



HAL
open science

Particulariser et concevoir des interfaces : deux capacités de conception à apprendre

Michaël Huchette, Yves Cartonnet

► To cite this version:

Michaël Huchette, Yves Cartonnet. Particulariser et concevoir des interfaces : deux capacités de conception à apprendre. AIP-PRIMECA, 2003, La Plagne, France. hal-03349797

HAL Id: hal-03349797

<https://hal.science/hal-03349797v1>

Submitted on 20 Sep 2021

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.

Particulariser et concevoir des interfaces : deux capacités de conception à apprendre

Michaël Huchette, Yves Cartonnet

Unité Mixte de Recherche : Sciences, Techniques, Enseignement et Formation (STEF)

Département Génie Mécanique (DGM)

Ecole Normale Supérieure de Cachan

94235 Cachan cedex, FRANCE

E-mail: [huchette|cartonnet]@stef.ens-cachan.fr

Résumé

Le premier objectif de ce texte est de préciser deux contenus d'enseignement qui nous semblent de première importance pour la formation des concepteurs contemporains de machines industrielles : d'une part la capacité à particulariser une solution technique à son milieu de fonctionnement ; d'autre part la capacité à régler les problèmes d'interface entre deux sous-structures d'une machine, conçues par des personnes différentes.

Le deuxième objectif du texte est de présenter les résultats d'une recherche en didactique sur des difficultés rencontrées par des étudiants, spécifiques aux deux contenus d'enseignement précédents. Ces étudiants, en licence de technologie mécanique, ont été filmés pendant qu'ils suivaient un module de formation à la conception distribuée de machines industrielles (CoDiMI).

Abstract

The first aim of this text is to specify two education contents for the training of actual mechanical engineering designers, that we think, it's very important: in one hand the capacity to particularize a technical solution in its running medium; in the other hand the capacity to solve the problems of interface between two substructures of an engine, which is designed by different people.

The second aim of the text is to give the results of a research in education science about difficulties encountered by students, specific to the two education contents preceding. These students, undergoing training in "licence de technologie mécanique", were filmed during they were having a training to distributed design of industrial engines.

Introduction : deux constats sur les formations technologiques du supérieur.

Nous pouvons faire deux constats sur les formations technologiques actuelles du supérieur. Premièrement un effort important a été fait et est encore fait, dans ces formations, pour maîtriser et développer les nouveaux outils informatiques d'évaluation des produits par modélisation, qui sont de plus en plus performants. Et nous pensons que c'est une bonne chose car l'évaluation fait partie de l'activité de conception des machines industrielles. Deuxièmement l'organisation du travail dans les entreprises industrielles, qui évolue vers le modèle de l'ingénierie concourante, avec des équipes-projets et avec des sous-traitants, est peu prise en compte dans les formations. Elle est difficile à prendre en compte étant donné le caractère individuel des cursus et des diplômes.

Le premier constat nous amène à remarquer que l'importance accordée à l'évaluation de solutions techniques par modélisation ne doit pas nous faire omettre une autre capacité préalable et tout aussi importante pour concevoir : la capacité de particularisation d'un produit à son milieu de fonctionnement. Le deuxième constat nous amène à préciser un nouveau contenu à enseigner : la capacité à régler les problèmes d'interface entre deux sous-structures d'une machine, conçues par des personnes différentes.

1 Deux capacités de conception à enseigner : la particularisation et la conception des interfaces

1.1 La particularisation

La particularisation est une activité du concepteur, préalable à et intégrant l'activité d'évaluation par modélisation. Il s'agit d'adapter une solution technique à son milieu de fonctionnement prévu. Ce dernier est particulier, caractérisé par des performances à atteindre, et des modes de défaillances prépondérants.

Par exemple le milieu de fonctionnement "essieu de locomotive", pour un roulement, se caractérise par :

- Les performances de durée de vie, de charge et de vitesse.
- Les modes de défaillance prépondérants : détérioration des cages, passage de courants, usure, surcharges ponctuelles, pollution par la poussière de silice provenant des ballasts, grippage de roulements sous-chargés, faux brinelling.

Lors du choix de l'architecture des montages de roulements, des types de roulements, et des dimensions des roulements des essieux d'une locomotive, il faudra évaluer la solution retenue, grâce à une modélisation appropriée et des outils informatiques, dans le but de vérifier qu'elle atteint bien les performances et qu'elle évite les modes de défaillance prépondérants, caractéristiques de ce milieu de fonctionnement.

La particularisation, adaptation au milieu de fonctionnement, correspond ainsi à des choix pour l'architecture, les composants et les dimensions qui définissent une solution technique. Ne pas considérer les caractéristiques du milieu de fonctionnement – performances et modes de défaillances prépondérants – conduit à utiliser des solutions techniques inadaptées. Considérer des critères qui ne correspondent pas à ces caractéristiques conduit à faire des modélisations inutiles. Dans l'exemple des roulements d'essieu, modéliser le phénomène de fatigue des chemins de roulement et effectuer les calculs associés «de durée de vie» n'est jamais fait par un expert en roulements pour véhicules ferroviaires, car ce n'est pas un mode de défaillance prépondérant.

Savoir particulariser suppose de connaître la notion de milieu de fonctionnement, caractérisé par des performances et des modes de défaillance prépondérants. Cela suppose aussi de connaître des associations de milieux de fonctionnement et de solutions techniques adaptées à ces milieux, et les caractéristiques des milieux de fonctionnement dont on est le spécialiste.

1.2 La conception des interfaces

Nous nous plaçons dans un modèle de conception distribuée entre plusieurs équipes de concepteurs, selon les différentes sous-structures de la machine conçue. Cette distribution des tâches selon les sous-structures de la machine se fait par exemple dans l'industrie automobile : pour concevoir une voiture, les projets sont découpés en sous-ensembles de façon standard : planche de bord, climatisation, instrumentation, soubassement, berceau moteur, train avant, train arrière, freinage (Chez Renault, d'après [4], p. 60).

Lors de la conception de la machine, des moments doivent être consacrés par chaque équipe à régler les problèmes de compatibilité de leur sous-structure avec celles des autres. Ces problèmes concernent uniquement certaines "zones" de la sous-structure, à savoir des éléments d'architecture, des composants ou/et certaines dimensions. C'est l'ensemble de ces "zones" que nous appelons "interface" entre deux sous-structures. Et pour que ces interfaces soient conçues, c'est-à-dire que les problèmes d'incompatibilités soient réglés, il est nécessaire que les équipes de concepteurs se communiquent les informations définissant entièrement l'interface, que nous appelons les "paramètres déterminant" l'interface.

Nous proposons dans le tableau 1 une typologie des interfaces possibles entre deux sous-structures d'une partie opérative de machine, les incompatibilités associées à éviter et les paramètres déterminant ces interfaces. Les jeux (de fonctionnement et de montage) consistent en des espaces qu'il est nécessaire de laisser libres par l'une ou l'autre des équipes de concepteurs pour laisser la place à une pièce ou un ensemble de pièces que l'autre équipe a en charge. Les surfaces de jonction séparent deux parties de la machine conçues par deux équipes différentes. Enfin, il faut que le milieu intérieur de la machine (conditions de lubrification, de température, ...) soit choisi de manière cohérente par les différents concepteurs, et que toutes les solutions techniques retenues soient compatibles avec ce milieu intérieur.

Type d'interface	Incompatibilités possibles	Paramètres déterminants
Jeux de fonctionnement	Interférence de position de deux pièces statiques	Positions et volumes des pièces
	Écart de forme des surfaces théoriques de contact* de deux pièces en mouvement relatif	Les formes (type de forme géométrique et dimensions) des surfaces théoriques de contact et jeu.
	Écart de position des surfaces théoriques de contact* de deux pièces en mouvement relatif	La position des surfaces théoriques de contact par rapport au reste de la machine.
	Interférence cinématique (collisions)	Surface enveloppe des trajectoires des points d'une pièce mobile.
Jeux de montage	Interférence de montage	Surface enveloppe des trajectoires des points d'une pièce au cours de son montage. Dimensions des orifices de passage.
Surfaces fictives de jonction (qui séparent une pièce en deux parties au sein de la matière)	Écart de forme des surfaces fictives de jonction	Les formes (type de forme géométrique et dimensions) des surfaces théoriques de contact.
	Écart de position des surfaces fictives de jonction	La position des surfaces théoriques de contact par rapport au reste de la machine.
Surfaces d'assemblage (entre deux pièces en liaison complète)	Écart de forme des surfaces de contact de deux pièces assemblées	Les formes (type de forme géométrique et dimensions) des surfaces théoriques de contact.
	Écart de position des surfaces de contact de deux pièces assemblées	La position des surfaces théoriques de contact par rapport au reste de la machine.
Le milieu intérieur	Milieu intérieur incohérent	Les solutions techniques dessinées pour assurer la lubrification et l'étanchéité.

Tableau 1 : Proposition d'une typologie des interfaces possibles entre deux sous-structures d'une partie opérative de machine, les incompatibilités et les paramètres déterminants associés.

Ces deux contenus étant définis, nous donnons ci-dessous des résultats empiriques que M. Huchette a obtenus dans le cadre de sa thèse de doctorat en didactique, concernant les difficultés d'étudiants à particulariser et à concevoir les interfaces, lorsqu'ils suivaient le module de formation "CoDiMI". Nous commençons par rappeler les caractéristiques du module de formation "CoDiMI", que nous avons déjà présenté en détail au 7ème colloque sur la conception mécanique intégrée AIP-PRIMECA, en avril 2001 [2].

2 Le module de formation "CoDiMI"

Le dispositif de formation en question s'intitule "CoDiMI" parce qu'il est construit comme la simulation d'activités professionnelles de **Conception Distribuée de Machines Industrielles**. Il constitue, depuis l'année universitaire 1998-1999, un module de vingt heures de la licence de technologie mécanique de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.

Pour ce module de formation, les 80 étudiants d'une promotion sont groupés par 2 ou 3. Chaque groupe est jumelé avec un autre groupe, et travaille avec lui simultanément, mais à distance, dans un autre bâtiment de l'école. Les deux groupes constituant une telle unité de travail peuvent communiquer par messagerie électronique (chat) et par visioconférence (voir figure 1). Les postes de visioconférence sont munis d'un banc-titre qui permet de retransmettre l'image d'un document disposé sur la table. Ils disposent de plus du logiciel de calcul Mathcad et d'une base de données en réseau sur les pompes doseuses existantes.

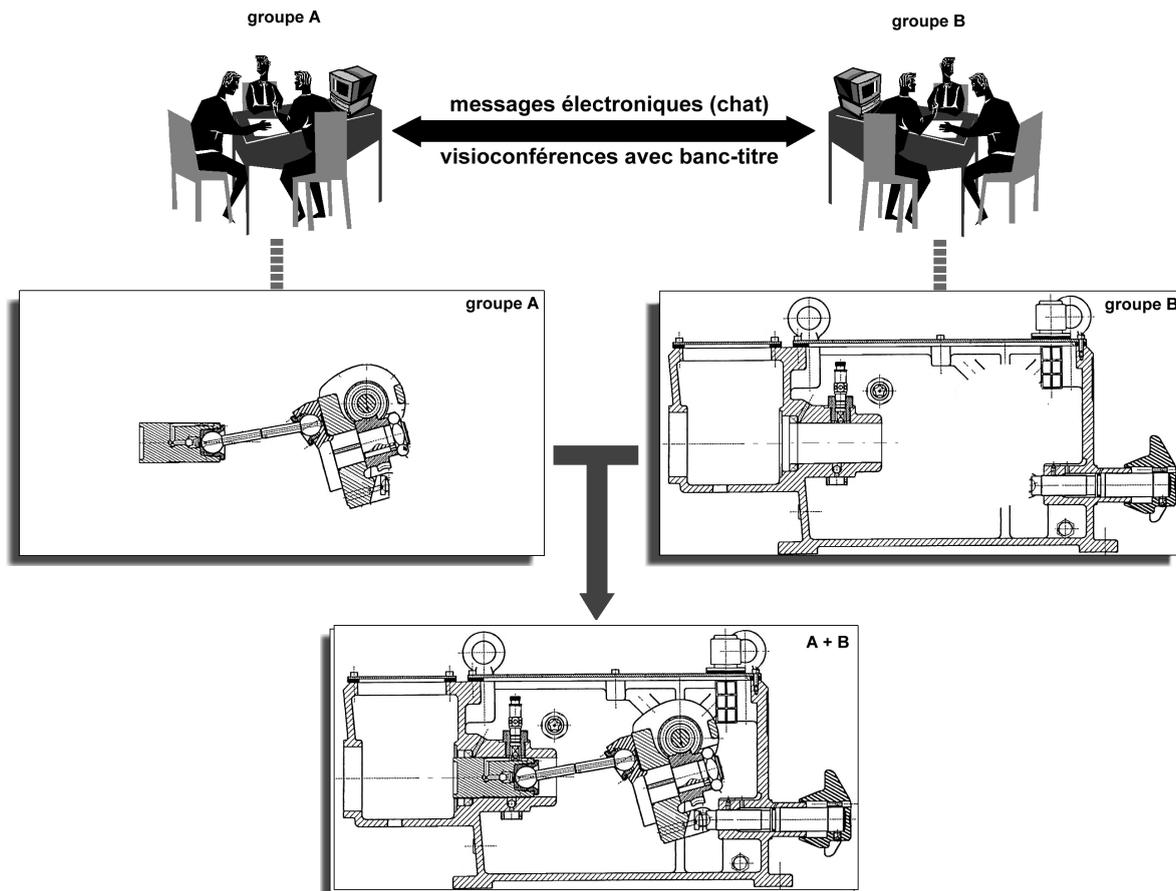


Figure 1 : Deux groupes de 2 ou 3 étudiants travaillent ensemble, à distance. Ils constituent une « unité de travail ». Ils peuvent communiquer par messages électroniques ou lors de visioconférences. La production attendue de chaque groupe est un plan partiel de la machine à concevoir, qui doit compléter celui du groupe jumelé.

Le travail demandé aux étudiants est de concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse qui permet d'envoyer du méthanol en fond de puits de pétrole à partir d'une plate-forme pétrolière. Le méthanol sert en effet d'antigel et permet d'éviter les bouchons lors de la remontée en surface du pétrole, qui gèle à cause de la détente des gaz qu'il contient. La pompe devra assurer un débit réglable de 20 litres par heure maximum sous une pression de refoulement de 400 bars.

Chaque groupe travaille d'abord quatre heures à une recherche documentaire des pompes doseuses existantes, hors coopération. Ensuite, pendant seize heures (deux fois huit heures consécutives), deux trinômes jumelés travaillent selon un protocole de conception distribuée. L'un s'occupe de la chaîne de transformation de puissance, constituée des sous-structures suivantes : le moteur électrique, l'accouplement élastique, le réducteur, le système de transformation de mouvement, le coulisseau et la cellule de dosage. L'autre s'occupe de la conception du carter et du système de réglage du débit avec blocage. Chaque trinôme produit le plan d'avant-projet de la partie de la pompe doseuse dont il a la responsabilité, sur une feuille de calque millimétrée (voir figure 1). Excepté à la pause de midi, où ils peuvent se voir à

l'extérieur des salles de classe, les étudiants ne peuvent communiquer que par visioconférence ou par messages électroniques synchrones (ou chat).

Les observations que nous rapportons dans la suite ne portent que sur les 8 dernières heures de conception distribuée.

3. Des difficultés spécifiques à la particularisation

Afin d'organiser nos observations et de préparer une grille d'interprétation, nous avons choisi des indicateurs des difficultés des étudiants. Pour cela, nous nous sommes appuyés essentiellement sur des concepts et des résultats empiriques issus de travaux de recherche dont l'objet est l'activité de conception des professionnels de bureau d'études et d'autres dont les objets sont les situations de formation à la conception.

3.1 Les indicateurs des difficultés de particularisation

Yves Cartonnet propose de caractériser les capacités à former chez un élève-concepteur par une "boucle d'actualisation" ([1], p. 86). Selon ce schéma d'organisation de la formation à la conception, pour un niveau de détail donné dont le concepteur a la responsabilité – par exemple le niveau du plan d'avant-projet du système de réglage d'une pompe doseuse – une étape de la conception consiste à préciser cette sous-structure de la machine par étapes successives. Chaque étape correspond au passage d'une représentation graphique de la machine à une autre plus précise. La modification d'une représentation de rang n dite « objet actuel » à un moment donné, en une autre de rang $n+1$ se déroule en quatre étapes, qui correspondent à des capacités différentes :

- anticiper et énoncer les limites de l'objet actuel n ;
- proposer plusieurs solutions, soit pour préciser la solution actuelle parce qu'elle n'a pas atteint le degré de précision maximal, soit pour la modifier parce qu'elle présente une limite inacceptable ;
- modéliser pour évaluer les solutions proposées en simulant le fonctionnement de la machine, sa fabrication et son montage ;
- choisir une solution parmi celles proposées, sa représentation sera le nouvel « objet actuel ».

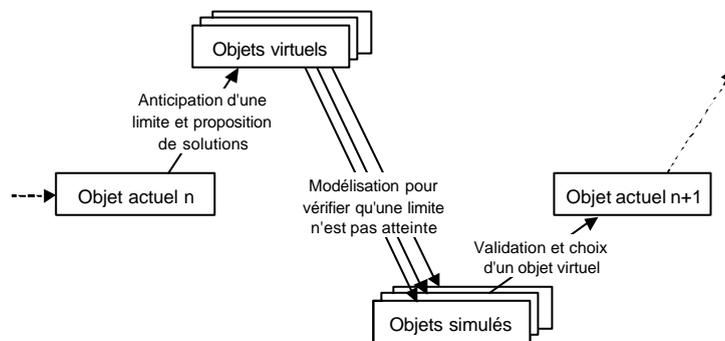


Figure 2 : Succession des représentations de l'objet conçu et capacités de conception à former, (synthèse effectuée d'après le « schéma d'actualisation » de Yves Cartonnet, [1])

Nous utilisons cette décomposition théorique des capacités qu'un élève-concepteur doit développer, afin de caractériser ce qui tient de la particularisation dans l'activité de conception. Nous précisons aussi les connaissances qu'il est alors nécessaire de mobiliser.

Ainsi, selon nous, la particularisation d'une solution technique à un milieu de fonctionnement se fait à trois "moments" caractéristiques de la conception d'une solution technique : lors de l'anticipation d'une limite de l'objet actuel, lors de la proposition de solutions techniques et lors de l'évaluation d'une solution proposée.

❶ Premièrement, lorsqu'un concepteur "anticipe une limite d'un objet actuel", il détermine un ou plusieurs critères selon lesquels une solution technique retenue risque de ne pas être adaptée au milieu dans lequel elle devrait

fonctionner si elle était construite. La connaissance qu'il doit alors mobiliser est celle des caractéristiques du milieu de fonctionnement, c'est-à-dire les performances et les modes de défaillance prépondérants particuliers à ce milieu.

② Deuxièmement, lorsqu'un concepteur propose une solution technique comme étant une solution potentiellement acceptable, il participe aussi à la particularisation de la machine en cours de conception à son milieu de fonctionnement. Pour cela, il mobilise des associations "milieu de fonctionnement – produits existants" dont il dispose dans un catalogue interne (sa mémoire) ou dans un catalogue externe.

③ Troisièmement, lors de l'évaluation d'une solution technique proposée, un concepteur vérifie que celle-ci est effectivement adaptée au milieu de fonctionnement prévu, selon un ou plusieurs critères qu'il a anticipé auparavant (voir ①). Il s'agit alors de simuler un ou plusieurs comportements physico-chimiques de la machine à l'aide de modèles. Les modèles paramétrés permettent d'optimiser une solution pour donner à la machine une performance souhaitée ou pour qu'elle évite un mode de défaillance. Pour y parvenir, il faut mobiliser les concepts scientifiques et les règles de construction des modèles, et avoir une maîtrise instrumentale des outils de modélisation.

Ainsi, nous pensons que les difficultés des étudiants, concernant l'activité de particularisation, peuvent être observées lors des trois types d'activités définies ci-dessus. Les indicateurs que nous avons utilisés figurent dans le tableau 2 ci-dessous.

	Corpus de données	Indicateurs (les étudiants ...)	Résultats*
Erreurs	84 plans d'ensemble dessinés par 84 gr* (promotions de 1999, 2000 et 2001)	...dessinent des solutions techniques pas assez performantes ou défaillantes (seulement en ce qui concerne les rotules et le blocage du système de réglage)	38 gr*/84 (45%)** dessin incomplet : 24 gr/84 (29%)**
① Défaut de réinvestissement des associations milieu-produits existants	Enregistrements vidéo de 12 gr* (2000), pendant 8 heures : - activités retranscrites sur des actigrammes - discours retranscrits de conception collective des rotules et du blocage du système de réglage	... n'utilisent pas les bases de solutions existantes mises à leur disposition ... ne proposent qu'une seule solution, sans alternative	6 gr/12 (50%) 0 gr/12 (0%)
② Défaut de caractérisation du milieu de fonctionnement		... n'énoncent pas la totalité des caractéristiques du milieu de fonctionnement comme critères d'évaluation	11 gr/12 (92%)
③ Défaut de simulation des solutions techniques proposées		... énoncent une caractéristique du milieu de fonctionnement comme critère d'évaluation, mais dessinent quand même une solution technique défaillante	1 gr/12 (8%)

* gr = groupes d'étudiants

** Sur la sous-population des 12 groupes filmés, 8 ont dessiné une solution défaillante, 1 n'a pas terminé son dessin

Tableau 2 : Données, indicateurs et résultats d'observation qui ont permis de caractériser les difficultés des étudiants à particulariser.

3.2 Difficultés observées de particularisation

Afin de caractériser les difficultés de particularisation selon ces critères, nous avons limité notre analyse aux moments consacrés par les étudiants à concevoir de manière collective deux sous-structure de la pompe doseuse : la bielle et ses liaisons rotules avec le coulisseau et la manivelle, pour les groupes qui en avaient la charge, et le système de blocage du système de réglage, pour les autres. L'analyse des discours des étudiants en cours de conception collective est le moyen que nous avons utilisé pour accéder à leurs démarches de conception. Nous avons choisi précisément les sous-structures citées ci-dessus car les étudiants disposaient de ressources en solutions existantes (catalogues de composants, plans d'ensemble de pompes doseuses existantes) à ce sujet, et nous avons ainsi pu vérifier si ils les exploitaient pour proposer des solutions.

① Le premier résultat d'observation est que la moitié des groupes observés n'ont pas consulté ces ressources externes, même s'ils ont toujours proposé plusieurs solutions alternatives, faites par des étudiants différents (voir tableau 1). Notons que 2 groupes ont consultés ces ressources à la demande de l'enseignant, et ne l'auraient sinon pas fait. Est-ce

que ce sont les étudiants qui n'utilisent pas les bases de solutions existantes disponibles sont ceux qui connaissent déjà une solution technique adaptée ? Apparemment non car, parmi les 6 groupes qui n'ont pas consulté les bases de solutions disponibles, 4 ont dessiné des solutions techniques défaillantes.

② Pour ces deux sous-structures étudiées, nous avons fait la liste des critères selon lesquels les solutions retenues seraient adaptées au milieu de fonctionnement prévu par le cahier des charges donné aux étudiants. Pour cela nous nous sommes basés sur des entretiens avec des ingénieurs du bureau d'études de l'entreprise DOSAPRO MILTONROY qui commercialise des pompes doseuses, en nous limitant aux connaissances de génie mécanique que les étudiants sont susceptibles d'avoir en deuxième semestre de licence de technologie mécanique. Les tableaux 3 et 4 listent ces critères.

Selon ces critères, près de la moitié des groupes d'étudiants ont dessiné des solutions inadaptées au milieu de fonctionnement prévu (voir tableau 2). Et, dans l'analyse des discours des étudiants d'une sous-population constituée de 12 groupes, nous avons pu établir les faits suivants.

D'abord, notons que les étudiants et les enseignants se sont investis différemment, selon les groupes, dans la conception des deux sous-structures auxquelles on s'intéresse, le nombre de prises de parole allant de 12 à 116 pour les étudiants, et de 0 à 16 pour l'enseignant. Nous excluons de l'étude un groupe (D1 dans le tableau 4) qui n'a pas dessiné le blocage du système de réglage, et qui n'a jamais évoqué cette fonction de blocage.

Ensuite, lorsque nous avons distingué l'activité de proposition de solution de celle d'évaluation de solution proposée, nous avons observé que tous les groupes ont effectué des évaluations de solution, et ont énoncé pour cela de 3 à 20 critères différents. Sur les 67 critères énoncés par l'ensemble des groupes, 31% caractérisent le milieu de fonctionnement, en terme de performances à atteindre ou de mode de défaillance à éviter. Les autres sont des conditions d'existence et de fonctionnement (59%), qui ne sont pas particulières au milieu de fonctionnement (fabricabilité, montabilité, possibilité de fonctionner), ou des critères économiques et commerciaux (4% : coût et esthétique).

Enfin, et c'est le résultat principal, nous avons constaté qu'un seul groupe avait correctement caractérisé le milieu de fonctionnement dans l'énoncé des critères d'évaluation. Les autres 10 groupes observés ont omis certains critères, et cela s'est parfois traduit par une erreur sur le dessin (voir les tableaux 3 et 4).

Conception de la bielle et ses rotules							Conception du blocage du système de réglage						
Performances et défaillances caractéristiques du milieu	Gr* A1	Gr A2	Gr C1	Gr C2	Gr E1	Gr E2	Performances et défaillances caractéristiques du milieu	Gr B1	Gr B2	Gr D1	Gr D2	Gr F1	Gr F2
Jeu/ précision/ usure (rotule)	-	-	-	-	-	-	Précision/ jeu autorisé	-	E	⊗	-	E	-
Effort maxi/ matage (rotule)	E	P	E,P	E	E	P	Couple de blocage/ glissement/ vibrations	-	E	⊗	-	P	P
Vitesse de rotation/ grippage (rotule)	-	-	-	-	-	-	Mode opératoire d'utilisation/ couple de serrage	-	E	⊗	E	-	-
Débattement angulaire/ collision (rotule)	-	-	E	-	-	-	Légende : - = pas énoncé E = énoncé par un étudiant P = énoncé par l'enseignant *Gr = groupe Critère pas respecté sur le dessin Fonction non assurée						
Efforts/ rupture/ flambage (bielle)	P	E	E,P	E	E,P	-							

Tableaux 3 et 4. Critères d'évaluation énoncés caractérisant correctement le milieu de fonctionnement prévu

③ Quant à la simulation des solutions techniques, nous n'avons pas relevé de difficulté de vérification qu'une solution est bien adaptée à son milieu de fonctionnement, excepté pour un groupe (D2 dans le tableau 4). Celui-ci exprime la procédure qu'un utilisateur suivrait pour bloquer le système de réglage de la pompe doseuse mais dessine pourtant un système de blocage impossible à manipuler.

En somme, deux difficultés de particularisation prédominent : la difficulté à proposer des solutions adaptées au milieu de fonctionnement, et la caractérisation du milieu de fonctionnement.

Nous proposons deux explications. La première est que les étudiants connaissent peu d'associations entre des milieux de fonctionnement et des solutions techniques qui leur sont adaptés, et ne maîtrisent pas la notion de milieu de fonctionnement et ce qui caractérisent un milieu de fonctionnement. La deuxième est que les interventions de l'enseignant auprès des étudiants incitent ces derniers à proposer directement "la bonne" solution, sans vérifier que celle-ci soit effectivement pertinente. L'analyse que nous avons faite des interventions des enseignants (tableau 5) corrobore cette dernière explication. En effet, dans 4 groupes, l'enseignant guide vers "la bonne" solution. Dans deux autres, il valide ou invalide les solutions proposées par les étudiants.

Groupes	Type d'interventions
A1, B1, E1, E2	L'enseignant guide vers une solution : il propose une solution et donne des critères en sa faveur.
A2, B2, C2	L'enseignant s'informe sur l'état d'avancement de la production du plan d'ensemble.
F1, F2	L'enseignant évalue les solutions proposées par les étudiants.
C1	L'enseignant pose des questions aux étudiants pour les amener à énoncer des critères d'évaluation.

Tableau 5 : Les modes d'interventions observées des enseignants. Au total 6 enseignants différents ont encadré respectivement (A1 et A2), (B1 et B2), (C1 et C2), (D1 et D2), (E1 et E2) et (F1 et F2).

4 Des difficultés spécifiques à la conception des interfaces

De la même manière que pour la particularisation, nous donnons ci-dessous les indicateurs des difficultés de conception collective, puis les résultats que nous avons obtenus.

4.1 Les indicateurs des difficultés spécifiques à la conception des interfaces

Par rapport à la conception locale d'une machine, la conception distribuée et à distance imposée aux étudiants par le module de formation "CoDiMI" se caractérise par la nécessité de rendre compatibles deux parties de la machine conçues par deux équipes différentes. Pour analyser cette activité de conception des interfaces, nous avons distingué 4 aspects.

① Premièrement, la coordination entre les deux groupes jumelés. Celle-ci est nécessaire pour lever l'indétermination due au fait qu'un étudiant-concepteur ne connaît pas, à un moment donné, les solutions adoptées sur une autre partie de la machine par un autre étudiant-concepteur (parce qu'elles n'ont pas encore été conçues ou sont en cours de conception), alors qu'il en a besoin pour avancer son travail. Nous avons abordé cet aspect de l'activité grâce à des notions issues d'analyses des pratiques professionnelles de conception. Ainsi, en entreprise, deux stratégies de coordination existent. La première consiste à attendre qu'un concepteur ait entièrement conçu une partie de la machine, avant de concevoir celles qui en dépendent. Elle s'accompagne d'une planification de la conception de toutes les sous-structures de la machine, en fonction des besoins d'informations à leurs interfaces. La deuxième stratégie de coordination consiste à faire des hypothèses a priori sur les interfaces entre les sous-structures à la charge de différents concepteurs, en définissant par exemple une « surface enveloppe » ([5], p. 9-11). Chacun de leur côté, les concepteurs partent de cette décision, quitte à négocier cette « surface enveloppe » par la suite. Nos indicateurs de difficultés concernant la coordination devront nous permettre de vérifier si les étudiants ont une stratégie de coordination commune, parmi les deux précédentes, et si cela a eu des conséquences sur leur production.

② Le deuxième aspect que nous avons considéré est la prise en compte du travail du groupe jumelé pour concevoir une sous-structure de la machine. Pour analyser cet aspect, nous avons utilisé des notions développées par Yves Cartonnet [1] dans sa "boucle d'actualisation" (voir en section 3.1 de ce texte). La prise en compte des solutions techniques du groupe jumelé intervient à deux étapes de cette démarche : l'anticipation d'un problème technique, en particulier une incompatibilité avec une sous-structure conçue par le groupe jumelé ; et la simulation (d'une solution technique du groupe jumelé).

③ Le troisième aspect de l'activité de conception distribuée à distance est l'utilisation des outils de communication à distance : la messagerie électronique et le poste de visioconférence. Nous utilisons ici le concept d' "instrument" développé par Pierre Rabardel [6]. En tant qu'artefacts, au sens de Pierre Rabardel, l'utilisation efficace des outils de communication nécessite que les étudiants aient construit des schèmes d'utilisation. L'auteur distingue deux types de

schèmes d'utilisation. Les schèmes d'usage sont les constructions mentales qui permettent la maîtrise des modes opératoires propres à l'utilisation d'un artefact pour lui-même. Les schèmes d'action instrumentée sont celles qui permettent d'incorporer l'utilisation appropriée de l'artefact dans une action plus globale. Nous aurons des indicateurs de difficultés pour chacun des de types de schèmes, pour savoir s'ils sont mobilisés par les étudiants, et si cela est cause d'erreurs.

④ Enfin, le quatrième aspect étudié est l'utilisation d'un vocabulaire compréhensible et univoque pour communiquer à distance. C'est une condition pour que les informations communiquées soient bien interprétées et correctement utilisées.

Les indicateurs listés dans le tableau 6 prennent en compte ces 4 aspects.

	Corpus de données	Indicateurs (les étudiants ...)	Résultats
Erreurs	42 paires de dessins (promotions de 1999, 2000 et 2001)	... ont dessiné au moins une incompatibilité	31 UT* /42 (74%)**
① Défaut de coordination	14 UT* pendant 8 heures (promotion de 2000) : - Messages électroniques échangés, - Retranscription des visioconférences.	... n'ont pas exprimé ni appliqué une stratégie de coordination	8 UT /14 (57%)
		... ont été bloqués en attente d'informations du groupe jumelé	3 UT /14 (21%)
		... ont fait une modification dans l'urgence à la cause d'une incompatibilité dessinée	1 UT /14 (7%) (1 erreur /23)
② Défaut de prise en compte du travail du groupe jumelé		... n'ont pas communiqué sur une interface, et ont dessiné une incompatibilité	6 UT /14 (43%) (10 erreurs /23)
	... ont communiqué et se sont accordés sur les paramètres déterminant une interface, mais ont dessiné une incompatibilité	4 UT /14 (29%) (4 erreurs /23)	
③ Défaut d'utilisation des outils de communication		... ont effectué un mauvais mode opératoire qui a conduit à dessiner une incompatibilité	2 UT /14 (14%) (2 erreurs /23)
		... ont communiqué une information géométrique sans utiliser le banc-titre, ce qui a conduit à dessiner une incompatibilité	3 UT /14 (21%) (3 erreurs /23)
④ Défaut d'utilisation d'un langage compréhensible et univoque		... ont utilisé un vocabulaire équivoque, et ont dessiné une incompatibilité	2 UT /14 (14%) (2 erreurs /23)

* UT = Unité de travail constituée de deux groupes d'étudiants

** Sur la sous-population de la promotion de 2000, 23 incompatibilités ont été dessinées

Tableau 6 : Données, indicateurs et résultats d'observation qui ont permis de caractériser les difficultés des étudiants à concevoir les interfaces.

4.2 Difficultés observées de conception des interfaces

Le tableau 6 et la figure 3 mettent en évidence les difficultés rencontrées par les étudiants spécifiques à la conception des interfaces.

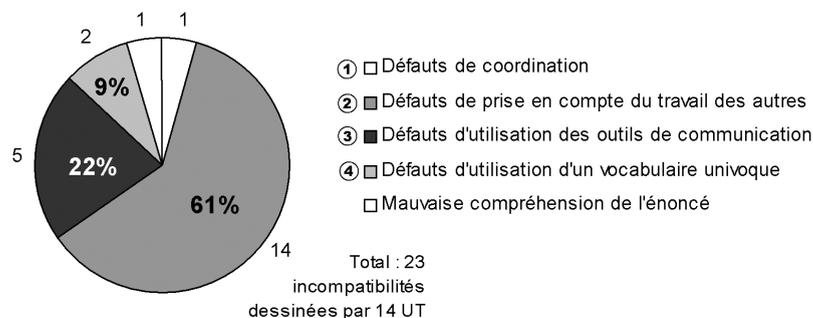


Figure 3 : Synthèse des difficultés observées qui ont amené les étudiants à effectuer une erreur sur les dessins.

① Le premier résultat est que les étudiants organisent peu leur travail de conception en fonction des problèmes de compatibilité aux interfaces. Mais, d'après nos indicateurs, cela a peu d'influence directe sur la qualité de leur production.

② Le deuxième résultat est que la grande majorité des erreurs faites par les étudiants sont dues à un défaut de prise en compte du travail du groupe jumelé au cours de la conception de leurs propres sous-structures. Souvent (dans 6 unités de travail sur 14), les étudiants n'ont même pas anticipé la possibilité d'une incompatibilité, et ne l'ont jamais évoquée.

③ En ce qui concerne les défauts d'utilisation des outils de communication, elles sont trois fois moins fréquentes. On en distingue deux types. D'une part ceux qui correspondent à un défaut de mobilisation de schèmes d'usage, qui se traduisent par des modes opératoires inefficaces (observé deux fois, voir le tableau 6). Par exemple un groupe a dérégulé la caméra du banc-titre de la visioconférence et n'a pas pu distinguer nettement le dessin montré par le groupe jumelé, ce qui a conduit à mal interpréter des dimensions et à dessiner des solutions incompatibles. D'autre part les défauts de mobilisation des schèmes d'action instrumentée, qui se traduisent par l'utilisation inadaptée de la messagerie électronique, sans utiliser le banc-titre, pour communiquer des informations de description géométrique d'une solution technique (observé trois fois).

④ Enfin, dans une seule unité de travail, nous avons observé que l'utilisation d'un vocabulaire ambiguë, utilisé pour décrire une solution technique, a eu comme conséquence une mauvaise interprétation et une erreur dessinée.

Conclusion

La première partie de notre travail a permis de préciser deux capacités de concepteur, qui pourraient être choisies comme objectifs pédagogiques dans certaines situations de formation en écoles d'ingénieurs : la particularisation et la conception d'interfaces. Et, pour aller plus loin, au-delà de la conception distribuée que nous avons traitée, il reste à préciser les capacités de conception concourante, avec l'intervention simultanée de métiers différents.

La deuxième partie de notre travail a consisté à objectiver les difficultés spécifiques aux deux contenus précédents, dans le cadre d'une formation. Outre l'apport de connaissances empiriques sur ce qui peut réellement se passer en formation avec des étudiants, nous envisageons deux applications à ce travail. La première est d'aider les enseignants à diagnostiquer les difficultés d'étudiants qui seraient mis dans des conditions de formation proches de celles que nous avons décrites. Les indicateurs que nous avons développés seraient alors pour eux des indices des difficultés des étudiants, parmi celles que nous avons identifiées. Constatant une difficulté, c'est ensuite à l'enseignant de décider s'il remédie à cette difficulté par une intervention, ou s'il laisse l'étudiant en difficulté, en visant un apprentissage. La deuxième application que nous voyons est la possibilité de construire des activités pédagogiques autour de certaines difficultés que nous avons repérées, et qui nécessiteraient un apprentissage pour être surmontées.

Bibliographie

- [1] **Cartonnet Y.** — *L'actualisation de la technologie structurale pour la formation de la technicité d'un concepteur de produits industriels*, Mémoire de HDR, Université Paris Sud (2000).
- [2] **Huchette M., Cartonnet Y.** — CoDiMI : une nouvelle formation d'ingénieurs concepteurs de produits qui intègre l'utilisation des technologies d'information et de communication. *AIP-PRIMECA : 7ème colloque sur la conception mécanique intégrée*, La Plagne, 2-4 avril 2001, p. 302-309 (2001).
- [3] **Huchette M.** — *Evaluation expérimentale de l'apport, pour une formation d'ingénieurs, d'un simulateur informatique en travaux pratiques de bureau d'études mécaniques*, Thèse de doctorat, ENS de Cachan (2002).
- [4] **Luzi F.** — La prise en compte des fabricants dans le projet : La démarche socio-technique chez Renault. In P. Bossard, C. Chanchevri, et P. Leclair, (Dir.) *Ingénierie concourante : de la technique au social* (pp. 59-76). Paris : Economica. (1997).
- [5] **Nicquevert B.** — Ressources, contraintes et difficultés dans les pratiques de conception d'un grand projet scientifique, *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques*, LIREST, ENS de Cachan (2000).
- [6] **Rabardel P.** — *Les hommes et les technologies : Approche cognitive des instruments contemporains*, Ed.Armand Colin, Paris (1995).