



HAL
open science

Les ingénieurs de conception industrielle dans la révolution numérique

Claude Paraponaris, Marion Cina, Valérie Campillo-Paquet

► To cite this version:

Claude Paraponaris, Marion Cina, Valérie Campillo-Paquet. Les ingénieurs de conception industrielle dans la révolution numérique. [Rapport de recherche] 2018-38, Laboratoire d'économie et sociologie du travail (LEST); Association pour l'emploi des cadres (APEC). 2018, pp.21. halshs-01930374

HAL Id: halshs-01930374

<https://shs.hal.science/halshs-01930374v1>

Submitted on 21 Nov 2018

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

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

–LES INGÉNIEURS DE CONCEPTION INDUSTRIELLE DANS LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE–

LES ÉTUDES DE L'EMPLOI CADRE

N°2018-38

NOVEMBRE 2018

— Partenariat de recherche avec le Laboratoire d'Économie et de Sociologie du Travail, CNRS (Claude Paraponaris, Marion Cina et Valérie Campillo)

La révolution numérique impacte nombre d'activités économiques. Il ne s'agit pas d'un choc externe venant affecter les organisations en place mais bien mieux du développement d'une véritable technologie, à savoir une réflexion et une pratique en interaction permanente destinées à optimiser le fonctionnement même des organisations. Dans l'industrie, les activités de conception tirent bénéfice de cette révolution, et les métiers de l'ingénierie-R&D centrés sur le travail de conception sont réorganisés autour d'une vision et d'une approche plus systémique et collaborative. Ceci conduit les ingénieurs de conception à questionner leur position au sein de systèmes de soutien à la création qui, comme les plateformes numériques de type PLM (*Product Lifecycle Management*), tendent vers un certain automatisme. C'est la conclusion de ce travail de recherche à dominante qualitative, réalisé par le Lest dans le cadre d'un partenariat avec l'Apec.



–SOMMAIRE–

03 Introduction

–

1 LES INGÉNIEUR-E-S DE CONCEPTION DANS LA COMPÉTITIVITÉ INTERNATIONALE

–

04 Les enjeux de la conception industrielle

04 La conception : une fonction en charge de créativité

05 Des outils de conception nourris d'informatique

06 Des outils au service d'un modèle d'organisation

07 Le rôle structurant des éditeurs de logiciel

–

2 L'ACTIVITÉ DE L'INGÉNIEUR-E DE CONCEPTION

–

08 Place et rôle de l'ingénieur de conception

08 Différents modèles de conception pour différentes activités de travail

10 Les processus de conception et leur régulation

12 Les outils numériques et l'expérience vécue des ingénieurs

14 Des situations de travail finalement complexes

14 La profondeur du travail cognitif

–

3 PERSPECTIVES POUR L'INGÉNIERIE EN CONCEPTION : VERS DE NOUVELLES FAÇONS DE TRAVAILLER ?

–

15 Vers une domination des plateformes ?

16 Enjeux de centralisation documentaire

17 Enjeux de haute fiabilité

17 Le devenir des métiers dominé par une compétence d'attention ?

–

4 MÉTHODOLOGIE

–

La conception consiste à mettre au point des produits, des services et des procédés qui présentent une utilité marchande pour des clients et des entreprises. Son activité s'intègre souvent dans des projets d'innovation, mais les actes de conception sont parfois destinés à reproduire ou prolonger des objets et services qui existent déjà.

La conception témoigne d'une capacité de création : elle se nourrit des avancées scientifiques et techniques tout en développant des concepts au contact des orientations commerciales d'une époque, et plus spécifiquement des orientations économiques définies dans des secteurs et organisations particuliers.

Cette activité reflète la puissance d'une économie. Son développement est inséparable de la compétitivité d'un secteur d'activité, d'un écosystème ou d'un territoire. Aussi les professionnels chargés de développer ces activités de conception, c'est-à-dire les ingénieurs, sont titulaires d'un diplôme préparé en école spécialisée. Comprendre l'activité de ces cadres de la conception dans la révolution numérique conduit à adopter une triple perspective.

Il s'agit tout d'abord de ne pas dissocier l'étude des dynamiques professionnelles de celle des organisations économiques qui les encadrent. Il est par ailleurs nécessaire de conduire cette analyse en liant l'étude de la créativité à celle du contrôle économique exercé au sein des chaînes de valeur. Enfin, dans une troisième perspective, il est impératif d'intégrer le plus possible les enjeux et les effets des processus de numérisation des activités. La révolution numérique affecte nombre d'activités économiques. Il ne s'agit pas d'un choc externe venant affecter les organisations en place mais bien mieux du développement d'une véritable technologie, à savoir une réflexion et une pratique en interaction permanente destinées à optimiser le fonctionnement des organisations.

Dans ce contexte, quelle sera l'activité des futurs ingénieurs assistés dans leurs activités de nombreux outils numériques ? Cette question intéresse de nombreux acteurs économiques et sociaux impliqués dans le développement des activités d'innovation et la transformation des professions d'ingénierie. Elle est au cœur de ce travail de recherche (voir encadré méthodologique).

– LES INGÉNIEUR·E·S DE CONCEPTION DANS LA COMPÉTITIVITÉ INTERNATIONALE –

– LES ENJEUX DE LA CONCEPTION INDUSTRIELLE

Les activités de conception occupent une place importante dans une économie puisqu'elles donnent naissance aux produits et services qui vont renouveler les marchés de consommation et modifier les termes de la concurrence. Lorsque le processus de création de nouveauté rencontre une adhésion durable en terme commercial, on le qualifie de processus d'innovation.

Innover est devenu un impératif économique qui vise à promouvoir la compétitivité de secteurs d'activité, de nations et de zones économiques.

La conception se nourrit de créativité, le terme « créativité » est devenu omniprésent dans les expressions de l'économie globalisée. La créativité exprime le mouvement, le dépassement des cadres sociotechniques et économiques, et permet finalement le développement de l'innovation. Depuis quelques années, les regards se tournent vers les secteurs reconnus comme des creusets de créativité : la grande cuisine, l'architecture et les pratiques artistiques de manière plus générale. Et le défi est lancé à l'industrie : innover ou disparaître, faire preuve de créativité ou bien rester cantonné aux activités à faible valeur ajoutée qui sont concurrencées par les économies au sein desquelles le coût de la main-d'œuvre est beaucoup plus réduit.

La créativité est présentée comme le fait de générer ou de reconnaître des idées nouvelles, des alternatives, ou des possibilités susceptibles de contribuer à la résolution des problèmes¹. C'est également la capacité à exprimer des pensées inhabituelles, à générer des jugements perspicaces, à introduire des changements fondamentaux dans notre culture, à réaliser des découvertes importantes, et à expérimenter le monde de façon « fraîche et originale »². Mais c'est aussi la capacité à élaborer des productions adaptées aux situations et présentant une certaine utilité ou de la valeur.

Autrement dit, si la créativité peut se développer de manière assez autonome dans des espaces limités, tel n'est plus le cas lorsqu'elle se trouve associée à des activités de conception qui répondent à des contraintes de valorisation. Dans l'univers industriel, ces contraintes se déclinent au moyen de deux enjeux : la générativité et la robustesse³. La générativité exprime le renouvellement ou simplement l'amélioration des objets existants. Elle désigne la capacité des techniques à produire des propositions conceptuelles qui se distinguent des solutions existantes et des standards du domaine considéré. La robustesse exprime plutôt la continuité et la persistance des produits de la créativité. Dans l'univers de la conception, elle concerne la capacité des techniques à produire des propositions qui résistent aux variations de contexte.

– LA CONCEPTION : UNE FONCTION EN CHARGE DE CRÉATIVITÉ

Créativité et conception sont ainsi organisées suivant des objectifs économiques. Une stratégie fondamentale consiste à réutiliser des connaissances à travers un raisonnement analogique⁴. La réutilisation est typique des concepteurs professionnels. Les pratiques des entreprises consistent en effet à accumuler l'expérience dans des bases de données documentaires, et à tenter de standardiser certaines méthodes de travail.

Il existe une grande variété de modes d'organisation de la conception industrielle. Certes la conception doit se nourrir de créativité, mais il s'agit davantage d'un processus de coopération entre professionnels que de créativité d'individus isolés. Dès les débuts de la grande industrie, l'activité de conception a bien été établie en ces termes de coopération et d'action collective.

1. Franken, R., (2001), *Human motivation*, Pacific Grove, CA, Brooks / Cole.

2. Csikszentmihayli, M., (1996), *Creativity : flow and the psychology of discovery and invention*, New York : Harper Colins. Cité par Bonnardel, N., (2006), *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*, Marseille : Solal. p. 21.

3. Hatchuel, A., Le Masson, P., Reich, Y. et Weil, B. (2011), *A systematic approach of design theories using generativeness and robustness*. Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design, 2, p. 87-97.

4. Visser, W., (2009), « La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations », *Le travail humain*, vol. 72, p. 61-78.

Cette coopération prend essentiellement deux formes :

- La coconception représente les phases de projet au cours desquelles les partenaires se rassemblent (en présentiel ou à distance) afin de résoudre conjointement un problème. Elle est plutôt effective en début de projet dans les moments de créativité ainsi qu'en fin de projet.
- La conception distribuée permet de traiter des aspects liés à la coordination temporelle des ressources et des tâches⁵. Celle-ci aurait plutôt tendance à se développer en tant qu'intendance des phases de créativité en cours de projet.

Dans ce cadre organisationnel, les défis sont nombreux et souvent délicats à rassembler. L'un, par exemple, vise à privilégier les contraintes économiques dans la conduite de l'innovation. Dans ce cas, la vitesse de conception et la maîtrise des budgets seront des objectifs prioritaires. Un second consiste à préférer les ambitions de créativité des ingénieurs et les contraintes qu'ils se donnent en termes d'originalité et de fiabilité de leurs œuvres.

Ces deux possibilités d'organisation semblent très opposées, mais elles sont pourtant inscrites toutes deux au sein de l'activité quotidienne en conception. La difficulté de cette organisation provient du fait que les ingénieurs évoluent dans deux mondes assez contradictoires :

- Le monde des objets qui est attaché au métier du concepteur et à son domaine de connaissances. Ce monde est structuré en sous-systèmes, et contenu dans un espace fini et déterminé par la nécessité de lever l'ambiguïté.
- Le monde des processus qui est caractérisé par les dimensions humaines de l'activité des concepteurs. Ce monde se doit d'être peu hiérarchisé afin de faciliter les interactions et d'avoir la capacité à gérer l'ambiguïté⁶.

DES OUTILS DE CONCEPTION NOURRIS D'INFORMATIQUE

À partir des années 70, l'outil informatique a été introduit dans les bureaux de conception. Très pratique,

la CAO (conception assistée par ordinateur) permet non seulement le dessin de l'objet créé, mais englobe également les techniques pertinentes afin d'y parvenir. Cette nouveauté dans le monde des bureaux d'étude a considérablement réduit les délais de production et amélioré les rendements des industriels. Désormais les maquettes numériques permettent aux concepteurs de toujours être reliés à un serveur informatique et de partager l'avancement de leurs travaux.

La maquette numérique supporte assez efficacement l'organisation par projet. Elle 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. Le processus de conception vise ainsi l'intégration.

Cette intégration prend aujourd'hui la forme du PLM (product lifecycle management). Cet outil informatique très sophistiqué répond à l'objectif de maîtrise de la totalité des opérations d'élaboration de la valeur offerte au client. Il utilise pour cela toutes les technologies numériques disponibles afin de rendre compatibles les bases de données relatives aux produits/services et aux méthodes. Le PLM est généralement installé par des entreprises qui souhaitent réaliser l'intégration des données gérées par plusieurs prestataires afin de réduire les temps de collecte et de traitement de l'information.

Désormais, les processus industriels de conception se déroulent massivement via des suites logicielles de conception numériques qui sont devenues indispensables pour la réalisation de la quasi-totalité des produits manufacturés. La capacité de ce dispositif numérique réside dans la rapidité et la précision de la mise à disposition des informations relatives au produit en cours d'élaboration. Il faut pour cela adopter des principes de sélection des données et de mise en relation de multiples bases de données. On peut citer par exemple celles des organismes de normalisation et de certification tout autour du monde, celles des donneurs d'ordre, sous-traitants et fournisseurs, celles des différents prestataires d'analyses documentaires.

5. Darses, F., (2009), « Résolution collective des problèmes de conception », *Le travail humain*, 72, p. 43-59.

6. *Idem*

–

DES OUTILS AU SERVICE D'UN MODÈLE D'ORGANISATION

–

Les outils utilisés pour l'aide à la conception s'inscrivent dans une logique de conception séquentielle héritée du taylorisme. Cette logique consiste à établir un principe mécanique d'enchaînement des étapes de conception. Le principe à retenir est celui de la priorité des premières étapes dans le déroulement des suivantes pour atteindre une conception finale qui devra être la plus fidèle possible aux spécifications définies en amont du processus. De fait, il s'agit d'un choix particulier de comportement face à l'incertitude et au degré de liberté en cours de projet.

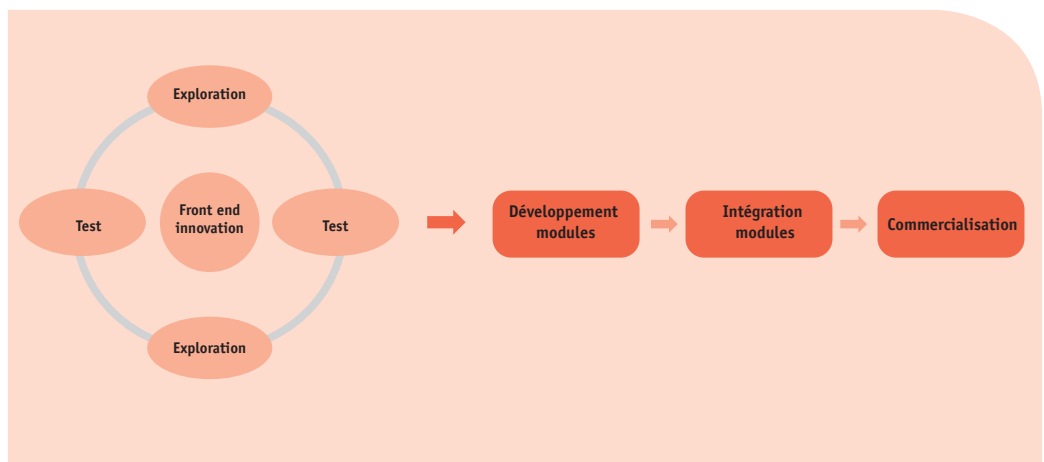
Cette modélisation est en fait issue d'une longue tradition d'ingénierie visant à améliorer, fiabiliser et

systematiser l'élaboration de produits⁷. Elle a démontré un grand nombre d'avantages, a été très largement diffusée et s'est imposée. Sous sa forme séquentielle, elle permet d'ajouter à la demande des étapes supplémentaires. La séquence est la suivante : définition fonctionnelle du besoin – définition conceptuelle – définition physique – définition détaillée.

Une phase consacrée à la créativité a été instituée en amont du processus, c'est le creative front-end. La seconde phase est celle dite « du développement » qui est désormais admise par les spécialistes du domaine. Ainsi, deux univers ont été institués en conception : un univers de créativité ouvert aux imaginaires des utilisateurs comme des concepteurs, et un univers plus standardisé de développement de conception. Créativité et développement du produit sont ainsi traités comme deux phases distinctes (**figure 1**).

7. Pahl, G., Beitz, W., (2007), *Engineering design : A systematic approach*. 3rd edition. London : Springer London Ltd.

– Figure 1 –
Les deux univers de la conception



Source : D'après Arrighi⁸

De cette manière, une division du travail se met en place au sein des bureaux d'étude, mais aussi et surtout entre entreprises qui fournissent des méthodes, et entreprises qui les utilisent. Les processus de conception orchestrent des professions, des connais-

sances et des techniques variées grâce à des outils informatiques puissants qui garantissent le contrôle, la qualité, ainsi que la maturation des concepts au cours de leur développement⁹.

8. Arrighi, P., (2014), *Modèles d'intégration des designers créatifs dans les processus de conception industriels*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, p. 49
9. Roy, R., (1993), « Case studies of creativity in innovative product development », *Design studies*, 14, p. 423-443.

LE RÔLE STRUCTURANT DES ÉDITEURS DE LOGICIEL

La technologie de la maquette numérique a imposé un nouveau langage physico-morphologique avec les représentations en 3 puis 4 dimensions. Aujourd'hui, la diffusion des technologies PLM se réalise grâce à la précision atteinte par le langage informatique appliqué à une conception très détaillée des multiples éléments des activités et produits.

Les systèmes informatiques qui équipent ces technologies PLM sont le fait des éditeurs de logiciels. En France, le secteur du logiciel connaît une croissance régulière de son chiffre d'affaires de plus de 10 % par an¹⁰. Le secteur a créé plus de 7 000 postes en 2016 et les éditeurs prévoyaient à 85 %, la poursuite de l'augmentation de leurs effectifs en 2017. La France abrite 74 % des effectifs dédiés aux activités directement liés à l'innovation dans le logiciel.

Le leader français, et deuxième européen après SAP, est Dassault Systèmes. Issue de Dassault Aviation, cette structure développe la maquette numérique au début des années 90. Près de trente ans plus tard, le groupe dispose d'un effectif de près de 14 000 personnes hautement qualifiées. Près de 6 000 ingénieurs et chercheurs mettent au point des outils d'aide à la conception (conception 3D, maquettisme numérique 3D, solutions pour la gestion du cycle de vie d'un produit) pour les domaines industriels (aéronautique et défense, ingénierie et construction, énergie, biens de consommation, etc.), l'architecture, l'urbanisme, la banque et les sciences de la vie.

La maquette numérique est devenue incontournable : elle permet de gérer les documents de conception avec une grande précision. Elle autorise la réduction du nombre de prototypes physiques, et de fait le cycle complet de développement des produits. Par exemple, pour le développement du Falcon 7X élaboré par Dassault Aviation, les outils de simulation et de conception fournis par Dassault Systèmes ont permis

une révolution en termes d'apprentissage. Alors qu'il fallait développer cinquante exemplaires de l'appareil pour atteindre un niveau élevé de qualité, les outils numériques permettent d'atteindre le même niveau de qualité dès le premier exemplaire.

Une nouvelle époque industrielle a démarré avec la diffusion de ces outils numériques de simulation. Elle se caractérise par la capacité de simuler des systèmes complexes multi-utilisateurs en disposant rapidement des informations pertinentes, et en rendant acceptable un contrôle systématique des activités et des tâches en cours de réalisation.

L'enjeu est devenu très important. Chez Dassault Systèmes, on envisage d'associer à l'objet de la conception l'ensemble des contraintes et des savoirs. L'enjeu consiste à faire de la maquette numérique un véritable référentiel de connaissances. L'informatique n'est plus employée seulement pour faire des plans, mais devient le moyen de fabriquer et de capitaliser des objets métiers. Par exemple, « des maquettes numériques basées sur la mécanique des fluides permettent de simuler les essais en vol avec une telle précision que l'on pourrait tout certifier par le numérique, même si la réglementation ne le permet pas encore. Dans l'automobile, les crash tests sont déjà remplacés par de la simulation, sauf pour le test final de l'Euro NCAP¹¹ ».

La maquette numérique renforce la possibilité de coordination des ingénieurs autour de l'objet. De surcroît, il est possible d'associer des savoir-faire aux objets numériques qui circulent entre les différentes entreprises. Cette circulation n'est toutefois pas entièrement fluide en raison des questions de propriété intellectuelle et industrielle qui se traduisent par des accès réservés aux différents segments des plateformes logicielles. Malgré ces réserves, on peut s'interroger sur cette structuration de la conception industrielle. Quel est l'impact de la numérisation en termes d'autonomie de conception des différents acteurs ? Comment se traduit cette organisation en termes de perspectives professionnelles des ingénieurs ?

10. Syntec Numérique (syndicat professionnel des métiers et des industries du numérique), Note de conjoncture, janvier 2018.

11. Daloz, P., (2010), « Concevoir les outils du bureau d'études : Dassault Systèmes, une firme innovante au service des concepteurs », *Entreprises et histoire*, vol. 58, p. 150-164.

– L'ACTIVITÉ DE L'INGÉNIEUR·E DE CONCEPTION –

PLACE ET RÔLE DE L'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

L'ingénieur de conception occupe une place intermédiaire dans la chaîne de valeur d'une organisation. Il se place entre les personnels exclusivement dédiés aux activités de recherche et développement, et les ingénieurs qui se consacrent aux processus de fabrication et de service. Exercer en tant qu'ingénieur exige un titre qui qualifie techniquement, mais aussi socialement l'individu salarié.

Une vaste population d'ingénieurs spécialisés dans l'informatique a pris place dans l'économie française. Si au cours des trente dernières années, le nombre d'ingénieurs et cadres de l'industrie a presque triplé (en 2013, 274 000 personnes exercent cette profession), quant à lui, le nombre d'ingénieurs de l'informatique a été multiplié par huit, passant de 43 000 emplois en 1983 à 356 000 en 2013. C'est l'une des professions dont l'expansion a été la plus forte depuis le début des années 80¹².

Les ingénieurs constituent peut-être aujourd'hui une population moins homogène que celle des années 80. Des segmentations internes à la population se sont affirmées. Elles sont d'origine sociale et technico-économique avec le développement des processus numériques depuis les années 90. Une différenciation des rôles des ingénieurs en conception présente des arguments objectifs en termes d'organisation avec la distinction front-end et développement.

L'époque contemporaine invite à penser non pas l'ingénieur de conception, mais les ingénieurs de conception. Cette époque est celle de la codification des savoir-faire, non seulement des savoir-faire des ouvriers, employés et techniciens, mais aussi des concepteurs eux-mêmes. La codification a tendance à imposer une nouvelle régulation des systèmes productifs¹³. Il s'agit d'une augmentation de l'influence de l'encadrement sur une partie des ingénieurs dès lors considérés comme des « développeurs ». Cette époque a en fait démarré avant la révolution numérique. Elle fait jouer à la technologie une fonction de contrôle. Ainsi attitudes et comportements des ingénieurs ne sont pas toujours semblables.

DIFFÉRENTS MODÈLES DE CONCEPTION POUR DIFFÉRENTES ACTIVITÉS DE TRAVAIL

Le travail de l'ingénieur est organisé de différentes manières en fonction de la taille de l'entreprise et donc du degré de standardisation de l'activité. Les caractéristiques du produit, le volume d'activité ainsi que la variété des activités influent également sur les modalités d'organisation du travail. D'autres facteurs influencent cette organisation, tels que l'âge de l'entreprise, le climat social et le type d'écosystème au sein duquel l'entreprise se développe.

En fonction du volume d'activité, des caractéristiques du produit et de la variété de l'activité de l'établissement, plusieurs modèles d'organisation structurent les activités de conception.

Dans la conception électronique de petite série (type 1), il est fréquent de répondre à des demandes d'équipement de clients singuliers ou bien d'appels d'offre. La demande est prise en charge par des architectes-produit puis par des chefs de projet. Les architectes sont en amont de la conception. Ils définissent la réponse à l'appel d'offre ou au client en établissant un cahier des charges opérationnel. Les ingénieurs dédiés à la conception redéfinissent ce cahier des charges et déterminent sa faisabilité. Ils sont organisés par pôles métier et travaillent accompagnés d'un chef de projet. Ce travail de conception peut s'étalonner sur deux années. Il existe trois types d'ingénieur dans l'électronique de petite et moyenne série : le designer plutôt pluridisciplinaire, le chef de projet et l'architecte-produit.

Dans l'électronique, il existe des productions de plus grande série de produits davantage standardisés (type 2). Dans ce contexte, chaque ingénieur détient une spécialité et son domaine d'action est plus réduit. Dans ce cas, la conception est découpée en lots de projets ou sous-ensembles, le tout est placé sous la direction d'un responsable d'intégration. Les multiples sous-ensembles doivent être interopératoires et 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.

12. Dares (2017), *Comment ont évolué les métiers en 30 ans*, document de travail, coll. « Analyses », n° 003.

À noter que selon la dernière enquête de la Société des Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF, 2017), la France comptait en 2016, 809 000 ingénieurs en activité dont 37 % dans l'industrie. Ce qui donne un total d'ingénieurs industriels de 299 330, soit une augmentation modérée par rapport à 2013.

13. De Terssac, G. (1992), *Autonomie dans le travail*, Paris, Presses universitaires de France.

La production de produits complexes (type 3) se distingue par le nombre très élevé de composants (1 à 10 millions pour un bateau, 100 000 pour un avion, 10 000 pour une voiture¹⁴). La complexité réside dans les options très nombreuses qui existent afin de délivrer le produit final. En corollaire, c'est également le nombre de partenaires et la diversité de leurs relations qui se posent comme données complexes de la conception. Dans l'industrie automobile, 85 % des 3,7 milliards d'euros nécessaires pour concevoir et industrialiser la voiture dans les années 90 étaient déjà assurés par des fournisseurs extérieurs¹⁵. Dans l'aéronautique, les premiers exemplaires du 777 mobilisaient 10 000 ingénieurs chez Boeing et 100 000 chez les différents partenaires. Le nouveau modèle Dreamliner 787 est réalisé à 30 % en interne.

Ces quelques chiffres permettent de situer l'essor de la notion d'écosystème et d'innovation ouverte : de multiples partenaires sont requis au moment même où les grandes firmes se sont fortement bureaucratisées et sont parfois devenues moins efficaces dans l'activité d'innovation.

Dans ce cas, l'activité de conception est placée dans un enjeu de réutilisation industrielle. Toyota est souvent cité en exemple en matière de standardisation des composants élémentaires qui sont agencés, puis réagencés en fonction des programmes d'industrialisation. Chez Toyota, les bureaux d'étude sont asservis à la production. Ce qui revient à associer les référentiels métiers aux bureaux des méthodes, à la maintenance et au service des ventes. De son côté, PSA atteint un taux de réutilisation de 70 % des composants d'un nouveau modèle au suivant. Ce résultat provient de la politique de plateformes mise en œuvre dans les années 1990. C'est au moins 75 % des automobiles Peugeot et Citroën qui relèvent de trois plate-

formes (au moins 60 % de leur coût de revient est partagé). En 2012, PSA et General Motors ont conclu un accord de partage de plateformes. Selon l'un des responsables de la plateforme Excelcar du groupe PSA : « Avant, nous concevions un véhicule et le procédé de fabrication en découlait. Aujourd'hui, nous disposons de briques technologiques dont nous sommes sûrs qu'elles atteindront le niveau de performance souhaité. Nous voulons que les procédés ne soient plus une simple conséquence du produit, mais au contraire que ce soient eux qui mènent l'amélioration de la performance. »

Autrement dit, la conception de l'objet ne relève plus de l'univers de la créativité de quelques spécialistes du produit. C'est à partir des règles de conception, qui ont fait la preuve de leur robustesse, que l'on doit envisager la création de nouveaux objets. Cette robustesse va permettre de maîtriser les délais de conception et de développement.

Un quatrième type d'organisation de la conception se dégage avec la conception informatique (ou développement informatique, type 4). Ici, la différence se fait par la nature immatérielle du produit à concevoir, d'une part, et la dualité d'objectifs du numérique, d'autre part. Celui-ci étant à la fois outil de conception et objet à concevoir. Le processus de conception informatique diverge des processus de conception « matérielle » (bâtiment, aéronautique, automobile, électronique, mécanique) à plusieurs niveaux :

- La méthodologie de gestion du projet de conception, qui suit généralement un procédé de type « agile », mis en œuvre à travers des dispositifs numériques de travail collaboratif appropriés à cette démarche.
- L'absence de phase de fabrication.

14. Daloz, P., (2010) « Concevoir les outils du bureau d'études : Dassault Systèmes, une firme innovante au service des concepteurs », *Entreprises et Histoire*, 58, p. 150-164.

15. Midler, C., (1993), *L'auto qui n'existait pas, management des projets et transformation de l'entreprise*, Paris : InterEditions.

– Tableau 1 –
Les quatre types de systèmes de conception étudiés

	Conception électronique petite série	Conception électronique complexe	Production de produits complexes	Développement informatique
Exemple	Équipement électronique de taille réduite (détecteur)	Système électronique de commande dans un grand système (armement)	Avion, automobile, navire	Jeu vidéo, logiciel
Enjeu majeur	Gestion de portefeuille de commandes	Fiabilité de l'architecture d'intégration	Gestion coût-délai, réutilisation de modèles de conception	Maintien de l'agilité dans la génération de nouveaux concepts

LES PROCESSUS DE CONCEPTION ET LEUR RÉGULATION

La régulation des opérations de conception consiste à exercer diverses actions de correction sous forme d'ordre, de fourniture de services ou d'apport d'information. Chacun des types de processus de conception entretient ses propres règles. On peut cependant remarquer une forte convergence vers le modèle standard de conception articulant l'activité en deux niveaux aux compétences spécifiques.

Les processus de conception de type 1

Au début de la conception, des dessins de transistors sont réalisés, de plus en plus fréquemment à l'aide d'écrans. Des transistors qui sont prédéfinis à l'aide de schémas sont installés sur des cartes. Leurs tailles sont à définir pour chaque produit. Ils sont reliés entre eux au moyen d'un réseau électronique. Des logiciels spécifiques à l'électronique sont utilisés. Par la suite, c'est la résistance qui est définie, et finalement l'amplificateur finit par se réaliser automatiquement en fonction des données fournies en entrée. Une fois que le schéma est défini et que le circuit est schématisé, les ingénieurs le dessinent avec un autre logiciel qui va aider au dessin des masques et à la définition physique (les masques sont une traduction entre le schéma et la machine afin qu'elle puisse le créer et le graver sur un support silicium). Le circuit va nécessiter quelques mois de conception. L'ensemble du produit peut s'étirer jusqu'à deux années.

Lorsqu'ils se servent de ces outils d'aide à la conception, les ingénieurs 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 (gestion de la marge d'erreur).

La régulation du processus de conception est assurée par des revues de projet et des revues métiers, souvent dénommées *Stage Gate* (SG), photographies à l'instant t du projet. Ces revues permettent une prise de décision. Le SGO 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, une première estimation de la rentabilité est définie. 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, 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 de décision est préférée. En fait, l'architecte possède une très bonne visibilité de l'ensemble des produits réalisés 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 efficacité s'il existe 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* pour capitaliser l'expérience acquise.

Une entreprise de ce type peut gérer jusqu'à deux cents projets en parallèle. Beaucoup d'entre eux sont toutefois en phase industrielle, et tous les projets ne concernent pas des produits mais des procédés ou des machines utilisés par l'organisation.

Dans ce type de processus de conception, les ingénieurs bénéficient d'une marge de manœuvre importante et font ainsi souvent preuve d'initiative et de créativité. La collaboration est rendue plus aisée par une politique affichée de qualité des produits et de satisfaction du client, au détriment, parfois, de délais courts et de coûts moindres.

Les processus de conception de type 2

Pour ce type de conception, des plateformes sont souvent utilisées afin d'intégrer différents lots de conception. Des protocoles de formatage sont définis pour intégrer l'ensemble des fichiers de traitement de l'information. Chaque entité est définie ainsi que chaque variable avec un format informatique très précis. Chaque paramètre produit le langage commun qui est très prégnant dans l'intégration. Il s'agit d'un référentiel spécifique et d'un cadre rigoureux sur

lesquels l'accord de chacun est requis afin de réaliser l'intégration des différents sous-systèmes. On peut remarquer une externalisation croissante des activités de développement informatique auprès de prestataires de sous-traitance.

La conception est segmentée en deux parties : la conception des sous-ensembles électroniques et l'intégration.

L'intégration est réalisée à partir d'une structure d'accueil dénommée « infrastructure ». Il s'agit d'un automate d'assemblage de fichiers, autrement dit d'un environnement de développement logiciel. Cet environnement nécessite en moyenne cinq années de développement alors que les sous-ensembles de conception ne nécessitent que six mois.

L'infrastructure coûte donc très cher et de ce fait son propriétaire ouvre la structure d'accueil aux utilisateurs sans toutefois offrir ses modules métiers. La structure d'accueil est mise à disposition. Cela permet de couvrir l'investissement. Pour autant la firme propriétaire de la structure ne partage pas ses connaissances. C'est une logique 100 % propriétaire.

Deux groupes professionnels très différents sont ainsi mobilisés sur ce type de conception :

- De l'informatique lourde : Java, Python, C++, gestion de l'information ; pas de langage universel.
- De la conception adressée par des ingénieurs de métier (radar, télécoms, électronique matériel, etc.).

L'activité de conception des sous-ensembles se développe sans se préoccuper du travail de l'automate de la structure d'accueil. Les connaissances métiers représentent en fait 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.

Les processus de conception de type 3

Ce type de conception est certainement le plus encadré en matière de régulation des actions des ingénieurs. Le cadrage des activités s'opère au moyen de la gestion de projet qui est devenue systématique, de la standardisation des tâches de conception et de la

gestion de l'information au moyen de la maquette numérique et des suites logicielles. Les industries automobile et aéronautique servent de référence dans le domaine.

L'ingénieur évolue le plus souvent dans un cadre administratif composé de plusieurs rattachements. Ce cadre est déterminant dans la mesure où les coûts et les délais de développement de la conception sont devenus aussi importants que la qualité.

Le processus de conception est composé de deux niveaux. La créativité est développée en phase amont du processus comme indiqué dans la figure 1, c'est le creative front-end. Le second niveau est consacré au développement. Pour garantir la cohérence d'une telle organisation, des règles et des méthodes ont été instituées. Il existe des règles de gestion des projets relatives à la tenue des délais et aux principes de coordination des différents travaux. Il existe également des règles de gestion de la qualité technique des conceptions. Les méthodes sont définies par des ingénieurs spécialisés ainsi que par les logiciels utilisés. Ces méthodes s'adressent à la conception générale qui est en charge des sous-ensembles de produits ainsi qu'à la conception détaillée qui intervient sur le contenu de chaque sous-ensemble.

Plusieurs tendances se dessinent depuis une vingtaine d'années :

- Le cadre administratif de l'activité de conception est effectivement de plus en plus décisif. L'ingénieur doit répondre à plusieurs rattachements : le centre gestionnaire du projet de conception, le service qualité, la gestion de production, son bureau d'étude et le service des méthodes.
- Le découpage en deux niveaux est également celui qui distribue les travaux entre un donneur d'ordre tel qu'Airbus ou Dassault Aviation par exemple, et ses prestataires qui prennent en charge la conception détaillée. Cette distribution des activités peut interroger à propos des compétences entretenues par chacun des acteurs industriels.
- Trois catégories d'ingénieur ont été instituées : l'ingénieur-métiers qui est responsable des standards de conception, l'ingénieur-projet qui applique ces standards afin de concevoir et l'ingénieur-méthodes qui rédige les procédures de travail et contrôle leur application.

- Les travaux sont structurés d'une part par des projections numériques (maquette et simulation numériques) pour la conception détaillée, et par une intégration au sein de grands systèmes tels que les PLM pour la conception d'ensemble.

L'activité de l'ingénieur fait donc l'objet d'une régulation administrative très détaillée. Par exemple dans la grande industrie aéronautique, la coordination entre les différents travaux est prise en charge par des documents très nombreux¹⁶. La plupart de ces documents font désormais partie de la documentation des entreprises qui développent une offre de produits et de services. Les bureaux d'étude sont intégralement insérés dans les systèmes d'information de l'organisation productive.

Ce type de processus de conception n'appelle pas naturellement tous les ingénieurs à être créatifs. Nombre d'ingénieurs sont affectés à des tâches à réaliser suivant un calendrier imposé et un cahier des charges établi ; ils s'extraient souvent de toute forme de collaboration.

Les processus de conception de type 4

La conception informatique (ou développement informatique) utilise les méthodes dites « agiles ». Elles s'appuient sur une approche itérative et incrémentale de l'évolution du projet, permettant de mieux prendre en considération l'évolution des besoins du client ; celui-ci restant au centre du processus. C'est l'exemple de « Scrum », une méthode agile très utilisée. Cette approche modifie le processus métier lui-même, induisant l'utilisation de nouveaux outils numériques qui répondent à une nouvelle méthode de travail. De même la méthode agile introduit de nouveaux rôles dans la communauté des ingénieurs informatiques, voire de nouveaux métiers. C'est le cas des Product Owner (ou « directeur de produit ») et Scrum Master propres à la méthode Scrum, par exemple.

Les dispositifs numériques requis dans les processus de conception informatique sont pour le moment très éloignés des plateformes intégrées de type PLM, étant donné l'absence de phase de fabrication, et donc l'inutilité d'une « maquette numérique ». Néanmoins, la conception informatique s'appuie sur des environnements et plateformes de développement collaboratifs, intégrant l'ensemble du processus

agile, la documentation inhérente au projet, la gestion des versions et bien entendu une diversité d'outils de communication synchrones et asynchrones.

LES OUTILS NUMÉRIQUES ET L'EXPÉRIENCE VÉCUE DES INGÉNIEURS

C'est dans le type 3 que l'on rencontre le plus d'outils numériques qui visent l'intégration des différentes fonctions. On peut aujourd'hui affirmer que les données relatives aux facteurs qui affectent la valeur de l'objet conçu façonnent les processus de conception. Il faut distinguer les logiciels qui assistent la conception d'un objet des systèmes qui visent l'intégration des différentes bases de données relatives aux produits, processus et tâches diverses.

Jusqu'à une date récente, les entreprises qui collaboraient sur une conception commune rencontraient des problèmes importants d'interface entre leurs bases de données. Chaque partenaire entretenait sa propre base de données sous licence de logiciel spécifique. Lorsqu'un prestataire était engagé avec un éditeur différent, la cohésion ne pouvait pas être assurée. Des systèmes d'interfaces permettaient d'assurer une passerelle pour les données. La plateforme 3DExperience proposé par Dassault Systèmes a pour but d'assurer une continuité dans la gestion des données aux différentes étapes de la chaîne de valeur pour différentes organisations engagées dans le processus.

L'ingénieur utilise les logiciels rassemblés sur ce type de plateforme selon différentes finalités.

La finalité majeure consiste à concevoir une pièce ou un ensemble de pièces composant un produit. Les ingénieurs soulignent que tous les logiciels ne permettent pas de développer des conceptions créatives dans toutes les situations. Par exemple, Catia (commercialisé par Dassault Systèmes) est très bien adapté pour des produits prévus pour être assez standardisés. L'outil numérique permet également d'assurer le passage en fabrication. *A priori*, le logiciel permet d'anticiper l'activité des ouvriers de fabrication. Mais on constate que de nombreuses entreprises se sont dotées d'un service d'ergonomie.

¹⁶ Petit, S. (2016), *La rationalisation du travail intellectuel. Ethnographie de l'activité de conception industrielle*, thèse de doctorat, Paris, Saclay.

Les ergonomes interviennent dans les processus et surtout à leur interface afin d'améliorer la coordination des tâches. Ils essaient de faire comprendre aux ingénieurs qu'il existe souvent des écarts entre la simulation et la pratique de construction physique. Certaines contraintes ne peuvent s'observer qu'en situation de fabrication, elles soulignent de ce fait les limites de la simulation numérique.

Une autre finalité consiste à partager l'information entre collègues au moyen des stations d'accueil des différents logiciels utilisés. On peut ainsi réaliser des comparaisons et mutualiser les expériences. Toutefois, il peut exister des limitations dans l'accès à certaines données au sein d'un réseau d'information. Les ingénieurs soulignent souvent la dimension collaborative de ces logiciels. Ils précisent également que, tous les ingénieurs ne détenant pas de compétence approfondie en conception, l'outil numérique permet d'assurer une continuité dans la prise d'information sur les processus en cours.

Une troisième finalité, fortement préconisée par les directions d'entreprise, consiste à mémoriser les objets de conception. Ces objets ne désignent pas seulement les pièces conçues, mais toutes les informations relatives à l'activité de conception (tâches, mesures, tests, etc.). Ce stockage des données est destiné à assurer une réutilisation des objets afin de réduire délais et coûts de conception.

Pour ce qui concerne l'expérience du PLM par les ingénieurs, deux regards différents sont portés :

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

La mise en place d'un PLM se traduit par une normalisation de la documentation. Les anciens outils ne sont pas forcément conservés car le PLM nécessite une remise à plat des processus, beaucoup d'explicitation, et une nouvelle organisation.

L'installation d'un PLM suscite des réticences vis-à-vis de la nouveauté, il existe également un sentiment de surcroît de tâches. Mais progressivement les usages de l'outil numérique font ressentir une libération vis-

à-vis des tâches subalternes. Une plateforme PLM permet d'harmoniser les données utilisées par différents services et différents partenaires. En cela l'information peut circuler plus vite et de manière plus fiable. Toutefois, le « système PLM » est perçu par les ingénieurs et techniciens comme un système coercitif qui laisse peu de place à la bonne collaboration des individus. Certains évoquent une « soumission à beaucoup de normes, de règles et de calculs ». Une ergonome souligne que « 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'hyperspécialisation » et à un « travail de conception qui reste taylorisé ».

Dans une perspective voisine, celle des relations entre bureau d'étude et fabrication, il est noté que ces outils « éloignent finalement les concepteurs des opérateurs, en les coupant de la réalité ».

À propos de la dimension numérique de l'activité, une autre ergonome fait remarquer qu'existent toujours « 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 ». Dans cette situation, il est envisagé de « réalimenter » le processus « en concret », par exemple en mettant en place des 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 ».

Plus généralement, l'intégration des activités sous modalité numérique met en lumière les différences de génération. Les plus jeunes des ingénieurs ne rencontrent pas les difficultés que rencontrent leurs aînés dans l'usage des outils de simulation. Ce constat est très important dans une perspective de renforcement de la numérisation dans les décennies à venir. Par exemple, les ingénieurs les plus âgés parviennent très bien à conduire leur activité sans recourir par moments à la documentation fournie par le PLM, alors que les plus jeunes en sont incapables.

Il faut en effet prendre la mesure du basculement dans le numérique. Les ingénieurs dans leur ensemble

peuvent faire remarquer que la part de la conception diminue alors que celle de l'administration sur les données s'accroît. Ce qui est vécu comme un éloignement du cœur de métier. Par ailleurs, l'installation d'un PLM, lorsqu'auparavant étaient utilisés d'autres dispositifs d'aide à la conception, engendre parfois une perte de repères pour les ingénieurs. Un temps d'adaptation s'avère alors nécessaire.

Des expériences de changement de solution PLM au sein d'une grande entreprise de construction électrique (passage de Team Center développé par Siemens à la plateforme Enovia développée par Dassault Systèmes) montrent que les ingénieurs ont changé de langage au point de ne plus pouvoir évoquer leur métier autrement qu'au travers des instruments définis par le PLM. Leur métier est devenu, pour eux, ce qui figure sur les écrans.

Enfin, les ingénieurs en activité dans les grands groupes ressentent négativement la délégation d'expertise conférée aux prestataires externes. Lorsqu'une firme se concentre sur l'assemblage des objets produits, elle confie de fait le développement des savoir-faire à ses partenaires. L'externalisation des prestations de conception est une pratique ancrée au sein de l'industrie. Elle est sans doute favorisée par les possibilités de modularisation des activités. Elle pose la question de la répartition des centres d'expertise au sein de l'industrie ainsi que celle des capacités de collaboration entre expertises dispersées.

DES SITUATIONS DE TRAVAIL FINALEMENT COMPLEXES

Les différents témoignages d'ingénieurs ne convergent pas vers la description d'une situation unique. D'un côté, certains évoquent une cohésion rendue difficile dans leur travail par l'utilisation de ces outils d'aide à la conception. De l'autre, d'autres relèvent une harmonie facilitée grâce à ces mêmes outils et une collaboration rendue plus fluide¹⁷.

Une interprétation de cet apparent paradoxe peut être livrée avec l'analyse en termes de couple « robustesse-générativité¹⁸ ». En eux-mêmes, les outils numériques ne constituent pas le véritable nœud gordien d'une gestion du processus de conception¹⁹.

D'une part, les normes imposées par les dispositifs de type PLM répondent bien à l'exigence de « robustesse », tandis que le fait de pouvoir, à tout moment, disposer de l'intégralité des avancements de chacun peut répondre aux contraintes de « générativité ». Si l'outil numérique est d'emblée en mesure de répondre correctement à ces deux exigences, alors il n'est peut-être pas le responsable direct des orientations prises par la régulation du processus de conception. Le responsable direct serait plutôt les directives d'exploitation que chaque entreprise sélectionne afin d'atteindre ses objectifs.

D'autre part, il faut sans doute distinguer collaboration et coopération. Les processus de conception des grandes entreprises (surtout celles relevant du type 3) s'organisent autour de phases de coconception – plutôt collaboratives – et de phases de conception distribuée – plutôt coopératives. Ceci peut expliquer les regards différents portés par les ingénieurs 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 constitue davantage un processus de mise en commun des idées individuelles séparées²⁰. Par exemple, lorsqu'un ingénieur évoluant dans l'équipement, évoque 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 partagée entre plusieurs ingénieurs.

LA PROFONDEUR DU TRAVAIL COGNITIF

La dimension cognitive de l'activité de travail a connu une mobilisation croissante, pour autant elle demeure délicate à expliciter dans ses détails. Le travail intellectuel est en effet difficile à observer. Cette difficulté est renforcée par les développements de formes de travail à la fois plus interdépendantes et plus distribuées.

La numérisation renforce l'instrumentation du travail cognitif : les actions de perception, de comparaison, de raisonnement et de transmission sont de plus en plus prises en charge par les technologies de l'information. Dans un univers numérique, les projets sont

17. Cina, M. (2017) *Les nouvelles plateformes de conception, le PLM et leurs implications dans le processus de conception : portées et limites*. Mémoire de Master. Aix-en-Provence : LEST CNRS.

18. Hatchuel, A. Le Masson, P. Reich, Y. Weil, B. (2011), op. cit.

19. Cina, M., (2017), op. cit.

20. Cina, M., (2017), op. cit.

souvent conduits en parallèle et les informations sont très nombreuses. L'attention humaine devient dès lors une ressource parfois rare. Cette dimension de l'activité a bien été étudiée par les spécialistes des techniques, par exemple en termes de marges d'indétermination²¹ qui sont exploitées par l'opérateur humain afin de finaliser le fonctionnement des machines. Pour d'autres : « Toute la question est celle de l'épaisseur de la marge de manœuvre nécessaire à l'opérateur, dont... le rôle (est) précisément de compenser les limites des systèmes et procédures instrumentées dans les cas où cela est nécessaire. Cette marge est affaire d'appréciation locale, et le système instrumenté, qui n'a pas la cognition de sa propre ignorance, ne sait pas, en l'état de l'art, faire cette appréciation²². »

À ce stade, le problème que rencontrent les éditeurs de logiciel ainsi que les managers des bureaux

d'étude, réside dans la difficulté de produire des certitudes à propos de l'exploitation de cette marge d'indétermination. La raison en est que, d'une manière générale, les personnes ne savent pas exactement ce qu'elles font. Selon Suchman (1987), le travail ne suit pas une procédure standard ; la logique même du travail n'est pas de suivre une procédure, mais plutôt d'arriver au résultat désiré en essayant de respecter les règles et autres contraintes²³.

Ce constat percute les principes d'élaboration des logiciels de gestion qui tablent sur le suivi de procédures instrumentées de la part des utilisateurs. La connaissance de la profondeur du travail cognitif s'érige ainsi en défi pour l'administration des activités de conception. Et ce ne sont pas les dispositions plus favorables des jeunes générations à l'usage des dispositifs techniques numérisés qui changeront le sens de la problématique.

21. Simondon, G., (1989), *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 1^{re} édition, 1958.

22. Lahlou, S. Nosulenko, V. Samoylenko, E., (2012), *Numériser le travail. Théories, méthodes et expérimentations*, Paris, Lavoisier.

23. Suchman, L. (1987), *Plans and Situated Actions. The Problem of Human/Machine Communication*, Cambridge, Cambridge University Press.

—PERSPECTIVES POUR L'INGÉNIERIE EN CONCEPTION : VERS DE NOUVELLES FAÇONS DE TRAVAILLER ?—

Le devenir des métiers d'ingénieur en conception paraît fortement lié au développement des plateformes numériques. Dans leur rôle d'intermédiation, ces plateformes prennent une importance grandissante. Elles permettent déjà l'organisation d'une intermédiation des travaux : à terme, elles pourraient remettre en question les frontières de l'entreprise traditionnelle. Mais d'autres enjeux sont au moins aussi importants : la centralisation documentaire et l'orientation vers la haute fiabilité des conceptions dans les chaînes de valeur.

— VERS UNE DOMINATION DES PLATEFORMES ? —

Les plateformes numériques ambitionnent de gérer l'information afin de commander de manière continue (24 heures sur 24 et 7 jours sur 7) des activités foisonnantes. Deux exemples permettent d'en prendre la mesure.

Local Motors, une start-up américaine de construction automobile, a rendu disponible en *open source*

son logiciel de conception et d'ingénierie Design 1 pour les nouveaux modèles. Ce logiciel lui permet de fonctionner en interne avec une équipe réduite à 12 concepteurs, grâce à l'apport d'une communauté de près de 13 000 contributeurs. La construction de cette communauté a également permis à la start-up de proposer à d'autres industriels du secteur de soumettre des projets sur cette plateforme, sous un format de *crowdsourcing*.

99designs est la première plateforme mondiale en ligne sur le marché du *crowdsourcing* de design graphique. Elle met en relation des entreprises à la re-

cherche de conceptions graphiques avec plus de 190 000 designers localisés dans 192 pays. Les entreprises peuvent externaliser leurs besoins en design graphique en lançant des concours, en collaborant avec un designer en particulier ou en achetant un logo prêt à être utilisé. Plus de 500 000 concours de design graphique ont été lancés sur la plateforme depuis la création de l'entreprise. Le dirigeant de 99designs s'exprime ainsi : « *Le crowdsourcing supprime les frontières dans le marché du travail. Il y a beaucoup de pays isolés qui n'ont pas accès au dynamisme économique international. Des plateformes comme la nôtre peuvent donner des opportunités internationales à des PME et des freelances qui ne travaillent qu'à un niveau local. Sur notre plateforme, on se fie d'abord à la qualité du travail fourni et personne n'ira juger qui vous êtes, de quelle école vous sortez, ou dans quel village vous habitez. Dans un modèle comme le nôtre, c'est le résultat qui compte, pas la réputation*²⁴. »

Ce type d'organisation de la conception est réellement nouveau. Il interroge sur les modalités pratiques ainsi que sur les conditions économiques de la persistance de ces organisations. Les rémunérations des prestataires peuvent être très contrastées et ouvrir à une mise en concurrence globalisée. On peut ainsi se questionner à propos de la pérennité de ce type d'organisation en réseau. Car un tel dispositif organisationnel rencontre déjà le soutien du calcul numérique. Dans cette perspective, il implique trois enjeux importants : dans quelle mesure les communautés d'amateurs, ou de semi-professionnels, accepteront-elles d'être partie prenante ? Qui maîtrisera les grandes quantités de données générées par ce trafic à haute densité ? Et enfin, quels sont les gages de fiabilité de ces très grandes organisations en réseau ?

Pour l'instant, la connexion entre le milieu de la conception industrielle classique et l'univers du *crowdsourcing* n'est pas réalisée, mais les potentialités sont bien présentes. La question consiste à savoir dans quelle mesure des ingénieurs établis à leur compte, en cessation d'activité ou regroupés en association, accepteront, et pour quelle rétribution, de s'impliquer dans le fonctionnement de tels réseaux de conception.

– ENJEUX DE CENTRALISATION DOCUMENTAIRE

– En examinant les effets d'un management adossé au PLM, nous comprenons que les activités de conception s'inscrivent désormais dans une grande chaîne d'information qui office en tant qu'intendant général des tâches et de leurs délais. Il est fort probable que l'emprise du PLM ira encore plus loin en s'associant aux technologies du calcul intensif (ou *big data*).

L'étape à venir concernera le rapprochement entre bases de données commerciales à très grande échelle et PLM des entreprises d'un secteur d'activité. Or ces bases nécessitent des capacités de calcul que seuls quelques majors de l'industrie d'Internet détiennent (Amazon, Facebook, Google). Factuellement, la question de la centralisation est posée en termes de documentation de conception et de ses usages associés aux activités commerciales.

Le fonctionnement 24/7 a été défini par Cray²⁵ comme l'organisation à l'échelle planétaire de vastes systèmes de traçabilité, non plus seulement des produits, mais des comportements humains dans la consommation et les activités de loisir. En agrégeant des milliards d'informations, les firmes de l'Internet font industrie, et non plus seulement commerce, des données. Ces algorithmes sont basés sur le *smarter marketing* (marketing individualisé), outil de profilage algorithmique des consommateurs qui transforme le marketing et la publicité en « services ». Également, ils se fondent sur les techniques de *data mining* qui élaborent des cas singuliers suivant un système de rapports entre diverses mesures sans se référer à des normes statistiques établies.

La genèse des plateformes de conception puis le début d'articulation aux systèmes de fabrication additive (imprimantes 3D) montrent que les rapprochements entre des univers *a priori* éloignés sont possibles. Pour cela, les modules de conception, de fabrication et de distribution sont déjà bien en place. Les industriels veulent aller vite de la conception à la livraison et ils souhaitent maîtriser les coûts. Cela passe par des taux de réutilisation élevée des modules de conception et de fabrication.

24. *Journal du Net*, 11 février 2013, www.journaldunet.com/web-tech/start-up/1107699-le-crowdsourcing-supprime-les-frontieres-du-marche-du-travail/

25. Cray, J., (2013), 24/7, *Late Capitalism and the Ends of Sleep*, London/New York, Verso.

ENJEUX DE HAUTE FIABILITÉ

De la sorte, les ingénieurs de conception seront de plus en plus concernés par la sûreté de fonctionnement de ces plateformes commandées par des algorithmes de calcul intensif, de bases de données parfois peu connectées entre elles, de plans de réalisation fortement contraints en délai et d'équipes de conception régies par des outils de type PLM.

On imagine la paralysie qui pourrait affecter des systèmes de conception articulés avec des productions additives (imprimantes 3D) et du calcul intensif sur des données publiques de consommation. Afin de rendre de tels systèmes optimaux (augmenter le temps effectif de bon fonctionnement), il faut s'intéresser à d'autres types de disponibilités : celle des personnes qualifiées, celle des transports et de la logistique, celle des serveurs informatiques, en somme celle de l'organisation intégrée.

Un nouveau mouvement s'est développé dans le monde économique : celui des organisations hautement fiables inspiré par les travaux du sociologue américain Karl Weick²⁶, pour qui les « organisations hautement fiables » sont des organisations flexibles. Son raisonnement montre que la fiabilité d'une organisation ne réside pas dans les modèles prescriptifs, mais dans les pratiques des acteurs. Autrement dit, un modèle (d'organisation) n'est jamais un système véritablement en action. La fiabilité est invisible puisqu'elle consiste à empêcher l'irruption d'un événement nuisible. L'auteur suggère de s'intéresser également aux comportements succédant directement à un problème important. Plus que d'essayer d'éviter les accidents, il est utile de créer les conditions pour les gérer en faisant en sorte que les dégâts ne s'amplifient pas.

Des simulations et leçons tirées des événements accidentels devraient permettre d'élaborer des références en termes de vigilance. De telles préconisations incitent les responsables à développer les actions de simulation et les tiennent en alerte sur la recherche d'alternatives aux routines en place.

Comment se traduiront ces exercices de simulation dans les grands réseaux intégrés, et sans doute centrés sur quelques pivots ? S'agira-t-il de procéder à des simulations numériques pour renforcer la standardisation des méthodes de conception ? Ou bien d'enrichir des répertoires de conduites alternatives ?

À l'évidence, la haute fiabilité représente un chantier important pour l'industrie française qui doit améliorer la qualité de ses produits, mais également celle de ses processus de conception et de développement.

LE DEVENIR DES MÉTIERS DOMINÉ PAR UNE COMPÉTENCE D'ATTENTION ?

Quelle sera en définitive l'évolution des métiers de conception ? Les métiers resteront-ils sous une forte influence des stratégies technico-économiques de grandes firmes ? La grande question en terme prospectif demeure celle de l'exploitation des capacités cognitives des professionnels. De quelle manière ces capacités seront-elles mobilisées ? L'intégration informationnelle au service du contrôle des chaînes de valeur passera-t-elle également par une économie de l'attention des ingénieurs ?

Si les futurs profils d'ingénieur sont sans doute délicats à préciser, on peut toutefois avancer que les capacités d'interprétation des situations et de gestion de l'expérience deviendront centrales dans ces systèmes de conception fondés sur le contrôle de l'information. L'expression « économie de l'attention²⁷ » prend ici tout son sens. Immergées dans une chaîne de valeur davantage que dans un processus de conception autonome, les ingénieurs sont appelés à faire preuve d'attention.

Quels seront les objets de leur attention ? Celle-ci porte déjà sur le flux d'information qui, alimenté régulièrement en fonction du déroulement des opérations, ne supporte aucune interruption. Ce flux peut éventuellement tolérer des remises en cause des objectifs initiaux ou des méthodes de réalisation. Mais il doit pouvoir être reconfiguré rapidement afin de tenir les engagements de coût et de délai.

26. Weick, K. E. Sutcliffe, K. M. Obstfeld, D. (1999), « Organizing for High-Reliability: Processes of Collective Mindfulness », in Staw, B. M. Sutton, R. I. (éd.), *Research in Organizational Behavior*, 21, Greenwich, CT, JAI Press, p. 81-123.

27. Citton, Y., dir., (2014), *Économie de l'attention. Nouvel horizon du capitalisme ?* Paris, La Découverte.

Les ingénieurs de conception seront de plus en plus insérés dans des systèmes intégrés, voire automatisés, de fourniture sophistiquée de services de création et de développement de produit.

Comment se réaliseront les cycles d'attention exigés de leur part ? C'est la question centrale et critique de l'édifice des systèmes intégrés de haute fiabilité. Puisqu'il s'agit de domestiquer une capacité intellectuelle et sensible qui, a priori, ne supporte pas l'ingérence de tiers standardisés.

C'est au niveau des prises d'information, anticipations et mises en œuvre d'actions qu'intervient le projet d'intégration numérique des systèmes hautement fiables. Il s'agit de permettre la mise à disposition et l'usage effectif de programmes de perception et d'action aux professionnels afin de garantir qualité et rapidité d'exécution. Cette tentative de prise de contrôle de l'entendement humain par des programmes préparés dans un but technico-économique fait penser aux investissements pour l'automatisation des activités de fabrication et de logistique. Des analyses empiriques approfondies seront requises pour en définir les modalités d'élaboration et de réussite.

–MÉTHODOLOGIE–

Cette étude a été conduite durant une année dans une triple perspective.

Il s'agissait tout d'abord de ne pas dissocier l'étude des dynamiques professionnelles de celle des organisations économiques qui les encadrent. Trop souvent l'étude sociologique ne rend pas compte des technologies qui orientent le développement des activités. Dépasser cette dichotomie a constitué une préoccupation constante. Il s'agissait par ailleurs de conduire cette analyse de la dimension des organisations et de leurs structures en liant l'étude de la créativité à celle du contrôle économique exercé au sein des chaînes de valeur. Nous n'avons pas dissocié les activités de conception des activités commerciales, pas plus que nous n'avons séparé les méthodes individuelles de création des objets des logiques de rentabilité affectant l'organisation des méthodes de conception. Enfin, dans une troisième perspective, nous nous sommes efforcés d'intégrer le plus possible les enjeux et les effets des processus de numérisation des activités.

Cette étude s'est efforcée de prendre au sérieux les enjeux industriels et stratégiques attachés aux activités de conception. Il s'agit ainsi d'une étude inédite dans le domaine de l'organisation de la conception industrielle et de la sociologie du travail des ingénieurs.

Quelle sera l'activité des futurs ingénieurs assistés dans leurs activités de nombreux outils numériques ? Cette question intéresse de nombreux acteurs économiques et sociaux.

Prendre en considération les enjeux industriels et stratégiques de la conception a nécessité l'élaboration d'un cadre d'analyse pluridisciplinaire mobilisant

tout à la fois la dimension historique – de la naissance de la CAO jusqu'aux maquettes numériques intégrées aux PLM (ou gestion de cycle de vie des produits) –, la dimension managériale des activités, les dimensions ergonomiques et cognitives de la conception proprement dite et, enfin, les dimensions technologiques des outils informatiques au niveau micro et au niveau du calcul intensif ou big data.

Ce cadre d'analyse nous a permis de consacrer quelques mois à l'étude empirique au sein d'entreprises et auprès d'ingénieurs de conception. Il est délicat de conduire une étude de terrain au sein des bureaux d'étude et chez des éditeurs de logiciel d'aide à la conception. Ces organisations préparent l'industrie du futur. Leurs enjeux économiques ne tolèrent pas facilement les observations et questions de chercheurs qui souhaitent rendre compte avec précision des perspectives des activités d'ingénieurs de conception industrielle.

L'étude empirique a été conduite auprès de grandes entreprises, de PME et de start-up installées sur le territoire français. Les enquêtes ont concerné les managers de la conception et les ingénieurs, mais également quelques ergonomes disposant du recul suffisant sur l'activité. Des consultants spécialisés dans l'installation de dispositifs numériques d'aide à la conception ont fait l'objet d'enquêtes complémentaires. Enfin, des directeurs d'étude en écoles d'ingénieurs ont accepté de commenter nos analyses dans un but de validation.

Nous remercions l'ensemble de ces acteurs pour le temps qu'ils nous ont consacré et pour les informations précieuses qu'ils ont su formuler sans pour autant dévoiler les dimensions confidentielles de leurs activités.

– LES ÉTUDES DE L'EMPLOI CADRE DE L'APEC –

Observatoire du marché de l'emploi cadre, l'Apec analyse et anticipe les évolutions dans un programme annuel d'études et de veille : grandes enquêtes annuelles (recrutements, salaires, métiers et mobilité professionnelle des cadres, insertion professionnelle, etc.) et études spécifiques sur des thématiques clés auprès des jeunes diplômé-e-s, des cadres et des entreprises.

Toutes les études de l'Apec sont disponibles sur le site
www.cadres.apec.fr, rubrique **observatoire de l'emploi**

© Apec, 2018

Cet ouvrage a été créé à l'initiative de l'Apec, Association Pour l'Emploi des Cadres, régie par la loi du 1^{er} juillet 1901. Il est publié sous sa direction.

L'Apec a été créée en 1966 et est administrée par les partenaires sociaux (MEDEF, CPME, U2P, CFDT Cadres, CFE-CGC, FO-Cadres, CFTC Cadres, UGICT-CGT).

Toute reproduction totale ou partielle par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation expresse et conjointe de l'Apec, est strictement interdite et constituerait une contrefaçon (article L122-4 et L335-2 du code de la Propriété intellectuelle).



www.apec.fr

ISBN 978-2-7336-1130-2

NOVEMBRE 2018

Étude réalisée dans le cadre d'un partenariat de recherche avec le LEST (Aix Marseille Université et CNRS).

Équipe projet pour le LEST : Claude Paraponaris, Marion Cina et Valérie Campillo.

Équipe projet de la direction Données, études et analyses de l'Apec : Gaël Bouron, Caroline Legrand.

Directeur Données, études et analyses : Pierre Lamblin.

Maquette : Daniel Le Henry.

ASSOCIATION POUR L'EMPLOI DES CADRES

51 BOULEVARD BRUNE – 75689 PARIS CEDEX 14

POUR CONTACTER L'APEC

0 809 361 212 Service gratuit + prix appel

DU LUNDI AU VENDREDI
DE 9H À 19H