

PROPOSITION D'UN SCHÉMA D'ORGANISATION DES FORMATIONS DE CONCEPTEURS À L'ANALYSE DE SYSTÈMES TECHNIQUES : PYSTILE

Yves Cartonnet

Mon objectif est ici de proposer des actualisations pour les formations de concepteurs, dans le domaine de la technologie mécanique. En effet, partant des travaux de M. Combarrous (1984), d'Y. Deforge (1985), de G. Simondon (1958), et de ceux des réformateurs des années 1970, (Canongé et DuceL, 1969 ; Chabal et al., 1973 ; Géminard, 1970), je dresse un bilan des contenus et des méthodes d'enseignement de la démarche d'analyse de systèmes techniques. Je montre ainsi la nécessité d'actualiser cet enseignement technologique. Je propose donc ensuite des catégories d'informations techniques, technologiques et scientifiques, et des activités spécifiques pour leur apprentissage, sous la forme d'un schéma d'organisation de ces formations à la démarche d'analyse de systèmes techniques, en vue d'une pré-professionnalisation des concepteurs. Il se nomme PYSTILE comme Pyramide de Sciences et Techniques Industrielles.

Ce schéma est également un outil d'analyse des formations de concepteurs. Je l'utilise donc pour examiner l'offre éditoriale commerciale en France depuis 1940. Ainsi, en référence aux catégories d'informations que j'établis dans le schéma PYSTILE, cela permet de mettre en évidence une "scientifisation" des formations technologiques qui a eu lieu après la décennie 1970-1980.

Un des contenus principaux des formations de concepteurs est l'analyse des systèmes techniques. Cela s'explique par le fait que pour concevoir, les concepteurs utilisent le plus souvent des solutions techniques qui existent déjà. Il leur est donc nécessaire de les connaître, c'est-à-dire d'avoir analysé de façon approfondie des systèmes techniques aux cours de leur formation. Cela est vrai aussi bien pour des concepteurs de produits, comme des aspirateurs, que pour des concepteurs de procédés, telle l'obtention des pièces brutes par moulage au sable, ou d'organisation, par exemple le passage à l'euro. Mais nous limiterons ici notre réflexion aux formations destinées aux concepteurs de produits industriels – techniciens supérieurs et ingénieurs – dans le domaine de la technologie mécanique.

Le domaine industriel correspondant a connu des évolutions importantes depuis la deuxième guerre mondiale : avènement de la cybernétique, de la société de consommation, de l'informatique miniaturisée, des réseaux d'énergie et d'informations. Ces changements sont à prendre en compte dans les formations de concepteurs. La question que nous nous posons est donc de définir les actualisations à réaliser dans les situations de formation pour préparer les étudiants aux situations de travail qui seront les leurs.

Tout d'abord, nous allons établir un bilan de ce qui constitue ces formations depuis les années 1960 et montrer les nécessités de modification, d'actualisation issues des évolutions des produits industriels, de l'informatisation des services techniques et des modèles désormais plus collectifs d'organisation du travail. Nous montrerons ainsi la nécessité d'un cadre d'organisation des activités formant à l'analyse des systèmes techniques.

proposition
d'un schéma
d'organisation

Nous proposerons ensuite le schéma PYSTILE pour structurer ces formations à l'analyse des systèmes techniques. Celui-ci intègre les actualisations décrites précédemment.

Enfin, nous utilisons ce schéma comme outil d'analyse des ouvrages publiés pour la technologie mécanique au niveau d'enseignement universitaire, depuis 1940. Nous mettons ainsi en évidence l'évolution des structures de formation à l'analyse des systèmes techniques avant et après la décennie 1970-1980.

1. BILAN DES ACTIVITÉS DE FORMATION À L'ANALYSE DES SYSTÈMES TECHNIQUES ET NÉCESSITÉ D'ACTUALISATION

Les années 1970 ont été celles d'une réforme des formations techniques en France, surtout des formations de technologie de la construction mécanique. Des inspecteurs (Géminard, 1970) et des enseignants des ENNA (Écoles Normales Nationales d'Apprentissage) (Canonge et Ducel, 1969 ; Chabal *et al.*, 1973 ; Postic, 1971) ont élaboré des concepts ou introduit ceux utilisés dans les grandes entreprises, comme Renault, liaisons entre pièces, schéma cinématique minimal, circuits mécaniques, cotation fonctionnelle (Deforge, 1981) et ont rédigé des manuels pour que l'enseignement de la construction mécanique dépasse l'empilement d'études de cas et propose des analyses méthodiques, des généralisations, des synthèses sur les objets techniques. Avant cela, les cours étaient organisés par une liste de machines (pompe, soupape de vapeur, etc.) ou d'organes (vis, crapaudine, etc.) dont l'enseignant avait le plan d'ensemble, qu'il décrivait et dont il expliquait le fonctionnement. Puis les activités de formation consistaient à dessiner une pièce seule extraite de l'ensemble, souvent en ajoutant une vue en perspective à celles en projection orthogonale. Cela a été l'usage jusque dans les années 1960, par exemple pour les épreuves des concours d'entrée dans les grandes écoles d'ingénieurs.

dépasser la liste
d'études de cas

1.1. Deux démarches pour former des concepteurs

À la suite de cet enseignement qui juxtapose des études de cas, ces réformateurs proposent quatre types d'activités

pédagogiques devant conduire les élèves aux acquisitions technologiques (Chabal *et al.*, 1973, p. 91) :

- les exercices de lecture rapide d'un plan d'ensemble de machines (Cartonnet, 1992) ;
- le démontage et remontage de mécanismes, appareils, etc., (Doulin, 1996) ;
- l'étude comparative de mécanismes ;
- les exercices de créativité et de création (invention, modification limitée d'organes ou de machines).

L'examen des programmes et des pratiques en sections de techniciens supérieurs ou en école d'ingénieurs montre que ce sont bien encore ces activités qui y constituent l'enseignement technologique.

analyser
l'existant...

Ces activités relèvent de deux démarches. Les trois premières organisent l'analyse des machines et la quatrième est un travail pratique de conception de bureau d'études.

Concevoir un produit industriel nécessite d'utiliser des connaissances de natures et d'origines hétéroclites : des concepts et des lois physico-chimiques ; des normes ; des règles de métier ; la connaissance des solutions existantes ; des valeurs numériques caractérisant les performances d'un milieu de fonctionnement ; etc.

Par conséquent, la formation des concepteurs nécessite qu'ils apprennent ces différentes connaissances et cela se réalise par l'enseignement d'une démarche d'analyse de l'existant technique (produits, procédés d'obtention, organisation du travail). Et dans un second temps, en général, ils pratiquent des activités de conception (travaux pratiques de bureau d'étude, stages en entreprise, projets d'école) pour apprendre les démarches de conception et en particulier celle consistant à réinvestir leur connaissance de l'existant technique.

... pour le réutiliser

En ce qui concerne la démarche d'analyse de l'existant technique, pour dépasser la juxtaposition d'études de cas, il faut mettre en œuvre une première capacité de généralisation par catégorisation des produits industriels. Il s'agit de définir des caractères communs à une famille de machines, de trouver des relations d'équivalence entre produits industriels qui permettent ainsi de créer des classes d'équivalence de produits. Mais un concepteur ne peut pas, ensuite, utiliser strictement une représentation générale de produits. Les moteurs de Solex et de Ferrari ont des caractères communs mais les détails des solutions techniques sont évidemment différents. La deuxième capacité à former est donc de savoir adapter un principe – de structure ou de fonctionnement – à un milieu de fonctionnement, donc de particulariser. Nous verrons plus loin que cela nécessite aussi d'apprendre à modéliser les systèmes techniques. Enfin, les concepteurs doivent être capables de proposer, d'extraire de cette mémoire construite par l'analyse, des solutions pour réaliser une fonction donnée.

Nous allons maintenant préciser les contenus et les activités qui permettent de former ces capacités des concepteurs.

1.2. L'activité d'observation pour former la capacité de généralisation

On peut regrouper sous le terme d'activités d'observation les différentes activités de démontage/remontage, d'analyse et de "synthèse technique de constatation", plus récemment de travaux pratiques de technologie. En effet, dans tous ces cas, l'objectif de formation est le même : analyser selon une méthode explicite des machines, réelles ou à partir de leur plan d'ensemble, puis généraliser des "schèmes" technologiques.

• Les observables : les structures et les principes de fonctionnement

Depuis les années 1970, le schéma permettant la généralisation le plus souvent utilisé est le schéma cinématique minimal (Biondi et Cartonnet, 1996 ; Le Borzec, 1975). Une explication de ce choix vient des types de produits industriels qui ont été étudiés : des parties opératives de machines de transmission de puissance mécanique. Par exemple, la quasi-totalité des moteurs de voiture possède un système de transformation du mouvement de translation alternative des pistons en rotation continue du vilebrequin. Les réalisations concrètes sont toutes différentes – dans le détail des architectures, des composants utilisés et des dimensions – mais le schéma bielle-manivelle synthétise l'ensemble et offre ainsi une représentation pour conceptualiser tous ces embellages.

Le schéma a alors une double fonction. D'une part, il permet la conceptualisation d'une classe d'équivalence de produits industriels, en effet, il représente la structure commune à toutes les machines d'une même famille, comme les moteurs thermiques. Et d'autre part, il modélise un principe de fonctionnement : le schéma cinématique du système bielle-manivelle modélise le fonctionnement cinématique et dynamique car il permet de calculer les vitesses, les accélérations, et même les actions mécaniques (efforts et couples), si l'on prend garde à la modélisation.

Mais ce schéma ne prend pas en compte le fonctionnement thermodynamique du moteur thermique. Ces activités de généralisation d'une famille de machines par un schéma posent donc la question du choix d'un schéma caractéristique des systèmes techniques d'un champ technique. En effet, les produits industriels sont toujours le siège de plusieurs fonctionnements car plusieurs phénomènes physico-chimiques sont utilisés. Par exemple, des phénomènes électromagnétiques sont présents dès qu'il y a un moteur électrique et des phénomènes mécaniques dans toutes parties opératives. Il est donc nécessaire en enseignement de dégager le principe de fonctionnement principal. Ainsi, le schéma cinématique est très adapté pour représenter la partie opérative des machines mécaniques, puisque le fonctionnement principal est souvent cinématique et que ce type de schéma modélise les mouvements principaux

dépasser le cas
singulier...

nécessaires au fonctionnement. Mais pour les ponts ou les charpentes qui sont statiques, il ne présente que peu d'intérêt. Le schéma de résistance des matériaux est plus approprié pour distinguer précisément les différences entre les ponts à poutres droites, à poutres continues, cantilever, en treillis, à poutres à béquilles, en arc, suspendu. Selon moi ce choix du modèle théorique "principal" à retenir peut être guidé par l'explicitation de la performance principale de la machine considérée. Le schéma à privilégier est donc le plus efficace pour évaluer les performances les plus caractéristiques du système technique. Pour un moteur, un réducteur de vitesse, une boîte de vitesse, etc., la performance principale est la loi reliant vitesse d'entrée et vitesse de sortie, donc la théorie *ad hoc* est la cinématique et le schéma caractéristique est le schéma cinématique minimal. Et pour les ponts ou les charpentes, la performance la plus caractéristique est la limite de tenue à la charge de l'ouvrage, la théorie *ad hoc* est donc la résistance des matériaux et le schéma caractéristique celui de résistance des matériaux, qui utilise d'ailleurs certaines représentations normalisées de liaisons similaires à celles employées pour tracer les schémas cinématiques minimaux. Pour un système asservi, la théorie sera l'asservissement et donc le schéma d'asservissement. Etc.

... par le "bon"
schéma général

En résumé, l'activité d'observation a donc pour objectif d'apprendre à schématiser, à modéliser la structure et le fonctionnement principal. Cela a été mis en place depuis les années 1970. Mais les produits industriels ont évolué depuis et le schéma cinématique minimal n'est plus suffisant. D'une part, les fonctionnements à modéliser sont plus nombreux et plus complexes car parfois couplés. D'autre part, les structures peuvent être "ouvertes", elles sont alors traversées par des flux et leur étude nécessite l'emploi de la mécanique des fluides ou de la thermodynamique. De plus les structures sont désormais toujours composées d'une partie commande – les microprocesseurs sont omniprésents – et d'une partie opérative, plusieurs schémas sont alors parfois nécessaires. Par exemple, pour comprendre les fonctionnements d'une direction assistée d'automobile, il faut un schéma d'asservissement et un schéma hydraulique ou électrique. Pour guider les élaborations de ces schémas qui représentent de façon générale la structure et les fonctionnements principaux des produits industriels, une possibilité peut être d'explicitier les performances, nous verrons cela dans la deuxième section. Mais ces évolutions obligent aussi à redéfinir notre vision épistémologique des produits industriels. Voyons cela maintenant.

• De l'objet technique au système technique

En ce qui concerne cette définition épistémologique des produits industriels, une actualisation me semble à effectuer. Il s'agit de passer du concept d'objet technique à celui de système technique. J'emploie les mots d'objet et de système dans leur

sens habituel. L'objet est ce qui est donné à un sujet, ce qu'il peut percevoir par ses sens, le plus souvent la vue. Et le système est un ensemble d'éléments en interrelation les uns avec les autres.

À partir de ces définitions, il serait loisible d'objecter que le système n'est qu'un objet particulier. Mais la différence provient de la décomposition du tout en des parties. L'objet est constitué de parties, d'éléments, comme le système mais il est considéré par l'observateur comme un tout. Ainsi, la différence n'apparaît que par le sujet qui observe : soit il s'attache au tout, à une fonction d'usage de l'objet ; soit il cherche à identifier des éléments et des interrelations.

Actuellement le concept de système technique est triplement nécessaire. Premièrement, cette notion de système technique doit englober les notions d'éléments, de produits, d'ensembles. Ainsi, le système technique représente tous les produits industriels quelle que soit leur taille, de la vis à l'usine ou au réseau ferré national. Deuxièmement, les produits industriels ont des structures de plus en plus compliquées, elles incluent une partie commande à la partie opérative, le nombre des composants augmente, des capteurs de plus en plus nombreux sont installés. Et troisièmement, les fonctionnements de ces structures sont de plus en plus complexes. Les produits utilisent des réseaux d'énergie et d'information et participent eux-mêmes à des réseaux. La description de leur structure nécessite donc d'utiliser le concept de sous-système, et de système pour décrire leurs éléments et les interrelations qui existent entre eux pour assurer les fonctionnements.

L'introduction, en 1995, des enseignements d'automatique, d'asservissement et d'informatique industrielle dans les programmes de Classes Préparatoires aux Grandes Écoles est bien une prise en compte de ces évolutions. Le concept de système apparaît dans ces programmes pour des ensembles constitués d'une partie opérative associée à une partie commande. Mais les analyses de la partie opérative la font encore considérer comme un objet et non comme un système. Or aucune partie opérative ne fonctionne sans milieu intérieur. Par conséquent, même la partie opérative – l'unique objet d'enseignement jusque dans les années 1990 – doit être conceptualisée comme un système. Elle est un ensemble d'éléments – les pièces de la machine – "baignant" dans un milieu intérieur qui assure des interrelations, comme la lubrification des contacts ou comme le refroidissement, entre ces pièces. Pourtant, l'enseignement de la technologie mécanique depuis 1970 se fonde sur la conception des machines comme des ensembles de solides indéformables. Mais une machine a également besoin de fluides pour fonctionner. Par exemple, un moteur doit être lubrifié à l'huile ; l'unité centrale d'un ordinateur doit être refroidie par un flux d'air, etc. Ces fluides constituent ce que je considère comme un milieu intérieur, au sens que les biologistes donnent à cette expression.

trois raisons
d'utiliser la notion
de système

nécessité
d'homéostasie
pour les machines

Par conséquent, cette existence pour les produits actuels, d'un milieu extérieur d'une part, et d'un milieu intérieur d'autre part, nous oblige à les considérer et à les analyser comme des systèmes, avec les outils de la systémique. G. Simondon (1958) avait implicitement cette conception de système même s'il utilisait l'expression d'objet technique. En effet, sa notion de concrétisation caractérise une synergie de fonctionnement entre l'objet technique et le milieu. Le milieu devient associé et c'est donc la relation entre machine et milieu extérieur qui est centrale. C'est donc bien une vision systémique d'éléments et surtout d'interrelations entre ces éléments qui est alors implicite, mais la distinction de partie opérative et de partie commande lui manque. Elle sera introduite en 1987 dans les programmes de Seconde TSA (Technologie des Systèmes Automatisés) et c'est bien l'expression système automatisé qui est utilisée. Cependant la notion de milieu n'est pas explicitement mentionnée.

• L'activité de comparaison pour former la capacité de particularisation

En ce qui concerne les apprentissages technologiques, il y a toujours une tension entre le général et le particulier. Pour ces formations, bien sûr, il faut dépasser la présentation de juxtaposition d'études de cas, mais il ne faut pas arriver à des connaissances tellement générales, tellement conceptuelles qu'elles ne montrent plus la réalité des solutions techniques associées à un milieu de fonctionnement, qui, lui, est toujours particulier. Ces activités de comparaison servent donc à connaître la particularisation des solutions techniques à leur milieu de fonctionnement, cependant elles sont actuellement peu proposées aux étudiants car elles sont difficiles à mettre en œuvre du point de vue de la recherche documentaire pour les enseignants. La définition des milieux de fonctionnement nécessite des connaissances techniques expertes qui sont difficiles à obtenir.

J. Chabal *et al.* annoncent d'ailleurs déjà ce manque dans leur analyse de l'enseignement de la construction mécanique lorsqu'ils relèvent un point faible, selon eux, qui "*résidait en une présentation désincarnée des solutions (on disait une présentation abstraite) qui, par définition, n'associait pas 'telle solution' à un environnement technologique concret, à un problème spécifique, à des données relativement précises. Les conséquences de cette absence de conditions, étaient extrêmement sensibles lorsque l'élève, en exercice de conception était confronté à une question de 'choix', de sélection. L'expérience montre que les différentes solutions, de par leur contiguïté de présentation, l'absence d'échelle et de contexte, étaient perçues comme équivalentes.*" (1973, p. 89)

Cet intérêt d'enseigner les relations avec le milieu de fonctionnement a également été prôné dans l'enseignement à la conception de produit. Par exemple, F. Matray affirme dans sa *Pédagogie de l'enseignement technique* que "*la méthode*

des usages de machines toujours particuliers

importance de la
notion de milieu

d'enseignement de la technologie est donc essentiellement comparative et par conséquent bien adaptée à la formation de techniciens dont beaucoup auront à faire preuve de discernement" (1952, p. 117), ou plus récemment, Chabal et al. : "il est fourni deux variantes d'objets ayant même fonction globale. [...]. Ce redoublement des thèmes doit permettre [...] de construire des leçons de technologie comparative (étude des identités et des différences en corrélation avec les conditions) ; un tel type d'exercice (fort peu répandu actuellement) présenterait un apport culturel important." (1973, p. 87). Cependant cet intérêt s'est peu traduit dans les contenus effectifs des formations. Cela s'explique, comme je l'ai dit, par la difficulté, pour le faire, de connaître explicitement les caractéristiques des milieux de fonctionnement. Mais cela est désormais indispensable car la comparaison implique une évaluation de l'adéquation entre chaque solution et son milieu de fonctionnement. Cette évaluation est actuellement facilitée par l'informatisation des services techniques : les ordinateurs et les logiciels permettant, mais obligeant aussi, la modélisation des comportements physico-chimiques sont désormais disponibles pour toutes les entreprises.

L'informatisation permet et impose donc une "scientification" des activités de comparaison. Elle l'impose car des outils de dimensionnement précis étant désormais disponibles, il n'est plus acceptable économiquement de surdimensionner les éléments des produits industriels. Le maître mot est maintenant l'optimisation des solutions techniques. Il devient donc doublement nécessaire de former à la maîtrise de ces modèles théoriques et de leur utilisation informatisée. D'une part, ce sont des outils d'analyse, de compréhension précise, rationnelle parce que justifiée, de la bonne adéquation d'un produit – son architecture, ses composants, ses dimensions – à son milieu de fonctionnement. Et d'autre part, ils sont à utiliser lors des activités de conception.

La capacité de particularisation passe donc par le souci d'une prise en compte des adaptations de tout produit à son milieu de fonctionnement et donc par la mémorisation d'association solutions-milieux. Mais elle passe aussi par la capacité de modélisation selon des théories scientifiques pour pouvoir évaluer si ces adaptations des solutions aux milieux sont bien réalisées. Il ne faut pas entendre l'activité de modélisation au sens qu'on lui donne en science (Martinand, 1992, 1994), mais plutôt dans le sens de "modèles-outils" pour la technologie, précisé par M. Gahlouz (1994) dans sa thèse.

L'apprentissage des solutions existantes et des milieux de fonctionnement pour lesquels elles sont effectivement des solutions adaptées est le but de la démarche d'analyse. Mais cela n'est réalisé que pour préparer le réinvestissement de ces connaissances lors d'activités de conception. Je l'évoque maintenant car cela donne son sens à l'apprentissage d'analyse, pour les formations pré-professionnalisantes, cependant je ne

l'approfondirai pas parce que ce n'est pas mon propos ici et que cela demanderait de trop longs développements.

• L'activité de "création" pour former la capacité de proposition

quatre capacités à former

Finalement, quatre capacités sont à enseigner pour former un concepteur : la généralisation, la particularisation, la modélisation et la proposition. Toutes sont liées au fait que l'analyse est enseignée dans le but de réinvestir, lors d'activités de conception, les solutions et les méthodes que l'on a apprises grâce aux activités d'analyse. Les trois premières peuvent être enseignées lors d'activités d'analyse méthodique des systèmes techniques. La dernière relève de l'activité de conception seule. La création est soit un réinvestissement de l'existant technique, soit une invention réelle, une nouveauté originale.

trois méthodes pour former la capacité de proposition

F. Canonge et R. Duceil (1969, p. 39-57) propose trois méthodes pour former à la créativité. La première est la technique des solutions réciproques qui consiste à inverser, par exemple, contenu et contenant ou mobile et fixe, ou encore poussée et traction. La deuxième méthode est l'analyse combinatoire. Elle est également proposée par L. Géminard (1970). Il s'agit de recenser par l'élaboration de tableaux ou d'arbres l'ensemble des combinaisons des éléments composant les solutions techniques. Ces éléments étant identifiés, on construit les combinaisons en retenant, ou non, systématiquement chaque élément. Enfin, la troisième méthode proposée par ces auteurs est la recherche par analogie de fonctions.

J. Chabal *et al.* (1973, p. 78-84) proposent également les deux premières méthodes citées ci-dessus pour former à la créativité. Mais ils distinguent (p. 77) la créativité technologique : *"capacité d'émettre (de produire) des schèmes nouveaux satisfaisant une fonction ; œuvre d'imagination d'autant plus efficace que la quantité de schèmes produits est plus élevée"* et la créativité technique qui est *"la réalisation concrète d'un schème privilégié, choisi eu égard aux conditions imposées historiquement par les milieux associés"*.

Et maintenant des logiciels, comme *Techoptimizer*, et des méthodes, comme la méthode *TRIZ*, aident à trouver des solutions techniques innovantes en alliant une expression fonctionnelle des besoins et une très grande base de données des associations connues fonction-solutions.

J'insiste sur le fait que je mentionne cette capacité de proposition ici car elle est fondamentale pour un concepteur et elle justifie les activités d'analyse de systèmes techniques dont il est question dans cet article, justement pour construire ces bases de données des associations fonctions-solutions "classiques". Mais la formation de cette capacité n'est pas l'objet de ce texte. Elle mérite un travail à part entière.

2. PRÉSENTATION DU SCHEMA D'ORGANISATION DES FORMATIONS TECHNOLOGIQUES PYSTILE

La proposition d'un schéma d'organisation des formations technologiques que je présente ici complète ou corrige, parce que les produits, les outils et les organisations ont évolué, les définitions d'enseignement présentées dans la première partie. Une question centrale pour ces formations est celle des relations entre situation de travail et situation de formation. Quelles informations sont nécessaires à un concepteur pour maîtriser un champ technique ? Une explicitation de la notion de technicité va nous aider à définir ces informations qu'un concepteur expert aura transformé en connaissances.

2.1. Caractériser les technicités comme guides de formation

Plutôt que de la technicité, je parle des technicités car on peut considérer la technicité comme une aptitude humaine, la technicité des concepteurs, ou bien comme une caractérisation des systèmes techniques, la technicité des produits industriels. En effet, une première approche terminologique nous indique que la technicité est le caractère technique. On parle de technicité d'un terme, d'un exposé, de haute technicité d'un produit, souvent sous le vocable "hi-tech". Elle nous informe également d'une extension du sens du terme dans les années 1970 : la technicité caractérise alors l'art, l'habileté du technicien.

technicités des produits et technicités des concepteurs

Au-delà des dictionnaires, ce double aspect de la technicité, des humains et des produits, est accepté et étudié par plusieurs auteurs. G. Hottois (1994), à propos des conceptions philosophiques de l'objet technique de G. Simondon, relève que ce dernier veut "*dégager la technicité – mode d'être de l'objet technique et mode de pensée qui le produit – de tout ce qui l'obscurcit*" (p. 76). Ces deux modes qui forment la technicité sont bien propres aux produits, d'une part, et au technicien, d'autre part. M. Combarnous (1984), du point de vue d'un technologue, définit également la technicité comme un caractère du produit : "*ainsi aujourd'hui, tout le monde perçoit la plus ou moins grande technicité d'un engin, ou d'une solution*" (p. 22). Et il la définit également explicitement comme une expression d'aptitudes humaines : "*la technicité témoigne de l'existence d'un trait distinctif de l'homme : une aptitude à concevoir, à réaliser, à utiliser des associations de connaissances, toutes éprouvées par la pratique, aptitude inséparable d'un comportement favorable à la compréhension et à l'emploi des techniques. Cette aptitude et ce comportement sont souvent, et plus ou moins implicitement, englobés dans ce mot de technicité.*" (p. 22)

• **Technicité des concepteurs**

L'apparition de ce sens de la notion de technicité – son application à l'être humain plutôt qu'aux produits industriels – est datée des années 1970, selon les dictionnaires.

Mais que signifie précisément que la technicité soit une aptitude humaine ? De quelle aptitude parle-t-on ?

Le premier qui ait abordé cette notion de technicité fut G. Simondon (1958). Mais sur ce sens de la technicité comme une aptitude humaine, il n'exprime pas explicitement sa position. Cependant, il distingue deux types de rapports de l'humain avec les objets techniques, deux types d'apprentissages des techniques (p. 85) :

- le rapport minoritaire, rapport d'usage, appris dans l'enfance par immersion dans un milieu socio-technique, rapport dominé par le concret, par les objets, rapport de l'artisan qui *"sera comme un magicien, et sa connaissance sera opératoire plus qu'intellectuelle ; elle sera une capacité plus qu'un savoir"* (p. 89) ;
- et le rapport majoritaire, rapport dominateur sur les objets, rapport de l'ingénieur, appris par *"des symboles intellectuels"*, utilisant *"l'encyclopédie"* comme moyen d'apprendre et donc apprentissage rationnel *"parce qu'il emploie la mesure, le calcul, les procédés de la figuration géométrique et de l'analyse descriptive, parce qu'il fait appel à des explications objectives, et invoque des résultats d'expériences, avec le souci de l'exposé précis des conditions, [...], non seulement l'explication scientifique est requise mais elle est requise avec un goût net pour l'esprit scientifique"* (p. 93).

L'aptitude de technicité, que je comprends comme le rapport majoritaire, consiste donc à pouvoir dire les raisons pour lesquelles un technicien fait ses choix lors d'activités techniques.

Plus récemment, pour M Combarous, (1984), *"la technicité témoigne de l'existence d'un trait distinctif de l'homme : une aptitude à concevoir, à réaliser, à utiliser des associations de connaissances, toutes éprouvées par la pratique, aptitude inséparable d'un comportement favorable à la compréhension et à l'emploi des techniques"* (p. 22). En ce qui concerne les rapports des "techniciens", plutôt que ceux des utilisateurs, cet auteur considère que *"la technicité résulte de la réunion permanente de trois composantes premières :*

- *une composante d'apparence philosophique, la rationalité dans sa forme particulière de réflexion technique ;*
- *une composante d'apparence matérielle, l'emploi d'engins, (outils, instruments, machines, équipements, (p. 71)), comme intermédiaire entre des volontés et des actions ;*
- *une composante d'apparence sociologique, les spécialisations des individus et des groupes dans l'exécution de tâches coordonnées."* (p. 23)

"La rationalité des individus et des groupes qui assure l'efficacité des actes, l'emploi des engins qui accroît les possibilités humaines, les spécialisations qui permettent des approfondis-

sements, sont les trois composants premiers de la technicité ; composants dont la réunion constitue la base de toutes les activités techniques." (p. 70)

C'est cette rationalité spécifiquement technique qui m'intéresse pour constituer un guide de la recherche des informations indispensables à un concepteur spécialiste d'un champ technique.

En effet, pour ces deux auteurs, une caractéristique essentielle de la technicité comme aptitude humaine est que le technicien dans son activité technique utilise la rationalité. L'action est ainsi un effet d'une loi connue. Celui qui possède une technicité doit pouvoir dire : "on fait comme ça parce que...". Quelles sont alors les raisons à connaître pour justifier son action de conception ?

l'origine des raisons

Les sources de connaissances pour guider ou justifier l'action sont très hétéroclites (Postic, 1971, p. 25). Il s'agit (Combarous, 1984, p. 71) : des traditions, des recettes ; des normes et réglementations ; enfin des résultats scientifiques. Ainsi, comme on l'a vu ci-dessus, G. Simondon insiste sur le nécessaire goût pour l'esprit scientifique. Et M. Combarous (1984) résume sa position ainsi : *"la réflexion technique s'appuie solidement sur trois 'guides' ou habitudes :*

- le respect des acquis de l'expérience soigneusement conservés ;
- la pratique des méthodes cartésiennes ;
- *l'utilisation des lois scientifiques, souvent dans des formes approchées.*" (p. 76)

Il utilise donc "la pensée scientifique" comme source supplémentaire de résultats, d'acquis pouvant guider l'action, et par son troisième "guide" il promet donc la méthode expérimentale comme source de connaissances pour l'action.

La rationalité technique est donc l'utilisation de relations causales pour agir et l'exploitation de tous les savoirs, qu'ils soient d'origines empiriques, scientifiques ou réglementaires, pour établir ces relations causales. Les informations qu'un concepteur doit s'approprier pour devenir spécialiste sont donc d'origines multiples. Nous verrons que je propose de les définir dans quatre catégories dans le schéma PYSTILE.

• **Technicité des produits industriels**

L'examen des utilisations du terme "technicité", comme caractéristique d'une produit, montre que les acceptions de la notion de technicité d'un système technique dépendent du type de problème technique qui est résolu par ce système. Ainsi, lorsqu'il est question de haute technicité d'un système (Airbus A380, Concorde, Ariane, TGV, centrale nucléaire, ...) c'est parce que ce système est innovant, résulte d'une invention, ou bien parce que sa réalisation est le résultat du dépassement d'obstacles techniques jusqu'ici insurmontés. En effet, le lancement du TGV en 1982 a donné lieu à cette qualification parce que c'était la première fois qu'un train roulait

aussi vite en service continu. Mais actuellement qui s'extasie de mettre deux heures pour relier Lyon à Paris ? Qui ne se plaint des quarts d'heure de retard ? De la même façon, lorsqu'un constructeur automobile décide de réaliser un nouveau modèle, il ne sera pas question de haute technicité pour le moteur thermique, ou même pour la voiture sauf si la publicité met en avant les apports "du numérique" à ce nouveau modèle, ou les innovations en terme de sécurité, comme le système ABS ou les airbags.

la technicité
comme
adaptation
à un milieu

Pourtant que de solutions ingénieuses existent pour les systèmes d'essuie-glaces, les distributions de carburants dans un moteur thermique, les structures des pneumatiques et des suspensions, que de technicité est présente. C'est pourquoi la notion de technicité d'un système technique que je retiens pour guider l'élaboration des formations de concepteurs est celle qui se définit comme l'adaptation de ce système technique à son milieu de fonctionnement. La technicité d'un système technique est alors proportionnelle à la juste adéquation, nécessaire et suffisante, des solutions à la réalisation des performances voulues et à l'évitement des modes de défaillances prépondérants. Ainsi, on considérera l'augmentation de la technicité avec l'augmentation des performances (voiture de course, avion gros porteur comme l'A380, ...) et la rigueur du milieu (espace, désert, grand froid, ...). C'est donc la capacité d'une société à surmonter et à résoudre des difficultés techniques particulières, d'un milieu de fonctionnement particulier, qui fonde la technicité.

Et cette conceptualisation de la plus ou moins grande technicité d'un produit permet de guider les formations d'ingénieurs ou de techniciens supérieurs parce qu'elle permet de s'interroger et de choisir des systèmes techniques, des milieux de fonctionnement et des conditions d'adéquation des systèmes à leur milieu de fonctionnement.

Cette explicitation de ma vision de cette notion de technicité va éclairer les catégories d'informations techniques que je propose dans le schéma PYSTILE.

2.2. Présentation du schéma PYSTILE

Quelles connaissances un étudiant doit-il se construire pour maîtriser un champ technique ? Par exemple, en formation initiale quels savoirs enseigner pour former au niveau d'un ingénieur un spécialiste des guidages en rotation pour les locomotives, ou un spécialiste des guidages en rotation des roues d'automobiles ? Être spécialiste consiste alors à connaître dans les moindres détails les raisons objectives, rationnelles, au sens donné dans le paragraphe précédent, pour lesquelles le système technique est tel qu'il est, et donc à connaître également très précisément les caractéristiques de la fonction à réaliser, et ce aux différents moments de fonctionnement.

Les quatre catégories d'informations et les activités pour leur enseignement, pour atteindre un niveau de spécialiste sur un champ technique, sont organisées par le schéma PYSTILE (Pyramide de Sciences et Techniques Industrielles).

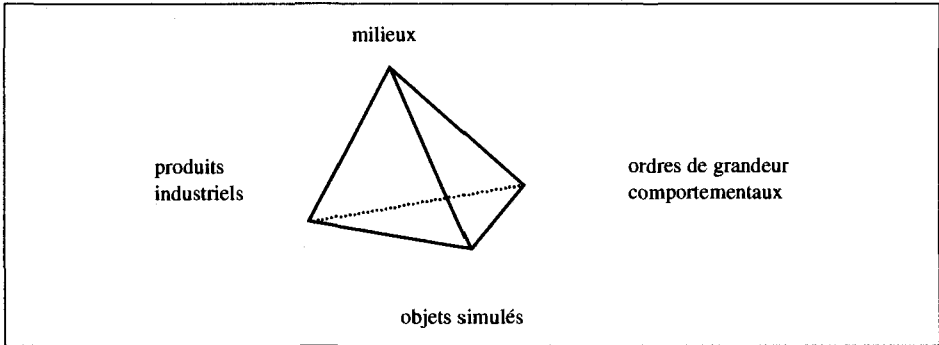


Figure 1. Le schéma PYSTILE

Les quatre catégories d'informations distinguées dans PYSTILE se réfèrent aux activités de conception en entreprises et permettent d'organiser la collecte de connaissances techniques utilisées par des concepteurs professionnels.

• **Les milieux**

Les informations de cette catégorie caractérisent les deux milieux, extérieur et intérieur, avec lesquels tout produit industriel est en relation.

Le milieu extérieur est l'environnement de fonctionnement du produit. Il a été précisé par J. Chabal *et al* (1973) par quatre qualités. Pour ces auteurs, le milieu extérieur, selon les phases considérées du cycle de vie du produit, se compose des milieux physique, humain, économique et technique.

Le produit remplit une fonction d'usage propre au milieu humain. Par exemple, le guidage en rotation des roues de locomotive est assuré par des "boîtes à essieux".

Le produit atteint les performances associées à la fonction d'usage et cela en subissant et en s'adaptant aux différentes conditions caractéristiques du milieu de fonctionnement, physique. Par exemple, pour des roues de locomotive, le guidage doit exister aussi bien au démarrage, en ligne droite, dans les courbes, les montées, les descentes, en montagne, sur la Côte d'Azur, l'hiver, l'été. Ces conditions font varier les valeurs des actions mécaniques, des vitesses relatives, des températures. Et dans toutes ces conditions de fonctionnement, les performances de résistance passive, des précisions de guidage doivent être celles spécifiées dans le cahier des charges.

fonction
d'usage...

... performances...

En tenant compte des différentes caractéristiques du milieu extérieur, le concepteur définit donc la structure du produit, c'est-à-dire l'architecture, les composants et les dimensions. Mais il définit également le milieu intérieur. Il définit les caractéristiques du milieu intérieur, leurs valeurs et les systèmes qui assurent la stabilité de ces valeurs, on pourrait dire les équilibres homéostatiques, malgré les variations des caractéristiques du milieu extérieur. Par exemple, il choisit le lubrifiant et conçoit son système de filtration et de refroidissement. Il prévoit des ventilateurs pour éviter une trop grande élévation de température, mais aussi des filtres entre l'air extérieur et le produit, comme pour les ordinateurs d'ateliers, afin que l'air du milieu intérieur soit propre, sans poussière, par rapport à celui du milieu extérieur.

... et modes
de défaillance
prépondérants

Dans cette catégorie de connaissances, pour une fonction d'usage nommée, au concept de performance s'ajoute celui de "modes de défaillances prépondérants". Ce dernier identifie les risques de défaillance qu'un spécialiste étudiera prioritairement et précisément lors de la conception. Par exemple, les guidages en rotation par éléments roulants dans le milieu des véhicules ferroviaires doivent être conçus pour répondre à six modes de défaillances prépondérants dans ce contexte : la fatigue, la pollution par la silice issue des ballasts, les passages de courant, les sur-couples au démarrage dus aux moteurs asynchrones, les glissements de sous-chargement et les vibrations générées par l'espacement régulier des traverses soutenant les rails.

• **Les produits industriels**

Je désigne par cette catégorie les informations qui représentent les produits industriels et les concepts qui permettent d'abstraire un ensemble de produits particuliers en une classe d'équivalence. Par exemple, le principe de fonctionnement cinématique – comme bielle-manivelle, ou quatre barres – est un de ces concepts. Le principe d'amplification d'effort – par levier, hydraulique, par genouillère – peut être un autre de ces concepts. La structure est un autre concept, au sens d'une systématisation de l'agencement des composants formant une classe de produits. Pour une classe d'entre elles, les structures des pompes doseuses sont systématiquement composées d'un moteur électrique, d'un accouplement élastique, d'un réducteur roue-vis, d'un système cinématique de transformation de mouvement, d'un piston, ou d'une cellule de dosage à membrane.

équivalence
de structure et de
fonctionnement

La difficulté pour définir cette catégorie d'informations techniques est de résoudre la tension entre deux nécessités paradoxales. Il faut réaliser une abstraction conceptuelle d'un ensemble de produits pour dépasser l'énoncé d'une suite d'études de cas. Et néanmoins il faut garder les particularisations des produits à leur milieu de fonctionnement et donc décrire très précisément les solutions techniques réalisant les fonctions, comme, par exemple, la lubrification, l'étanchéité,

les guidages et les assemblages, afin de permettre des comparaisons entre systèmes techniques. Une voie d'enseignement serait l'utilisation des schémas *ad hoc* relativement aux milieux de fonctionnement mais en diversifiant les champs techniques étudiés.

• **Les objets simulés**

Les connaissances de cette troisième catégorie sont les modèles théoriques scientifiques (dynamique, cinématique, automatique, thermodynamique, thermique, etc.) que le concepteur doit utiliser afin de modéliser le produit industriel pour évaluer s'il atteint bien les performances et s'il évite bien les défaillances énoncées par les "connaissances des milieux".

les modèles
scientifiques

Le concepteur doit donc établir différents modèles qui permettent chacun l'emploi d'une théorie scientifique à partir d'un produit industriel existant ou imaginé, et qui permettent des simulations prédictives des différents comportements physico-chimiques de ce produit. La simulation des comportements permet ainsi de prévoir les réponses de la machine aux sollicitations qu'elle aura à subir dans son milieu de fonctionnement et d'éviter ainsi les modes de défaillances connus. Ils permettent l'évaluation quantifiée des solutions constructives concurrentes, envisagées pour assurer une fonction technique.

• **Les ordres de grandeur comportementaux**

Enfin, la quatrième catégorie de connaissances techniques est constituée des ordres de grandeur comportementaux. Ces connaissances sont très particularisées. Ce sont des valeurs numériques qui permettent de concrétiser, pour un milieu de fonctionnement, les sollicitations subies, les réponses apportées, par exemple un effort et une rigidité, et de les comparer pour différents produits industriels ou différents objets simulés.

valeurs numériques
des
caractéristiques
internes

Ce sont les réponses des solutions classiques, relatives à un contexte donné, aux sollicitations du milieu de fonctionnement. Il s'agit ici des caractéristiques précises des limites de résistance des produits industriels. Par exemple, un mode de défaillance prépondérant des boîtes d'essieux de locomotive est la pollution par la silice issue des ballasts. Les caractéristiques de la graisse (additif, tenue à la chaleur, ...) à mettre dans les chicanes d'étanchéité sont des connaissances caractérisant les ordres de grandeur comportementaux. Ce sont les caractéristiques techniques de fonctionnement, internes au système technique. Elles se distinguent ainsi des performances qui sont plutôt les caractéristiques d'usage du produit industriel. Cette distinction est parallèle à celle entre fonction de service et fonction technique.

Pour terminer la définition de ce schéma, il est nécessaire de préciser que "une" PYSTILE se désigne par une fonction d'usage et les caractéristiques d'un milieu extérieur. Par

exemple, nous pouvons collecter les informations permettant la conception de vélos tout terrain sans neige. Ces connaissances constitueront une PYSTILE. Une autre pourrait l'être à propos des vélos routiers pour le cyclotourisme en France.

Mais ces informations ne seront acquises que si les étudiants les travaillent pour élaborer des connaissances. Il est donc nécessaire d'imaginer des activités permettant ses transformations des informations en connaissances. C'est la deuxième caractéristique du schéma PYSTILE de proposer des activités pour l'apprentissage technologique des concepteurs.

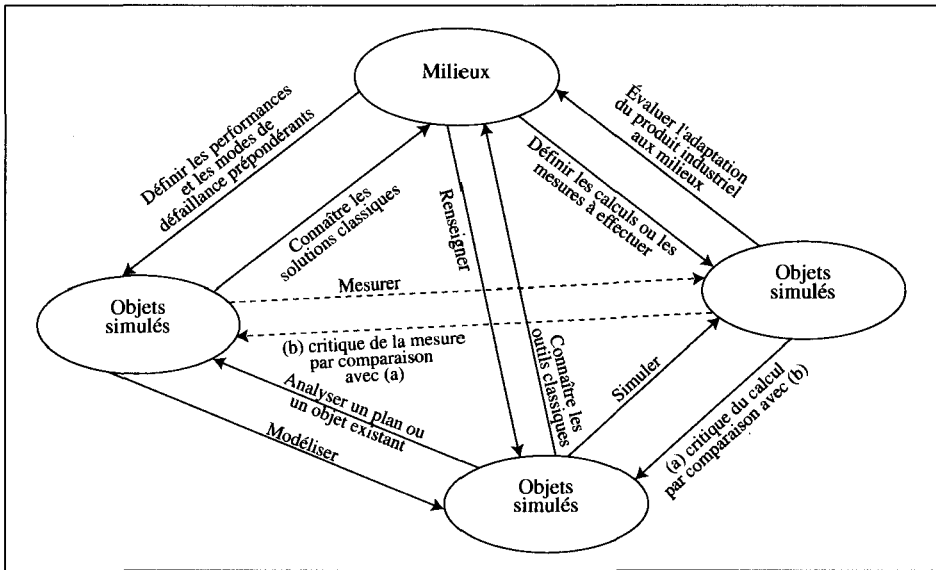


Figure 2. Activités proposées par le schéma PYSTILE

• Les activités de PYSTILE

Pour utiliser pédagogiquement cette catégorisation des informations propres aux concepteurs spécialistes d'un champ technique, il est nécessaire soit de faire effectuer aux étudiants les recherches documentaires pour qu'ils construisent des PYSTILE ; soit de les aider à transformer les informations fournies en connaissances par une série d'activités utilisant telles ou telles catégories d'informations. Ces activités sont décrites dans le schéma précédent. Ainsi, la figure 2 indique des activités pour lesquelles une, ou plusieurs, catégories d'informations de PYSTILE constituent des données de l'activité. Une autre catégorie d'informations permet alors d'élaborer les consignes de travail données aux étudiants, associées aux données précédentes. Par exemple, un produit industriel peut constituer une donnée pour une activité de mesure

expérimentale. La consigne serait de quantifier un ordre de grandeur comportemental – une rigidité. Avec comme donnée un objet simulé, la quantification se ferait par le calcul. Une autre activité pourrait être de valider la simulation par le calcul en effectuant une mesure.

Ce schéma PYSTILE est donc un outil pour organiser et inventer des formations technologiques de concepteurs. Mais il peut aussi être un outil d'analyse. Les catégories d'informations définies permettent alors de constituer une grille de lecture pour analyser les formations technologiques de concepteurs existantes.

Nous allons maintenant mettre à l'épreuve ce schéma PYSTILE pour analyser certains contenus des formations de concepteurs de la deuxième moitié du xx^e siècle.

3. UTILISATION DU SCHÉMA PYSTILE DANS L'ANALYSE DES CONTENUS DE L'OFFRE ÉDITORIALE POUR LES FORMATIONS TECHNO- LOGIQUES SUPÉRIEURES DE CONCEPTEURS

L'analyse à l'aide des catégories du schéma PYSTILE des livres scolaires et universitaires édités en France depuis la deuxième guerre mondiale permet de mettre en évidence les contenus de formation qui étaient promus par ces ouvrages – catalogue de descriptions en référence à la catégorie “produits industriels” ou calculs scientifiques sur modèles en référence à la catégorie “objets simulés” –, et donc les bases qui fondaient les enseignements technologiques durant cette période.

Pour examiner cette question, j'ai compté, dans les livres de construction mécanique publiés depuis les années 1940 (voir bibliographie spécifique), les graphismes par type, selon qu'ils représentent des produits industriels (plans, photographies, croquis, perspectives) ou des objets simulés (schémas théoriques, courbes). Notons, par souci méthodologique, que, dans les livres analysés, si les graphismes descriptifs des comportements mécaniques, en tant que courbes, sont remplacés par des tableaux, je les ai pris en compte.

Mes sources sont, essentiellement le fonds de la bibliothèque de l'École Normale Supérieure de Cachan. Le caractère significatif de cet échantillon a été vérifié par les catalogues électroniques des bibliothèques de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers, du Conservatoire National des Arts et Métiers et de la Bibliothèque Nationale de France. Le corpus que j'ai traité représente ainsi environ deux tiers des livres existants, essentiellement en langue française. J'ai recensé ces livres par les mots clés “conception”, “construction” et “mécanique” dans les notices complètes des livres et pas seulement dans les titres.

un schéma
opérationnel

- Le premier résultat, en ce qui concerne cette offre éditoriale, fait apparaître tout d'abord (Cartonnet & Martinand, 2000) que les quatre catégories de PYSTILE permettent d'analyser les contenus des ouvrages écrits par les ingénieurs experts d'un domaine, celui des distributeurs à tiroir en hydraulique industrielle dans notre échantillon de livres. Elles permettent en effet de décrire la totalité des contenus des ouvrages. La catégorisation semble donc opérante pour recenser les connaissances techniques utiles aux concepteurs de machines. Mais il apparaît aussi que toutes les catégories ne sont pas présentes dans tous les livres. Les connaissances de type *milieux* ou *ordres de grandeur comportementaux* existent essentiellement dans les ouvrages écrits par des ingénieurs pour des étudiants en enseignement supérieur. Ceux qui sont écrits par des enseignants, pour tous les niveaux, ne contiennent que des connaissances relevant des catégories *produits industriels* ou *objets simulés*. Sauf pour de très rares exceptions, un livre écrit pour les classes de Seconde TSA (Technologie des Systèmes Automatisés), les connaissances relevant des types *milieux* et *ordres de grandeur* sont absentes.

Dans le graphique ci-dessous (figure 3), je fournis l'évolution des deux taux de présence de graphismes selon le type d'informations auquel il se rapporte, comme je l'ai défini plus haut. Ces taux de présence sont calculés en divisant le nombre de graphismes d'un même type trouvés dans le livre par le nombre de pages du livre. Cela indique, par exemple, si l'on a un graphisme par page (taux de 1) ou un graphisme toutes les dix pages (taux de 0,1).

une rupture en
1970-80

- Le second résultat est que le taux de présence de graphismes du type *produits industriels* diminue fortement entre 1940 et 2000. : il est, en moyenne, divisé par trois, et la rupture apparaît autour de la décennie entre 1970 et 1980. Quelques précautions sont à prendre à propos de cette notion de moyenne. Il faut préciser que les graphismes de type *produits industriels* représentent soit des machines ayant une fonction d'usage autonome, comme un réducteur de vitesse, soit des solutions constructives réalisant des fonctions techniques de base, comme le guidage, la lubrification, l'assemblage, etc., qui n'ont pas de sens seules car elles n'assurent pas une fonction d'usage complète. Je qualifie ces fonctions techniques "de base" car elles existent sur toutes les parties opératives de toutes les machines. La baisse de ce taux de présence est due à la quasi-disparition des livres décrivant les réalisations techniques de ces fonctions techniques de base. Il s'agit des livres ayant des taux de graphismes de type *produits industriels* proches ou supérieurs à 1. Il y a donc deux types d'ouvrages présentant les *produits industriels* : soit des sortes de catalogues des solutions constructives, soit des ouvrages présentant des études complètes d'un type de machines. La moyenne que j'évoque est calculée à partir de

"scientifisation" de l'offre éditoriale

perte des descriptions de produits

ces deux types d'ouvrages. Il est donc important de le signaler du point de vue méthodologique.

- Le troisième résultat est que le taux de présence des graphismes de type *objets simulés*, relatifs aux comportements mécaniques, augmente, passant d'une valeur de 0,3, i.e. présence de trois graphismes pour dix pages, à une valeur de 0,4, soit quatre graphismes pour dix pages. L'utilisation des modèles issus des théories scientifiques augmente donc depuis 1980.
- Le quatrième résultat est que la modification mentionnée précédemment autour de la décennie 1970-80 s'observe également sur ce taux de présence des résultats de simulation. Avant 1970, on observe que selon les livres, pour un même livre le taux de présence de graphismes de type *objets simulés* est soit supérieur, soit inférieur au taux de graphismes de type *produits industriels*. Alors qu'après 1980, pour chaque livre, le taux de graphismes de type *objets simulés* est systématiquement supérieur au taux de graphismes de type *produits industriels*. Les ouvrages de type "catalogues de solutions constructives" disparaissent et les résultats des sciences sont davantage pris en compte ; l'utilisation des théories physico-chimiques, la référence à "l'esprit scientifique", un aspect de la rationalité technique qui forme la technicité des concepteurs se systématisent donc.

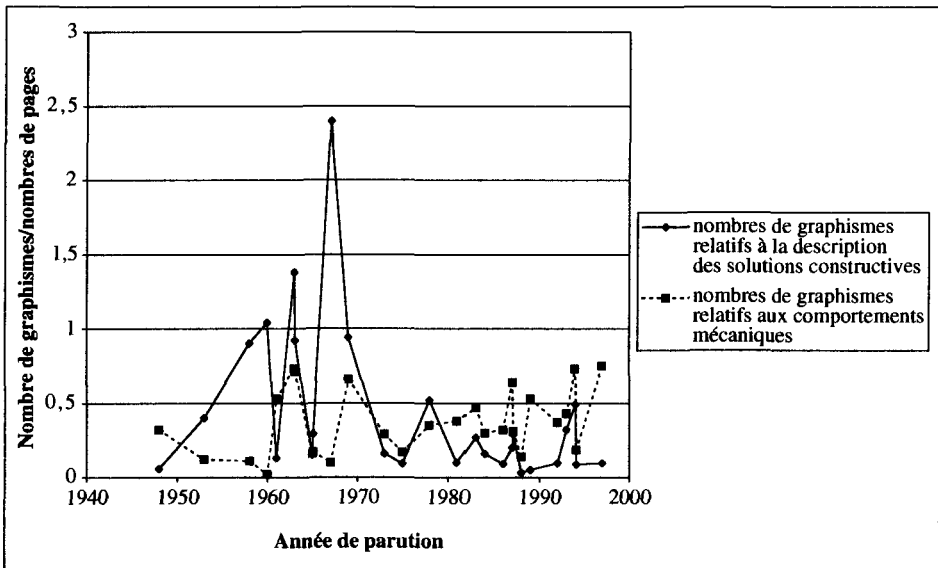


Figure 3. Analyse de l'offre éditoriale visant les formations post-bac

4. CONCLUSION

PYSTILE pour former
des concepteurs
spécialistes

En résumé, je propose, avec le schéma PYSTILE, un point de vue sur les technicités – aptitude humaine ou caractéristiques des produits industriels – et une organisation des informations technologiques et des activités à enseigner pour former des concepteurs spécialistes d'un champ technique.

D'autres ont eu ce souci avant moi, Canonge et Ducel (1969) proposaient déjà une approche assez similaire des formations technologiques, non pas pour la structuration en vue de réinvestissement en conception, mais pour l'analyse technique de constatation, comme "une forme d'observation et de réflexion méthodique. Elle consiste à se donner les directions de pensée habituelles dans l'analyse technique : fonction globale, décomposition de la fonction globale, comportement humain associé, forme et mode d'action des organes effecteurs, fonctions techniques en rapport avec les organes effecteurs et avec les conditions posées par le milieu extérieur. Il s'agit d'observer l'objet dans ses éléments et son architecture en le considérant comme un ensemble de solutions à des problèmes de fonction et de conditions à satisfaire." (p. 117)

Mais ce qui manque désormais dans ces publications antérieures, y compris celles de L. Géminard (1970), J. Chabal et al. (1973), c'est une présentation d'activités systématiques, résolues, sur un système technique qui dépasse la complication structurelle et la complexité de fonctionnement des objets techniques comme le critérium ou le barbecue, et qui inclue pleinement l'informatisation et la scientification des situations de travail en conception dans les entreprises. C'est pourquoi j'ai accompli ce travail d'actualisation.

Yves CARTONNET
LIREST, ENS de Cachan

BIBLIOGRAPHIE

BIONDI, J.-L. & CARTONNET, Y. (1996). La schématisation et l'ordinateur. *Technologies et Formations*, 68, 11-17.

CANONGE, F. & DUCCEL, R. (1969). *La pédagogie devant le progrès technique*. Paris : PUF.

CARTONNET, Y. (1992). *Recherche expérimentale sur les relations entre la vision stéréoscopique et les activités cognitives de conception en bureau d'études mécaniques. Préalable à la CAO en relief*, thèse de doctorat, Université de Provence. Éditions de l'Université de Lille.

CARTONNET, Y. (1996). Un problème commun : la lecture de plan. *Technologies et Formations*, 66, 20-25.

CARTONNET, Y. (2000). *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produit industriel*, mémoire de HDR, Université Paris 11, Orsay (téléchargeable sur le site Internet <http://www.lirest.ens-cachan.fr>).

CARTONNET, Y. & MARTINAND, J.-L. (2000). Analyse de l'offre éditoriale relativement à la formation à la gestion des risques. In A. Giordan, J.-L. Martinand et D. Raichvarg (Éds.). *Actes des XXI^e JIES* (pp. 459-464). Paris : DIRES.

CHABAL, J., DE PRESTER, R., SCLAFER, J. & DUCCEL, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique*. Paris : Foucher.

COMBARNOUS, M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris : Messidor, Éd. sociales.

DEFORGE, Y. (1981). *Le graphisme technique*. Paris : Éd. Champ Vallon.

DEFORGE, Y. (1985). *Technologie et génétique de l'objet industriel*. Paris : Éd. Maloine.

DOULIN, J.-R. (1996). *Analyse comparative des difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes techniques en classe de seconde : "TSA" (Technologie des Systèmes Automatisés)*, thèse de doctorat, ENS de Cachan.

GAHLOUZ, M. (1994). *Éléments de conception de contenus relatifs à la modélisation dans les pratiques de construction. Le cas du dimensionnement d'éléments structuraux dans les référentiels de BEP construction-topographie*, thèse de doctorat, Université Paris 7.

GÉMINARD, L. (1970). *Logique et Technologie*. Paris : Dunod.

HOTTOIS, G. (1994). *Ordre biologique, ordre technologique*. Paris : Éd. Champ Vallon, p. 72-95.

LE BORZEC, R. & LOTERIE, J. (1975). *Principes de la théorie des mécanismes*. Paris : Dunod.

MARTINAND, J.-L. (Éd.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

MARTINAND, J.-L. (Éd.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.

MATRAY, F. (1952). *Pédagogie de l'enseignement technique*. Paris : PUF, Coll. *Nouvelle encyclopédie pédagogique*.

POSTIC, M. (1971). *Introduction à la pédagogie des enseignements techniques*. Paris : Foucher.

SIMONDON, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier.

LISTE DES OUVRAGES ANALYSÉS POUR CONSTRUIRE LE GRAPHIQUE

1. ARQUES, P. (1989). *Théorie générale des machines, machines à réaction, motrices et réceptrices à vapeur ou à gaz*. Paris : Masson.
2. AUBLIN, M., CAHUZAC, R., FERRAZ, J.-P. & VERNHERES, G. (1996). *Construction mécanique*. Paris : Dunod.
3. BERNARD, F. & VIVIER, L. (1963). *Éléments de construction à l'usage de l'ingénieur, tome 5, transformation des mouvements*. Paris : Dunod.
4. BOUCAULT, R., LHIVERT, J. & MINETTI, F. (1994). *Construction mécanique*. Paris : Foucher.
5. BRUN, R. (1967, 71, 79, ici 1986, 4^e édition). *Science et technique du moteur diesel industriel et de transport*. Éd. Technip.
6. CARNE, D., GEAY, D. & RUBAUD, M. (1991). *Technologie des systèmes automatisés, seconde TSA*. Paris : Foucher.
7. CHABAL, J., DE PRESTER, R., SCLAFER, J. & DUCCEL, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique*. Paris : Foucher.
8. CORBET, J.-C. & DUCRUET, A. (1996). *Codotec : compilation de documentation technique*. Éd. Codotec.
9. DERREUMAUX, B. (1991). *Les transmissions*. Éditions ETAI.
10. DROUIN, G., GOU, M., THIRY, P. & VINET, R. (1982, 1986 deuxième édition revue et augmentée). *Éléments de machines*. Éditions de l'école polytechnique de Montréal.
11. GUILLON, M. (1992). *Commande et asservissement hydrauliques et électrohydrauliques*. Paris : Lavoisier.
12. HALCONRUY, T. (1995). *Les liaisons au sol*. Éditions ETAI.
13. HESNAULT, F. (1994, 1997). *Construction mécanique, trois tomes*. Paris : Dunod.
14. JOURDAN, L., PERRIN, J. & PRAT, D. (1987). *Technologie des systèmes automatisés. Quatre tomes : les parties commandes, les parties opératives, la mise en œuvre, les systèmes techniques*. Paris : Dunod.
15. FAISANDIER, J. (1987, réédité 1989). *Mécanismes oléo-hydrauliques*. Paris : Dunod.
16. FANCHON, J.-L. (1994). *Guide des sciences et technologies industrielles*. Paris : AFNOR-Nathan.
17. LENORMAND, G., MIGNÉE, R. & TINEL, J. (1969, réédité 1981). *Construction mécanique, éléments de technologie, 4 tomes*. Paris : Foucher.
18. MAYER, E. (VDI – Verlag, 1974, 1877, ici trad. Bordas, 1978). *Garnitures mécaniques d'étanchéité de l'élément Axiale Gleitringdichtungen*. Paris : Dunod technique.
19. MILLET, N., BOIREAU, Y. & LECANU, A. (1997). *Sciences industrielles en classes préparatoires aux grandes écoles, première année, deuxième période*. Paris : Éd. Casteilla.

20. PAHL, G. and BEITZ, W. (1996). *Engineering design, a systematic approach*. Springer, 1977 1^{re} édition en allemand, rééditions en 1986 puis 1993, travail sur l'édition anglaise de 1996, Springer.
21. SPINNLER, G. (1997). *Conception des machines, principes et applications, trois tomes : statique, dynamique, dimensionnement d'organes et architectures de machines*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
22. STEPANOFF, A. J. (1961). *Pompes centrifuges et pompes hélices*. Paris : Dunod.
23. SZWARCMAN, M. (1983). *Éléments de machines*. Paris : Lavoisier.
24. TORANCHEAU, A.-L. & BRU, A. (1965). *Éléments de construction à l'usage de l'ingénieur, tome 4, Courroies, engrenages, frictions, boîtes de vitesses, variateurs*. Paris : Dunod.
25. UPSTI (collectif) (1993). *Modélisation et schématisation cinématiques des mécanismes*. Paris : Bréal.