



La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études

Pascal Le Masson, Benoit Weil

► To cite this version:

Pascal Le Masson, Benoit Weil. La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études. Les nouveaux régimes de la conception, 2014. <hal-01485031>

HAL Id: hal-01485031

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01485031v1>

Submitted on 8 Mar 2017

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.



HAL Authorization

Chapitre 3

La domestication de la conception par les entreprises industrielles : l'invention des bureaux d'études

Pascal Le Masson et Benoit Weil,

Ecole des mines de Paris

Pourquoi et comment sont nés les Bureaux d'études ? Curieusement cette question a jusqu'ici suscité peu de travaux de recherche. Les Bureaux d'études sont si répandus dans les firmes industrielles qu'ils passent pour la forme incontournable, voire naturelle d'organisation de la conception dans les entreprises¹. Au point qu'il semble très difficile aux chercheurs comme aux praticiens d'imaginer d'autres manières d'organiser la conception. Dans le même temps les Bureaux d'Etudes sont souvent critiqués. Ils sont présentés comme des forteresses bureaucratiques incapables d'innover, rétives à toute transformation de leur logique de fonctionnement et qui consomment de plus en plus de ressources. La montée depuis quelques années d'un capitalisme de l'innovation intensive qui fait de la « conception innovante » (Le Masson, Weil et Hatchuel 2006) un théâtre privilégié de la compétition renforce ces critiques. Ce nouveau contexte pose avec insistance la question de la rationalisation des bureaux d'études, voire de leur remplacement, s'ils ne peuvent évoluer, par d'autre formes d'organisation. Pour instruire ces questions contemporaines et réfléchir aux rationalisations des activités de conception, il nous a semblé indispensable de retrouver la généalogie de ces bureaux d'études et leur organisation progressive. Quels ont été les questions et les débats qui ont suscité leur naissance ? A travers quelles tentatives ont-ils émergé, puis quelles ont été les étapes de leurs transformations ? Nous espérons montrer que loin d'apparaître évidentes aux yeux de leurs « concepteurs » les notions essentielles du Bureau d'études ont au contraire exigé un difficile et long effort d'invention. Dissiper l'amnésie collective dont nous sommes victimes et restaurer une compréhension plus riche des fondements des Bureaux d'études et

¹ Dans certains secteurs industriels, ils peuvent porter d'autres noms par exemple direction technique, département de R&D ou d'ingénierie.

des logiques d'action associées favoriserait selon nous l'exploration des nouveaux chemins de la rationalisation des activités de conception pour répondre aux défis contemporains.

Cette recherche exploratoire ne prétend pas proposer une histoire « complète » des bureaux d'études. Ce papier souhaite seulement indiquer quelques jalons et les éléments d'un cadre théorique utile pour construire une telle histoire qui reste encore largement à écrire.

Les chemins qui vont conduire au Bureau d'études opèrent un triple déplacement : le premier porte sur « qui conçoit ? ». Il ne s'agit plus d'un concepteur isolé mais d'un collectif ; L'invention du Bureau d'études marque ainsi une rupture dans l'histoire des ingénieurs. L'ingénieur y perd sa figure individuelle pour se fondre dans des collectifs de conception. Le second déplacement porte sur « qu'est-ce qu'on conçoit ? » avec le passage d'un produit unique à des familles ou des gammes de produits évolutifs ou plus précisément aux langages qui permettent de les générer. Le troisième porte sur les logiques de performance associées à une progressive domestication de l'innovation dans le cadre de la firme industrielle. Ce troisième terme constitue d'une certaine façon le moteur des évolutions à l'œuvre. Nous choisirons donc de le suivre comme fil conducteur. Il nous amènera à retrouver les deux premiers. Nous montrerons qu'historiquement plusieurs régimes de conception peuvent être distingués et que pour chacun d'eux des formes originales ont été explorées. Le Bureau d'études apparaîtra alors comme la forme inventée par les grandes entreprises industrielle, au moment même où elles se constituent, pour domestiquer la conception. Ce mouvement de rationalisation précède le Taylorisme ou le Fayolisme. Il est fondateur de la grande entreprise qui sans lui n'aurait pas connu le prodigieux développement qui a été le sien pendant le XX^{ème} siècle. Succès si éclatant qu'il a entraîné la disparition puis l'oubli des autres formes d'organisation de la conception qui l'avaient précédé.

Nous montrerons que l'invention du Bureau d'Etudes suppose l'invention simultanée de trois dimensions. C'est peut-être ce qui fait son originalité et qui explique que sa gestation ait pris presque un siècle. Elle repose conjointement sur :

1. **une nouvelle raison conceptrice** basée sur la distinction et l'adoption de nouveaux langages de conception beaucoup plus abstraits que ceux en usage jusque là : en particulier ceux que nous désignerons des termes de modèle conceptuel et de modèle génératif. Ces langages vont permettre aux ingénieurs d'éviter d'être noyés dans l'hétérogénéité des machines ou des objets à concevoir, et de résister à la variété et au renouvellement incessant des connaissances. Mais ces langages ne sont pas donnés et les ingénieurs devront construire une capacité à les explorer, les structurer, les rendre manipulables. C'est précisément en cela que résidera l'un de leurs plus formidables efforts d'organisation.
2. **un nouveau langage du social et de l'organisation, la « bureaucratie générative ».** Le Bureau d'études sera à la fois cette organisation collective de la conception capable d'utiliser ces nouveaux langages, mais aussi celle qui souffre de leur remise en cause et celle qui pousse à leur régénération. Le Bureau d'études résulte de l'exploration d'une forme très intense de travail collectif en conception. Certes son fonctionnement est basé sur un système de règles, et nous parlerons de conception réglée pour caractériser le raisonnement de conception associé au Bureau d'études, mais cette organisation est en permanence confrontée à la nécessité de réviser ses systèmes de règles et de restaurer les compétences qui les fondent. Car ce qu'elle doit concevoir évolue en permanence et le Bureau d'étude doit être lui-même le moteur de cette évolution. Cette remarquable forme organisationnelle est restée étrangère aux théories de l'organisation qui n'ont retenu de la bureaucratie que sa forme administrative.

- 3. de nouvelles logiques de la performance** qui s'efforcent de concilier capacité à proposer une variété toujours plus grande de produits aux performances sans cesse croissantes avec une logique d'économie des ressources nécessaires pour mener à bien ces conceptions. Pour les entreprises industrielles qui ont inventé les Bureaux d'études la question principale n'était pas de remédier à un déficit d'innovation. Au contraire elles étaient confrontées à un trop plein de pistes et de propositions innovantes. L'enjeu était d'organiser et de maîtriser ce flux d'innovations, et pour cela de domestiquer la conception. Dès lors la performance résidait plutôt dans le rapport entre une capacité d'expansion et un volume de ressources consommé.

Ce chapitre s'organisera en quatre parties. La première définira le cadre théorique pour analyser la performance industrielle des différents régimes de conception rencontrés et explorés. La seconde présentera schématiquement les grandes étapes de la domestication de la conception, de l'invention des bureaux d'études et de l'émergence d'une doctrine. La troisième approfondira deux notions essentielles pour cette doctrine : les modèles conceptuels et les modèles génératifs. Enfin la quatrième partie évoquera d'abord les remarquables succès obtenus par les entreprises ayant adopté ces logiques de conception, puis la montée récurrente des crises. Ce qui nous permettra de revenir pour finir sur les questions contemporaines et de situer à la lumière de cette histoire l'effort conceptuel et d'organisation requis par la conception innovante.

I. Un cadre théorique pour analyser la performance des régimes de conception

Pour retracer l'histoire et la progressive émergence des bureaux d'études nous avons choisi de suivre la question de la performance que telle ou telle forme d'organisation de la conception permet d'atteindre. Dès qu'on parle de conception industrielle cette question est évidemment centrale. Mais comment la décrire ? Nous proposons d'utiliser un cadre d'analyse basé sur les régimes de conception (Hatchuel et Weil 1999) pour cela trois éléments sont nécessaires :

Les ressources consommées par l'activité de conception : quels sont les types de connaissances utilisées, comment sont-elles produites, qui conçoit ? ...

La capacité d'expansion atteignable : qu'est-ce qu'on conçoit ? Quelles sont la nature et la variété de ce qui est conçu ?

La performance qui peut s'exprimer comme le rapport entre les deux.

On pourrait s'étonner de retrouver un simple ratio de productivité usuel pour décrire les activités productives. En fait la différence tient à ce qu'en conception, ce qui doit être défini n'est pas la valeur du numérateur et du dénominateur mais *la nature* de l'un et de l'autre. Les régimes de conception se différencieront par la façon dont ils définissent leurs ressources et leur capacité d'expansion.

Encore faut-il être en état de les identifier et de les qualifier. L'absence d'une histoire des formes d'organisation de la conception industrielle s'explique largement par l'absence d'un cadre d'analyse adéquat. En effet à défaut d'une modélisation et d'une théorie suffisamment générale de l'activité et du raisonnement de conception il est très difficile de repérer la nature spécifique de ces dimensions, de comprendre la logique des tentatives de rationalisation de cette activité et les débats qui les accompagnent.

C'est pour ces raisons que nous avons retenu une théorie générale du raisonnement de conception récemment développée, la théorie C-K (Hatchuel 1996; Hatchuel et Weil 2003). Cette théorie, que nous ne présenterons pas ici de façon détaillée, nous intéresse car elle modélise le raisonnement de conception comme une double expansion, expansion dans l'espace des concepts et expansion dans celui des connaissances. En effet l'originalité de cette théorie est de distinguer ces deux espaces et de modéliser le raisonnement de conception par quatre opérateurs permettant soit de passer de l'un à l'autre de ces espaces soit de progresser dans chacun d'entre eux. Elle permet ainsi de décrire *ce que* produit un raisonnement de conception et d'en désigner *la valeur*. Elle souligne en particulier que, en plus du résultat directement attendu et valorisé par la conception (le produit spécifié), tout raisonnement de conception produit d'autres résultats valorisables. Ainsi, les concepts explorés mais qui sont restés pendants et qui peuvent servir de point de départ pour des conceptions futures. Ou encore les connaissances produites lors de l'exploration. Parmi celles-ci on peut distinguer celles qui ont été utilisées pour spécifier le produit mais il y aura toujours des connaissances produites en excès qui ne seront pas directement utilisées par ce premier produit. En règle générale ces quatre types de valeur apparaissent au cours d'un « exercice de conception », par contre elles ne seront pas forcément toutes utilisées. L'enjeu pour la conception industrielle sera donc d'organiser et d'orienter la production puis l'utilisation de ces différentes valeurs soit pour limiter au maximum les explorations inutiles, soit pour tirer parti à l'avenir des connaissances produites en excès et des concepts qui sont restés pendants.

II. Les logiques de la domestication de la conception et la genèse d'une doctrine

Comme nous l'avons indiqué en introduction, l'ambition de ce chapitre n'est pas de proposer une histoire complète des Bureaux d'études. Nous nous contenterons de présenter quelques épisodes significatifs de cette histoire en illustrant à l'aide du cadre précédent la succession des régimes de conception et en précisant à chaque fois le contexte industriel, les enjeux et les logiques de performances, ce qui était conçu et par quels concepteurs.

1. La conception sauvage : les inventeurs-entrepreneurs de la première révolution industrielle en Angleterre

Curieusement la première révolution industrielle qui naît en Angleterre va se faire sans Bureaux d'études. Pourtant elle se traduit par l'émergence de nouveaux secteurs industriels (filatures mécanisées, machines à vapeur, machines outils, chemins de fer, bateaux à vapeur, ...) et par la conception et la production d'une extraordinaire variété d'objets nouveaux. Ils sont le fait d'ingénieurs indépendants, très inventifs, aux capacités entrepreneuriales marquées et qui constituent un milieu très actif. Les échanges entre eux, mais aussi avec les savants et les hommes d'affaires, sont intenses en particulier au travers de nombreuses sociétés savantes comme la Lunar Society de Birmingham ou la Smeatonian Society. On assiste à un foisonnement d'idées et d'essais. Le développement du chemin de fer est typique de cette dynamique. Pour l'essentiel il est le fait d'une demi-douzaine de « grands » ingénieurs : Stephenson, Brunel, Locke,...

Prenons à titre d'exemple le cas de la conception des locomotives par les Stephenson père et fils, souvent présentés comme les « pères » du chemin de fer anglais. Ils s'illustrent d'abord avec l'ouverture de la première ligne commerciale Stockton-Darlington en 1825, puis ne vont pas cesser de participer à l'essor et au développement rapide de ce nouveau moyen de transport. Mais ils ne sont pas seuls et la compétition fait rage pour obtenir les appels d'offre

relatifs aux nouvelles lignes. Dans ce contexte, ils vont développer deux entreprises. L'une, vouée au génie civil, s'occupera de la conception et de la réalisation des lignes, la seconde se consacrera à la conception et à la fabrication des locomotives. Tout est à concevoir : les caractéristiques de la ligne, les ouvrages d'art mais aussi les gares, les principes d'organisation des services, leur tarification, ... La conception des locomotives est le fait d'un tout petit nombre d'ingénieurs. La ligne qui vient d'être mise en service sert de dispositif d'essai et de prototype pour mettre au point la prochaine génération. Les principales difficultés rencontrées sont ainsi progressivement résolues. D'importants perfectionnements sont apportés pour améliorer la thermique ou le comportement mécanique, sans qu'ils aient recours à des résultats scientifiques établis ni qu'ils ne suscitent des investigations scientifiques poussées. Les plans sont extrêmement sommaires et se réduisent à un schéma de l'une ou l'autre pièce essentielle et à une liste de composants. La conception s'appuie sur des ateliers de fabrication où s'activent des ouvriers hautement qualifiés capable de réaliser les pièces à partir des indications sommaires qui leur sont fournies, en complétant la conception et en se livrant à un formidable travail d'ajustement pour obtenir un des objets les plus complexes et sophistiqués qui aient encore été fabriqués.

Nous qualifierons ce premier régime de conception de « conception sauvage » des inventeurs-entrepreneurs. Comment le caractériser ? Les ressources se limitent à quelques ingénieurs, les connaissances initiales sont faibles, l'apprentissage s'effectue principalement par essai-erreur les générations successives servant d'espace de conception et donc d'apprentissage pour les suivants. Pour l'expansion, il n'y a encore qu'une faible organisation de la répétition, c'est toujours un produit (et le procédé associé) qui est conçu. Sur ce produit les concepteurs s'efforcent de découvrir les dimensions de la performance et de stabiliser progressivement l'identité de l'objet. Le client peu compétent est faiblement prescripteur. La performance consiste à construire un potentiel de valeur/compétence singulier qui permette de s'imposer pour emporter les appels d'offre et conserver une avance dans un domaine effervescent.

2. La conception réglée paramétrique : la conception « en recette » ou les chemins du rattrapage industriel

Au moment où le développement industriel de l'Angleterre bat son plein, la France et l'Allemagne s'interrogent sur les chemins du rattrapage industriel. Une chose est sûre : constituer un milieu de techniciens et d'ingénieurs inventeurs-entrepreneurs analogue à ce qui existe en Angleterre prendrait trop de temps et semble difficile à promouvoir. En France les savants misent sur les développements conceptuels visant à établir une science des machines (sciences de la mécanique, cinématique, résistance des matériaux, thermique, hydraulique...) et sur un enseignement scientifique de haut niveau (Ecole polytechnique,...).

En Allemagne une approche originale prend ses distances par rapport à cette tradition qui veut appliquer les résultats des sciences. Ferdinand Redtenbacher en devient le promoteur. Il est d'abord professeur de mathématique et de dessin géométrique à l'Ecole Polytechnique de Zurich, puis il enseigne les machines à Karlsruhe. Il est aussi en relation étroite avec des industriels fabricants de machines. Dans la préface à son ouvrage de 1852 il précise sa critique : « Avec les principes de la mécanique, on n'invente pas de machine, car pour cela il faut aussi, à côté d'un talent d'invention, une connaissance exacte du processus mécanique auquel la machine doit servir. Avec les principes de la mécanique on ne peut apporter une esquisse de machine car pour cela il faut aussi un sens de la composition, de la disposition et de la mise en forme. Avec les principes de la mécanique on ne peut réaliser aucune machine car pour cela il faut des connaissances pratiques des matériaux à travailler et une familiarité

avec la prise en main des outils et la manipulation des machines. Avec les principes de la mécanique on ne mène pas d'affaire industrielle car pour cela il faut une personnalité de caractère et une connaissance des affaires commerciales » (Redtenbacher 1852). Son ambition n'est pas de former des concepteurs capables de mobiliser tous ces savoirs et de concevoir entièrement les machines. Il imagine une conception étagée en deux étapes. Il livre dans son ouvrage un ensemble de recettes de conception qui doivent permettre aux techniciens qu'il forme de concevoir toutes sortes de machines adaptées aux situations variées qu'ils peuvent rencontrer. Il leur suffit de suivre les étapes et les calculs définis par la « recette » pour être sûr d'obtenir un résultat satisfaisant (conjonction assurée).

Cette méthode est bien supérieure à un simple catalogue car elle permet d'obtenir à chaque fois une conception adaptée à la situation sans avoir eu à concevoir a priori l'ensemble des machines possibles. La démarche proposée par Redtenbacher déplace l'effort de conception : ce n'est plus un produit singulier qu'il faut concevoir mais une recette capable de générer toute une famille de produits. De plus la valeur de la recette tiendra aussi dans la capacité d'assurer la performance des produits qu'elle permet de générer. Redtenbacher en concevant ses recettes de conception se confronte donc à un double problème : l'élaboration d'**un modèle conceptuel** reliant les dimensions de la performance aux paramètres de conception du dispositif et celle d'un **modèle génératif** qui ordonnera en une séquence linéaire les étapes de la conception. Les recettes présentées dans ses ouvrages couvrent un vaste éventail de machines depuis les roues hydrauliques, très nombreuses en Allemagne mais dont les performances sont souvent très médiocres, jusqu'aux engins les plus modernes comme les locomotives. C'est en suivant ces fameuses recettes que l'entreprise qui allait devenir Alsthom a commencé à fabriquer des locomotives. Se forment ainsi les compétences qui allaient devenir indispensables pour suivre la dynamique accélérée des innovations du monde ferroviaire.

Nous sommes passés de la conception « sauvage » à la conception « réglée », où la recette permet le paramétrage. Examinons les différentes dimensions de ce nouveau régime.

Au premier rang des ressources figurent les recettes de conception, c'est-à-dire un modèle génératif fondé sur un ou plusieurs modèles conceptuels. L'introduction de la recette impose aussi de distinguer deux types de concepteur : celui qui va la fabriquer et celui qui va l'utiliser et deux types de raisonnement ou de relation au savoir. La conception des règles nécessite un important effort d'exploration, de production de connaissances (dispositifs expérimentaux, essais, ...) et de modélisation et des compétences rares. L'utilisation des règles est compatible avec des compétences limitées et beaucoup plus largement répandues.

L'expansion rendue possible par les règles n'est plus limitée à un produit singulier. Elle permet d'atteindre une famille diversifiée de produits. Mais la variété est prédéterminée par le modèle génératif contenu dans la recette.

Enfin la logique de performance est celle du rattrapage industriel où il s'agit de maximiser le nombre de conceptions achevées (conjonctions) en limitant autant que possible l'effort de production supplémentaire de connaissances. La recette offre une capacité à exploiter efficacement des lignées de produit en assurant la variété et l'économie des connaissances. Par contre ce régime présente une forte sensibilité aux évolutions techniques qui obligent à reconcevoir la recette.

3. La conception réglée systématique : l'invention du bureau d'études

D'autres formes de la conception réglée n'allaient pas tardées à être recherchées et expérimentées sous la poussée conjointe d'un certain nombre d'évolutions caractéristiques de la seconde révolution industrielle. Avec l'augmentation des volumes de production les préoccupations d'efficacité industrielle deviennent prioritaires. Les clients (on est souvent dans du B2B) deviennent plus compétents et plus exigeants. Enfin la dynamique des produits oblige à concilier des espaces de connaissances nouveaux, à la mécanique on ajoutera de la thermique ou de l'électricité par exemple.

1. Baldwin Locomotives Works ou le pouvoir d'expansion et d'organisation des modèles génératifs

Un des premiers et des meilleurs exemples de cette évolution est fournie par les Baldwin Locomotives Works (BLW) de Philadelphie qui grâce à ses modes d'organisation de la conception va devenir dans la seconde moitié du XIX^{ème} siècle le leader incontesté de ce secteur (sur cette entreprise, voir Brown 1995). A sa création en 1831, la firme de Baldwin ressemble à celle des Stephenson. Mais très vite elle se trouve confrontée à des problèmes inédits : la croissance vertigineuse du marché des chemins de fer américain est marquée par de brutaux coups d'arrêts correspondant aux crises financières récurrentes, tandis que les compagnies sont engagées dans une course à la performance. De plus elles opèrent dans des contextes variés qui conduisent leur « ingénieur » à particulariser leurs commandes. Comment concilier cette exigence de variété, d'évolutivité et les contraintes d'un appareil industriel d'une ampleur inconnue jusque là (l'usine comptera près de 10 000 personnes en 1900) ? Vers 1900 BLW produira plus de 1200 locomotives par an, avec près de 120 modèles différents et en livrant ses locomotives deux mois après leur commande (conception comprise). Comment une telle prouesse a-t-elle été rendue possible ?

Trois éléments jouent un rôle prépondérant. Premièrement, la structuration en familles de produits basées sur des architectures de références soigneusement étudiées qui permettent de couvrir l'ensemble des besoins et de supporter l'amélioration constante des performances. Les dirigeants de la firme réalisent eux-mêmes régulièrement cet effort de reconception, qui permet d'intégrer les progrès techniques récents, d'intégrer si possibles des innovations différentiantes mais aussi d'organiser la variété (il s'agit de laisser des espaces de liberté mais en les encadrant), et d'autoriser le perfectionnement sur les dimensions principales de la performance afin que les locomotives conçues sur cette base restent compétitives. Ces familles incarnent la stratégie de conception de la firme. Deuxièmement la relation commerciale avec les clients est aussi prise en charge directement par les dirigeants. Elle s'appuie sur une description paramétrable des principaux éléments de la locomotive. Ainsi le client a toute liberté de définir les caractéristiques de sa locomotive mais dans un langage qui restera cohérent avec les familles de produits évoquées ci-dessus. Enfin, troisièmement, sur la base de ce cahier des charges le concepteur aura comme consigne de recourir à des pièces standard, déjà utilisées, pour lesquelles il existe des plans qui tirent le meilleur parti des capacités de l'outil industriel. Au cas où il ne peut répondre au cahier des charges avec les composants existants, il lui est interdit de concevoir une pièce spécifique : il devra concevoir un nouveau composant standard agréé par la fabrication, qui pourra être repris dans les futurs projets.

Concernant les ressources, on conserve comme dans le cas de la recette deux types de concepteurs, ceux qui vont concevoir le modèle génératif (comment il sera possible de concevoir des locomotives avec le maximum de composants standards) et qui définissent les

bases des grands modèles conceptuels utilisés. Leur effort tient surtout à la définition de plusieurs langages articulés entre eux. Les seconds concepteurs forment des collectifs de plus en plus nombreux et spécialisés, la division du travail est rendue possible par l'effort de définition d'un dominant design. Ils conçoivent plutôt des pièces et utilisent pour cela un système de règles contraignant (en particulier dictées par la fabrication et les capacités industrielles) mais évolutif. Ils contribuent eux-mêmes à l'élaboration des nouvelles règles.

L'expansion est obtenue de la façon suivante : à la variété assurée par les familles de produit sont associés des cônes d'innovation qui permettent d'améliorer de conception en conception la performance des produits sur les dimensions principales de la performance.

La performance de la conception résulte de ce fort pouvoir d'expansion obtenu en limitant et en contrôlant l'effort de production de connaissances nouvelles. Les risques sont maîtrisés grâce à une propriété importante du modèle génératif, son pouvoir conjonctif, qui permet au concepteur de prévoir s'il réussira ou non à concevoir un produit répondant au cahier des charges initial. Enfin l'attention portée au système industriel permet d'en tirer le meilleur parti.

2. L'Allemagne et la conception systématique

Des évolutions analogues se produisent en Allemagne, où elles s'accompagnent d'importants débats théoriques qui déboucheront sur la formalisation et l'élaboration d'une doctrine : la conception systématique. Sur le plan industriel de nouvelles entreprises apparaissent, comme AEG, qui, grâce à l'organisation de leur Bureau d'études, réussissent mieux que leurs concurrentes plus anciennes, Siemens par exemple, à concevoir pour des marchés de masse une grande variété de machines intégrant l'électricité, combinant l'utilisation de composants standards et un progrès régulier dans les performances que ces machines permettent d'atteindre.

Mais surtout on assiste à un renouvellement des débats autour de l'enseignement de la conception. Ils soulignent les limites des recettes et s'interrogent sur l'intégration de la production de connaissances dans le processus de conception (König 1999).

L'avancée majeure consiste dans la distinction, progressive et difficile, de quatre langages principaux pour décrire les objets à concevoir : le langage fonctionnel (permet d'exprimer le besoin du client en un langage qui sera utilisable par les concepteurs), le langage conceptuel (où l'on retrouve les grands langages de l'ingénieur : mécanique, résistance des matériaux, cinématique, thermodynamique, hydraulique, électricité...), le langage physico-morphologique (ou mise en organes) et le langage de la conception détaillée (ou les contraintes des procédés de fabrication vont intervenir pour définir les moindres formes des pièces élémentaires).

Les auteurs, enseignants et consultants en lien régulier avec les industriels, vont proposer d'organiser la conception comme un processus étagé articulant séquentiellement ces différents langages. Sur cette base de puissants Bureaux d'études ne tardent pas à être organisés. Leur performance est telle que les deux formes précédentes d'organisation de la conception vont progressivement s'effacer ou se fondre dans ce nouveau modèle. Mais avant d'en détailler quelques caractéristiques essentielles, il est utile de préciser deux notions essentielles que nous avons retrouvées à chaque stade de cette histoire ; il s'agit des modèles conceptuels et des modèles génératifs.

II. Modèles conceptuels et modèles génératifs : les fondements d'une doctrine

1. La notion de modèle conceptuel

Nous avons vu plusieurs exemples de modèles conceptuels dans les cas qui précèdent. Ainsi les recettes pour concevoir les roues hydrauliques s'appuient sur une modélisation de la performance en fonction d'un certain nombre de variables de conception. Des recherches approfondies avaient été menées dès le milieu du XVIII^{ème} siècle sous l'impulsion du grand ingénieur anglais Smeaton pour définir ces relations. Il avait développé un dispositif expérimental lui permettant de reconstituer la phénoménologie et de mesurer l'influence des variables.

Nous avons là l'essence d'un modèle conceptuel : à partir de la modélisation d'un phénomène il s'agit de définir *les variables de performance recherchées* et *les variables d'action ou de conception* sur lesquelles jouer pour obtenir le résultat désiré. Ces modèles conceptuels peuvent être très nombreux et variés. Ils remplissent plusieurs rôles : orienter et stimuler l'exploration des effets et des causes permettant de les obtenir, autrement que par de laborieux essais-erreurs comme dans le cas de la conception sauvage ; permettre une évaluation rapide des produits et donc leur rationalisation et leur amélioration.

Ces modèles sont très liés aux ingénieurs. Le but des sciences de l'ingénieur qui se développent au XIX^{ème} siècle consiste précisément à générer puis à organiser une riche panoplie de modèles conceptuels relatifs à des phénomènes très variés. L'enseignement aux ingénieurs fera d'ailleurs une place privilégiée et croissante à ces modèles conceptuels classés par grandes disciplines.

Cependant la connaissance d'un modèle conceptuel n'est pas suffisante pour concevoir un produit. Ils ne dispensent pas d'organiser un processus de conception. C'est ce que vont permettre les modèles génératifs.

Un modèle conceptuel : le principe de Carnot (Carnot 1824)

Dans son ouvrage « réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance » (1824), Carnot se propose de développer une théorie équivalente à la mécanique afin de « faire connaître à l'avance tous les effets de la chaleur agissants d'une manière déterminée sur un corps ». Il aboutit ainsi à des propositions qui constituent des modèles conceptuels. Par exemple sa proposition fondamentale : « la puissance motrice de la chaleur est indépendante des agents mis en oeuvre pour la réaliser; sa quantité est fixée uniquement par les températures des corps entre lesquels se fait en dernier résultat le transport du calorique » (p.58). Cette proposition met en évidence les paramètres de conception décisifs concernant la puissance motrice (les températures des sources) et montre aussi que certains paramètres, très souvent explorés jusque là pour améliorer la puissance, sont en fait sans effet (nature du fluide, nature des matériaux utilisés,...).

Mais Carnot est aussi très conscient que son modèle conceptuel n'est pas suffisant pour la conception. Il conclut son ouvrage par ces mots : « on ne doit pas se flatter de mettre jamais à profit, dans la pratique, toute la puissance motrice des combustibles ». Le concepteur doit en fait « Savoir apprécier, dans chaque cas, à leur juste valeur, les considérations de convenance et d'économie qui peuvent se présenter ».

2. La notion de modèle génératif

Là encore nous avons vu plusieurs exemples de modèles génératifs : la recette de conception des roues hydrauliques de Redentbacher, ou, chez Baldwin, l'étagement des

langages permettant qu'à une demande client formulée dans le cahier des charges correspondent des composants et des process standards via une architecture de référence.

Le modèle génératif peut être défini comme l'ensemble des connaissances permettant de structurer un processus de conception répété et conjonctif. Ce modèle devra préciser quels seront les concepteurs, quelles seront les connaissances utiles dont ils disposent déjà et comment pourront être produites les connaissances manquantes. Le modèle génératif ne prend son sens et sa valeur que dans la perspective d'une répétition de la conception, il vise alors à permettre celle-ci avec la plus grande économie de ressources. Deux propriétés sont très importantes pour un modèle génératif. Le pouvoir conjonctif qui est l'assurance plus ou moins grande pour le concepteur d'aboutir en le suivant à un résultat satisfaisant. Le pouvoir expansif désignera quant à lui l'espace des situations pour lesquelles cette conjonction est assurée. On pourra l'évaluer à la fois sous l'angle de la variété rendue possible et sous celui de la valeur qu'il permet de capturer. L'évaluation d'un modèle génératif se fera donc en évaluant d'un côté son pouvoir (ou puissance) d'expansion et son pouvoir conjonctif.

Modèles conceptuels et modèles génératifs vont jouer un rôle central pour « régler » la conception et permettre ainsi l'organisation collective de cette activité.

3. La conception systématique : un langage des objets pour une domestication performante

Comment vont se combiner modèles conceptuels et modèles génératifs ? A partir de ces notions nous pouvons revenir à nos régimes de conception et mieux appréhender les raisons de leurs performances relatives.

Dans la conception sauvage, les innovateurs-entrepreneurs s'efforcent de résoudre par essais-erreurs les problèmes rencontrés dans la génération précédente du produit qui sert ainsi de prototype. Les modèles conceptuels sont contingents aux problèmes rencontrés et les modèles génératifs sont limités à de la résolution de problème ou à des logiques de choix dans des catalogues de solutions existantes.

Dans la conception réglée en recette, les modèles conceptuels sont bien identifiés et ordonnés, ils ont servi à construire une théorie des roues à la base de la recette. La recette constitue le modèle génératif, l'enchaînement des étapes décrit le processus de conception. Celui-ci est fortement conjonctif, on est sûr d'obtenir une roue, mais faiblement expansif, certes les roues seront bien adaptées à chaque situation mais on ne produira pas de roue nouvelle, qui n'était déjà potentiellement inscrite dans la règle. La recette permet cependant un effort de domestication qui ne se réduit pas à la recherche dans un catalogue préexistant ni à l'effort de reprendre une conception « originale » pour chaque nouvel exercice de conception d'une roue.

Dans la conception réglée systématique, les modèles conceptuels sont multiples (au niveau du langage conceptuel bien sûr mais on en trouve également dans les autres langages fonctionnel, physico-morphologique, y compris économique). Le modèle génératif s'appuie sur un étagement des langages. Il suppose une compatibilité descendante afin d'éviter les retours en arrière qui ruinerait la performance du processus de conception. A chaque niveau de langage les concepteurs pourront générer des alternatives entre lesquelles ils auront ensuite à choisir. Cette « descente » rapide assure un fort pouvoir conjonctif. L'exploration de variantes à chaque étape permet d'accroître le pouvoir expansif (variété, performance accrue,...). Toutefois cette expansion se fait au sein de dominant design, i.e. sur la base de langages fonctionnels, conceptuels, physico-morphologiques, et de conception détaillée qui sont stabilisés. La conception systématique permet une domestication très efficace dans le

cadre de ces dominant design puisqu'elle permet simultanément une grande variété et un trend d'innovation, tout en préservant une économie maximale (on conçoit à minima) sur les ressources engagées dans la conception. En mettant en avant l'importance des modèles conceptuels et des modèles génératifs la conception réglée systématique désigne aussi les espaces sur lesquels les efforts doivent être portés pour opérer sa régénération.

4. Une bureaucratie générative

Une des conséquences fondamentales de la conception réglée systématique est qu'elle rend possible la division du travail de conception et la constitution de métiers spécialisés correspondant aux langages du modèle génératif et aux différents modèles conceptuels. Ces métiers sont souvent désignés d'ailleurs par la dénomination du modèle conceptuel dont ils s'occupent (thermiciens, acousticiens, ...). Les métiers vont jouer un triple rôle d'accumulation et de structuration de connaissances sur leur domaine de compétence (i.e. le ou leurs modèles conceptuels), de prescription dans la conception sur la base de leur expertise, et enfin de régénération ou de production de nouveaux modèles conceptuels. Le métier rend visible la notion non pas de technique mais de technologie, c.à.d. la capacité à réinventer et à adapter les techniques régulièrement. La constitution de ces métiers permet aussi la montée en puissance de nouveaux acteurs, les ingénieurs, formés dans des écoles spécialisées qui enseignent les grands modèles conceptuels.

Le Bureau d'études (on désignera ainsi la forme d'organisation qui met en œuvre la conception réglée systématique) est donc une bureaucratie car elle appuie son fonctionnement sur un ensemble de règles codifiées. Mais c'est une bureaucratie originale, ce n'est pas la bureaucratie administrative décrite par Weber puis par la théorie des organisations mais ce qu'il conviendrait d'appeler une bureaucratie générative. Ce qui la distingue, ce sont les modes de régénération possibles des règles et le fait que la routinisation porte en fait sur des langages de très haut niveaux (fonctionnel, conceptuel, physico-morphologique, ...).

Le Bureau d'études est contraint par l'ensemble des règles de plus en plus étoffé dont il se dote progressivement au fil des conceptions. Mais cet ensemble de règles est conçu de façon à préserver toujours des espaces de liberté et d'expansion possible (voir par exemple Tschochner 1957).

L'équilibre génératif/routinisé est l'une des questions majeures auxquelles le bureau d'études se trouvera confronté. Plusieurs dispositifs ont été mis en place pour l'y aider, nous pouvons en citer au moins trois. 1) Au début du XX^{ème} siècle on voit apparaître dans certains Bureaux d'études en Allemagne une figure originale, celle du réviseur. Il examine les plans avant qu'ils ne soient transmis à la fabrication et s'il considère qu'ils n'intègrent pas suffisamment des standards de conception, il demandera une reconception. La préoccupation est toujours la même : éviter tout effort de conception inutile et maîtriser le foisonnement qui ruinerait la performance tant du processus de conception que celui de fabrication ou d'après-vente. 2) La révision périodique des modèles et la différenciation des lignes de produits sont assurées directement par les grands responsables du Bureau d'études ou les patrons de l'entreprise comme chez Baldwin. 3) Enfin la genèse de nouvelles lignées de produit est souvent confiée à des unités disposant de fort moyens d'expérimentation et de prototypage et placées directement sous la houlette du « patron » qui s'y investit personnellement intensément (ex. de Thomson-Houston). On retrouve là une figure proche de celle de l'innovateur-entrepreneur mais endogénéisée à l'intérieur de la firme et qui intégrera dans son raisonnement la capacité à brancher ces nouvelles lignées sur le Bureau d'études, c'est-à-dire

à régénérer une conception réglée systématique capable d'accueillir et de déployer la nouvelle lignée.

5. Les effets pour l'entreprise

L'invention du Bureau d'études et la conception réglée systématique sur laquelle il s'appuie apparaissent comme une condition du développement de la grande entreprise industrielle qui s'impose au début du XX^{ème} siècle. Son enjeu, et la raison de son succès, est de répondre aux exigences de fabrication à fort volume tout en offrant une variété pour couvrir un large marché et en favorisant une double dynamique d'amélioration de la performance et de réduction des coûts.

Plus qu'une simple organisation de la conception, la conception réglée systématique offre à l'entreprise industrielle les moyens de construire, d'exprimer et de rendre opératoires des *stratégies de conception* cohérentes avec les enjeux évoqués ci-dessus. Ces stratégies de conception s'appuient sur des objets nouveaux qui deviennent les cibles de l'effort de conception. Il s'agit, comme nous l'avons vu, de *dominant design*, de cahiers des charges de référence, d'architectures de références (« types »), de familles de produit, qui renvoient aussi bien à des logiques de standardisation (en interne) que de normalisation (quand tout un secteur est concerné).

La conception réglée systématique va aussi jouer un rôle déterminant parce qu'elle permet aux grandes entreprises industrielles en plein développement de structurer un réseau industriel et de partager la conception entre les membres de ce réseau.

Enfin, si la conception réglée systématique et le bureau d'études qui lui est associé peuvent être considérés comme la première vague de rationalisation qui permet à l'entreprise industrielle de domestiquer la conception, elle va aussi lui permettre d'intégrer toute une série de nouveaux acteurs (associés eux aussi à des vagues de rationalisation) : le bureau des méthodes avec le Taylorisme, le laboratoire de recherche industrielle (pour développer de nouveaux modèles conceptuels), le marketing, le design, ...

IV. Une victoire à la Pyrrhus ?

Reprenons notre perspective historique pour montrer quel sera le devenir au cours du XX^{ème} siècle du Bureau d'études et de la conception systématique.

1. L'incontestable succès d'un modèle qui devient dominant

Cette nouvelle forme d'organisation de la conception se répand très largement voire tend à s'imposer comme un modèle unique. Elle offre en effet aux entreprises industrielles les moyens de rendre possible et d'organiser leur croissance par expansion de l'espace des produits qu'elle est capable de concevoir, de produire et de vendre. Cette croissance passe par une augmentation des volumes de production (notamment en jouant sur la variété et son organisation en familles) et par l'augmentation de la valeur des produits de plus en plus sophistiqués, elle requiert des organisations capables de mobiliser des compétences très nombreuses et très hétérogènes. Là encore le Bureau d'études va se révéler indispensable pour organiser une conception dont le caractère collectif est de plus en plus marqué. La taille des Bureaux d'études augmente d'ailleurs rapidement et l'on compte 2300 personnes dans les BE de General Electric en 1923

La performance de la conception réglée domine les formes préexistantes au point de se traduire par la quasi disparition des inventeurs indépendants (voir par exemple l'analyse du secteur de l'électro-technique dans la deuxième moitié du 19ème siècle dans Riedler 1916). La disparition après 1850 des entreprises anglaises de la compétition internationale sur les machines-outils s'explique largement par l'incapacité de ces firmes à adopter ces nouvelles logiques d'organisation alors qu'elles avaient été jusque là les leaders incontestés du secteur (Buxbaum 1921).

Autre succès remarquable, les firmes survivent à leur inventeur et sont capables de faire évoluer les technologies qu'elles maîtrisent et qui ont fait leur succès initial. GE, Siemens, AEG sont des exemples significatifs de cette pérennité favorisée par ce mode d'organisation.

Enfin cette domestication de la conception, loin de l'inhiber, étend la capacité d'innovation des firmes. L'innovation est dirigée et polarisée. Elle se développe dans des cônes reflétant les dimensions de la performance du dominant design.

2. Premières tensions jusqu'aux années 60

Des difficultés ne vont pas tarder à se manifester. La première tient à l'extrême sensibilité de la conception réglée systématique aux chocs externes. Un événement imprévu ou une évolution peut remettre en cause modèles conceptuels et modèles génératifs, il faut alors tout reconstruire. Le passage à la locomotive électrique, au moteur d'avion à réaction, au transistor sont autant d'exemples d'une telle déstabilisation.

La seconde tient à la stabilisation du dominant design et à un risque d'étouffement. Les modèles conceptuels se stabilisant à haut niveau, le travail des concepteurs se focalise sur des modèles conceptuels plus locaux et de plus en plus spécialisés comme en témoigne l'évolution des Maschinen elemente en Allemagne. La diffusion progressive des modèles de calcul favorise la recherche d'optimisation et peut laisser croire que la conception se réduirait à de la résolution de problèmes. Dans ces grands Bureaux d'études il s'agit presque d'organiser la disparition de la conception : le Bureau d'études idéal serait celui qui ne conçoit plus. La crise de recrutement des Bureaux d'études allemand à la fin des années 50 (Poitou 1996) témoigne de cette désaffection envers un type d'organisation où l'accumulation des règles laisserait de moins en moins de degrés de liberté et d'espace pour la création.

Pour palier le risque d'enfermement, des équipes spéciales, comme celle de Née chez Citroën, sont mises en places. Leur vocation est d'explorer de nouvelles voies pour renouveler l'identité des objets et les modèles génératifs. Ainsi Née et son équipe travaillent-ils aussi bien sur des voitures roulant à 300km/h que sur des hélicoptères. Ailleurs des pratiques de travail en perruque ou de « skunkwork » permettent aux ingénieurs, en travaillant aux marges des « dominant design », de régénérer leurs modèles et leurs compétences. Enfin les équipes de recherches proposent, elles aussi, de nouveaux modèles conceptuels.

3 Les crises contemporaines

A partir des années 60 les tensions latentes se transforment en crises récurrentes. Elles remettent en cause l'équilibre expansion/ressources qui avait été la clé du succès du Bureau d'études. Aussi bien l'expansion, c'est-à-dire la nature de ce qu'il y a à concevoir, que l'économie des ressources nécessaires sont touchées. Durant cette période on assiste à une montée inexorable des ressources consommées par la conception et des coûts associés. Les effectifs du Bureau d'étude de Renault par exemple sont multipliés par 20 entre 1960 et 1990. Cette explosion des ressources correspond à une logique de variété (segmentation marketing

toujours plus fine) et à un accroissement des caractéristiques définissant un produit et des performances attendues sur toutes ces dimensions (le cahier des charges d'un siège automobile tient sur une feuille de papier A4 en 1970 ; il passe à un document de plus de 150 pages 30 ans plus tard). Il y a donc de plus en plus à concevoir ; on assiste logiquement à une multiplication et une superposition des modèles conceptuels et génératifs. Mais leur cohérence n'est plus assurée, le compromis devient introuvable. Les remises en causes sont nombreuses, générant des dérives sur les plannings, les coûts ou les prestations. Mais surtout les modèles génératifs et conceptuels deviennent eux-mêmes instables ou évanescents.

Deux démarches tentent de répondre à cette première crise. Une approche néo-systématique, s'appuyant principalement sur de nouveaux outils d'aide à la conception, est progressivement mise en place. Même si plusieurs auteurs (Pahl et Beitz 1977; puis Suh 1990) s'efforcent de revaloriser les modèles conceptuels on assiste plutôt dans cette période à un nouvel envahissement par les recettes. La seconde approche est plus organisationnelle : le « concurrent engineering » puis la gestion de projet se généralisent dans les années 90.

La seconde crise porte sur la nature même de ce qu'il y a à concevoir. La montée en puissance d'un capitalisme de l'innovation intensive depuis le milieu des années 90 se traduit par une instabilité et une remise en cause de l'identité des objets. Appareils photo, téléphone, télévision autant d'objets familiers dont l'identité s'est brutalement déplacée. Noms nouveaux inventés pour désigner des objets qui n'existaient pas il y a encore une dizaine d'année. Or les Bureaux d'études et la conception réglée systématique sont particulièrement mal préparés pour affronter ces situations. Car ils ne deviennent efficaces, comme nous l'avons montré, que lorsqu'ils peuvent s'inscrire dans le cadre d'un « dominant design » stabilisé. Les questions de la valeur de ce qui est à concevoir, du type de marché et de la relation au client (le business model) sont résolues. Il est possible d'exprimer un cahier des charges et les compétences nécessaires sont identifiées et disponibles au début du processus. Ces hypothèses, comme nous l'avons vu, renvoient en fait à l'existence des modèles génératifs et conceptuels adéquats au dominant design.

Les situations de conception innovante où il s'agit de réviser l'identité des objets à concevoir supposent d'explorer et de structurer des espaces nouveaux de valeur et de compétences que nous avons proposé de désigner du terme de champ d'innovation (Le Masson, Weil et Hatchuel 2006). Comment les entreprises vont-elles pouvoir s'organiser pour cette tâche ? Quel rôle y jouera le Bureau d'études et la conception réglée ? Verra-t-on le retour des entrepreneurs-innovateurs de la conception sauvage ?

Cette dernière question, à laquelle nous répondrons négativement, permet de préciser les enjeux contemporains : la conception innovante n'a pas vocation à remplacer la conception réglée, elle a plutôt comme objectif de restaurer les conditions d'efficacité de la conception réglée. La nouvelle étape de la rationalisation de la conception à laquelle nous assistons aujourd'hui consiste ainsi à inventer des formes de raisonnement et d'organisation pour soutenir cette activité de conception innovante et à penser son articulation avec la conception réglée. L'enjeu de la conception innovante est de favoriser la génération des modèles génératifs et des modèles conceptuels nécessaires pour déployer une conception réglée sur les nouvelles lignées de produits. La question qui se pose aujourd'hui est celle du générateur à modèles conceptuels et modèles génératifs. Il s'agit plus de compléter que de remplacer le Bureau d'études et la conception réglée. On conçoit mieux combien il est précieux pour affronter ce défi de disposer d'une meilleure compréhension de la genèse et des logiques de la conception réglée et du Bureau d'études.

La combinaison de ces deux crises fabrique un redoutable effet de ciseau qui met aujourd'hui à rude épreuve Bureaux d'études et conception réglée.

Conclusion

Finalement nous avons montré que la naissance du Bureau d'études est intimement liée à l'histoire des grandes entreprises industrielles. Elle supposait que ses « concepteurs » réalisent une triple avancée théorique. Ils ont développé simultanément une nouvelle théorie des objets avec des langages beaucoup plus abstraits que ceux en usage jusque là, une théorie du sociale originale avec l'invention de la bureaucratie générative et une nouvelle théorie de la performance de l'entreprise basée sur la domestication de l'innovation par la conception réglée. Ce mouvement s'est opéré dans les grandes entreprises naissantes par la rationalisation progressive des activités de conception et l'organisation en leur sein de Bureaux d'études de plus en plus sophistiqués.

L'histoire des Bureaux d'études que nous venons d'esquisser est riche d'enseignements sur ces logiques de rationalisation dans les entreprises industrielles. Elle souligne l'importance du couplage des trois dimensions : raisonnement, organisation et performance. La rationalisation du Bureau d'études a imposé de structurer les connaissances à travers de nouveaux langages des objets et de d'organiser leur rapport au processus de conception. Seul cet effort sur les langages a rendu possible l'introduction d'une division du travail au sein de collectifs de plus en plus nombreux organisés en métiers spécialisés.

Pour les ingénieurs, l'invention du Bureau d'études marque un tournant. Ils y perdent leur figure individuelle pour se fondre dans des collectifs de conception. Mais les bureaucraties génératives qu'ils inventent leur permettent de réviser et régénérer leurs langages ou d'en inventer de nouveaux pour peu qu'on les oriente. N'est-ce pas le cas aujourd'hui pour l'usage le social ou l'esthétique ? L'intensité et l'étendue du renouvellement de leurs langages par les ingénieurs ne sont sans doute pas étrangères à la crise identitaire qu'ils traversent de nos jours. On pourrait s'interroger au regard de cette histoire sur le devenir des autres grandes figures de la conception : architectes et designers. Ne sont-ils pas eux aussi engagés dans une aventure similaire ?

Nous ne pouvons pour finir esquiver la question : que vont devenir les Bureaux d'études ? Sont-ils menacés d'éclatement ? Vont-ils disparaître d'occident et être remplacés comme nous l'annoncent certains commentateurs par des ingénieries indiennes ou chinoises ? Nous ne nous hasarderons pas à apporter une réponse tranchée à ce débat. Nous nous contenterons de souligner un élément apparu au cours de nos analyses et qui peut orienter les chemins de ces évolutions. Dans les régimes de conception réglée coexistaient en fait deux activités conjointes. L'activité rationalisée, celle qu'on voit le plus et c'est généralement elle qu'on désigne comme Bureau d'études, est bien outillée avec ses langages, ses règles,... Mais elle s'appuie pour fonctionner sur une seconde activité moins visible : les concepteurs des têtes de lignées, des modèles génératifs, ... Or c'est cette seconde activité qui aujourd'hui pose problème et qui appelle un effort de rationalisation, comme nous l'avons évoqué à propos de la conception innovante. Gageons que le destin des Bureaux d'études dépendra de la capacité à organiser ou ré-organiser cette conception de la conception.

Références

- Brown, J. K. (1995) *The Baldwin Locomotive Works 1831-1915, A Study in American Industrial Practice*, Studies in Industry and Society, P. B. Scranton, The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London, 328 p.
- Buxbaum, B. (1921) "Der englische Werkzeugmaschinen- und Werkzeugbau im 18. und 19. Jahrhundert." *Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie. Jahrbuch des Vereins deutscher Ingenieure*, (11), pp. 117-142.
- Carnot, S. (1824) *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, nouvelle édition de 1990 aux éditions Jacques Gabay, Sceaux., Bachelier, Paris.
- Hatchuel, A. (1996) "Les théories de la conception." Cours de l'Ecole des Mines, option Ingénierie de la conception. Paris.
- Hatchuel, A., et Weil, B. (1999) "Design-Oriented Organisations, Towards a Unified Theory of Design Activities." *6th international product development management conference*, Churchill College, Cambridge, UK, 5-6th July, 1999, pp. 1-28.
- Hatchuel, A., et Weil, B. (2003) "A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory." *ICED'03, august 2003*, Stockholm, Sweden, 14p.
- König, W. (1999) *Künstler und Strichezieher. Konstruktions- und Technikkulturen im deutschen, britischen, amerikanischen und französischen Maschinenbau zwischen 1850 und 1930*, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main. 263 p.
- Le Masson, P., Weil, B., et Hatchuel, A. (2006) *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*, Stratégie et management, A. David, Hermès, Paris. 471 p.
- Pahl, G., et Beitz, W. (1977) *Konstruktionslehre (english title: engineering design)*, K. W. Arnold Pomerans, translator, é. a. K. Wallace, Springer Verlag, édition anglaise: The Design Council, Heidelberg, version anglaise: London. 397 p.
- Poitou, J.-P., (1996) "Social shaping of cognitive processes theories, methods and norms used by design departments for industrial projects, a comparison between France and Germany" *COST A3 and COSTA A4 workshop, the role of design in the shaping of technology*, Lyon.
- Redtenbacher, F. (1852) *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus*, Bassermann, Mannheim
- Riedler, A. (1916) *Emil Rathenau, und das Werden der Grosswirtschaft*, Verlag von Julius Springer, Berlin. 249 p.
- Suh, N. P. (1990) *Principles of Design*, Oxford University Press.
- Tschochner, H. (1957) *Construire et réaliser, manuel de l'ingénieur d'études (industries mécaniques)*, Traduit de l'allemand par Constant Bohn, Editions Eyrolles, Paris. 255 p., Konstruieren und Gestalten, 1954, Verlag W. Girardet, Essen.