structuré selon des modalités différentes. Nous avons également soulevé le fait qu’aujourd’hui, les entreprises cherchent, en termes de conception, à la fois à encourager un travail plus collaboratif, salutaire à la naissance d’idées neuves, mais également à encadrer le processus de façon claire. Ces deux versants, nous l’avons soulevé, peuvent sembler paradoxaux : l’incitation à la collaboration ne va pas nécessairement de pair avec l’idée que nous pouvons nous faire d’une coercition quelconque. C’est là que la notion de PLM peut être discutée : en effet, nous pouvons nous demander en quoi un tel outil permet, de concert, de faciliter le concours des collaborateurs et d’imposer des normes rigides pour la conception. Nous avons également l’intuition que ces dispositifs d’aide sont adaptés au processus de conception – dans une optique d’innovation – seulement selon les phases en cours, et non sur l’intégralité du processus – qui, nous l’avons vu, n’est pas uniforme.

Nous avons développé quelques paragraphes précédents quant à l’organisation matricielle. Nous avons ainsi pu constater qu’elle était à présent dominante au sein des entreprises et qu’elle promouvait une plus grande collaboration entre les membres d’un projet, sans pour autant être dénuée de normalisation des procès. En ce sens, les nouvelles plateformes d’aide à la conception que représentent les PLM semblent en tous points correspondre à ce modèle organisationnel. Effectivement, le PLM est envisagé comme un outil permettant une adéquation et une organisation plus simples entre les membres du projet, donc une meilleure collaboration, mais également comme un moyen d’encadrer au mieux les manières de procéder des ingénieurs et participants, donc une plus grande entrave des procédés et des contraintes supplémentaires dans l’action de concevoir. Or, ce sont justement ces deux points, de collaboration fluidifiée et d’encadrement de l’action, qui sont couplés dans l’organisation matricielle.

Le processus de conception est donc à présent le fait de plusieurs dizaines d'acteurs, et nous notons l'adoption quasi unanime de la conception par projet, qui semble a priori être la rationalisation organisationnelle la plus efficace en termes de délai et de coût (Darses, 1996). Les implications d'une telle évolution sont les suivantes : d'une part des acteurs de la conception plus nombreux et donc l'implication de membres considérés jusqu'alors comme non concepteurs, d'autre part un regroupement de ces derniers autour d'une même problématique à résoudre, ce qui rend les dimensions sociocognitives du processus de conception beaucoup plus importantes que par le passé (Darses, 1996). Cela implique nécessairement une transformation des normalisations appliquées au domaine de la conception, au moins concernant certaines phases du processus, comme nous avons pu en discuter plus haut. Une autre évolution de la conception repose sur une organisation du cycle de vie du produit qui est désormais menée au sein d'une structure d'« entreprise étendue » : cela signifie invariablement des acteurs géographiquement éloignés, dont le but est toujours de collaborer – parfois à distance et de manière asynchrone.

Le PLM et les autres dispositifs du même type peuvent sans doute apporter quelques réponses à ce contexte particulier. En effet, nous associons, s'ils sont correctement utilisés, ces outils particuliers aux moyens de gérer les « objets intermédiaires » régulant la conception (Jeantet et alii., 1996), ce qui leur confère un statut d'assistants positifs du processus de mise en œuvre de solutions lorsqu'ils sont utilisés dans un but de meilleure coopération entre les membres. Cette notion rend compte des modes de coordination inventés dans l'optique de vérifier que les solutions pensées sont conformes aux intentions des acteurs (de Terssac, 1996). Les « objets intermédiaires » sont tous les éléments – dessins, maquettes, graphes, calculs – qui circulent entre les membres, et servent à la fois à rendre possible les interactions entre acteurs et à exprimer un accord sur une description commune. Consensuels, ils matérialisent la coopération et la rendent plus aisée. Le PLM peut, ici, être appréhendé comme un moyen optimal de gérer ces objets, dans le sens où il permet une meilleure participation individuelle des membres, tout en leur octroyant la possibilité, simultanément et collectivement, de corriger, modifier ou débattre, relativement à la problématique de départ et aux actions engagées vers le résultat.

Le PLM se place, de prime abord, dans une démarche stratégique de l'entreprise ; il intéresse principalement le processus de développement de nouveaux produits (David & Rowe, 2014) et donc, par extension, le processus de conception. Le premier objectif du PLM

réside dans le fait de livrer aux acteurs des bureaux d'études toutes les connaissances sur le cycle de vie du produit nécessaires à sa conception (Ameri & Dutta, 2005 ; David & Rowe, 2014) ; son second objectif est de leur rendre accessibles les informations de conception sur le produit (Ameri & Dutta, 2005 ; David & Rowe, 2014). Ainsi, chacun est en mesure de réaliser sa tâche parcellaire comme s'il maîtrisait l'intégralité du processus en cours (David & Rowe, 2014). Le PLM est une technologie de modélisation et simulation fidèles à la réalité, qui permet notamment d'économiser du temps, de l'énergie ainsi que du matériel (Grieves, 2006 ; Jarratt et al., 2011). Le produit peut alors être conçu en connaissance des différentes contraintes et spécificités des phases constituant le cycle de vie du produit, mais également du contexte paradoxal d'innovation intensive (Hatchuel & Weil, 1999). Ces systèmes sont donc entendus être assez évolutifs – dans l'optique d'accueillir des contenus très divers et aux degrés de structuration variables – en plus d'être dans une logique de « hub collaboratif » (David & Rowe, 2014), comme nous avons pu appréhender le concept de plateforme un peu plus tôt dans ce raisonnement. Une des définitions du PLM nous laisse apprécier combien il s'agit d'une notion transverse et plurielle : « actuellement, l'acronyme PLM joue un rôle « holistique », réunissant les produits, les services, les activités, les processus, les individus, les compétences, les systèmes informatiques, des données, des connaissances, des techniques, des pratiques, des procédures et des normes (Stark, 2005) » (Terzi et al., 2010).

Outils collaboratifs de pointe, il nous semble que le PLM et les nouvelles plateformes de conception en général peuvent notamment permettre une meilleure organisation des membres du projet et coordination des tâches. Et, en tant que systèmes informatiques, elles peuvent également prétendre à la facilitation de la coexistence virtuelle d'acteurs physiquement éloignés. Pourtant, nous posons la question de savoir si elles doivent être utilisées lors de chaque phase du processus de conception afin de faire naître l'innovation, ou bien s'il est préférable de ne les employer que lors de certaines étapes clefs, étant donné qu'elles représentent des outils de structuration « fermés » lorsqu'elles coordonnent les écosystèmes et répondent avant tout aux logiques d'entreprises dominantes. C'est dans l'optique de répondre à cette interrogation que nous différencions à présent les phases de co-conception de celles de conception distribuée – vues lors d'un développement précédent – au regard des nouvelles plateformes de conception, de l'outil PLM et de ce qu'ils impliquent.

Les phases de conception distribuée sont caractérisées par la recherche d'une meilleure coordination des échanges et par une distribution des tâches claire et une planification

affichée. Historiquement, il s'agit là d'un processus de conception connu, lié à la division du travail : on y retrouve l'ajustement mutuel des membres, la supervision directe, la standardisation des méthodes et des procédés, la standardisation des résultats et des produits et celle des qualifications et des compétences (Mintzberg, 1982). En termes d'outils adéquats, nous retiendrons, comme nous l'avons indiqué dans la première partie, des sortes de « protocoles de coordination », qui prennent la forme de méthodes, comme le Kanban, ou de systèmes informatiques appropriés (Darses, 1996). Ces artefacts réduisent, en effet, la complexité de la coopération en identifiant clairement les interdépendances entre les tâches (Schmidt, 1994). D'un outil utile en phase de conception distribuée, nous pouvons donc attendre qu'il réduise significativement les interdépendances entre groupes de travail, de façon à optimiser les flux d'informations et organiser le projet en sous-groupes faiblement dépendants, rendant, ainsi, la coopération plus efficace. En effet, il s'agit là de gérer l'interdépendance temporelle entre les tâches, puisque les parties prenantes du projet n'agissent pas conjointement mais simplement simultanément dans le but de résoudre le problème collectivement. Cela nous permet d'affirmer que l'intention recherchée est donc celle d'une synchronisation opératoire, qui se réalise dans un pilotage net du projet, comportant un calendrier, des dates butoirs et les livrables attendus (Amalberti, Falzon, Rogalski et Samurçay, 1992). D'après les descriptions que nous avons pu faire des plateformes de conception et de l'outil PLM, nous pouvons raisonnablement penser qu'ils représentent un atout certain s'ils sont utilisés lors des phases de conception distribuée, et ceci, peu importe leurs caractéristiques.

Voyons à présent les attendus en phases de co-conception. Ici, les acteurs ne sont pas simplement dans une logique de coordination, mais doivent surtout développer conjointement la solution. Ainsi, comme nous l'avons souligné dans la partie consacrée, l'interdépendance n'est plus seulement temporelle mais, avant tout, cognitive. Le raisonnement est donc primordial et sa construction conjointe représente le défi principal en phase de co-conception, qui repose surtout sur l'ajustement mutuel et les débats techniques entre les membres, confirmant l'idée d'un réseau plutôt faiblement structuré (Weil, 2008). Les outils d'aide à la conception attendus pour cette phase seraient donc davantage des dispositifs aidant les parties prenantes à s'accorder cognitivement, ce qui paraît relativement complexe eu égard à l'hétérogénéité de leurs objectifs et de leurs compétences. L'effet ici recherché est celui d'une synchronisation cognitive, atteinte lors de la convergence des concepteurs vers une solution admise par tous (Amalberti, Falzon, Rogalski et Samurçay, 1992). Nous posons donc la

question de savoir si le PLM représente un outil adapté à une telle problématique. D'une part, il nous semble qu'il peut sans doute effectivement apporter des solutions lors de rédactions communes de documents ou de planification des tâches, mais, d'autre part, il nous apparaît qu'il trouve certainement ses limites lorsqu'il s'agit des séances de créativité, caractéristiques de ces phases de co-conception, du fait de la normalisation précise qu'ils impliquent, surtout lorsqu'elles suivent la logique d'entreprises leaders.

Nous constatons, tout au long de ce développement, d'une part que la conception et la production sont désormais décloisonnées, que les différents métiers sont impliqués dans la conception, que les organisations ont évolué en faveur d'une coopération plus avancée entre les acteurs du processus de conception, d'autre part que ce dernier doit être géré différemment selon les phases en cours.

Nous comprenons donc que les outils d'aide à la conception ne doivent pas avoir les mêmes caractéristiques selon qu'ils sont utilisés en phase de conception distribuée ou bien en phase de co-conception. Si la synchronisation opératoire, nécessaire lors des phases de conception distribuée, trouve certains soutiens dans des outils informatiques spécifiques, orientés vers le travail collectif et permettant aux acteurs de la conception de mieux s'accorder, notamment lorsqu'ils agissent depuis des régions éloignées, la synchronisation cognitive, en revanche, ne semble pas être efficacement soutenue par un quelconque mécanisme d'aide à la conception, quoique le PLM permette certainement une meilleure compréhension et assimilation quant aux connaissances des autres membres du projet.

Aussi, nous sommes à présent en mesure d'émettre quelques propositions, relatives aux nouvelles plateformes de conception – donc à l'outil PLM dans ce mémoire – et à leur utilité dans un but de davantage d'innovation lors du processus de conception, et plus précisément lors des différentes phases qui le constituent. Ces propositions guideront notre travail de terrain. Nous pensons, d'une part, que les entreprises qui utilisent des plateformes de conception et notamment le PLM, s'inscrivent assez efficacement au sein d'un processus de conception intégré. D'autre part que, du même coup, des normes se rajoutent sur le travail de conception des ingénieurs et viennent handicaper leur efficacité selon les phases de conception en cours. Ce dernier point relativiserait l'utilisation généralisée de ces outils durant le processus.

II – Méthodologie

Avant de présenter notre cheminement méthodologique, nous tenons à préciser que ce mémoire s'inscrit dans un projet plus large. Ce dernier, mené en partenariat avec le département Etudes et Recherche de l'Association pour l'emploi des cadres (APEC), entend interroger le mouvement d'automatisation des activités industrielles qui se généralise actuellement, du fait, notamment, des nouvelles technologies digitales et numériques. Les activités de conception nous semblent particulièrement affectées par cette tendance, aussi ce sont celles-ci que nous tentons de comprendre et d'appréhender dans ce mémoire. Nous focalisons notre étude sur les plateformes de conception et en particulier le PLM, l'extension la plus courante et importante de celles-ci ; d'ailleurs, le projet mené en parallèle en partenariat avec l'APEC a pour question centrale d'estimer combien l'organisation en plateformes de conception ouverte, qui conjugue les stratégies de plusieurs partenaires, transforme les activités de travail et l'emploi des cadres et ingénieurs de conception.

Ainsi, notre « objet » de recherche est celui du PLM et, plus généralement, du processus de conception au sein des firmes. Nous avons d'abord déterminé cet « objet » de recherche au cours d'un raisonnement de type inductif, où nous sommes partis d'éléments de documentation spécialisée, fournis par une entreprise éditrice de logiciels, experte dans la conception 3D et les solutions pour la gestion du cycle de vie d'un produit (Product lifecycle management, PLM). Au cours de nos lectures, nous avons remarqué des points a priori intéressants à analyser de notre point de vue, notamment quant aux normes reposant sur les ingénieurs lors du processus de conception ou bien concernant la difficulté, pour une entreprise, dans une optique d'innovation, de concilier efficacité et créativité des employés concepteurs. Par la suite, et étant donné ces éléments mis en évidence, nous avons décidé de nous intéresser à la littérature produite en sciences de gestion relative au processus de conception en général et à sa rationalisation et normalisation en particulier. Nous avons ainsi remarqué, d'une part que le processus de conception n'était pas uniforme (Darses, 2009), d'autre part que le PLM n'avait jamais été appréhendé comme un outil pouvant être seulement approprié à certaines phases du processus indiqué, non à d'autres. Considérant ce manque, nous avons pu définir un cadre théorique qui nous a permis de soumettre un certain nombre de propositions rattachées à notre question de recherche – exposée dans le prochain

paragraphe et présentée un peu plus avant, dans notre introduction. Les théories mobilisées autour de notre questionnement sont ainsi celles, d'une part, qui considèrent le processus de conception comme fermé, semi-ouvert ou ouvert, en fonction du degré de liberté laissé à l'humain face à la machine et à l'automatique – plus ou moins coercitif (Erschler, 1996 ; Millot, 1996 ; Lopez, 1996 ; Huguet et alii., 1996 ; Soubie et alii., 1996) ; et celle, d'autre part, qui affirme que les outils de gestion du processus de conception doivent favoriser, afin d'encourager l'innovation, à la fois une certaine « robustesse » et une certaine « générativité » (Hatchuel et alii., 2011). Ce cadre nous est apparu pertinent en ce qu'il permettait d'analyser, d'une certaine manière, le PLM et son utilité dans le processus de conception et l'innovation telle qu'elle est menée et entendue aujourd'hui. Après avoir lu un certain nombre d'articles théoriques, nous avons entrepris plusieurs entretiens semi-directifs avec des individus parties prenantes au processus de conception au sein d'entreprises dont les contextes différaient et avec des spécialistes du PLM, ce qui nous a amené à affiner notre « objet » de recherche et à utiliser, en complément, une littérature théorique du champ des sciences de l'ingénieur, enrichissant notre connaissance et précisant nos questionnements initiaux à propos des plateformes de conception et du PLM, et leur utilité dans la création de valeur et l'innovation.

Ainsi, l'enjeu global est, pour nous, de déterminer dans quelles mesures les outils d'aide à la conception tels que le PLM doivent être utilisés lors du processus de conception – non uniforme – afin d'encourager l'innovation. Pour ce faire, nous les examinons à la lumière des théories de la conception fermée, semi-ouverte ou ouverte, et posons aussi la question de savoir à quel type de structuration de tels dispositifs se rapportent. Nous utilisons également, comme précisé plus haut, les concepts de « robustesse » et de « générativité ». Ces concepts – mutuellement cohérents – sont mis en relation, par la suite et dans le contexte considéré, afin de procurer de l'intelligibilité à l'expérience que nous faisons du terrain, en étroite relation avec ses acteurs.

Nous allons à présent exposer notre positionnement épistémologique (1), en discutant notamment des raisons de ce choix et des implications attenantes ; par la suite, nous mettrons en avant la préférence pour nos données (2), en détaillant nos terrains d'étude et les procédés utilisés afin de traiter les éléments et informations recueillis.

II – 1 – Positionnement épistémologique, raisons et implications

Nous situons notre étude dans le champ des sciences de l'artificiel (Simon, 1969), et plus spécialement dans celui des sciences de la conception (Simon, 1996), puisqu'en effet nous cherchons à comprendre un phénomène qui ne saurait exister sans l'intervention humaine : ce que nous entendons étudier est le fait d'intelligences subjectives croisées dans l'optique de toujours mieux s'adapter aux éléments situationnels et, en cela, les plateformes de conception et le PLM représentent des artefacts (Simon, 1969), réponses aux aléas contextuels (Avenier, 2010).

La première tendance a été celle de vouloir appliquer à ces sciences les méthodes correspondant à l'étude des lois de la nature, mais les sciences humaines et sociales, pour la plupart, répondent mal aux principes de quantification et de réplication, puisque le subjectif se pose en clef de voûte de l'étude. Le modèle des sciences de l'artificiel a donc été développé pour l'étude rigoureuse des éléments de notre environnement marqués par l'artifice humain. Dans l'optique de justifier notre recherche, nous rappellerons que les sciences de l'artificiel sont tout autant fondamentales que peuvent l'être les sciences de la nature classiques (Simon, 1996).

Afin de légitimer la connaissance produite dans notre mémoire, nous devons choisir un paradigme épistémologique, soit une référence à une vision du monde partagée par une communauté scientifique particulière dans l'optique de créer des connaissances valables. Un paradigme consiste, ainsi, en toute une constellation de croyances, valeurs et techniques adoptées communes (Kuhn, 1962). Ce choix conditionne, par la suite, nos pratiques de recherche ainsi que les modes de justification des connaissances produites. Le questionnement épistémologique apparaît désormais indispensable dans la recherche en sciences de gestion (Burelle & Morgan, 1979 ; Weick, 1989) : « la réflexion épistémologique est consubstantielle à la recherche qui s'opère » (Martinet, 1990). Son importance se trouve surtout dans la façon de justifier notre recherche : « dans le quotidien du chercheur, c'est simplement pouvoir à tout moment légitimer sa recherche sur le phénomène étudié » (Wacheux, 1996). Le

positionnement épistémologique que nous adoptons sert tout à la fois à définir l'objectif de notre recherche, notre stratégie de recherche et les méthodes et techniques mobilisées.

Nous avons, ainsi, longuement hésité entre le positionnement épistémologique du réalisme critique et celui du constructivisme pragmatique. Ce dernier a finalement été préféré au premier étant donné qu'il ne comporte aucune hypothèse d'ordre ontologique, postulant que nous ne pouvons en aucun cas affirmer ou infirmer l'existence d'un réel en soi, mais que nous pouvons simplement constater qu'il existe des flux d'expériences humaines, que nous proposons d'étudier. Quoique le réalisme critique nous attire en ce qu'il semble plus concret et rationnel, nous décidons finalement que le constructivisme pragmatique nous correspond mieux et permet d'exprimer notre manière de comprendre un certain phénomène de manière optimale plutôt que de tenter l'inscrire dans une réalité stratifiée, postulée exister. En ce sens, notre recherche entend plutôt offrir une certaine vision quant au phénomène des plateformes de conception et du PLM, non pas affirmer des mécanismes réels et forcément systématiques, comme nous aurions pu les mettre en évidence avec le réalisme critique. Le paradigme épistémologique que nous adoptons a notamment et principalement été théorisé sous le nom de constructivisme radical ou téléologique (Le Moigne, 2001). Nous trouvons les trois hypothèses sur lesquelles il repose, exposées ci-après, particulièrement adéquates vu les tenants de notre étude.

Ces hypothèses sont d'ordre ontologique (manière dont nous percevons le réel existentiel), d'ordre épistémique (ce qu'est, pour nous, la connaissance), et d'ordre méthodologique (façon dont nous élaborons la connaissance) (Piaget, 1967).

La première hypothèse posée par ce courant est que chacun a sa propre expérience d'un réel et que nul n'est en mesure de connaître rationnellement un possible réel en soi (Von Glaserfeld, 2001). Ainsi, seule l'existence de flux d'expériences humaines est affirmée, et aucune hypothèse concernant la nature d'un réel en soi ne peut jamais être démontrée. En revanche, l'existence potentielle d'un réel extérieur au chercheur n'est en rien niée, quoique la possibilité de connaître ce réel est improbable en dehors des perceptions humaines propres. Cette hypothèse ontologique nous paraît tout à fait probante : nous ne prétendons pas, en cela, vouloir mettre à jour certains mécanismes immuables et systématiques, mais plutôt rendre compte d'une certaine apparence et manifestation d'un phénomène qui nous semble intéressant – en l'occurrence celui des plateformes de conception et de l'utilisation du PLM

dans le processus de conception tel qu'il est conduit au sein d'entreprises – au regard de problématiques qui ont retenu notre attention et nous ont fait nous interroger plus amplement quant à plusieurs aspects revêtus par ces nouvelles façons d'organiser le travail d'ingénieur, soient la normalisation du processus de conception et les caractéristiques attendues des outils d'aide à la conception.

L'hypothèse d'inséparabilité du chercheur et de son sujet nous paraît également concluante et découler de la première hypothèse : ainsi, notre objet de recherche n'est né qu'après un cheminement idéel personnel, lequel aurait été potentiellement différent s'il avait été mené par un tiers. Dans la recherche actuelle, nous prenons néanmoins comme hypothèse de travail que ce que nous étudions existe réellement, indépendamment de nous, mais nous ne prétendons en revanche pas comprendre l'intégralité de ce réel, seulement en analyser certains aspects. Effectivement, nous avons naturellement été attirés par les sujets de la contrainte en conception, des tensions contraires et paradoxaux nécessaires à la naissance de l'innovation et de la non uniformité du processus de conception, en rapport avec les plateformes de conception et l'outil PLM, mais nous aurions très bien pu nous intéresser à d'autres aspects de ce champ d'étude – ce qui réduit nos résultats à un angle étudié, particularité que nous avons souhaité comprendre relativement au projet global mené.

Par ailleurs, la troisième et dernière hypothèse, selon laquelle nous cherchons avant tout à comprendre un phénomène avec une vision propre et particulière, non pas à mettre en évidence des lois qui le régissent avec certitude, est aussi intéressante de notre point de vue étant donné notre objet de recherche : en effet, nous ne prétendons nullement pouvoir affirmer avec raison des éléments découverts réels, relatifs au fonctionnement des nouvelles plateformes de conception et du PLM dans l'optique de davantage d'innovation lors de la conduite du processus de conception, mais plutôt exposer clairement notre compréhension du sujet par rapport aux théories impliquées choisies, et décrire le plus justement possible notre cheminement, intellectuel et factuel, de manière à ce que d'autres puissent, à leur tour, étudier le même phénomène en pleine connaissance de ce que nous avons entrepris afin de parvenir aux résultats obtenus.

Ce positionnement épistémologique conditionne quelque peu notre recherche, et il découle notamment de ces trois hypothèses deux critères de légitimation des connaissances produites, que sont le critère de leur adaptation fonctionnelle et celui de leur viabilité pour

cheminer dans le monde (Von Galsersfeld, 2001). Autrement formulé, les connaissances que nous engendrons doivent à la fois pouvoir apporter des pistes de solution concrètement adaptables et être assez claires et détaillées pour que d'autres puissent les reprendre, s'en servir ou les adapter à leur propre vision. En expliquant comment des outils tels que le PLM peuvent correspondre à la fois à des dispositifs « robustes » et créateurs de « générativité » – de par la normalisation qu'ils imposent et le haut degré de communication qu'ils peuvent également instaurer entre les membres d'un projet de conception – et comment ils peuvent ainsi paraître encourager l'innovation dans certains cas mais la brider dans d'autres – en imposant de la coercition lors de certaines phases du processus de conception qui n'en nécessitent apparemment pas – nous permettons l'adaptation fonctionnelle de ces connaissances et leur utilisation dans les contextes étudiés. Par ailleurs, étant donné que nous connaissons l'importance de notre vécu dans nos pratiques et pensées, nous faisons preuve de réflexivité en prenant soin de tenter de comprendre au mieux les points de vue des différents agents considérés dans la réalité de leurs pratiques, de par une certaine objectivation participante rigoureuse, afin de réduire les effets de notre subjectivité et rendre la connaissance produite plus objective (Bourdieu, 1997). Pour ces raisons, les connaissances produites nous semblent véritablement constituer des repères tout à fait adaptés afin, pour différents acteurs, d'intervenir dans la situation considérée et la comprendre.

II – 2 – Choix méthodologiques, pertinence et application

Le cadre épistémologique constitue un cadre au questionnement méthodologique, quoiqu'épistémologie et méthodologie doivent être clairement distinguées. Dans le paradigme épistémologique constructiviste pragmatique, les recherches qualitatives tiennent une place prépondérante dans la génération de connaissances (Glaser et Strauss, 1967). Le mode de généralisation des connaissances et celui de la « généralisation conceptuelle » (Glaser, 2004 ; Tsoukas, 2009) : il conduit à développer des connaissances « génériques » à partir d'un matériau empirique dont les informations proviennent de sources diverses, puis à identifier des raisons plausibles aux similarités et disparités perçues entre les manifestations du phénomène étudié.

La recherche que nous menons est à la fois de nature descriptive et explicative, puisque nous cherchons, d'une part, à qualifier précisément les nouvelles plateformes de conception et le PLM, jusque-là encore peu étudiés en sciences de gestion ; d'autre part, à exposer clairement leur fonctionnement dans un processus d'innovation au sein des firmes ; enfin, à comprendre comment de tels outils peuvent être efficents ou inefficients selon les phases du processus de conception. Nous avons effectivement relevé un manque dans la littérature quant à l'organisation en plateforme ouverte, et avons remarqué que le concept du PLM n'était que très peu développé en sciences de gestion, ce qui nous a conduit à questionner le processus de conception des entreprises au travers de leur prisme.

Le principe de fiabilité propre à notre positionnement épistémologique consiste à offrir à notre lecteur la possibilité de suivre l'intégralité de notre cheminement cognitif depuis le matériau empirique jusqu'aux résultats, de façon à ce qu'il soit habilité à le reproduire, ce qui implique un choix méthodologique adapté. Nous fournissons toutes les données ainsi que l'ensemble des opérations effectuées dans leur traitement et le codage. Nous permettons donc à d'autres de mettre à l'épreuve les connaissances produites. Ainsi, notre méthodologie consiste en l'usage fait de méthodes afin de produire des connaissances de manière rigoureuse et permettre à des tiers de pouvoir reproduire fidèlement notre cheminement.

Afin de mener à bien notre recherche, nous avons choisi une approche qualitative car l'information que nous approfondissions et les phénomènes que nous étudions – du processus de conception et de l'outil PLM – étaient trop complexes pour être mesurés par un instrument standard. En effet, une approche quantitative aurait été intéressante afin de compléter notre étude mais nous souffrions de contraintes de temps qui ne nous permettaient pas d'intégrer ce versant à notre recherche. Seule, en revanche, une telle méthodologie aurait été réductrice vu la complexité des organisations et des acteurs impliqués, c'est pourquoi nous ne l'avons pas privilégiée.

Nous avons donc envisagé d'utiliser la méthode d'élaboration des données de la recherche qui était le plus susceptible de venir enrichir, d'après nous, l'information et nos interprétations quant au phénomène étudié. Ainsi, nous avons procédé à une collecte de données réalisée par une enquête menée auprès de onze acteurs de la conception et de spécialistes du PLM impliqués dans des structures et des projets aux contextes divers, à partir d'entretiens semi-directifs. Nous avons favorisé une diversité de profils en nous entretenant notamment avec des individus aux professions différentes, dans des entreprises pouvant être hétérogènes. En somme, chacun des sujets avait un rapport nécessairement différent à l'outil d'aide à la conception, ainsi qu'une vision du processus variable, ce qui nous a permis une analyse horizontale des données, par thèmes abordés, et une compréhension comparative assez fine de l'objet étudié – le PLM – et de son implication au sein du processus de conception.

Nos entretiens semi-directifs ont été conduits auprès d'un ingénieur du bureau d'études, une ergonome, un ingénieur ergonome et un préparateur prototype au sein d'une même entreprise dans le domaine aérospatial, d'un manager consultant spécialiste du PLM employé par une entreprise leader de la transformation numérique, d'un ingénieur PLM en poste au sein d'une structure fabriquant des systèmes industriels intégrés pour l'aéronautique, d'un expert radar, retraité, ancien employé dans un grand groupe d'électronique spécialisé dans l'aéronautique, d'un responsable de cours à l'Ecole de Microélectronique des Mines, d'une ergonome employée d'une firme de services du numérique, d'un architecte produit en poste au sein d'une entreprise fabricante de détecteurs infrarouge, enfin d'un consultant PLM. Ils sont donc issus de contextes variés et nos entretiens visent à établir leur profil de responsabilité, leur domaine d'activité, les dispositifs techniques dans lesquels ils sont impliqués et leur compréhension quant aux outils d'aide à la conception, au PLM et à la conception même. Ces entretiens nous permettent de comparer assez finement ces points

selon les individus, leurs responsabilités, leurs métiers ou tout simplement le rapport qu'ils entretiennent aux nouvelles technologies et l'utilisation (ou l'observation) qu'ils en font dans leur métier. Ils nous octroient également la possibilité de comprendre comment le processus de conception est rationalisé et mené, ainsi que de savoir si les individus ont l'impression, à son sujet, qu'il recouvre effectivement des réalités différentes. Nous sommes dès lors en mesure de coder les données et traiter les informations recueillies, relativement aux propositions que nous avons formulées préalablement, selon lesquelles les entreprises qui utilisent des plateformes de conception et notamment le PLM, s'inscrivent assez efficacement au sein d'un processus de conception intégré, mais également rajoutent des normes sur le travail de conception des ingénieurs et sont moins efficaces selon les phases de conception en cours – ce qui relativise l'utilisation généralisée de ces outils durant tout le processus.

Les caractéristiques que nous considérons afin de comprendre plus précisément le phénomène étudié sont donc : l'utilisation ou non d'un outil PLM et les effets impliqués, respectivement, sur l'organisation intégrée du processus de conception et sur les normes ressenties reposant sur les concepteurs et/ou les encadrants ; le processus de conception dans son intégralité et les différentes potentielles phases qu'il comporte ; enfin le PLM en lui-même et les attentes qu'on lui prête.

Afin de coder nos données, nous utilisons ces caractéristiques et leur attribuons, à chaque fois, les dires correspondants des différents interrogés sur le sujet. Nous finissons par comparer ces données, afin de repérer d'éventuelles tendances et de comprendre comment les contextes peuvent les influencer. Afin de mener une analyse intéressante, nous avons choisis d'interroger onze personnes aux fonctions, domaines d'intervention, places dans le processus de conception et utilisations des outils d'aide à la conception et/ou du PLM très éclectiques.

Nous savons que les propositions initiales ne trouvent pas de validation ou invalidation dans notre recherche mais nous parvenons néanmoins à déterminer des tendances intéressantes. Qui plus est, nous ajoutons que ce travail n'est que le balbutiement d'une étude de terrain qui tendrait à être plus complète, puisque nous souhaiterions, lors d'un projet de thèse, y ajouter d'autres entretiens – réalisés dans des entreprises de secteurs divers afin de déterminer si cet élément de contexte a une importance – des observations sur les lieux de travail – notamment au sein des bureaux de conception ou des espaces des activités en projet – enfin des questionnaires distribués à un plus grand nombre d'individus, afin d'ajouter

au travail une analyse quantitative et pouvoir ainsi trianguler les données et parvenir à des interprétations toujours plus fines et précises.

III – Résultats

III – 1 – L’outil d’aide à la conception, des réalités multiples

Au cours de notre enquête, nous avons d’abord constaté l’existence de différents types d’outils d’aide à la conception s’apparentant à différents logiciels. Nous avons, par exemple, rencontré des ingénieurs travaillant sur l’outil « Catia » – logiciel de conception assistée par ordinateur créé par Dassault Aviation et maintenant commercialisé par Dassault Système – d’autres utilisant plutôt « Cadence » ou bien encore « Mentor ». Des professionnels non ingénieurs mais parties prenantes du processus de conception ont également pu évoquer le progiciel « SAP ».

Nous avons aussi noté que beaucoup de ces logiciels sont en fait spécifiques et adaptés à un domaine particulier. Ainsi, l’utilisation de logiciels de conception sous « Cadence » s’apparente par exemple au secteur de la microélectronique ; S.F. (ENT_10), consultant PLM, nous indique d’ailleurs, à ce sujet, qu’ « aujourd’hui les PLM sont spécialisés : il y en a un pour le ferroviaire, un pour la pharmacie, un pour l’extraction minière, etcétera ».

Nous notons également les propos de A.L. (ENT_6), head of PLM & Technical Data, selon lesquels « les PLM sont issus de courants différents : « CAO, ERP (SAP), Oracle ». Cela met encore en avant la pluralité de réalités que peut recouvrir l’outil en question, quoiqu’il puisse toujours être relatif au domaine de la conception.

Les entretiens menés nous éclairent quant à la définition d’un PLM. D’après S.F. (ENT_10), consultant PLM, cet outil « casse les métiers en silo » : ces derniers font alors l’objet d’une cartographie « sous forme d’ontologies ». F.M. (ENT_5), manager consultant PLM, nous dit de ce dispositif qu’il « est utilisé à la fois pour le marketing, les sites Web, la fabrication, la maintenance, les magasins » – il représente donc un outil relativement *transverse*. S.F. (ENT_10) nous renseigne également sur le fait que « la conception n’est qu’une petite partie du PLM » ; il s’agit selon lui, globalement, d’ « une bibliothèque d’exigences dans laquelle on peut venir puiser des informations à n’importe quel moment du processus produit ».

En parallèle de ces propos qui nous font assez bien comprendre le PLM et ses implications, nous apprenons, lors de l'entretien avec K.J. (ENT_8), responsable de cours dans une grande école d'ingénieur, que les maquettes numériques sont toutes formatées de la même manière, ce qui nous amène à comprendre le PLM tel que nous l'avions préalablement appréhendé : extrêmement normatif. D.L. (ENT_4), architecte produit, nous en donne d'ailleurs un exemple assez concret : dans l'entreprise au sein de laquelle il travaille, les logiciels de conception utilisés sont « Cadence » et « Mentor » – spécifiques à la microélectronique – et nécessitent, tous deux, de suivre un manuel de règles *stricto sensu*, afin que les machines puissent ensuite être en mesure de réaliser les produits convenablement. De ce fait, les logiciels proposent, d'emblée, des transistors déjà schématisés (dont la taille et la résistance sont à définir par les ingénieurs), « à poser » ensuite numériquement, afin que l'amplificateur « finisse par se faire automatiquement ».

De cette première restitution de résultats, il ressort d'abord que le PLM semble constituer un outil assez transverse et unificateur. Nous notons, à ce sujet, que beaucoup d'ingénieurs et autres employés de corps de métiers différents le manipulent et s'en servent. Ceci étant, nous remarquons également qu'il peut recouvrir des réalités différentes : plusieurs outils de ce type existent, et semblent d'une part s'apparenter, respectivement, à des courants divers, et, d'autre part, s'utiliser différemment selon les entreprises en fonction de secteurs d'activité particuliers. Par exemple, le secteur de l'aéronautique aura tendance à faire de ces dispositifs des instruments assez individuels et précis, avec des ingénieurs du bureau d'études qui les exploitent de façon parcellisée, là où, *a contrario*, dans une entreprise du secteur de la détection infrarouge, les individus s'en serviront plus collectivement et globalement. Nous verrons ces points plus en détail lors de nos prochains développements.

De plus, c'est un outil qui semble, selon les contextes des entreprises dans lesquelles il est implanté, séparer les métiers, là où on devrait attendre au contraire qu'il apporte une fluidification des contacts et une meilleure ouverture des individus aux fonctions qui ne sont pas les leurs. Toujours dans le secteur de l'aéronautique, les différents témoignages recueillis font part de responsabilités semblant clairement découpées par l'outil PLM, avec une communication entre les individus du projet brouillée et entravée par les dispositifs – aux vertus pourtant naturellement libératrices et ouvertes.

D'ailleurs, le point que nous souhaitons également mettre en avant est que, malgré une diversité apparente, affirmée et a priori effective, ce genre d'outil est toujours contraint à la norme et nous fait penser, de prime abord et d'après les propos que nous avons pu recueillir chez les différents individus interrogés, à une structuration semi-ouverte, sinon fermée, comme nous avions pu l'imaginer plus avant. Effectivement, la plupart des entretiens conduits évoque une certaine coercition induite par le PLM, qui vient très souvent brider la créativité d'ingénieurs aux fonctions dont les prérequis attendus tiennent pourtant dans l'inventivité et la générativité.

III – 2 – Différentes phases perçues du processus de conception

Nous apercevons, à la relecture de notre enquête de terrain, différentes phases qui paraissent effectivement, comme nous avions pu le penser, constituer le processus de conception. D'abord, il semble exister une première phase, durant laquelle, selon L.F. (ENT_1) – ergonome rattachée à l'industrie – des « ingénieurs sur le produit », peu nombreux, laissent libre cours à leurs imaginaires. Cette même idée de petit groupe de concepteurs est également perceptible chez A.S. (ENT_2), ingénieur équipement, et chez J.R. (ENT_3), préparateur prototype engineering : le premier évoque des designers « qui ont une compétence technique pour la conception pure et travaillent traditionnellement », tandis que le second parle d' « un groupe de travail qui fait émerger l'innovation » et « *délire sur le nouveau dans la stratosphère de l'usine* ».

La seconde phase du processus de conception est, pour sa part, davantage perçue comme une phase de réflexion quant aux aboutissements de la première phase ; comme le précise L.F. (ENT_1), les ingénieurs réfléchissent alors « sur le moyen de produire l'hélicoptère » pensé en amont, en faisant, au sein du bureau d'études, d'après J.R. (ENT_3), préparateur prototype engineering, « des calculs et de vrais dessins, grâce aux logiciels qui leur permettent d'étudier la faisabilité du projet ». Ces ingénieurs n'ont d'ailleurs « pas vraiment la compétence technique pour la conception pure » selon A.S. (ENT_2), ingénieur équipement.

On relève également une troisième phase qui est évoquée, la phase de production, que les interrogés placent naturellement comme faisant partie intégrante du processus de conception. F.L. (ENT_9), ergonome, différencie donc une étape de « simulation par les concepteurs, sous Delmia » – celle qui incombe au bureau d'études – puis une étape d'« assemblage final, physique », que nous comprenons comme le travail de production et de montage, en aval.

Même en différenciant ces phases, certains pensent le processus de conception comme « plutôt unifié » – selon les termes employés par A.S. (ENT_2), ingénieur équipement. Nous pouvons dès lors nous attendre à des outils favorisant la communication entre les différents membres de l'équipe projet, au moins à une cohésion d'ensemble réelle – pouvant nous faire penser à une intégration aboutie du processus de conception. Pourtant, d'autres entretiens semblent montrer qu'au contraire, ces dispositifs rendent la communication ardue voire la paralysent complètement. Après une analyse de ces résultats à la lumière des théories préalablement mobilisées, c'est de ce paradoxe dont nous parlerons dans la suite de cette présentation de résultats, qui sera notamment consacrée à la question de l'intégration induite par ces outils d'aide à la conception, à présent bien introduits au sein des firmes.

Ce que nous comprenons après avoir articulé les témoignages recueillis est, d'une part que l'utilisation des outils d'aide à la conception n'est pas effective lors de chaque phase du processus, d'autre part que les phases décrites par les individus ne sont pas précisément et textuellement celles que nous avions pu évoquer dans la partie théorique de ce mémoire – quoique nous puissions malgré tout les y deviner, en interprétant.

Ainsi, il semble que la première étape évoquée du processus de conception – temps de création, d'extrapolation et d'essai d'innovation, sans conformité particulière, a priori sans outil et en petit comité d'ingénieurs spécialisés en « conception pure » – puisse sans doute s'apparenter à de la co-conception. Effectivement, nous pensons là à une conception marquée par des ajustements cognitifs immuables entre ingénieurs, travaillant véritablement ensemble à l'élaboration d'une tâche commune. Nous remarquons, fait intéressant, qu'ils ne disposent pas d'outil d'aide à la conception pour ce faire, ce qui viendrait conforter notre idée quant au

fait qu'un dispositif tel que le PLM ne serait certainement pas adapté à ce type de travail en conception – car trop normé, coercitif et systématique.

La seconde phase perçue et évoquée par les individus est une phase plus technique, pendant laquelle les ingénieurs en charge du projet doivent déterminer la faisabilité du plan qui leur est fourni par les concepteurs de première étape. Le plus souvent, c'est le bureau d'études qui est mentionné ici ainsi que – lors de chaque entretien – les outils d'aide à la conception de type PLM. D'après les renseignements obtenus, nous pourrions intuitivement penser à une phase de conception distribuée, durant laquelle chacun est uniquement tenu de vérifier ce qui lui incombe en termes de connaissances propres. Pourtant, cette approche nous paraît réductrice en ce que cette seconde phase, d'après nous, devrait également être hautement collaborative afin d'être efficace – et ceci sur les bases des témoignages recueillis sur le terrain. C'est donc naturellement sur cette étape, apparemment problématique, que nous focaliserons la suite de l'analyse de nos résultats.

Une troisième phase est également abordée, celle – plus opérationnelle – de réalisation, qui répond davantage aux exigences d'une étape de conception distribuée, quoiqu'elle doive être, afin d'être la plus efficace possible, certainement *intégrée plus en amont* et donc nécessairement reliée au bureau d'études. Nous tenterons aussi de comprendre ce point.

III – 3 – Les effets décelés des outils d'aide à la conception, paradoxes et hésitations

Il apparaît, au terme de notre étude empirique, que les outils d'aide à la conception que constituent les PLM sont d'abord appréhendés en tant qu'objets coercitifs laissant peu de place à la bonne collaboration des individus. En effet, si J.R. (ENT_3), préparateur prototype engineering, parle simplement d'une « soumission à énormément de normes, de règles et de calculs », sans plus entrer dans le détail, on relève les dires de L.F. (ENT_1), ergonome rattachée à l'industrie, qui viennent enrichir ce témoignage et pour qui « ces outils sont intéressants pour travailler chacun de son côté, puis ensuite tout mettre en commun, *en les*

quittant nécessairement », car « Catia et Delmia font courir le risque du cloisonnement et parcellisent les tâches », en « grossissant tellement » ce sur quoi chaque ingénieur travaille, « qu'on finit par avoir à faire à de l'hyper spécialisation » et à un « travail de conception qui reste taylorisé ». Un autre point est soulevé par cette même personne : ces outils « éloignent finalement les concepteurs des opérateurs, en les coupant de la réalité » ; l'autre ergonome, F.L. (ENT_9), interrogée au sein d'une autre structure, semble la rejoindre sur ce point, évoquant « des écarts entre la simulation et la pratique pour l'activité de construction physique » du fait de « contraintes qui ne s'observent que dans l'activité », et de préciser la nécessité de « réalimenter » le processus « en concret ». Afin de contourner ce problème, dont les entreprises ont apparemment conscience, L.F. (ENT_1) parle de la « mise en place d'espaces collaboratifs, pour, de nouveau, travailler ensemble, *comme avant on pouvait le faire autour d'une planche à dessin*, qui ne faisait pas perdre le sens des réalités aux concepteurs ».

Pour d'autres, pourtant, les outils d'aide à la conception et le PLM sont l'occasion de dépasser les limites individuelles et de mieux travailler ensemble. A.S. (ENT_2), ingénieur équipement, perçoit par exemple « Catia » comme un « outil extrêmement « open », qui permet de stocker des données et déploie une arborescence intéressante », instaurant une « conception clairement collaborative », même s'il précise que ces dispositifs vont « forcément limiter la créativité » et ne sont pas appropriés « si l'on souhaite faire du « style » ». En revanche, il souligne leur adaptation naturelle « si on les utilise pour la conception de produits d'emblée normés ».

Selon K.J. (ENT_8), responsable de cours dans une grande école d'ingénieur, l'inventivité peut même être encouragée par ces outils selon les cas puisque, « même si les modules des outils sont standardisés, leurs combinaisons délivrent des objets originaux » et « n'empêchent pas la créativité ». Pourtant, ce point semble créer quelques complexités dans les structures exploitant le PLM, puisque les individus interrogés font très souvent le constat d'une créativité qui meurt dès l'utilisation de l'outil.

Quoi qu'il en soit, il apparaît une certaine invariabilité dans le maniement de ces dispositifs lors du processus de conception. J.R. (ENT_3), préparateur prototype engineering, parle, pour les désigner, de véritables « Bibles », sans lesquelles les parties prenantes du projet « ne peuvent pas » mener à bien leurs tâches. F.L. (ENT_9), ergonome, précise

d'ailleurs que « les ingénieurs font tout avec ». Selon J.R. (ENT_3), ils « servent à tous les corps de métier » et, si « les anciens savent comment faire sans, les nouveaux, non ». D'autre part, même s'il souligne de véritables « problèmes de communication », notamment induits par ces dispositifs, il parle d'« individus travaillant beaucoup ensemble » par ce biais également.

La généralisation de ces outils en entreprise peut apparemment aussi tenir à leur facilité d'utilisation : J.R. (ENT_3), toujours, nous fait part du vœu qu'a son entreprise concernant une certaine « sérialisation » de sa production et de l'utilisation, dans tous les services, d'un même logiciel. Les dispositifs apparaissent selon lui, ainsi, comme très « simples d'utilisation », et « un enfant de cinq ans » pourrait s'en servir et « faire la même chose » que les ingénieurs qui les exploitent.

Nous relevons dans ces résultats un paradoxe sensible. D'une part, certains individus évoquent une cohésion qui semble être rendue difficile par l'utilisation d'outils d'aide à la conception dans le processus attenant en entreprise ; d'autre part, et a contrario, certains relèvent une harmonie facilitée grâce à ces mêmes dispositifs et une collaboration rendue plus fluide, quoique soulignant toujours les normes qui les définissent indubitablement. Nous faisons, en parallèle, également le constat de problèmes de communication soulevés d'un côté, tandis que, de l'autre, est évoquée la nécessité, en conception, d'individus qui travaillent ensemble.

Ces contradictions entre l'outil et le processus de conception, et intrinsèques à l'utilisation de l'outil seul, nous font penser aux termes employés par Armand Hatchuel, de « robustesse » et de « générativité ». En effet, il nous semble que des regards différents peuvent être portés sur un même dispositif, et nous avançons que cela peut être du à la difficulté de les adapter correctement au processus. Ainsi, il nous apparaît que, peut-être, l'outil n'est pas le véritable nœud gordien d'une gestion du processus de conception améliorée ou déclinante.

D'une part, les normes imposées par le PLM répondent bien au concept de « robustesse », tandis que le fait de pouvoir à tout moment disposer de l'intégralité des avancements de chacun peut nous faire penser à une certaine « générativité ». Si l'outil est

capable, d'emblée, de répondre correctement à ces deux exigences, en apparence contradictoires, peut-être ne sont-ce pas ses caractéristiques que nous devons mettre en question afin de comprendre la bonne ou mauvaise gestion du processus de conception dans sa globalité, mais bien plutôt la manière et les directives d'exploitation que chaque entreprise dicte dans l'optique de son utilisation.

Nous pensons également et d'autre part que, sans doute, les répondants peuvent confondre collaboration et coopération, concepts que nous avons bien différenciés dans la partie théorique de ce mémoire, avec notamment les descriptions des phases de co-conception – plus collaboratives – et des phases de conception distribuée – plus coopératives. Ceci expliquerait bien les regards différents portés sur un même outil : la collaboration est un mécanisme dans lequel les ajustements cognitifs sont prépondérants, c'est un temps où les individus doivent réfléchir ensemble, tandis que la coopération est plutôt vue comme un processus de mise en commun des idées individuelles séparées. Ainsi, lorsque A.S. (ENT_2), ingénieur équipement, nous parle d'une « conception clairement collaborative », peut-être entend-il plutôt que ces outils permettent de mieux coopérer, en ajustant les tâches attribuées à chacun, plutôt que de réellement penser à une connaissance qui se diffuse et à des cognitions qui se rejoignent. Nous pensons que ce débat – entre collaboration et coopération et utilisation efficiente des outils d'aide à la conception en fonction des différents effets recherchés durant le processus – est important. Nous continuons notre analyse de résultats en ce sens.

III – 4 – Une gestion du processus de conception qui impacte l'utilisation faite des outils d'aide

Dans des conditions particulières, l'outil d'aide à la conception peut s'avérer être un simple support et non plus s'apparenter à une quelconque coercition.

C'est le cas, par exemple, au sein de l'entreprise dans laquelle travaille D.L. (ENT_4), architecte produit. Il nous expose un processus de conception qui « rassemble tous les domaines, où il y a peu de spécialisation », contrairement à ce qui a pu nous être communiqué

concernant d'autres structures. Ainsi, « les ingénieurs travaillent sur tout », ont « une grande marge de créativité et une vision globale » du projet dans lequel ils s'impliquent. Autres grandes différences que nous observons par rapport à d'autres entreprises à l'intérieur desquelles nous avons pu discuter avec des employés, « les métiers sont laissés libres », et « les machines sont uniquement là pour la fabrication », et interviennent « en aval, pas en amont ». Nous notons également le fait que cette structure en est « encore à la phase ERP ». Ceci étant, il semble que le PLM également puisse être géré de la sorte. En effet, F.M. (ENT_5), manager consultant PLM, nous expose un dispositif qui « introduit des règles et des processus », mais seulement dans un but « d'harmonisation et de cohésion » dans les projets et les équipes, afin que « tout le monde partage les mêmes ». Néanmoins, pour ce faire, il met en avant la nécessité, lors de l'intégration d'un PLM en entreprise, « de davantage de communication et de collaboration entre les équipes », outre l'outil.

D.L. (ENT_4) souligne, en revanche, un nouveau désir de la part de l'entreprise, celui de « standardiser ses produits, pour des questions de coûts et de délais ». Ce qui pousse actuellement la direction à « déployer une version plus intégrée de l'outil, qui servira de configurateur : l'ingénieur pourra « faire le marché » sur un ensemble de petits produits préétablis » afin de concevoir une nouveauté et « gagner du temps ».

Ce que nous observons là est que, dans certaines entreprises – et notamment lorsque nous changeons de secteur et/ou de taille de firme – le processus de conception et les outils d'aide qui y sont rattachés sont utilisés et perçus de manières tout à fait différentes. Cela semble s'expliquer par des différences de stratégies affichées. Les plus petites structures, a priori encore aujourd'hui sont, selon les cas, moins préoccupées par les questions de délais, et parviennent ainsi à utiliser l'outil comme un simple support – aussi, dans le cas évoqué un peu plus haut, nous remarquons une unique phase de conception durant laquelle tous les ingénieurs de l'entreprise sont réunis autour d'une même problématique. Les plus grandes entreprises en revanche, très pressées par le temps, instrumentalisent le processus de conception en le séparant en deux étapes, dont l'une est plus rationalisée – alors qu'il nous semble qu'elle ne devrait l'être qu'assez modérément. Dans le premier cas, les machines sont mises au service de l'homme, ce qui nous fait penser à une structuration ouverte du processus de conception ; dans le second cas en revanche, l'homme semble plutôt contraint par les logiciels – alors même qu'ils peuvent être identiques – ce qui nous évoque une structuration de l'action semi-ouverte, voire fermée en fonction du degré de coercition impari. K.J.

(ENT_8), responsable de cours dans une grande école d'ingénieur, différencie bien, à ce propos, le fonctionnement des petites et moyennes entreprises de celui des grandes entreprises : dans les plus petites structures, l'ingénieur « fait tout, il *répond aux spécifications* », ce qui induit « *moins de spécialisation* », à l'inverse de ce qui se passe dans les plus grandes firmes, comme nous avons d'ailleurs pu l'observer lors des différents entretiens conduits.

Ainsi, il existe bien différentes phases dans le processus de conception, qui ne nécessitent pas forcément les mêmes façons de procéder. Pour autant, nous nous rendons compte qu'elles ne sont pas aisées à repérer, et notamment que, selon les entreprises, elles ne sont pas gérées selon les mêmes principes, ce qui rend notre analyse quant à l'adéquation des outils par rapport aux phases assez difficile. En effet, peut-être les outils ne sont-ils pas adaptés à l'une ou à l'autre de ces phases, mais bien plutôt *adaptables en fonction des contextes managériaux* des firmes.

Nous continuerons notre développement en précisant comment les firmes parviennent ou – à minima – peuvent parvenir à gérer l'intégration grâce à des outils comme le PLM, en le pilotant différemment.

III – 5 – Le PLM, entre intégration efficace et coercition qui entrave le processus de conception

Selon F.M. (ENT_5), consultant manager PLM, grâce à l'utilisation d'un PLM, « l'intégration est favorable », car tous les membres d'un projet sont en mesure d'utiliser – et utilisent – le même outil. De ce fait, l'information « circule plus rapidement ». Le PLM « réduit les durées », son objectif résidant dans le « prototypage numérique », qui induit « moins de temps et de coût ».

A.L. (ENT_6), Head of PLM & Technical Data, engineering, a discuté avec nous du concept de PLM. D'après lui, le PLM instaure bien, de prime abord, un certain nombre de « règles et de procédures écrites qui cadrent l'usage de la plateforme », en imposant de la « rigueur, des contraintes et de plus en plus d'administration sur les données », ce qui a pour conséquence d'induire « de moins en moins de design » et d'éloigner les ingénieurs de leur cœur de métier : « on s'adresse à des profils d'usagers de l'ingénierie (le bureau d'études), dont le cœur de métier est l'invention, or leurs retours sont qu'ils se sentent bridés dans leur création ». Pourtant, il nous assure que l'idée contraire existe également et qu'elle est justifiée ; en ce sens, le « PLM est un atout car il libère l'esprit pour se concentrer justement sur le cœur de métier : la création ; il faut démontrer qu'il apporte en fait un confort, et permet de faire plus, en libérant les usagers des tâches subalternes ». De plus, il relève un autre avantage apporté par cet outil, qui « réside dans la parallélisation des tâches et la réduction induite des cycles et des coûts ».

M.V. (ENT_7), ancien expert radar, retraité, parle moins de normes que de « protocoles, fixés et figés », qui servent de « cadre pour l'ensemble des concepteurs » et sont de toute évidence nécessaires afin de « développer et maintenir des systèmes ». Le but du PLM réside, d'après lui, dans l' « intégration de toutes les données », rendues ensuite « accessibles pour l'action ». C'est-à-dire que « chaque entité est définie, ainsi que chaque variable », dans l'optique de produire « un langage commun » que chacun est, dès lors, en mesure d'utiliser – cela s'apparente, ainsi, à un processus d'intégration. M.V. (ENT_7) insiste sur l' « inter-opérationnalité de multiples sous-ensembles et composants » permettant « de mettre de la cohérence dans la visualisation du système en cours d'élaboration », et souligne que des outils comme « Catia sont vides, mais très puissants », quoique devant toujours rester, seulement, « des accessoires ».

S.F. (ENT_10), consultant PLM, nous dit d'un tel dispositif qu'il est construit dans l'optique de « soutenir les différents procès de l'activité » : « il coordonne tous les métiers, relie les concepts métiers entre eux » et vient même « assouplir une approche un peu trop linéaire de la conception ». Pourtant, selon certains ingénieurs, l'outil transforme leurs responsabilités, puisqu'ils finissent par associer leur métier « uniquement » à « ce qui figure sur les écrans », ce qui pose encore un problème de spécialisation – complication dont parlent les deux ergonomes interrogées.

En fait, le PLM s'apparente tout à la fois à deux manières de le voir et/ou de l'exploiter : soit il est appréhendé en tant que « bloqueur de conception, qui entrave trop les initiatives », soit il est perçu, au contraire, comme un « référentiel qui met de l'ordre, libère des contraintes de recherche d'informations et allège les temps d'harmonisation ». Toujours selon S.F. (ENT_10), le PLM est réussi seulement dans le cas où « la recherche d'informations est facilitée et l'engagement dans un projet peut s'appuyer sur une documentation robuste » car cela signifie alors des « liens formalisés entre les différents documents, donc entre les différents métiers » – soit ce qui importe dans une bonne coopération et dans une intégration réussie.

Enfin le témoignant évoque un point qui nous paraît tout à fait intéressant : étant donné que la conception est un domaine où des connaissances inventives sont partagées en premier, et non des connaissances métiers – que le PLM répertorie – nous pouvons avancer qu'elle « n'est pas vraiment impactée ». En effet, logiquement, le PLM, en dressant l'ontologie des métiers, intéresse l'exploitation, le travail automatique avant tout, or « le travail de conception se développe », en théorie, « sans se préoccuper du travail de l'automate ».

Au terme de cette analyse, nous nous rendons compte que les firmes semblent déjà avoir considéré les « phases » de conception que nous évoquions dans notre partie théorique. Aussi, il nous semble qu'elles parviennent à les gérer correctement : les outils tels que le PLM sont seulement utilisés en milieu de projet – soit en phase de conception distribuée. Lors des phases de co-conception, en fait appréhendées comme des étapes de création intensive, il n'y a pas d'utilisation d'outils, et les ajustements cognitifs se font naturellement puisque les participants sont en très petit comité.

Pourtant, nous soulevons des problèmes récalcitrants et qui semblent parfois être similaires d'une structure à l'autre : en première partie d'étude, nous écrivions que « d'un outil utile en phase de conception distribuée, nous pouvions attendre qu'il réduise significativement les interdépendances entre groupes de travail, de façon à optimiser les flux d'informations ». Or, il nous semble que cela n'est pas nécessairement le cas d'après les dires des différents individus avec lesquels nous avons échangé.

Ainsi, l'idée selon laquelle le PLM permet une meilleure participation individuelle des membres tout en leur octroyant la possibilité, de concert et collectivement, de corriger, modifier ou débattre quant à la problématique initiale, ne nous paraît plus si évidente, notamment en fonction du contexte managérial des firmes. S'il est plutôt confirmé que ces systèmes permettent – et ce dans chacune des entreprises étudiées – de suivre un avancement général du projet, il est en revanche plus ardu d'affirmer leur efficience en termes d'intégration et de coopération – puisqu'ils éloignent même les ingénieurs de la réalité d'après plusieurs témoignages. Ce bilan nous donne l'intuition d'outils dont les bases sont plutôt modulables, mais qui, en fonction des directives imposées, ne répondent pas de la même manière aux exigences qui sont celles du processus de conception.

Ainsi, notre intuition selon laquelle les entreprises utilisant des plateformes de conception et notamment le PLM, s'inscrivent assez efficacement au sein d'un processus de conception intégré, ne se vérifie pas si nettement, et il est nécessaire de lui ajouter quelques nuances. En particulier, les grandes structures ou celles appartenant à un secteur particulier – par exemple celui de l'aéronautique puisque nous l'avons considéré – ne semblent pas utiliser l'outil PLM dans un objectif de créativité des ingénieurs, mais bien plutôt dans une optique de rationalité et d'optimisation du processus de conception, dans une logique affichée de gain de temps et de réduction des coûts.

Notre seconde idée selon laquelle des normes se rajoutent sur le travail de conception des ingénieurs et viennent handicaper leur efficacité selon les phases de conception en cours est bien explicitée par les entretiens conduits, quoique, comme nous l'avons mentionné plus avant, les protocoles inhérents à l'outil PLM paraissent en fait modulables et instrumentalisés différemment selon la manière dont les firmes décident de le gérer et l'encadrer.

Initialement, nous nous sommes posé la question de savoir à quel point les nouveaux outils d'aide à la conception, et plus particulièrement le PLM, étaient adaptés au processus de conception, notamment selon ses phases. Nous avons eu pour idée que le déploiement d'une solution de type PLM en entreprise engendrait un processus de conception plus intégré. Nous avons également pensé que le PLM devait être, afin d'encourager l'innovation, seulement utilisé avec parcimonie et, plus précisément, selon les étapes définissant la conception, dont les caractéristiques différaient sensiblement.

Afin de comprendre au mieux les phénomènes sus présentés et tenter les analyser, nous avons choisi une méthode qualitative de la recherche et ainsi conduit 10 entretiens semi-directifs auprès d'individus aux profils variés, tous capables de nous parler du PLM. Ces entretiens et leurs restitutions nous ont permis de mieux comprendre le phénomène PLM et notamment de discuter et mettre en regard nos premières intuitions.

Avec ce mémoire, nous avons contribué à approfondir les théories de la contrainte en sciences de gestion, mais également réfléchi plus précisément quant aux nouveaux outils d'aide à la conception et au PLM en particulier – assez peu étudié jusqu'ici. D'un point de vue empirique, nous pensons que ce mémoire pourra être utile à des opérateurs, managers et/ou ingénieurs familiers du PLM, souhaitant mieux appréhender l'outil en question, voire mieux l'exploiter.

En effet, la conclusion que nous dressons à l'issue de ce travail tient dans le fait que l'outil PLM n'est pas forcément adapté à une phase précise du processus de conception, pas plus qu'il n'est enclin – ou pas – à intégrer les fonctions parties prenantes au projet, ou bien encore à développer – ou brider – la créativité menant à l'innovation. En réalité, il apparaît plutôt qu'un tel dispositif est adaptable en fonction des contextes des firmes. Les plus grandes structures que nous avons pu étudier montrent de plus de robustesse dans l'utilisation de leurs outils d'aide à la conception ; ainsi, les ingénieurs avaient une nette tendance à être peu créatifs, très précis dans leur tâche et souvent n'entraient pas en collaboration. Par ailleurs, nous ne remarquions pas d'intégration des différentes parties prenantes du processus, au contraire. En revanche, dans d'autres structures – notamment plus petites – nous relevions une gestion de l'outil différente, qui amenait à davantage de collaboration entre les membres,

une certaine générativité de la part des ingénieurs et un processus de conception bien plus intégré.

En fait, l'outil PLM semble s'apparenter à un dispositif fermé du processus de conception lorsqu'il est exploité dans une optique de rapidité et d'amoindrissement des coûts et ouvert, au contraire, lorsqu'il est géré dans un but d'innovation et de créativité renouvelées.

Les limites de notre recherche tiennent d'abord dans les délais impartis : en bénéficiant de plus de temps, nous aurions certainement été en mesure de croiser davantage de données et les interpréter plus finement. Egalement, nous aurions été plus à même d'aiguiser notre compréhension du sujet. Il nous semble, en effet, au terme de cette étude, que nous avons commencé à concevoir correctement le thème traité à peine quelques jours avant le rendu. Nous sommes aussi conscients des biais que comporte notre mémoire, puisque notre interprétation, singulière, souffre nécessairement de subjectivité. D'un point de vue managérial, les limites tiennent surtout dans le fait que nous n'avons pas exploré le phénomène de manière assez exhaustive pour en comprendre les tenants et les aboutissements, puisqu'effectivement nos deux propositions initiales n'ont pas trouvé de véritables explications dans notre étude de terrain – quoiqu'elles soient maintenant mieux comprises – laissant le champ libre à des recherches complémentaires bienvenues.

Nous avons notamment relevé le fait que, au cours de quasiment chacun des entretiens que nous avons pu mener, avait été soulevée la question des écosystèmes d'affaires, en rapport avec l'utilisation et le caractère plus ou moins coercitif des outils d'aide à la conception selon des logiques stratégiques d'entreprises dominantes. Nous pensons que cet axe d'étude pourrait être intéressant et tout à fait constituer l'objet d'une recherche ultérieure – plus approfondie – dans laquelle l'enjeu résiderait dans la compréhension de formes d'organisation propices à la créativité et l'innovation quand bien même la firme serait immergée au sein d'un écosystème d'affaires.

Bibliographie

Aggeri F., Le Masson P, Branciard A., Paradeise C., Peerbaye A., « Les plateformes technologiques dans les sciences de la vie », *Revue d'Economie Industrielle*, 120, 21-40. 2007.

Amalberti R., Falzon P., Rogalski J., & Samurçay R., *Communication et coordination dans les cockpits automatisés*. Rapport intermédiaire DGAC, CNAM, Paris VIII, 1992.

Ameri F. & Dutta D., « Product Lifecycle Management : Closing the Knowledge Loops », *Computer-Aided Design and Applications*, Vol. 2, pp. 577-590, 2005.

Arthur J., « Effects of Human Resource Systems on Manufacturing Performance and Turnover ». *Academy of Management Journal*, Vol. 37, No. 4, pp. 670-687. 1994.

Avenier M.J., « Shaping a Constructivist View of Organizational Design Science », *Organization Studies*, 31, 2010, p. 1229-1251.

Blondel F. & Edouard S., « 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, 2015.

Bourdieu P., « Le champ économique », *Actes de la recherche en sciences sociales*, n°119, p.48-66, 1997.

Burrell G. & Morgan G., *Sociological Paradigms and Organizational Analysis : Elements of the Sociology of Corporate Life*, Londres, Heinemann, 1979.

Burlet M., *Des cadres à l'organisation, de l'organisation aux cadres. Les cas des ingénieurs et cadres techniques du secteur de la conception de Renault*. Thèse de doctorat de sociologie, Lille : Université des sciences et technologies. 2008.

Carlile P.R., Transferring, translating, and transforming : an integrative framework for managing knowledge across boundaries. *Organization science* 15(5), pp. 555-568, 2004.

Dameron S., La dynamique relationnelle au sein d'équipes de conception. *Le Travail Humain*, 65 (4), 340-363, 2002.

Darses F. & Falzon P., La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 123-135). Toulouse : Octarès. 1996.

Darses F., *Gestion des contraintes dans la résolution des problèmes de conception*. Thèse de Doctorat, Spécialité Psychologie Cognitive. Université de Paris 8, France. 1996.

Darses F., « Résolution collective des problèmes de conception », *Le Travail Humain*, 72, p. 43-59, 2009.

David M. & Rowe F., *Product Lifecycle Management : Agenda pour la recherche en systèmes d'information*, 2014.

De Terssac G. & Friedberg E., *Coopération et conception*. Toulouse : Octarès, 1996.

Economides N. & Katsamakos E., « Two-sided competition of proprietary vs. open source technology platforms and the implications for the software industry ». *Management Science*, 52(7), 1057-1071, 2006.

Erschler J., Approches par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération : une nouvelle logique d'utilisation des modèles formels. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 137-147). Toulouse : Octarès. 1996.

Garel G., *Le management de projet*, Ed. La Découverte, 2003.

Gaudillièvre J.P., « Les logiques instrumentales de la génomique », *Biofutur*, 206, 20-23, 2000.

Giard V., Structure et coordination des systèmes productifs. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 23-45). Toulouse : Octarès. 1996.

Glaser B.G., Remodeling Grounded Theory. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 5(2), Art. 4, 2004.

Glaser B. & Strauss A., *The Discovery of Grounded Theory, Strategies for Qualitative Research*, New York, De Gruyter, 1967.

Glaserfeld (von) E., « The Radical Constructivist View of Science », *Foundations of Science*, 6/1-3, 2001.

Grieves M., *Product Lifecycle Management : Driving the next generation of lean management*, New York, NY : McGraw Hill, 2006.

Hatch M.J. & Cunliffe A.L., « *Organization Theory* », OUP Oxford, 2006.

Hatchuel A., Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 101-122). Toulouse : Octarès. 1996.

Hatchuel A. & Weil B., Pour une théorie unifiée de la conception, Axiomatiques et processus collectifs. CGS Ecole des Mines / GIS cognition-CNRS, Paris, 1999.

Hoopes D.G. & Postrel S., Shared knowledge, « glitches », and product development performance. *Strategic Management Journal*, Vol. 20, Issue 9, pp. 837-865, 1999.

Huguet M.J., De Terssac G., Erschler J. & Lompré N., De la réalité à la modélisation de la coopération en gestion de production, In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 149-171). Toulouse : Octarès. 1996.

Iansiti M. & Levien R., *The Keystone Advantage. What the New Dynamics of Business Ecosystems Mean for Strategy, Innovation, and Sustainability*. Harvard Business School Press. 2004.

Janco M., Furjot D., *Informatique et capitalisme*, François Maspéro, collection « Economie et socialisme » n°18, 1972

Jarratt T.A.W. et al., « Engineering change : an overview and perspective on the literature », *Res Eng Design*, 22 :103, 2011.

Jeantet A., Tiger H., Vinck D. & Tichkiewitch S., La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 87-100). Toulouse : Octarès. 1996.

Katz M. & Shapiro C., On the licensing of innovations, *Rand Journal of Economics*, 16, 504-520, 1985.

Kline S. & Rosenberg G., An overview of innovation, In : Landau, R., Rosenberg, N. (eds), *The Positive Sum Strategy : Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington, DC, National Academy Press, pp. 275-305, 1986.

Koenig G., « Le concept d'écosystème d'affaires revisité », *Management*, vol. 15 (2), pp. 209-224, 2012.

Kuhn T.S., *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1963/1983.

Le Masson P., Weil B., « La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études », dans Hatchuel A, Weil B. (dir.), *Les nouveaux régimes de la conception. Langages, théories, métiers*, Paris, Vuibert p. 51-66, 2008.

Le Moigne J.-L., *Le Constructivisme*, tomes I, II et III, Paris, l'Harmattan, 2001.

Loilier & Tellier, *Gestion de l'innovation : Comprendre le processus d'innovation pour le piloter*, éditions ems, management & société, 2013

Lopez P., Conception d'un système coopératif en gestion de production. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 171-187). Toulouse : Octarès. 1996.

Martinet A.-C., *Epistémologies et Sciences de gestion*, Paris, Economica, 1990.

McKelvey R.D., « A statistical theory of equilibrium in games », *The Japanese Economic Review*, Volume 47, issue 2, pp. 186-209, 1996.

Merminod V., Mothe C., Rowe F., « Effets de Product Lifecycle Management sur la fiabilité et la productivité : une comparaison entre deux contextes de développement produit Valéry Merminod », *Management* (12:4), pp.294-331, 2009.

Midler C., *L'auto qui n'existe pas ; Management des projets et transformation de l'entreprise*. Paris, InterEditions.1993.

Midler C., Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception. In G. de Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp.63-86). Toulouse : Octarès. 1996.

Millot, Vers des structures coopératives Hommes-Machines pour la supervision et l'exploitation des grands systèmes dynamiques. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 207-229). Toulouse : Octarès. 1996.

Mills C.W., *Les cols blancs, essai sur les classes moyennes américaines*, Paris, Éd. Maspero, 1966.

Mintzberg H., *Structure et dynamique des organisations*, Paris : Ed. d'Organisation. 1982.

Nambisan S., « Information Systems as a Reference Discipline for New Product Development », *MIS Quarterly* (27:1), pp. 1-18, 2003.

Nijssen E.J. & Frambach R.T., Determinants of the adoption of new product development tools by industries. *Industrial Marketing Management*, 29, pp. 121-131, 2000.

Perrin J., Villeval M.C., Lecler Y., Les différents modes de coordination mobilisés pour promouvoir la coopération dans une démarche de concurrent engineering. Trois études de cas en Rhône-Alpes. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 45-63). Toulouse : Octarès. 1996.

Piaget J., *Logique et Connaissance scientifique*, Paris, Gallimard, 1967.

Poitou J.P., *Le cerveau de l'usine. Histoire des bureaux d'études Renault de l'origine à 1980. Recherche sur les conditions de l'innovation technique*, Université de Provence, Service des publications, 1988.

Schmidt K., Cooperative work and its articulation : Requirements for computer support. *Le Travail Humain*, 57 (4), 345-366, 1994.

Simon H.A., *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, 1969.

Simon H.A., *The Sciences of the Artificial*, 3^e éd., Cambridge, MIT Press, 1996.

Soubie J.L., Buratto F. & Chabaud C., La conception de la coopération et la coopération dans la conception. In G. Terssac & E. Friedberg (Eds.), *Coopération et conception* (pp. 187-207). Toulouse : Octarès. 1996.

Stevens G.A. & Burley J., « 3,000 Raw Ideas Equals 1 Commercial Success ». *Research-Technology Management*, 1997.

Tremeau A., Martin D. & Devillez A., « 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, 2015.

Tsoukas H., *Complex Knowledge*, Oxford University Press, 2009.

Visser W., « La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations », *Le Travail Humain*, vol. 72, p. 61-78, 2009.

Wacheux F., *Méthodes qualitatives et Recherche en gestion*, Paris, Economica, 1996.

Weick K.E. & Roberts K.H., « Collective Mind in Organizations : Heedful Interrelating on Flight Decks », *Administrative Science Quarterly* Vol. 38, No. 3, pp. 357-381, 1993.

Weick K.E., *Social Psychology of Organizing*, Reading, MA, Addison Westley, 1969.

Weick K.E., « Theory Construction as Disciplined Imagination », *Academy of Management Review*, 14/4, 1989.

Weil P., « Overlapping Generations : The First Jubilee ». *Journal of Economic Perspectives*, 22(4): 115-34, 2008.

Annexe 1

Entretien 1

L.F., ergonome, rattachée à l'industrie dans une grande entreprise industrielle aérospatiale,

Mon métier ?

Je m'occupe en fait d'accompagner des projets, le plus en amont possible. Ces projets sont des projets de conception de concepts industriels. Je suis présente dès leur conception. En fait, j'agis en ergonomie d'anticipation. Et suis présente sur différentes phases de projet. Lors de projets plus classiques de conception, qui concernent par exemple l'outillage, le réaménagement de zone de travail, je vais accompagner la mise en place d'ateliers d'entraînement.

Ma formation ?

Je suis docteur en ergonomie.

Quant aux outils d'aide à la conception ?

Personnellement, je ne les manipule pas ; en revanche, je travaille, en co-conception, avec des gens qui les utilisent. Ici, le logiciel que l'on exploite est Catia. Et on fait des simulations avec des outils comme Delmia. Les hélicos, par contre, sont sous le format Catia.

Le processus de conception ?

Il existe plusieurs phases de conception. Très en amont, on effectue des études d'opportunités, à ce moment là, ce sont un ou deux ingénieurs qui réfléchissent sur comment ils voient le futur. Nous, ensuite, on analyse, afin de les alerter sur les difficultés possibles. Puis vient la phase de spécification, pendant laquelle on s'intéresse à la définition du besoin client. C'est là qu'on alerte sur les exigences ergonomiques (notamment sur les mécanismes biomécaniques de l'homme au travail). On pense aux outils qui permettraient de soulager le travail humain. Puis il y a la phase de commande, avec tous les prestataires capables de développer le concept industriel qu'on soutient. Là encore, mon boulot est d'alerter sur comment prendre en compte le facteur humain. Puis arrivent les phases plateaux : là les plusieurs prestataires pour développer les concepts industriels sont en concurrence ; par exemple, l'an dernier, ils étaient douze au départ sur un projet, puis il n'en restait plus que trois. On leur explique donc comment intégrer le facteur humain. On apporte de normes mais surtout on leur apprend à savoir comment on les utilise. Lorsqu'ils utilisent ensuite les logiciels de conception (comme Delmia) on leur apprend à s'en servir, aussi pour qu'ils intègrent les bons mannequins... (ce qui arrive régulièrement est qu'ils ne sachent en fait pas s'en servir). Ensuite, on évalue leurs réponses avec nos critères. Puis il y a le passage à la commande, là le meilleur est retenu.

Quid de l'outil ?

Sur Delmia, on a d'une part la possibilité de mettre dans une vue 3D, et l'hélicoptère et le mannequin dans une situation de travail. Mais, ce qu'on observe, c'est que très souvent, les dessins des concepteurs sont en fait à l'inverse totale du réel (et donc de ce que l'opérateur va pouvoir et devoir mettre en œuvre). Les concepteurs n'ont souvent pas conscience que pour

travailler il faut d'abord savoir comment ça se passe concrètement. Je pense qu'il y a une absence de projection, dans l'utilisation de l'outil. Les concepteurs n'ont pas en tête que l'homme va travailler. Ils sont dans la méconnaissance profonde de ce qu'il faut faire en réalité, concrètement. Au cours d'une utilisation du logiciel, même s'ils savent s'en servir, sur le principe de l'utilisation des outils par les opérateurs, l'outil va passer, mais ça c'est à l'écran seulement, parce qu'en réalité ils ne prévoient pas de mouvement (donc l'utilisation de l'outil par l'opérateur, concrètement). Il y a véritablement une méconnaissance du travail des opérateurs de la part des concepteurs. Et les logiciels n'aident pas sur ce point, au contraire.

Quid de la collaboration permise par ces logiciels d'aide à la conception ?

Malheureusement, c'est assez parcellisé. Le travail de conception, malgré les aspects intéressants et innovants, finalement reste assez parcellisé, taylorisé. On part de systèmes électriques, de pièces mécaniques (en composite ou en taule) et on assemble tout ça. Mais il y a toujours des spécialistes... Spécialistes hydraulique, structure ou aérodynamisme... Ils ne voient qu'un tout petit bout de la conception. Chacun. Et ils perdent complètement la notion du réel. Ils utilisent ces outils numériques, qui grossissent tellement le bout de produit sur lequel ils travaillent qu'ils finissent par perdre totalement le sens de la réalité. L'outil informatique ne devrait pas éloigner les concepteurs de la réalité, l'effet devrait même être l'inverse. Pour qu'ils puissent développer des idées intéressantes et intelligentes. Et la prise en compte de l'avis de l'utilisateur final est extrêmement importante, devrait être extrêmement importante, mais on se rend compte qu'entre toutes les phases de cheminement de la conception, jusqu'à l'assemblage, la production, il peut y avoir en fait de gros écarts. S'ils n'ont jamais vu comment ça fonctionne en vrai, ils s'éloignent assez de la réalité. Ce lien est très difficile.

Comment émerge l'innovation ?

Il y a deux types d'ingénieurs. D'abord les ingénieurs sur le produit, qui vont dessiner au préalable et laissent libre cours à leurs imaginaire. Puis les ingénieurs sur le moyen de produire l'hélicoptère. C'est les liens entre les bureaux d'études et production. Nous, on essaie de faire remonter l'idée du consommateur final dès la conception primaire, donc dès la définition du produit. Et il y a des interrelations entre ce que nous décidons, qui remonte au niveau des concepteurs premiers.

Outils et innovation ?

Catia et Delmia nous font courir le risque du cloisonnement, mais on prend conscience, dans les équipes projet, comme quoi ça cloisonne. Et du coup des efforts sont réalisés pour mettre en place des espaces collaboratifs pour qu'on puisse de nouveau travailler ensemble (comme avant on pouvait le faire autour d'une planche à dessin, qui ne faisait pas perdre le sens de la réalité aux concepteurs). Derrière un écran, ne mentons pas, ça ne peut pas fonctionner, on s'en rend compte. Les espaces de discussion sont beaucoup plus marqués, c'est à dire qu'on doit les créer, à cause de ces outils qui finalement parcellisent les tâches, on s'en rend compte. Ils sont très intéressants pour travailler chacun de son côté puis tout mettre en commun, en le quittant nécessairement.

Annexe 2

Entretien 2

A.S., ingénieur équipement dans une grande entreprise industrielle dans l'aérospatial,

Votre métier ?

Je suis dans le développement d'équipements, un peu ingénieur équipements.... Dans les installations... tout ce qui permet de fixer quoi...

Formation ?

Ergonomie, à l'université, à marseille, j'ai aussi étudié le design en conception de produit.

Les outils utilisés, ressentis ?

On utilise beaucoup Catia, c'est un outil qui permet surtout l'expertise sur le mannequin numérique. Globalement, c'est un outil extrêmement open, il permet le stockage de fichiers 3D, et il y a plusieurs outils derrière Catia qui permettent de stocker. Ca fait une espèce d'arborescence intéressante.

Quid de la collaboration avec ces outils ?

C'est une conception clairement collaborative que ça instaure. De toute façon, les ingénieurs n'ont pas vraiment la compétence technique pour la conception pure. Les designers oui. Donc les designers vont travailler plus traditionnellement, en amont. Il y a ici deux licences : la licence al3 et la fl3. La fl3 est surfacique et permet le design des pièces ; la al3 est plus exotique. Je sais me servir des deux.

Organisation conception ?

On a un super planning qui chapeaute tout, avec des milestones. On a des gap (mg1/2/3), puis des revues régulières, qui donnent la validation ou le refus d'un design (c'est l'O2 générique) ; globalement, c'est processus unifié qui commence avec le design, puis s'enchaîne logiquement jusqu'au suivi de production...

Créativité et outils ?

Pour avoir fait une école de design, Catia va forcément limiter la créativité au départ. Si on fait du style, Catia n'est pas le bon outil (d'ailleurs on utilise d'autres outils pour ça), par contre si on l'utilise pour la conception de produits d'emblée normés, c'est très bien et adapté. Mais au bureau d'études, par exemple, ils disposent d'autres outils. Qui leur permettent de designer et d'être plus créatifs ensemble.

Annexe 3

Entretien 3

J.R., préparateur prototype dans le domaine électrique ; engineering, dans une grande entreprise industrielle dans l'aérospatial,

Parcours personnel ?

J'ai fait un BTS aéronautique en alternance, sur un autre métier mais qui se complète. Le métier que je fais en ce moment consiste en la préparation de la montée en série du prototype ; pour accumuler de la connaissance sur le produit, pour qu'ensuite lorsqu'il sorte, je sois opérationnel sur tous les points.

Métier ?

Je suis une sorte d'intermédiaire entre l'atelier (les opérateurs) et les bureaux (les concepteurs). J'étudie la faisabilité entre les deux et les écarts possibles. Je reçois des plans et à partir de cette base je crée des opérations dans le système informatique qui doivent ressortir en ordre de fabrication pour l'atelier. J'estime ensuite le temps qu'il va falloir pour faire l'opération (pour les opérateurs) ; et je crée une gestion du temps (c'est la préparation) ; puis je transforme le plan initial en ordre de fabrication ; en gros, je crée une opération dans le système informatique et je commande toutes les pièces que je fournis ensuite aux opérateurs avec l'ordre de fabrication. Si les opérateurs rencontrent des difficultés, ils passent par moi. Dans ce cas, je fais remonter l'info au bureau d'études qui valide un nouveau choix et la modification attenante, ou bien ce sont eux qui donnent la modification à faire, et dans ce cas là je fais redescendre l'info. Tous les problèmes rencontrés sont notés sur un dossier qualité qui est informatisé ; quand il y a un problème, je marque une retouche dans ce dossier, je relance le bureau d'études, pour qu'ils valident...

Situation dans la chaîne ?

Nous on arrive au moment où on doit assembler pour la première fois le prototype ; le bureau d'études envoie les plans au préalable. Dès lors on vérifie les plans. Les opérateurs interviennent dans la conception en faisant remonter les problèmes de montage ; on met ça dans le dossier qualité informatisé ; j'ai une feuille de papier codifiée : il y a une caméra sur le stylo qui enregistre l'écriture ; ce papier qualité part chez le client a fortiori. J'utilise le logiciel SAP : c'est un progiciel qui est utilisé dans l'industrie automobile également ; ça va autant de la partie administrative à la partie production.

Outils d'aide à la conception ?

C'est ce qu'on utilise tous les jours : les logiciels 3D par exemple ; ça sert à tous les corps de métier. Le logiciel permet de mesurer l'encombrement (par exemple si quelqu'un veut mettre un frigo dans l'hélico) ; de voir où les pièces se montent... C'est notre bible. C'est le nerf de la guerre : si on n'a pas ça, on ne peut pas faire d'hélico : les anciens savent comment faire, mais les nouveaux arrivants non : on nous demande de « sérialiser » ; un enfant de 5 ans peut savoir faire la même chose que nous avec ces outils. Comme la politique de l'entreprise est

que l'on puisse bouger les personnes dans tous les services, il faut que le nouvel arrivant puisse en théorie monter aussi vite et aussi bien la machine que celui qui en a l'habitude.

Créativité ?

La créativité ne disparaît pas mais on est soumis à énormément de règles et de calculs. La première esquisse faite d'un hélico, on sait très bien que le résultat final ne sera jamais conforme : il y a des normes (l'aérodynamisme, des contraintes de coût, de sécurité). Mais il nous faut tout de même des produits innovants. Car le marché devient de plus en plus concurrentiel (il y a de plus en plus de place pour le marché des occasions). Du coup on bosse ; le PDG veut qu'on sorte tous les 2 ans une nouvelle machine pour être constamment au dessus de tout le monde. L'innovation naît par rapport au marché ; on sait qu'il y a observation du marché, et ce sont critères du marché qui nous guident dans l'innovation. Si c'est le marché VIP, là l'innovation se porte sur le gadget. Un groupe de travail fait émerger l'innovation (ce sont les architectes) : ce groupe de travail dit le type de moteur qu'il faut, ils délibèrent sur le nouveau, dans la stratosphère de l'usine, ce sont eux qui font émerger le nouveau ! Ensuite le bureau d'études développe l'idée en faisant les calculs et les vrais dessins, en gros ils opérationnalisent et vérifient la faisabilité.

Communication et partage des données ?

On travaille beaucoup ensemble mais il y a des problèmes de communication. Les infos ne circulent pas naturellement.

Gestion des connaissances ?

Il y a des formations régulières. Des formations par exemple sur les logiciels (ils vont de Excel à des logiciels de malade), ou sur comment fonctionne un hélicoptère. Le but de demain serait qu'on utilise tous le même logiciel. C'est difficile de rationaliser toute la gamme car il y a des produits qui ont été créés il y a 30 ans et d'autres qui sortent à peine. C'est dur à mettre en œuvre. Là, selon les services, on en utilise des différents : tu changes d'hélico, tu changes de logiciel. Le dernier né, on utilise le même logiciel que Airbus (avion). SAP, c'est le logiciel où on retrouve beaucoup d'hélico, on a là les ordres de fabrication, ordres de travail, qui viennent suite à une opération de montage. L'ordre de fabrication c'est l'administratif. Puis vient l'opération de montage, on en extrait des vues de plan... Le Bureau d'études utilise CATIA, c'est un logiciel créé par Dassault Système.

Annexe 4

Entretien 4

D.L., Architecte produit (métier consistant en la conception du produit qui sera susceptible de correspondre au mieux aux attentes du client), dans une entreprise de détecteurs infrarouges,

Parcours personnel :

« J'ai fait une formation initiale d'ingénieur en électronique et télécom, à l'ESM Sudria. Je me suis ensuite dirigé vers un DEA d'instrumentation en astrophysique. J'aurais aimé continuer dans ce domaine là, j'avais d'ailleurs débuté une thèse ; je n'ai pas forcément pris la bonne décision à l'issu de mon DEA, par frilosité. J'ai commencé à travailler sur des détecteurs astrophysiques à infrarouge. Puis je me suis formé sur le tas à la conception de circuits électroniques intégrés. J'ai par la suite suivi une formation à Delft pour perfectionner mes connaissances quant à la formation des circuits électroniques intégrés. J'ai fini par quitter les Pays-Bas pour revenir en France et suis passé, dans un même temps, de la fabrication à la conception. J'ai commencé à travailler pour X en 2007. J'étais, jusqu'en 2013, dans le service de conception de l'entreprise. »

Le métier d'architecte produit :

« Je dois être capable d'intégrer une pluralité de disciplines et de métiers différents, car la conception du produit rassemble tous les domaines présents au sein de l'entreprise (optique, mécanique...). Les modules de détection infrarouge, que nous fabriquons, sont en général utilisés et intégrés dans un système plus gros (par exemple dans des caméras infrarouges, des systèmes de guidage de bombes, ou encore des satellites). L'entreprise rassemble 750 salariés, essentiellement sur le site de Grenoble ; il y a également une antenne à Paris et une filiale aux Etats-Unis, près de New York. Avant d'être architecte produit, je faisais partie du département R&D ; à présent, je suis à la direction projet produit. En fait, je suis une espèce d'interface entre les équipes techniques (R&D, opérations industrielles, direction marketing, direction financière) et le client – avec lequel je suis en permanence en contact. »

La naissance d'un projet et sa conduite par l'architecte produit :

« Comment se réalise un projet ? On part d'un appel d'offre préalable, qu'on traduit : soit il va s'agir d'un besoin spécifique exprimé par le client, soit de la modification d'un produit déjà existant. Si c'est un besoin spécifique qui est manifesté, il va falloir au minimum 2 ans pour que nous sortions le premier prototype.

Mon job consiste en d'innombrables allers retours entre le client et le fournisseur (et la conception). Normalement, notamment du fait du temps, le prototype correspond tout à fait aux attentes du client. En fait, je dois évaluer le plus finement possible l'offre technique que l'entreprise est en mesure de faire au client en fonction de ses besoins (et ainsi me soucier tant des aspects techniques que financiers). Cela revient en fait à s'inscrire au mieux dans le fameux triangle qualité/coût/délai. Cela va, évidemment, beaucoup dépendre de la demande, de si elle correspond à quelque chose qui semble standard, ou pas. Ce sera bien sûr moins

spécifique si la demande est standard, ce qui impliquera nécessairement des délais plus courts. A ce propos, l'entreprise travaille d'ailleurs à standardiser de plus en plus ses produits, pour des questions de coûts et de délais.

Nous sommes 3 architectes et 6 chefs de projet. Les architectes sont en amont de la conception. Ils définissent la réponse à l'appel d'offre et le cahier des charges opérationnel qui répond aux besoins du client et, à partir de celui ci, les concepteurs redéfinissent, en fonction de leurs capacités, ce cahier des charges et sa faisabilité. Ils travaillent en équipe par pôles métier. Le travail de conception peut durer jusqu'à 2 ans, la fabrication, quant à elle, se fera 6 mois avant que le premier produit sorte. »

Quid des outils d'aide à la conception ? :

« Personnellement, je ne travaille plus avec des outils de conception (j'utilise Excel) ; avant, je m'appuyais sur le logiciel de conception « Cadence » (qui est spécifique à la microélectronique), ou « Mentor ». Tous deux fonctionnent par système de licence. Ils permettent de travailler sur des stations de travail, des machines parallèles (qui sont de gros calculateurs), et fonctionnent sous des systèmes Linux. Au début de la conception, on effectue des dessins de transistors (aujourd'hui, on utilise des écrans pour ce faire). Cela constitue d'ailleurs un outil d'aide à la conception : il y a des transistors – déjà schématisés – à poser, leurs tailles sont à définir, puis ils sont à relier entre eux (on utilise le logiciel Schematic bio à cette fin). On définit ensuite la résistance, et finalement l'amplificateur finit par se faire automatiquement. Une fois que le schéma est défini, que le circuit est schématisé sur Schematic bio, les ingénieurs le dessinent avec un autre logiciel, Lay out, toujours sous « Cadence », qui va aider au dessin des masques et à les définir physiquement (les masques sont une espèce de traduction entre le schéma et la machine afin qu'elle puisse le créer et le graver sur un support – substrat – silicium). Le circuit va nécessiter 6 à 9 mois de conception. L'ensemble du produit, 2 ans.

Les ingénieurs, lorsqu'ils se servent de ces outils d'aide à la conception, doivent suivre stricto sensu un manuel – guide de règles de dessin – dans le but d'être sûrs que ce que l'on demande de faire à la machine va effectivement pouvoir être fait (il s'agit d'une sorte de gestion de la marge d'erreur). »

A propos de la dimension créative de l'activité :

« Dans certaines entreprises, comme chez ST microélectronique par exemple, chaque ingénieur a sa spécialité et il ne peut pas y déroger, alors que chez X, les ingénieurs travaillent sur tout.

Les concepteurs doivent faire preuve de créativité à chaque fois que le client donne des contraintes qu'ils n'ont jamais rencontré. En d'autres termes, ils font preuve de créativité afin de trouver des solutions à un problème nouveau ; cela peut même donner lieu à un certain nombre de dépôts de brevets. Il y a une grande marge de créativité, de manœuvre. Les ingénieurs ne sont pas cantonnés à un sous-ensemble et à une brique du circuit, ils ont tous une vision globale du circuit, ce qui est finalement bon pour la créativité. Les machines sont là uniquement pour la fabrication, elles viennent en aval, pas en amont. Pour la conception des schémas, on utilise d'ailleurs le logiciel Analog Artist , pour la petite anecdote, il comporte le mot « Artist »... »

La place de l'innovation :

« Sommes-nous amenés à innover ? En fait, on ne fait pas de l'innovation au sens de la concrétisation de quelque chose de nouveau, mais l'innovation est bien suscitée à travers les discussions que je peux avoir avec les équipes techniques et les concepteurs, car je connais les besoins du client. En ce sens, je peux être amené à proposer des solutions novatrices, mais pas à les façonner. En fait, je suis là pour valider l'idée, ou pas.

Les métiers, chez nous, sont laissés libres (ce qui marque une grande différence avec les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, par exemple).

Il y a régulièrement des revues de projet et des revues métiers. On appelle ça des « Stage gate », qui sont des photographies à l'instant T du projet, qui débouchent sur une prise de décision. Le SG0, par exemple, est l'expression par un représentant du marketing du besoin client de façon macroscopique ; on sait ici quel type de produit est souhaité. En SG1, on a une première estimation de la rentabilité que peut espérer l'entreprise : selon que le retour sur investissement paraît intéressant ou pas, on s'engage dans le projet. L'architecte est présent lors de ces étapes et va dresser un plan de conception préliminaire à présenter, ainsi qu'un plan d'industrialisation. C'est lui qui a la bonne vision de l'investissement à faire, des ressources à mobiliser, pour pouvoir répondre aux besoins des clients. C'est donc lui qui va décider ou pas de se lancer sur le produit. Ensuite, un chef de projet est alloué au projet. On peut se demander pourquoi cette structure est préférée ? En fait, l'architecte a une très bonne visibilité de l'ensemble des produits faits ainsi que de l'ensemble des technologies disponibles dans l'entreprise : on peut à ce propos parler d'une vision transverse, c'est pourquoi il y a efficience s'il y a plusieurs chefs de projet. Le SG2 correspond à une revue de qualification. Le SG3 à une revue d'industrialisation. Le SG4 au lancement de la série. Le SG5 à la production. Et le SG6 au post-mortem (on définit là ce qui a été capitalisé, les avancées...).

Il y a, en tout, 200 projets en parallèle – beaucoup sont en phase industrielle. Il n'y a pas que des projets produit (il y a en effet des concepteurs produits, mais également des concepteurs machines/process). On compte une trentaine de projets produits (directement demandés par les clients). Les autres projets, en R&D, peuvent être financés par la direction. Les autres projets consistent en l'adaptation de l'outil de production de demain dans l'optique de fabrication efficace de nouveaux produits.

L'an dernier, on était 3 architectes pour 40 appels d'offre, entre SG0 et SG1. Même s'il y a de nouveaux projets, les anciens sont à suivre aussi. »

La communication et le partage des données

« Les documents sont automatiquement partagés en interne. Dès qu'il y a des communications avec l'extérieur, en revanche, on passe par des logiciels de cryptage. Les plans de l'architecte peuvent être partagés avec les métiers. Ils peuvent faire office d'« objets frontières » : a priori figés, ils s'ouvrent pour faciliter la coordination et permettent d'objectiver les frontières entre les visions des différents collaborateurs.

Est ce qu'on utilise le PLM ? Non, on en est encore à la phase ERP : on travaille avec IFS, même si l'entreprise déploie une nouvelle version actuellement, plus intégrée que ce qui existait avant, dans une volonté de standardisation des produits, et qui va faire office de configurateur. Configurateur, c'est-à-dire que le client va exprimer avoir besoin de tel produit, et que les ingénieurs, en réponse à cela, vont pouvoir « faire le marché » sur un ensemble de petits produits préétablis, composants du produit final, ce qui représentera d'importants gains de temps. On va pouvoir utiliser de la modularité. En termes de méthodes de conception, il

n'y a pas encore d'organisation normée et réglée de ce type, non, mais peut-être que ce sera la prochaine étape... »

La gestion des connaissances :

« Comment évoluent les connaissances en micro électronique ? Personnellement, je fais de la veille technologique (certains sites techniques mettent régulièrement à jour les découvertes). Je lis également des revues spécialisées, et j'assiste à des conférences ou des salons. Il y a aussi de nombreuses discussions conduites en interne avec les autres ingénieurs et techniciens. Les informations captées par les uns et les autres sont toujours différentes, donc c'est intéressant de s'entretenir tous ensemble à propos d'un même sujet : à cet effet, des sessions techniques, forums techniques, sont prévus une fois par mois dans l'entreprise afin de permettre aux personnes – parties prenantes à la technique – d'échanger. Ces forums durent trois heures. On dispose en interne d'un service documentation qui nous alimente et d'un service de veille (une personne s'occupe à temps plein de faire de la veille et des résumés).

Je suis passé d'ingénieur métier à architecte produit grâce à une promotion. Plus les salariés se rapprochent du produit et du marché, plus hauts ils sont dans la hiérarchie (puisque'ils ont à gérer de l'argent...). Sinon, on est considéré comme un exécutant, même quand on crée.

L'entreprise tente quand même de promouvoir la technique, par le biais de filières experts (on reconnaît donc les ingénieurs en tant qu'experts...). »

Annexe 5

Entretien 5

F.M.,
PLM Consultant Manager – ,

Présentation

A travaillé comme consultant/ chef de projet pour Volvo et plus récemment Airbus A350 pour lequel il a participé au déploiement de la solution PLM et à l'accompagnement (formations, soutien, coaching).

Actuellement consultant manager.

Le fonctionnement d'un PLM

- Le PLM est utilisé pour le marketing, les sites Web, la fabrication, la maintenance, les magasins
- Il existe différents « work-package » (WP) par partenaires. Ex : 1 WP pour le nez de l'avion, 1 autre pour le fuselage avant, arrière, etc. De son côté Airbus s'assure de la cohérence de l'ensemble.
- Accès aux données et outils de la Pf :
 - o Limitation des accès à l'ensemble de la Pf : Il y a des filtres de confidentialité, suivant les partenaires.
 - o Même en Inde et en Chine : mise en place de réplications sur serveurs dédiés, pour limiter l'accès aux données confidentielles et assurer la sécurité.
 - o Ce principe existe aussi en Europe, de 2 façons :
 - Soit multi-sites : une réplication sur chaque site de production (ce qui implique la réplication des données !)
 - Soit mono-site : l'entreprise mère héberge tout et les partenaires accèdent aux données suivant des filtres de sécurité.
- Le déploiement de la solution se fait par étape :
 - o D'abord un prototype restreint (sorte de « petit BE ») pour roder la solution.
 - o Ensuite le déploiement équipe par équipe, en fonction des « Work Packages » ainsi qu'en fonction du calendrier du projet (tenir compte de l'ordre de précédence des conceptions des pièces).
 - o Meeting régulier avec tout le monde pour ajustements.

Les avantages du PLM

C'est un gros BE qui introduit des règles et des processus autour des outils qu'il intègre.

Il répond à la **pbmtik de l'entreprise étendue** → Tous les partenaires utilisent le même outil. Par ex : Airbus avec les entreprises partenaires Safran.

La pf permet de **faire circuler l'info plus rapidement**. Ex : Dassault-System a mis en place un « plateau virtuel » avec lequel tout le monde travaille. Il permet la création, numérisation, etc des pièces. Avec la pf, **tout le monde partage les mêmes règles, les mêmes processus**.

Avant, tout était national, chaque pays avait ses outils, avec ses propres normes, règles, process ... (All, It, Esp, Fr...). Ce qui engendrait d'énormes problèmes de conversion (des formats) et de compatibilité. **Le PLM apporte une harmonisation, une cohésion**, car chacun partage les mêmes règles et processus. L'intégration est donc favorable.

Cette intégration a commencé avec l'A350 vers 2008. Les Allemands avaient leurs normes et leurs attributs (de pièces, nomenclature par ex.) propres. → Nécessité une grosse harmonisation !

C'est le même principe que pour les SAP¹ : chacun avait le sien et maintenant on converge vers une solution unique de type ERP².

Le PLM réduit les durées :

- Du cycle de développement
- de la demande de modification d'un élément,
- du coût de développement, car moins de prototypes (on est passé de 5 à 2 ou 3 chez Airbus) et l'objectif est le prototypage numérique (moins de temps et de coût !).

Les changements introduits par le PLM (la perception qu'il en a)

Constat d'échec sur les 5-10 dernières années : les 2 causes principales ont été la **mauvaise prise en compte de l'humain ainsi que des processus des entreprises**. Il existe des docs sur ce sujets.

L'impact humain est maintenant davantage pris en compte, par la mise en place :

- De programmes d'accompagnement au changement
- Sessions de sensibilisation
- Sessions de formation
- L'accès aux données n'étant autorisée qu'après suivi de tout ce processus d'accompagnement.

On parle plus maintenant de « **processus PLM** » plutôt que de plateforme de PLM : les entreprises intègrent la façon de concevoir modélisée par les PLM (processus PLM), sans pour autant nécessiter l'intégration d'un pf complète de PLM.

Ceci dit, **la tendance est quand-même à l'intégration !**

¹ SAP® : système dans lequel les différentes fonctions de l'entreprise (comptabilité, finances, production, approvisionnement, marketing, ressources humaines, qualité, maintenance, etc.) sont reliées entre elles par l'utilisation d'un système d'information centralisé sur la base d'une configuration client/serveur.

² **ERP** signifie : Enterprise Resource Planning. En français : Progiciel de Gestion Intégré (PGI), ou Système Intégré de Gestion de l'entreprise(SIG).

Les jeunes IG ont totalement intégré l'usage des pf et outils numériques, et appréhendent plus facilement l'environnement des PLM.

Les plus anciens ont beaucoup plus de difficultés, notamment des peurs :

- car toute action déclenchée sur la Pf impacte l'ensemble ! Ils sont de ce fait plus prudents que les jeunes !
- **peur de l'informatique en général, du numérique.** Cela se voit tout de suite en sessions de formation. Exemple CATIA V5 : beaucoup de crainte au début chez Airbus Aviation !

Autres craintes : la **surcharge de travail**, inhérente à tout nouvel outil. **Mais dès qu'ils voient les bénéfices apportés par la pf (à mettre en face des craintes), ils ne veulent plus revenir en arrière ! Ils s'aperçoivent que c'est finalement un gain de temps pour eux.**

Effet de monopolisation de l'expertise par les partenaires :

L'entreprise étendue et la conception en réseau introduit une concentration au niveau des métiers (cloisonnement) avec une **expertise qui part vers le partenaire et que l'entreprise (firme) perd peu à peu**. Ex : Safran Labinal a toute l'électronique d'Airbus !! Qui du coup n'a plus aucune expertise dans ce domaine ! On en arrive même à **inverser les rapports de force entre l'entreprise et les « sharing partners »** !

Autre exemple phare de monopolisation : Dassault System, c'est un peu le « Google » de la conception industrielle ! Peut-être un concurrent : Parametric Technology (US) qui a sa propre solution de CAO et son système de PDM (Product Data Management : gestion des pièces). Mais Dassault System est le plus fort en CAO 3D avec CATIA (devenu NOVIA V6 qui est un VPLM³)

L'intégration d'un PLM dans l'entreprise étendue nécessite **davantage de communication et de collaboration entre les équipes** (inter-entreprise ou partenaires). Il y a mise en commun de l'information → **plus possible de « cacher » certains problèmes comme c'était possible avant !**

³ VPLM : Virtual Product Lifecycle Management

Annexe 6

Entretien 6

**A.L.,
Head of PLM & Technical Data / Engineering
Operations Manufacturing
Groupe G.**

Présentation de A.L. et groupe G.

- Le groupe G. est équipementier, travaille pour de gros clients tels que Airbus, Dassault Aviation, Embraer, Gulfstream et Bombardier.

Les PLM utilisés par le groupe G.

- Avec Airbus :
 - o Outil de PTC (« Parametric Technology Corporation») : Windchill PDMLink encapsulé/paramétré pour Airbus.
 - o En fait, 2 versions issues de Windchill :
 - PDMLink pour l'A350
 - ??? pour l'A400
 - o Les 2 étant des pf communes avec CATIA V5.
- Dassault Aviation :
 - o Système global et fermé intégrant PLM et CAO.
 - o Impose CATIA V6
- **Chez G. même :**
 - o Teamcenter, de Siemens PLM software.
 - o Utilisé aussi chez Snecma (motoriste), Peugeot, ...
- Utilisations de ces PLM chez G.
 - o G. travaille avec les PLM de ses clients, puis reporte ce travail sur sa propre plateforme → grand nombre d'actions de duplication, perçues comme rébarbatives. L'avantage (ou la nécessité) de cette méthode est la réutilisation, le transfert industriel.
 - o Certains clients n'ayant pas de PLM utilisent celui de G.

La question de l'interfaçage entre ces pf est d'actualité. Ex : entre Airbus et Dassault Aviation, le projet « AirDesign » vise à permettre l'ouverture de leurs BdD (projet qui avance doucement). Cela entraîne évidemment des revendications d'expertise, suivant les compétences : Dassault veut prendre la main sur l'informatique, Thales sur l'électronique...

Evolution des PLM

- Les PLM sont issus de courants différents
 - o CAO
 - o ERP (SAP)
 - o Gestion BdD (Oracle...)
- C'est un mouvement qui s'est engagé depuis une vingtaine d'années !
- On remarque qu'il y a de moins en moins de design et de plus en plus d'administration sur les données → ce qui éloigne du cœur de métier.

Comment s'est passé (se passe) l'introduction d'un PLM dans l'entreprise

Chez G. : Présentation du produit, utilisation, corrections, et boucle de rétroaction (réajustements). La méthode AGILE est appliquée, et c'est un procédé qui implique un feedback de la part de tous les usagers.

- Les inconvénients de cette méthode :
 - o Entraîne un peu de difficultés pour l'introduction de tout nouvel utilisateur.
 - o L'accompagnement au changement n'a pas été suffisamment anticipé ! En effet, l'usage d'un PLM demande de la rigueur et entraîne des contraintes. (*cf. changements perçus, questions plus loin*)
- Dans d'autres entreprises (suite à un benchmark) : la mise en place d'un PLM s'accompagne d'une loi écrite = ensemble des règles, procédures, ... parfaitement écrites et qui cadrent l'usage de la pf.

Les changements introduits par le PLM (la perception qu'il en a)

- Comme déjà évoqué, l'usage d'un PLM demande de la rigueur et entraîne des contraintes d'usage.
- On s'adresse à des profils d'usagers de l'ingénierie (BE), dont le cœur de métier est l'invention. Or, Un retour des IG est qu'ils se sentent « bridés » et ont le sentiment que cela les gêne dans leur création.
- L'avis de M. Breque : le PLM est un atout car libère l'esprit pour se concentrer justement sur le cœur de métier : la création.
- La première impression des usagers : forte réticence vis-à-vis
 - o Des nouvelles activités générées → sources de crispations
 - o D'appréhension du numérique (profils plus agés, non perçu chez les plus jeunes).
- Les jeunes ingénieurs (et futurs !) sont complètement immergés dans les réseaux sociaux (RS) et leurs modes de communication. Ils n'ont pas de difficulté à appréhender et s'approprier les outils numériques.

L'avis : Il s'agit de démontrer aux usagers que ces pf apportent en fait un confort, permettent de faire plus, d'aller plus loin, et ouvrent des possibilités en terme de perspectives métiers. La difficulté est de « franchir » le premier obstacle que constituent la nouveauté et l'approche tout numérique.

Vision prospective : dans les années à venir, ces pf de PLM seront de + en + dynamiques et interactives, adoptant le modèle des RS, qui est celui adapté aux jeunes générations. Les managers devront admettre qu'ils n'ont pas la maîtrise des communications et des données.

Y a-t-il un risque de monopolisation de l'activité ?

- Oui, c'est possible. Ex : Airbus perd peu à peu son savoir-faire, ses compétences en matière de conception. Airbus se concentre davantage sur l'assemblage et délègue la conception des pièces.

Comment se gère le secret industriel ?

- C'est un des problèmes actuels !
- Certains clients imposent de travailler sans sortir les données.
- D'autres pratiquent la « ségrégation des projets » : c'est-à-dire la limitation d'accès, par projet (liste de personnes habilitées). Cela peut aussi se passer en « physique » : accès réservé à certains bureaux.
- Il peut y avoir également des enquêtes menées sur les personnes même (souvent dans le cadre de partenariat étranger)

La sécurité du SI chez G. est un problème d'actualité : Ce SI n'est pas assez robuste actuellement pour pouvoir donner accès à leur BdD. Ils procèdent donc actuellement par export des données.

Ils envisagent de changer leurs serveurs, intégrant des procédés de cryptage.

Pensez-vous que l'on assiste à une transformation des activités du métier d'IG de conception ?

- Ce n'est qu'une étape supplémentaire dans le processus d'évolution du métier de l'ingénierie. L'avantage est la parallélisation des tâches, la réduction des cycles et des coûts.
- Ces pf engendrent de nouvelles contraintes mais sont aussi une véritable opportunité à prendre plus de responsabilité dans le processus de cycle du produit.
- Bien qu'il y ait déjà eu de nombreuses transformations du métier depuis la planche à dessin, puis la DAO, la CAO, etc. L'introduction des pf de PLM (agrégant l'ensemble des phases du cycle du produit, la collaboration avec les partenaires, la communication etc.) est une transformation profonde, voire une révolution.

Retour d'expérience : passés les premiers obstacles (réticence quant à la nouveauté, perception de tâches supplémentaires, freins liés au numérique...), l'usage de ces pf (avec un bon accompagnement à la prise en main et au changement), libère en fait les usagers des tâches subalternes !

Elles nécessitent néanmoins, au sein de l'entreprise, une remise en cause des méthodes de travail pour que le bénéfice soit effectif !

Annexe 7

Entretien 7

M.V., entretien 7
Expert radar, retraité
Paris

L'entretien s'est engagé sur le souhait de clarifier le contexte contemporain des activités de conception : quel rôle des instruments numériques ? Dynamique du travail de l'ingénieur de conception ?

Dans les systèmes de défense, il est très important d'installer une compatibilité des systèmes (protection, armement, etc ...).

Opérationnalité des systèmes.

Bâtiment de surface ou avion

Multiples sous-ensembles et composants qui doivent être interopérationnels. Les informations doivent pouvoir être assemblées par le responsable de l'intégration. C'est automatique.

Développer et maintenir des systèmes nécessite des normes.

Interactions sont normalisées, ce qui était déjà en place à l'époque de l'électromagnétique.

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.

Exemple du navire de défense

Plateforme inertielle se doit d'intégrer toutes les données, les analyser et les rendre accessibles pour l'action.

Des protocoles (plutôt que des normes) de formatage de fichier sont définis pour intégrer l'ensemble des fichiers et traitement de l'information.

Chaque entité est définie ainsi que chaque variable et sous quel format informatique (format entier, réel, double précision, ...). Chaque paramètre ainsi défini produit le langage commun très prégnant dans l'intégration.

On se dote d'un langage commun, de référentiels spécifiques :

- des interfaces système par système,
- quantité physique.

Il n'y a pas de dictionnaire des variables.

C'est un référentiel spécifique, pas universel.

Le protocole doit être fixé et figé, il servira de cadre pour l'ensemble des concepteurs. C'est un cadre rigoureux sur lequel l'accord de chacun est requis.

Si des nouveautés apparaissent en cours de route, on fait des provisions.

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.

Sous-traitance

Le développement est de plus en plus externalisé.

Avec les sous-traitants on démarre souvent par confier la fabrication puis on leur confie une partie du développement de la conception.

Visualisation Système

Dans l'aéronautique ça se fait assez couramment dans l'aéronautique civile. On visualise le système en cours d'élaboration.

Sur les principes on peut se documenter facilement sur les principes (voir Air & Cosmos, l'avion tout électrique).

Il faut séparer les phases de conception et d'intégration. Le maître d'œuvre rassemble les différentes conceptions. Il y a différentes appellations : plateforme si tu veux.

Fonctionnement des Plateformes

Ce n'est pas une nouveauté.

Mais pour la conception on a besoin de mettre en œuvre non pas des informations mais des connaissances métiers. On est dans le domaine du métier. C'est-à-dire la dimension « connaissance ».

Cette histoire des plateformes communes est complètement accessoire. La vraie question de fond est : partage-t-on les connaissances métier ou connaissances inventives ?

Les plateformes sont concernées par la robotisation. L'emploi sera affecté pour les emplois de traitement de l'information, mais pas pour la conception. La conception n'est pas directement affectée. Les questions de fond sont : les partenaires ou concurrents sont-ils prêts à échanger de la connaissance vitale. C'est une question de pouvoir.

Dans l'industrie de défense, il existe des structures d'accueil.

Les ateliers de conception : présentation.

Une structure d'accueil (terme consacré) : c'est l'infrastructure (à ne pas assimiler aux serveurs).

Il y a plusieurs parties :

Une partie exploitation (équivalent de l'OS), c'est l'automate.

Cette structure permet d'assembler des fichiers, elle les brasse, c'est un automate.

Une autre partie : les compétences métiers encapsulées dans des modules. Des algorithmes de traitement vont les agencer.

L'activité de conception se développe sans se préoccuper du travail de l'automate.

Les connaissances métiers sont des modules qui viennent s'insérer dans la structure d'accueil.

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.

L'environnement de développement logiciel nécessite des licences (propriétaires ou libres), les logiciels évoluent constamment, ça coûte.

Les ordres de grandeur sont les suivants :

Coût infrastructure : 5 à 6 ans de développement.

Coût conception métier : 6 mois.

L'infrastructure coûte donc très cher et de ce fait le propriétaire ouvre sa structure d'accueil aux utilisateurs sans toutefois ouvrir ses modules métiers.

Qui règle la facture ? Qui finance la structure d'accueil ?

La structure d'accueil est mise à disposition. Ce qui permet de couvrir l'investissement. Pour autant la firme pivot propriétaire de la structure ne partage pas ses connaissances.

C'est une logique 100% propriétaire.

Annexe 8

Entretien 8

Entretien_K.J., entretien 8 responsable du Module « Biomedical Devices »

Ce module traite de la conception d'objets électroniques en interface avec le monde du vivant, en vue d'obtenir des dispositifs implantés (seringue électronique, assistance à l'audition, mesure de grandeurs biologiques), ou des dispositifs de diagnostic médical (biocapteurs, lab-on-chip). L'accent est mis sur les capteurs, les actionneurs et la chaîne de conditionnement. Dans ce module, on apprend à maîtriser les techniques de fabrication de dispositifs bioélectroniques en électronique organique, mais aussi le langage des utilisateurs que sont les biologistes et les neurophysiologistes.

Proposé par d'anciens professeurs de l'Université de Cornell (USA), il offre des débouchés importants à l'international, en particulier dans les activités de recherche.

Ecole de Microélectronique Mines Saint Etienne

Il n'est pas possible d'accéder aux rapports de stage des élèves-ingénieurs.

L'école à Gardanne

105 personnes

- 38 permanents : 22 enseignants chercheurs, 5 CEA et 11 personnels administratifs et techniques
- 57 doctorants et post-doctorants

Expertises, compétences et savoir-faire

- Optimisation et recherche opérationnelle en génie industriel
 - Sécurité matérielle des circuits (cartes à puce)
 - Impression par jet d'encre sur supports souples d'objets connectés
 - Interfaçage entre les sciences du vivant et l'électronique organique.
-

1. Univers de la conception : segmentation grandes firmes - PME

K.J. confirme notre analyse de l'évolution de l'organisation relativement standardisée de la conception industrielle. Cependant il nuance l'analyse en faisant la différence entre grandes entreprises et PME ou même start up.

Il est vrai que les cas étudiés dans l'aéronautique, l'automobile et l'électronique de défense (Thalès) montrent une conception où seulement 20% des ingénieurs font de la conception, les 80% faisant du développement à partir de boîtes à outils « méthodes ».

Mais en PME l'ingénieur fait tout. Il se débrouille en adaptant la conception aux méthodes disponibles ou inversement en faisant l'effort d'évoluer dans ses méthodes pour répondre aux spécifications. En PME il y a moins de spécialisation.

On retrouve cette partition chez les jeunes diplômés de l'école de microélectronique :

- Certains aspirent à une certaine autonomie et candidatent puis entrent en PME, leur début de carrière est très intéressant, bien rémunéré, mais l'intérêt décline au fur et à mesure de l'avancée dans la carrière relativement aux carrières en grande entreprise,
- D'autres élèves préfèrent plus de tranquillité et s'orientent vers de grandes entreprises. Ils ont de grandes chances de faire du développement avec peu de créativité. Leur début de carrière n'est pas super intéressant, par contre ils se voient offrir des perspectives (statut, rémunération) au fil des années surtout s'ils prennent en charge des fonctions de management plus reconnues et bien mieux rémunérées.

2. Univers de la conception en microélectronique

Il existe plusieurs domaines de valorisation de la microélectronique.

- Conception « on cheap », analyse des fonctions implémentées : matériel câblé et logiciel ;
- Sécurité (cryptographie, crypto-processeurs),
- Réseaux télécom, radio numérique : émetteur et récepteur seulement, la télécommunication relève des écoles télécoms,
- Data scientists, analyse données,
- Systèmes embarqués : mobilité grand public et systèmes professionnels (avionique, réseau ferré, etc ...),
- Maquettes numériques : modélisation maquettes à base de maths (dispositifs de simulation) et univers immersifs (modélisation environnement).

L'école de Gardanne forme 75 ingénieurs chaque année :

- 10 à 12 vont dans l'informatique pure pour la logistique,
- 15 dans l'électronique médicale,
- 15 dans la gestion de l'énergie,
- 35 dans les services à l'industrie ou les services tout court.

3. Discussion sur perspectives univers conception

Une discussion a eu lieu à propos du devenir des activités de conception.

D'une part, nous avons discuté de la possible intégration entre big data et conception standardisée. Pour illustration Google alimentant les systèmes de conception hyper standardisés de grandes firmes. Il dit que cela existe ou a existé. Pour illustration : toutes les voitures se ressemblent. La raison étant l'utilisation de maquettes numériques qui sont toutes formatées de la même manière (Dassault Systèmes, Siemens, ...). Il dit que l'on va vers l'expérience utilisateur et la personnalisation fine des produits.

Je ne suis pas tout à fait d'accord. Mais il faudrait développer.

D'autre part, nous avons discuté des stratégies de modularité. Il dit que la réutilisation de modules n'empêche pas la créativité. Si les modules sont standardisés, par contre leur combinaison délivre des objets originaux. Là aussi je n'étais pas tout à fait d'accord, il faut développer.

Annexe 9, Entretien 9

Entretien avec F.L. ergonome chez S., entretien 9

Quel est l'activité de S. ?

→ Ingénieurs expert en informatique et en conception (High-tech) : sous-traitant d'Airbus (mais il ne faut pas le dire comme ça : « Client d'aéronautique »). A Marignane, sur le site Airbus. S'occupent des pièces d'hélicoptère haute technologie (conception et construction).

Quel est ton poste et son contenu ?

→ « Je suis ergonome : concrètement, à l'interface entre les opérateurs (ouvriers) et les ingénieurs. Je fais l'aller-retour entre l'analyse de solutions proposées [par les ingénieurs] et le travail plus d'ergonome qui est d'accéder et montrer l'écart prescrit – réel aux ingénieurs. »

→ « Je m'occupe beaucoup de questions de qualification, de savoir-faire [de l'ouvrier] qu'il faut expliquer aux ingénieurs ». Faire prendre conscience d'un écart entre la simulation et la pratique pour l'activité de construction physique...

⇒ Et par rapport à la conception ? : « je me situe au niveau de la chaîne d'assemblage finale » (mais, « très souvent en contact avec des ingénieurs du coup », déjeune avec certains).

Sur quels logiciels travaillent les ingénieurs et comment l'utilisent-ils ?

→ Les ingénieurs travaillent avec DELMIA (« ils font tout avec »). Il s'agit de simuler l'activité future en se basant sur des modélisations 3D.

→ Ils s'en servent pour concevoir le produit et anticiper l'activité des ouvriers sur la chaîne de production.

→ Exemple du mannequin simulé (avant on faisait des physiques) : le problème c'est que ça colle pas avec des contraintes qui ne s'observent que dans l'activité. Il faut donc expliquer à l'ingénieur. Le mannequin illustre les « limites de la simulation, de la situation de référence ».

→ « Réalimenter en concret ».

Comment interagissent-ils ? Comment sont-ils organisés pour travailler sur le projet ?

→ Sur des projets (conception d'un hélicoptère) qui durent des années. Déjà un projet qui dure depuis 2012 – 2013...

➔ Organisation :

- ⇒ Chronologique (en principe) : Phase 1 = phase amont. Simulation par les concepteurs sur Delmia. Phase 2 = phase d'assemblage final (physique).
- ⇒ Rôle de l'ingénieur de coordination : interagit avec le bureau d'étude + au contact dans l'identification de problèmes de conception + problèmes d'assemblage.
- ⇒ L'équipe projet interagit avec le fournisseurs et d'autres équipes projet (toujours avec Delmia).

Annexe 10, Entretien 10

Entretien_S.F., entretien 10

Consultant PLM

S.F. a installé plusieurs PLM en entreprise. Il porte un regard critique sur la faiblesse de l'attention portée aux métiers dans la formalisation des processus d'activité.

La conception n'est qu'une petite partie d'un PLM.

Le PLM, bien installé, est en mesure de remplacer beaucoup d'applications.

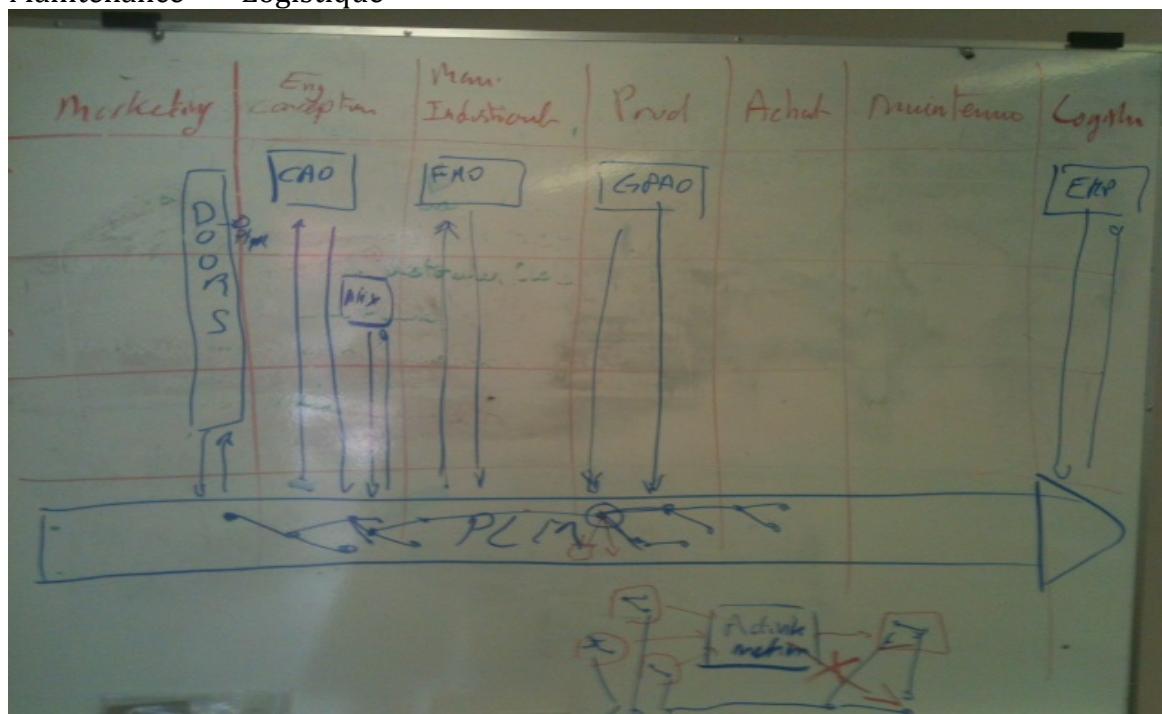
Une filiation avec le management de la qualité sans doute.

Un PLM a tendance à casser les métiers en silo. A partir d'une étude des besoins, il peut articuler les applications de chacun des métiers.

Il faut définir un périmètre d'intervention, faire un focus à partir d'une matrice « domaine – filières métiers ».

Schéma type d'un PLM

Marketing Engineering/Conception Manufacturing Fabrication Achats
Maintenance Logistique



Légende

En ligne : produits manufacturés ; produits formulés (boissons, crèmes, pharmacie, ...) ; services en 3^{ème} ligne.

Doors (logiciel IBM) permet d'interfacer les systèmes de plusieurs entreprises surtout en termes de spécifications clients.

Les processus métiers font l'objet d'une cartographie en termes de modèle sémantique des concepts. On met les métiers sous forme d'ontologies.

A partir de cette carte on construit le PLM pour de fait soutenir les différents process de l'activité.

On peut constituer une bibliothèque d'exigences dans laquelle on va puiser à n'importe quel moment du processus produit. Cela peut assouplir l'approche un peu trop linéaire de la conception que l'on eut avoir dans l'industrie (exemple de Michelin).

Le PLM coordonne tous les métiers et sous-ensembles de métiers. Il est une colonne vertébrale.

Plus précisément il cherche à relier les concepts métiers entre eux (les points dans le flux PLM sur le schéma sont des objets).

Sur chacun de ces objets métiers il y a des droits (accès au document).

Pour formaliser ce flux PLM, l'éditeur travaille plusieurs mois avec le client pour lui faire accoucher du processus métier et de ses différents documents.

S.F. dit que pour lui les objets métiers sont en fait des **hub-jets**, c'est-à-dire des points d'entrée vers d'autres documents métiers.



Les exigences sont documentées, les métiers également.

Le but de l'exercice consiste à faire établir les bons liens entre les différents objets qui structurent la documentation de chacun.

L'exercice est réussi lorsque la recherche d'information est facilitée, lorsque l'engagement dans un projet peut s'appuyer sur une documentation robuste car équipée des liens qui ont été formalisés entre les différents documents, donc entre les différents métiers.

Deux regards sont portés sur le PLM :

- C'est un bloqueur de conception, il entrave trop les initiatives,
- C'est un référentiel qui met de l'ordre et libère des contraintes de recherche d'information et allège les temps d'harmonisation.

Sociologie du PLM

En fait il existe deux approches différentes du PLM qui s'enracinent dans deux générations.

Il y a la génération système d'information (IT), très procédures en fait, et la génération qui vient des métiers.

Les éditeurs de PLM

- Les pure player
DS (très prêt à usage, le SAP du PLM), Siemens (le pâte à modeler du PLM), PTC (entre-deux).

- Les ERP
SAP, BAN

- Oracle

Qu'en est-il de la normalisation ?

Effectivement la question se pose de pouvoir faire communiquer des PLM de facture différente.

Par exemple le PLM d'Airbus avec celui de Rolls Royce.

Il existe des outils facilitant un interfaçage de PLM différents (PLCL, Pelib, Mandate, Step) mais ils sont très complexes.

Les éditeurs ont intégré cette difficulté. Autrefois ils avaient une vision très fonctionnelle de leur offre.

Ils ont évolué, début 2000, en segmentant leur clientèle (voir la panoplie de DS). Aujourd'hui il existe un PLM pour le ferroviaire, un PLM pour l'extraction minière, un PLM pour la pharmacie, etc ...

Les relations dans un écosystème outillé par un PLM

Un PLM est une expression neutre d'un ensemble d'activités.

Différents partenaires s'insèrent dans cet ensemble d'activités.

Chaque objet du PLM (objets métiers, objets exigences, ...) fait l'objet de droits, notamment droit d'accès à la documentation.

Après tout dépend des relations de pouvoir et des pratiques industrielles.

Les PME achètent de petits PLM : Lanscom (Paris), Audros (Lyon, <http://www.audros.fr/choisir/video/>).

Question de l'interopérabilité

On peut faire de l'extraction point à point.

On peut disposer de hubs techniques, mais cela reste une discussion cantonnée au niveau syntaxique.

Très peu d'interopérabilité sémantique en fait.

Sauf **Odase à lire absolument :**

http://www.odaseontologies.com/wp-content/uploads/2016/03/Ontology-for-Digital-Enterprise-Introduction-Fr-V1.0_2303.pdf

<http://www.odaseontologies.com/wp-content/uploads/2016/03/Louvois-Complexite-Innovation-2013-12-15-v2.pdf>

Odase est utilisée par l'armée française pour interopérer 17 applications différentes.

Odase permet de piloter les applications par les ontologies.

Il est structuré par deux dimensions : un modèle sémantique des concepts métiers et des règles métiers.

Retours d'expérience de PLM

- General Electric (Belfort)

Avait installé team center[®] de Siemens

Et puis en ont changé pour Enovia[®] de Dassault Systèmes.

Un chef de projet dit que les ingénieurs avaient finalement bien intégré l'environnement PLM avec team center[®] au point de ne plus pouvoir évoquer leur métier autrement

qu'au travers des instruments définis par le PLM. Leur métier était devenu, pour eux, ce qui figurait sur les écrans.

- Décathlon

Dispose d'une grosse GED (gestion électronique des documents)

- OP

A adopté les outils de DS.

Leurs premiers pas dans le PLM ont été très difficiles car ils souhaitaient conserver leurs anciens outils. Or le PLM nécessite une remise à plat des processus, beaucoup d'explicitation, et une nouvelle organisation.

Annexe 11 – Traitement des données et classement des informations

| | L.F., ergonome rattachée à l'industrie, entretien 1 | A.S., ingénieur équipement, entretien 2 | J.R., préparateur prototype ; engineering, entretien 3 |
|--|---|---|---|
| Caractéristiques perçues de l'outil d'aide à la conception | <p>« le logiciel que l'on exploite est Catia »</p> <p>« on fait des simulations avec Delmia »</p> <p>« sur Delmia, on a ... la possibilité de mettre dans une vue 3D, et l'hélicoptère et le mannequin »</p> <p>« ces outils sont très intéressants pour travailler chacun de son côté puis tout mettre en commun, en le quittant nécessairement »</p> <p>« je ne les manipule pas »</p> <p>« je travaille, en co-conception, avec des gens qui les utilisent »</p> | <p>« beaucoup Catia, c'est un outil qui permet le stockage de fichiers 3D »</p> | <p>« tous les problèmes rencontrés sont notés sur un dossier qualité informatisé »</p> <p>« j'utilise le logiciel SAP : c'est un progiciel qui est utilisé dans l'industrie automobile également ; ça va autant de la partie administrative à la partie production »</p> <p>« on utilise tous les jours des outils d'aide à la conception ; les logiciels 3D par exemple »</p> <p>« ils permettent de mesurer l'encombrement, de voir où les pièces se montent... »</p> <p>« c'est notre Bible »</p> <p>« c'est le nerf de la guerre : si on n'a pas ça, on ne peut pas faire d'hélico »</p> <p>« on en utilise des différents : tu changes d'hélico, tu changes de logiciel »</p> <p>« SAP, c'est le logiciel où on retrouve beaucoup d'hélico, on a là les ordres de fabrication, ordres de travail, qui viennent suite à une opération de montage »</p> <p>« Le bureau d'études utilise Catia, c'est un logiciel créé par Dassault Système »</p> |
| Phases perçues du processus de conception, impressions | <p>« différentes phases de projet »</p> <p>« il existe plusieurs phases de conception »</p> <p>« en amont ... deux ingénieurs réfléchissent sur comment ils</p> | <p>« les ingénieurs n'ont pas vraiment la compétence technique pour la conception pure, »</p> | <p>« les logiciels servent à tous les corps de métier »</p> <p>« un groupe de travail fait émerger l'innovation (ce sont les architectes), ils débattent sur le</p> |

| | | | |
|---|--|--|---|
| | <p>voient le futur »</p> <p>« puis vient la phase de spécification, pendant laquelle on s'intéresse à la définition du besoin client »</p> <p>« puis il y a la phase de commande, avec tous les prestataires capables de développer le concept industriel »</p> <p>« arrivent les phases plateaux : là les plusieurs prestataires pour développer les concepts industriels sont en concurrence »</p> <p>« il y a passage à la commande, là le meilleur est retenu »</p> <p>« il y a deux types d'ingénieurs, d'abord les ingénieurs sur le produit, qui vont dessiner au préalable et laissent libre cours à leur imaginaire, puis les ingénieurs sur le moyen de produire l'hélicoptère »</p> | <p>Les designers oui. Donc les designers vont travailler plus traditionnellement en amont »</p> <p>« on a un super planning qui chapeaute tout, avec des milestones »</p> <p>« globalement, c'est un processus unifié qui commence avec le design, puis s'enchaîne logiquement jusqu'au suivi de production »</p> <p>« au bureau d'études, ils disposent d'autres outils, qui leur permettent de designer et d'être plus créatifs ensemble »</p> | <p>nouveau, dans la stratosphère de l'usine »</p> <p>« le bureau d'études développe l'idée en faisant les calculs et les vrais dessins, en gros ils opérationnalisent et vérifient la faisabilité »</p> <p>« on travaille beaucoup ensemble mais il y a des problèmes de communication »</p> |
| Effets perçus de l'outil, négatifs ou positifs et raisons de ces intuitions | <p>« très souvent, les dessins des concepteurs sont en fait à l'inverse total du réel (et donc de ce que l'opérateur va pouvoir et devoir mettre en œuvre) »</p> <p>« les concepteurs n'ont souvent pas conscience que pour travailler il faut d'abord savoir comment ça se passe concrètement »</p> <p>« il y a une absence de projection dans l'utilisation de l'outil »</p> <p>« la méconnaissance profonde de ce qu'il faut faire en réalité, concrètement »</p> <p>« il y a véritablement une méconnaissance du travail des opérateurs de la part des concepteurs. Et les logiciels n'aident pas sur ce point, au contraire »</p> | <p>« Catia est un outil extrêmement open »</p> <p>« il y a plusieurs outils derrière Catia qui permettent de stocker, ça fait une arborescence intéressante »</p> <p>« c'est une conception clairement collaborative que ça instaure »</p> <p>« Catia va forcément limiter la créativité au départ »</p> <p>« si on fait du style, Catia n'est pas le</p> | <p>« sans les logiciels, les anciens savent comment faire, mais les nouveaux non »</p> <p>« on nous demande de « sérialiser » »</p> <p>« un enfant de 5 ans peut savoir faire la même chose que nous avec ces outils »</p> <p>« la politique de l'entreprise est que l'on puisse bouger les personnes dans tous les services »</p> <p>« il faut que le nouvel arrivant puisse monter aussi vite et aussi bien la machine que celui qui en a l'habitude »</p> <p>« la créativité ne disparaît pas mais on est soumis à énormément de règles et de calculs »</p> <p>« la première esquisse faite d'un</p> |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | <p>« malheureusement c'est assez parcellisé »</p> <p>« le travail de conception, malgré les aspects intéressants et innovants, reste assez parcellisé, taylorisé »</p> <p>« spécialistes »</p> <p>« ils ne voient qu'un tout petit bout de la conception »</p> <p>« ils utilisent ces outils numériques qui grossissent tellement le bout de produit sur lequel ils travaillent qu'ils finissent pas perdre totalement le sens de la réalité »</p> <p>« l'outil informatique ne devrait pas éloigner les concepteurs de la réalité, l'effet devrait même être l'inverse pour qu'ils puissent développer des idées intéressantes et intelligentes »</p> <p>« Catia et Delmia nous font courir le risque du cloisonnement »</p> <p>« mais on prend conscience comme quoi ça cloisonne »</p> <p>« des efforts sont réalisés pour mettre en place des espaces collaboratifs pour qu'on puisse de nouveau travailler ensemble »</p> <p>« comme avant on pouvait le faire autour d'une planche à dessin, qui ne faisait pas perdre le sens de la réalité aux concepteurs »</p> <p>« derrière un écran, ne mentons pas, ça ne peut pas fonctionner »</p> <p>« on doit créer les espaces de discussion à cause de ces outils qui finalement parcellisent les tâches »</p> | <p>bon outil (d'ailleurs on utilise d'autres outils pour ça), par contre si on l'utilise pour la conception de produits d'emblée normés, c'est très bien adapté »</p> | <p>hélico, on sait très bien que le résultat final ne sera jamais conforme : il y a des normes »</p> <p>« il nous faut tout de même des produits innovants car le marché devient de plus en plus concurrentiel : le PDG veut qu'on sorte tous les deux ans une nouvelle machine pour être constamment au dessus de tout le monde »</p> <p>« l'innovation naît par rapport au marché, aux critères de marché »</p> <p>« les infos ne circulent pas naturellement »</p> <p>« il y a des formations sur les logiciels ; le but de demain serait qu'on utilise tous le même logiciel »</p> |
| + | <p>« l'avis de l'utilisateur final est extrêmement important, mais on se rend compte qu'entre toutes les phases de cheminement de la conception, jusqu'à la production, il va y avoir en fait de gros écarts »</p> | | |

| | D.L., architecte produit, entretien 4 | F.M., PLM consultant manager, entretien 5 | A.L., Head of PLM & Technical Data ; Engineering, entretien 6 |
|--|--|--|---|
| Caractéristiques perçues de l'outil d'aide à la conception | <p>« je ne travaille plus avec des outils de conception »</p> <p>« avant je m'appuyais sur le logiciel de conception</p> <p>« Cadence » (qui est spécifique à la microélectronique), ou « Mentor » »</p> <p>« ils permettent de travailler sur des stations de travail, des machines parallèles (qui sont de gros calculateurs) »</p> <p>« un outil d'aide à la conception : il y a des transistors – déjà schématisés – à poser, leurs tailles sont à définir, puis ils sont à relier entre eux (on utilise le logiciel Schematic Bio à cette fin) ; on définit ensuite la résistance, et finalement l'amplificateur finit par se faire automatiquement »</p> <p>« une fois le schéma défini, les ingénieurs le dessinent avec un autre logiciel, Lay out, qui va aider au dessin des masques</p> | <p>« le PLM est utilisé pour le marketing, les sites Web, la fabrication, la maintenance, les magasins »</p> | <p>« Les PLM utilisés : les 2 sont des plateformes communes avec Catia V5 »</p> <p>« Dassault aviation : système global et fermé intégrant PLM et CAO ; impose Catia V6 »</p> <p>« travaille avec les PLM de nos clients, puis reporte ce travail sur notre propre plateforme, Teamcenter »</p> <p>« les PLM sont issus de courants différents : CAO, ERP (SAP), Oracle »</p> <p>« c'est un mouvement qui s'est engagé depuis une vingtaine d'années »</p> <p>« la mise en place d'un PLM s'accompagne d'une loi écrite, un ensemble de règles, de procédures parfaitement écrites et qui cadrent l'usage de la plateforme »</p> <p>« bien qu'il y ait eu déjà de nombreuses transformations du métier depuis la planche à dessin, puis la DAO, la CAO...l'introduction des plateformes de PLM (agrégant l'ensemble des phases du cycle du produit, la collaboration avec les partenaires, la communication...) est une transformation profonde, voire une révolution »</p> |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | et à les définir physiquement » | | |
| Phases perçues du processus de conception, impressions | <p>« la conception du produit rassemble tous les domaines présents au sein de l'entreprise »</p> <p>« Dans certaines entreprises, comme chez PP., chaque ingénieur a sa spécialité et il ne peut pas y déroger, alors que chez G., les ingénieurs travaillent sur tout »</p> <p>« ils font preuve de créativité pour trouver des solutions à un problème nouveau »</p> <p>« est ce qu'on utilise le PLM ? non, on en est encore à la phase ERP »</p> <p>« on travaille avec IFS »</p> | <p>« l'intégration d'un PLM dans l'entreprise étendue nécessite davantage de communication et de collaboration entre les équipes »</p> | |
| Effets perçus de l'outil, négatifs ou positifs et raisons de ces intuitions | <p>« l'entreprise travaille de plus en plus à standardiser ses produits, pour des questions de coûts et de délais »</p> <p>« les ingénieurs, lorsqu'ils se servent des outils d'aide à la conception, doivent suivre stricto sensu un manuel – guide de règles de dessin – dans le but que la machine puisse ensuite</p> | <p>« le PLM est un gros bureau d'études qui introduit des règles et des processus autour des outils qu'il intègre »</p> <p>« il répond à la problématique de l'entreprise étendue »</p> <p>« permet de faire circuler l'info plus rapidement »</p> <p>« avec la plateforme, tout le monde partage les</p> | <p>« on remarque qu'il y a de moins en moins de design et de plus en plus d'administration sur les données, ce qui éloigne du cœur de métier »</p> <p>« l'usage d'un PLM demande de la rigueur et entraîne des contraintes »</p> <p>« on s'adresse à des profils d'usagers de l'ingénierie (le bureau d'études), dont le cœur de métier est l'invention ; or, un retour des ingénieurs est qu'ils se sentent bridés et ont le sentiment que cela les gêne dans leur création »</p> <p>« le PLM est un atout car il libère l'esprit pour se concentrer justement sur le cœur de métier : la création »</p> <p>« fortes réticences vis-à-vis : des nouvelles</p> |

| | | |
|---|---|---|
| <p>effectivement faire »</p> <p>« il y a une grande marge de créativité, de manœuvre »</p> <p>« les ingénieurs ne sont pas cantonnés à un sous-ensemble et à une brique du circuit, ils ont tous une vision globale, ce qui est bon »</p> <p>« les machines sont là uniquement pour la fabrication, elles viennent en aval, en amont »</p> <p>« les métiers, chez nous, sont laissés libres, ce qui marque une grande différence avec les secteurs de l'automobile et de l'aéronautique, par exemple »</p> <p>« l'entreprise déploie actuellement une version plus intégrée de l'outil que ce qui existait avant, dans une volonté de standardisation des produits, et qui va faire office de configurateur : c'est à dire que les ingénieurs vont pouvoir faire « le marché » sur un ensemble de petits produits préétablis, ce qui représentera d'importants gains de temps »</p> | <p>mêmes règles, les mêmes processus »</p> <p>« avant tout était national, ce qui engendrait d'énormes problèmes de conversion ; le PLM apporte une harmonisation, une cohésion, car chacun partage les mêmes règles et processus, l'intégration est donc favorable »</p> <p>« c'est le même principe que pour les SAP : chacun avait le sien et maintenant on converge vers une solution unique de type ERP »</p> <p>« le PLM réduit les durées, l'objectif est le prototypage numérique, avec moins de temps et de coût »</p> <p>« constat d'échec sur les 5-10 dernières années : les 2 causes principales ont été la mauvaise prise en compte de l'humain ainsi que des processus en entreprise »</p> <p>« les jeunes ingénieurs ont totalement intégré l'usage des plateformes et des outils numériques, et appréhendent plus facilement l'environnement</p> | <p>activités générées et du numérique »</p> <p>« il s'agit de démontrer aux usagers que ces plateformes apportent en fait un confort, permettent de faire plus, d'aller plus loin »</p> <p>« ces plateformes seront de plus en plus dynamiques et interactives, adoptant le modèle des réseaux sociaux »</p> <p>« les managers devront admettre qu'ils n'ont pas la maîtrise des communications et des données »</p> <p>« l'avantage est la parallélisation des tâches, la réduction des cycles et des coûts »</p> <p>« ces plateformes engendrent de nouvelles contraintes mais sont aussi une véritable opportunité à prendre plus de responsabilité dans le processus de cycle du produit »</p> <p>« passés les premiers obstacles (réticence quant à la nouveauté, perception de tâches supplémentaires, freins liés au numérique...) l'usage de ces plateformes libère en fait les usagers des tâches subalternes »</p> <p>« elles nécessitent néanmoins, au sein de l'entreprise, une remise en cause des méthodes de travail pour que les bénéfices soient effectifs »</p> |
|---|---|---|

| | | | |
|---|--|---|--|
| | | <p>des PLM ; les plus anciens ont plus de difficulté »</p> <p>« toute action déclenchée sur la plateforme impacte l'ensemble »</p> <p>« c'est finalement un gain de temps »</p> | |
| + | | <p>« l'entreprise étendue : tous les partenaires utilisent le même outil ; par exemple Airbus avec les entreprises partenaires Safran »</p> <p>« l'entreprise étendue et la conception en réseau introduit une concentration au niveau des métiers (cloisonnement) avec une expertise qui part vers le partenaire et que l'entreprise perd peu à peu ; par exemple Safran a toute l'électronique d'Airbus, qui du coup n'a plus aucune expertise dans ce domaine ; on en arrive même à inverser les rapports de force entre l'entreprise et les « sharing partners »</p> <p>« Dassault System, c'est un peu le Google de la conception industrielle »</p> | <p>« la question de l'interfaçage entre les plateformes est d'actualité ; par exemple, entre Airbus et Dassault Aviation »</p> <p>« y a t il un risque de monopolisation de l'activité ? oui, c'est possible ; par exemple, Airbus perd peu à peu son savoir-faire, ses compétences en matière de conception »</p> |

| | M.V., ancien expert radar, retraité, entretien 7 | K.J., responsable de cours dans une grande école d'ingénieurs, entretien 8 | F.L., ergonome, entretien 9 | S.F., consultant PLM, entretien 10 |
|--|---|--|--|--|
| Caractéristiques perçues de l'outil d'aide à la conception | <p>« le rôle des instruments numériques dans les activités de conception est d'installer une compatibilité des systèmes »</p> <p>« de multiples sous-ensembles et composants qui doivent être inter-opérationnels »</p> <p>« l'intégration »</p> <p>« développer et maintenir des systèmes nécessite des normes »</p> <p>« les interactions sont normalisées »</p> <p>« la plateforme inertie se doit d'intégrer toutes les données, les analyser et les rendre accessibles pour l'action »</p> <p>« des protocoles (plutôt que des normes) de formatage de fichier sont définis pour intégrer l'ensemble des fichiers et traitements de l'information »</p> <p>« chaque entité est définie ainsi que chaque variable et sous quel format informatique (format entier, réel, double précision...) ; chaque partenaire ainsi défini produit le langage commun très prégnant dans l'intégration »</p> | | <p>« les ingénieurs travaillent avec Delmia »</p> <p>« ils font tout avec »</p> <p>« il s'agit de simuler l'activité future en se basant sur des modélisations 3D »</p> <p>« ils s'en servent pour concevoir le produit et anticiper l'activité des ouvriers »</p> | <p>« la conception n'est qu'une petite partie d'un PLM »</p> <p>« un PLM a tendance à casser les métiers en silo »</p> <p>« les processus métiers font l'objet d'une cartographie en termes de modèles sémantiques des concepts : on met les métiers sous forme d'ontologies ; à partir de cette carte on construit le PLM pour de fait soutenir les différents procès de l'activité »</p> <p>« le PLM coordonne tous les métiers et sous-ensembles de métiers, il est une colonne vertébrale »</p> <p>« il cherche à relier les concepts métiers entre eux »</p> <p>« il y a différents éditeurs de PLM : les pure players,</p> |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | <p>« le protocole doit être fixé et figé, il servira de cadre pour l'ensemble des concepteurs »</p> <p>« les plateformes ne sont pas une nouveauté »</p> <p>« ce qui a été diffusé c'est un Catia vide mais très puissant ; l'outil peut accueillir différents types de conception »</p> | | | DS (très prêt à usage, le SAP du PLM), Siemens (le pâte à modeler du PLM), PTC (l'entre deux) ; les ERP, comme SAP, BAN ; Oracle » |
| Phases perçues du processus de conception, impressions | <p>« il faut séparer les phases de conception et d'intégration ; le maître d'œuvre rassemble les différentes conception »</p> <p>« la conception est un module métiers ; chacun est sur un module métier (radar, télécoms, électronique matériel...) »</p> <p>« la conception de projet définit les différents sous-ensembles et réalise les différents compromis de conception »</p> | <p>« l'évolution de l'organisation va vers la standardisation de la conception industrielle »</p> | <p>« phase 1 : phase amont ; simulation par les concepteurs sur Delmia, puis phase 2 : phase d'assemblage final (physique) »</p> <p>« l'équipe projet interagit avec le fournisseur et d'autres équipes projet (toujours avec Delmia) »</p> | <p>« un chef de projet dit que les ingénieurs avaient finalement bien intégré l'environnement PLM avec team center, au point de ne plus pouvoir évoquer leur métier autrement qu'au travers des instruments définis par le PLM ; leur métier était devenu, pour eux, ce qui figurait sur les écrans »</p> |
| Effets perçus de l'outil, négatifs ou positifs et raisons de ces intuitions | <p>« on se dote d'un langage commun, de référentiels spécifiques : des interfaces système par système, la quantité physique... »</p> <p>« la vraie question est : partage t-on les connaissances métier ou</p> | <p>« il faut nuancer l'analyse en faisant la différence entre grandes entreprises et PME ou même start up »</p> <p>« en PME</p> | <p>« il y a un écart entre la simulation et la pratique pour l'activité de construction physique »</p> <p>« le problème</p> | <p>« on peut constituer une bibliothèque d'exigences dans laquelle on va puiser à n'importe quel moment du processus</p> |

| | | | |
|--|---|---|--|
| <p>des connaissances inventives ? »</p> <p>« la conception n'est pas directement affectée »</p> <p>« une partie exploitation : c'est l'automate ; l'activité de conception se développe sans se préoccuper du travail de l'automate »</p> <p>« l'innovation ouverte en conception c'est du bidon »</p> <p>« Catia (Dassault) a permis de mettre de la cohérence dans la visualisation du système en cours d'élaboration »</p> <p>« les usines ne sont pas robotisées à 100%, ce n'est pas possible ; par contre on s'aperçoit que les gens sont devenus des robots, ceux qui n'ont pas les connaissances assez poussées : on a déclassé les ingénieurs en techniciens, les techniciens en ouvriers, les ouvriers en robots, et ça va continuer »</p> <p>« réduit on le nombre d'experts en connaissance (dans des domaines de connaissance) ? oui, en fait on ne cherche pas à avoir des gens experts, on recherche des personnes dociles, un ingénieur peut être utilisé pour la réalisation de tâches simples et pas forcément en conception »</p> <p>« pourtant la conception a besoin de connaissances et de</p> | <p>l'ingénieur fait tout, il se débrouille en adaptant la conception aux méthodes disponibles ou inversement en faisant l'effort d'évoluer dans ses méthodes pour répondre aux spécifications, il y a moins de spécialisation »</p> <p>« toutes les voitures se ressemblent, la raison étant l'utilisation de maquettes numériques qui sont toutes formatées de la même manière (Dassault Systèmes, Siemens,...) »</p> <p>« la réutilisation de modules n'empêche pas la créativité, si les modules sont standardisés, par contre leur combinaison délivre des objets originaux »</p> | <p>c'est que ça colle pas avec des contraintes qui ne s'observent que dans l'activité »</p> <p>« il faut réalimenter en concret »</p> | <p>produit »</p> <p>« cela peut assouplir l'approche un peu trop linéaire de la conception que l'on peut avoir dans l'industrie »</p> <p>« les exigences sont documentées, les métiers également »</p> <p>« l'exercice est réussi lorsque la recherche d'informations est facilitée, lorsque l'engagement dans un projet peut s'appuyer sur une documentation robuste car équipée de liens qui ont été formalisés entre les différents documents, donc entre les différents métiers »</p> <p>« deux regards sont portés sur le PLM : c'est un bloqueur de conception, il entrave trop les initiatives, ou c'est un référentiel qui met de l'ordre et libère des contraintes de recherche d'information et allège les temps d'harmonisation »</p> |
|--|---|---|--|

| | | | |
|---|--|---|--|
| | <p>métiers construits dans la durée »</p> <p>« les instruments ne sont que des accessoires »</p> | | |
| + | <p>« avec les sous-traitants on démarre souvent par confier la fabrication puis on leur confie une partie du développement de la conception »</p> <p>« les questions de fond sont : les partenaires ou concurrents sont-ils prêts à échanger de la connaissance vitale ? c'est une question de pouvoir »</p> <p>« l'innovation ouverte en conception, c'est du bidon »</p> | <p>« on va vers l'expérience utilisateur et la personnalisation fine des produits »</p> | <p>« il existe des outils facilitant un interfaçage de PLM différents (PLCL, Pelib, Mandate, Step) mais ils sont très complexes »</p> <p>« les relations dans un écosystème outillé par un PLM ? un PLM est une expression neutre d'un ensemble d'activités, différents partenaires s'insèrent dans cet ensemble d'activités, chaque objet du PLM (objets métiers, objets exigences...) fait l'objet de droits, notamment droit d'accès à la documentation ; après tout dépend des relations de pouvoir et des pratiques industrielles »</p> |