



HAL
open science

La particularisation : Une capacité spécifiquement apprise dans les formations technologiques de concepteurs

Yves Cartonnet, Michaël Huchette

► To cite this version:

Yves Cartonnet, Michaël Huchette. La particularisation : Une capacité spécifiquement apprise dans les formations technologiques de concepteurs. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2003, 3 (3), pp.347-362. 10.1080/14926150309556573 . hal-03346945

HAL Id: hal-03346945

<https://hal.science/hal-03346945v1>

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.

Préprint de l'article :

Yves Cartonnet & Michaël Huchette (2003) La particularisation : Une capacité spécifiquement apprise dans les formations technologiques de concepteurs, *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 3:3, 347-362.

La particularisation : une capacité spécifiquement apprise dans les formations technologiques de concepteurs

Yves Cartonnet et Michaël Huchette
LIREST-École Normale Supérieure de Cachan

Résumé :

Dans ce texte, nous proposons de considérer comme objectif de formation une capacité spécifiquement construite dans les formations technologiques : la particularisation. Ce point de vue, pour se situer en didactique des génies techniques, prend volontairement le contre-pied des recherches concernant les capacités transversales comme objectifs de formation. Nous proposons ensuite un schéma d'organisation des formations à l'analyse de systèmes techniques pour préciser ce qui constitue la capacité de particularisation et nous en déduisons des révélateurs observables de l'existence de cette capacité. Il apparaît empiriquement qu'elle existe peu pour un échantillon d'étudiants en Licence de technologie mécanique, et nous l'expliquons par des défauts de connaissances des étudiants et les modes d'intervention pédagogiques de l'enseignant. A partir de ces résultats, mais également à partir de nos expériences de praticiens, nous pensons que des évolutions de contenus et de modes d'intervention pédagogique sont donc à imaginer pour les formations technologiques supérieures.

Executive Summary:

It is a premise of this study that the objective of training is particularization – that is, a capacity that is specifically constructed in technical education programs. Within the framework of engineering education, this perspective deliberately runs counter to research on cross-curricular (transferable) skills as constituting the objectives of training. In terms of teaching methods and evaluation, the interest of such issues appears to consist precisely in characterizing what each discipline specifically has to offer, rather than necessarily and immediately seeking to construct metaknowledge common to all disciplines.

This study then presents PYSTILE, a schema used to categorize technical knowledge from a training perspective. The fundamental data that must be acquired by specialists of a given field can be classified according to four categories: the operational environment; industrial products; simulated objects; and the range of performance values. In particular, this schema serves as a basis for elaborating the components of the capacity to particularize.

This portion of the analysis begins by deducing the observable features that reveal the existence of this capacity according to concepts of performance and primary failure mode. Based on the

observations of 12 groups of two or three students, the gathered data suggest, empirically, that the capacity of particularization hardly exists. These results lead in turn to a fourth empirical finding – namely, that students have not developed this capacity at the educational level known in France as Licence de technologie mécanique (a degree awarded after one year of a Master's program in Mechanical Technology). Based on the authors' own observations, this incapacity is due to certain gaps in students' knowledge and to the maladapted teaching approach adopted by instructors. To begin with, students are unfamiliar with either the idea of operational environment or the concept of primary failure mode. Furthermore, the teaching approach most often encountered, which consists of heading students in the direction of 'the' solution, undoubtedly inhibits the activity of evaluation and, as a result, the activity involved in characterizing the operational environment by which students may particularize the technical solutions appropriate for application in this same environment.

With some degree of caution, given the size of the sample, but in accordance with our experiences as practitioners, we believe a range of alternatives can be conceived of as a way of remedying the current shortcomings of higher technical education; in particular, changes in content (for example, by introducing the idea of area of operation), new activities (such as the comparison of pairings of operational environments and existing solutions), and adaptations of teaching approaches (for example, the systematic use of Web-based technical databases).

Introduction

Qu'apprend-on de spécifique dans les formations technologiques, que l'on n'apprend pas ailleurs ? Le but de cet article est, d'une part de proposer la capacité de particularisation comme un élément de réponse à cette question et d'autre part, de donner des résultats empiriques sur l'existence de cette capacité pour des étudiants de Licence de technologie mécanique à l'École Normale Supérieure de Cachan, inférée à partir de la notion de milieu de fonctionnement.

Les concepteurs évoqués dans le titre sont des concepteurs de produits comme des aspirateurs, ou de procédés d'obtention des composants des produits comme le moulage au sable, ou d'organisation du travail comme le passage à l'Euro. Nous limiterons ici notre réflexion aux formations destinées aux concepteurs de produits industriels – techniciens supérieurs et ingénieurs – dans le domaine de la technologie mécanique, en France.

Les formations de concepteurs sont organisées par deux types d'activités : l'analyse de systèmes techniques existants et le réinvestissement lors d'activités de conception de produits des connaissances acquises lors de cette première activité. Trois capacités sont en jeu lors de ces activités.

Partie I - Trois capacités à enseigner

Dépasser le catalogue d'étude de cas : la généralisation

En France, jusque dans les années 1970, les formations technologiques de concepteurs étaient des juxtapositions successives d'études de machines. Ces analyses consistaient surtout à utiliser les règles de tracé basées sur la géométrie descriptive théorisée et diffusée par G. Monge depuis 1799. Ainsi, les cours étaient organisés à partir d'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. Les activités de formation consistaient à dessiner une pièce seule extraite de l'ensemble, souvent en ajoutant une vue en perspective aux vues 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.

Les années 1970 ont été celles d'une réforme des formations techniques en France. Les cours de dessin technique sont devenus des formations de technologie de la construction mécanique. Des inspecteurs (Geminard, 1970) et des enseignants des ENNA (Écoles Normales Nationales d'Apprentissage) (Canonge et Ducel, 1969 ; Chabal, De Prester, Schlafer et Ducel, 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). Ils ont rédigé des manuels pour que l'enseignement de la construction mécanique ne soit plus un empilement d'études de cas et ils ont proposé des analyses méthodiques et des généralisations, des synthèses sur les objets techniques.

Le souci de donner des moyens intellectuels et pratiques d'élaboration de classes d'équivalence de machines était très fortement installé. Mais sur quelle relation d'équivalence constituer ces classes ? Deux observables ont été retenus, selon les acteurs. La première est la structure de la machine, du système. La seconde est son, ou ses, principe(s) de fonctionnement.

La généralisation de structures de systèmes techniques est enseignée par des activités dites d'observation. On peut regrouper sous le terme d'activités d'observation les différentes activités de démontage et de remontage, d'analyse et de synthèse technique de constatation et 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, le plus souvent sous la forme d'un schéma cinématique minimal. Par exemple, la quasi-totalité des moteurs de voitures possèdent 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, mais le schéma bielle-manivelle synthétise, conceptualise tous ces embiellages.

Cela pose la question du schéma caractéristique des systèmes techniques d'un champ technique. Par exemple, le schéma cinématique est très adapté pour représenter la partie opérative des machines mécaniques, puisque le fonctionnement principal est cinématique et que ce type de schéma conceptualise les mouvements principaux 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, suspendus, etc. C'est donc le modèle théorique le plus efficace pour évaluer les performances

les plus caractéristiques du système technique qui doit être retenu. Pour un réducteur de vitesse, une boîte de vitesses, 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 de l'ouvrage. La théorie ad hoc est donc la résistance des matériaux et le schéma caractérise 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, comme les directions assistées de voitures, la théorie sera l'asservissement et donc le schéma d'asservissement et ainsi de suite.

L'activité d'observation permet donc d'apprendre à « lire » les systèmes réels, c'est-à-dire à repérer ce qui est à voir dans un système technique. Et elle permet de conceptualiser les structures et les principes de fonctionnement de plusieurs systèmes techniques en un même schéma. Ainsi, devant des systèmes techniques d'une même classe d'équivalence, l'identification des éléments de structure peut être guidée par le schéma ad hoc.

Cependant, si conceptualiser l'embellage des moteurs thermiques de voitures par le schéma du système bielle-manivelle forme bien la capacité de généralisation, cela ne suffit pas à former un concepteur. En effet, le schéma du système bielle-manivelle ne se concrétise pas de la même façon s'il est utilisé pour définir la structure d'un moteur de vélomoteur, comme un Solex, ou d'une puissante voiture de course, comme une Ferrari.

Adapter ses connaissances à un champ de besoins : la particularisation

Connaître des schémas généraux de structures « classiques » ou de principes de fonctionnement classiques ne suffit donc pas pour concevoir un nouveau produit. En effet, ce nouveau produit doit être adapté à un milieu de fonctionnement particulier. Cette adaptation, cette particularisation à un milieu de fonctionnement donné, concerne la structure et les principes de fonctionnement.

Il est nécessaire d'évaluer si l'entité technique que l'on imagine de construire atteint les performances et évite les modes de défaillance prépondérants qui caractérisent le milieu de fonctionnement. Et ce niveau de précision qui constitue la particularisation doit être tenu pour différents niveaux de détail. En effet, les entités techniques en question sont :

- des « micro-entités » (par exemple, des vis). Il s'agit des composants que l'on peut acheter ;
- des « méso-entités » (par exemple, un réfrigérateur). Elles se caractérisent par une architecture de composants remplissant une fonction d'usage de façon autonome ;
- ou des « macro-entités » (par exemple, une usine ou un réseau de distribution d'énergie). Ce sont des méso-entités fonctionnant en réseau.

Pour un même secteur socio-économique, ce sont des éléments techniques, au sens de G. Simondon (1958), par exemple des éléments de guidage de roue d'un train (éléments de lubrification, d'étanchéité, de guidage et d'assemblage) ; des machines, par exemple une rame de train ; ou des systèmes, par exemple le réseau ferré Paris-Lyon-Marseille. Et la particularisation doit être réalisée à ces différents niveaux de détail avec un même niveau de précision.

Les particularisations, adaptations au milieu de fonctionnement, correspondent à des choix différents pour l'architecture, les composants et les dimensions qui définissent l'entité. Ne pas connaître ou ne pas considérer les caractéristiques du milieu de fonctionnement – fonction, performances et modes de défaillance prépondérants – conduisent à utiliser des solutions techniques inadaptées. Par exemple, pour fixer une feuille de papier sur une porte, un tableau au mur ou une étagère, nous n'utilisons pas les mêmes solutions techniques. Nous adaptons nos choix au milieu de fonctionnement de la fixation.

Pour rationaliser cette particularisation – atteindre les performances et éviter les modes de défaillance prépondérants d'un milieu de fonctionnement particulier – les concepteurs utilisent des résultats scientifiques.

Utiliser les résultats scientifiques : évaluation par modélisation

Le présent texte ne développera pas cette capacité qui a été traitée par J.-L. Martinand (1992, 1994) pour les formations scientifiques ; puis précisée pour les formations technologiques par M. Gahlouz (1994).

Ces capacités étant précisées, la définition des formations qui permettent de les construire demeure. En effet, quels contenus sont à enseigner pour former ces capacités ?

Partie II - PYSTILE : un schéma d'organisation des formations technologiques à l'analyse des systèmes existants

Autrement formulée, la question devient : de quelles connaissances un étudiant doit-il disposer pour maîtriser un champ technique à un niveau de spécialiste ? Par exemple, en formation initiale, quelles informations devraient être proposées, quels savoirs enseignés pour former, au niveau d'un ingénieur, un spécialiste des guidages en rotation pour les roues de 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 et rationnelles pour lesquelles le système technique est tel qu'il est. Ceci implique donc de connaître très précisément les caractéristiques de la fonction à réaliser, et ce aux différents moments de fonctionnement.

Les informations, indispensables pour atteindre un niveau de spécialiste sur un champ technique, sont organisées en quatre catégories par le schéma PYSTILE (PYramide de Sciences et Technologies IndustriELles). Il définit également les activités que ferait un concepteur lorsqu'il utilise ces informations. Ces activités sont à enseigner pour que les informations proposées soient transformées en connaissances.

Les quatre catégories d'informations distinguées dans PYSTILE se réfèrent aux activités de conception en entreprises et permettent donc également d'organiser la collecte de connaissances techniques utilisées par des concepteurs en exercice. Ce schéma peut donc aussi aider à organiser la capitalisation des connaissances en entreprise.

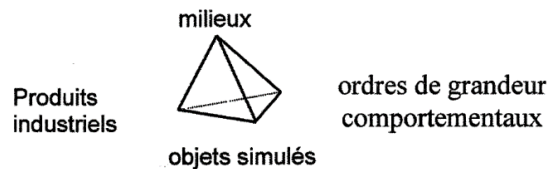


Figure 1: Les catégories d'informations du schéma PYSTILE

Les milieux de fonctionnement

Les informations de cette catégorie caractérisent le milieu extérieur avec lequel 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). 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. Ici le milieu de fonctionnement est caractérisé par une fonction d'usage, des performances à atteindre et des modes de défaillance prépondérants à éviter.

Le produit remplit une fonction d'usage propre au milieu humain. 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. 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 et les précisions de guidage doivent être celles spécifiées dans le cahier des charges.

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.

Dans cette catégorie d'informations, pour une fonction d'usage nommée, au concept de performance s'ajoute celui de « mode 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 défaillance prépondérants dans ce contexte de fonctionnement : 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

Cette catégorie regroupe les informations contenues dans les produits industriels, c'est-à-dire les concepts qui permettent d'abstraire un ensemble de produits particuliers en une classe d'équivalence. Il y en a trois : le principe de fonctionnement, la structure et le milieu intérieur. 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. Par exemple, 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. Cela se représente par un schéma synoptique.

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. Néanmoins, il faut garder les particularisations des produits à leur milieu de fonctionnement, 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.

Enfin, le produit industriel se définit par les caractéristiques du milieu intérieur, leurs valeurs et la stabilité de ces valeurs, on pourrait dire les équilibres homéostatiques, malgré les variations des caractéristiques du milieu extérieur. Par exemple, il contient et utilise un lubrifiant, comme toute partie mécanique, ou un système de filtration et de refroidissement, comme pour l'air de l'unité centrale d'un ordinateur d'ateliers, afin que l'air du milieu intérieur soit propre, sans poussière et tempéré par rapport à celui du milieu extérieur.

Les objets simulés

Les informations 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 caractéristiques des différents milieux de fonctionnement.

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

Les ordres de grandeurs comportementaux

Enfin, la quatrième catégorie d'informations techniques est constituée des ordres de grandeur comportementaux. Ces informations sont très particularisées. Ce sont des valeurs numériques qui permettent de concrétiser les caractéristiques internes des systèmes techniques. Par exemple, pour les boîtes d'essieux des roues de locomotive, un mode de défaillance prépondérant est la pollution par la silice issue des ballasts. Les caractéristiques de la graisse (additif, tenue à la chaleur, etc.) 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 de définir 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 de transformer ces informations en connaissances. C'est la deuxième caractéristique du schéma PYSTILE de proposer des activités pour l'apprentissage technologique des concepteurs (Cartonnet, 2000).

La capacité de particularisation consiste donc à être capable d'adapter un produit à un milieu de fonctionnement. Elle nous semble constituer un objectif central dans les formations de concepteurs. Et nous avons fait l'hypothèse qu'elle est pourtant peu acquise au niveau de la Licence. Afin de valider cette hypothèse, nous avons réalisé une expérimentation à l'École Normale Supérieure de Cachan, avec des étudiants de Licence de technologie mécanique.

Les résultats que nous présentons dans la suite proviennent du travail que M. Huchette a réalisé pour obtenir son diplôme de doctorat en didactique des disciplines.

Partie III - Résultats empiriques concernant l'existence de la capacité de particularisation

Nous avons observé des étudiants en Licence de technologie mécanique, qui suivent une formation à la Conception Distribuée de Machines Industrielles (CoDiMI). Notre but est d'établir si le concept de « performance » et celui de « mode de défaillance prépondérant » sont mis en œuvre par les étudiants lorsqu'ils effectuent une évaluation collective et un choix d'une solution technique. Nous voulons aussi vérifier si les critères d'évaluation énoncés caractérisent correctement le milieu de fonctionnement particulier de la machine à concevoir.

Présentation de la situation de formation

CoDiMI est suivie depuis 1998-1999 par les étudiants de Licence de technologie mécanique à l'École Normale Supérieure de Cachan. Pour assurer la pertinence des contenus d'enseignement et préparer les étudiants aux pratiques professionnelles, CoDiMI a été construite comme une simulation des pratiques de conception lors d'un avant-projet de conception d'un nouveau produit. Les caractéristiques de la formation sont présentées ci-dessous.

Le travail à réaliser : concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse

Le travail demandé aux étudiants est de concevoir l'avant-projet d'une pompe doseuse (Figure 2) 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 décompression 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.

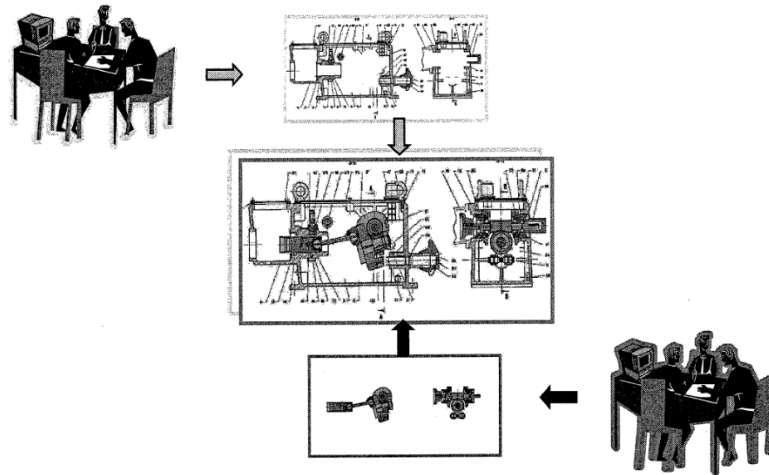


Figure 2 : La production attendue : deux plans complémentaires, représentant une machine cohérente

Organisation du travail des étudiants

L'organisation du travail des étudiants est celle d'une conception distribuée à distance. En effet, une promotion d'étudiants de la Licence de technologie mécanique est divisée en six groupes d'environ quinze étudiants. Ces groupes se trouvent dans deux bâtiments distants d'une centaine de mètres et sont jumelés deux à deux (Figure 3). Dans chaque groupe de quinze sont constitués des groupes de deux à trois étudiants. Chacun de ces groupes travaille à distance avec trois autres étudiants. Ils forment donc des unités de travail de six étudiants. L'un doit concevoir la chaîne de transformation de puissance, constituée du moteur électrique, de l'accouplement élastique, du réducteur, du système de transformation de mouvement, du coulisseau et de 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.

Les outils informatiques disponibles

Au cours de cette formation, les étudiants utilisent des outils informatiques professionnels. Afin de concevoir une machine cohérente et dessiner deux plans complémentaires, deux groupes constituant une unité de travail doivent communiquer et disposent pour cela d'une messagerie électronique (chat) et d'un poste de visioconférence équipé d'un banc-titre. Celui-ci permet de retransmettre l'image d'un document. Ils disposent de plus d'une base de données en réseau sur les pompes doseuses existantes, pour effectuer une recherche documentaire et du logiciel de calcul Mathcad, pour déterminer les dimensions de pièces en évitant des défaillances prévisibles.

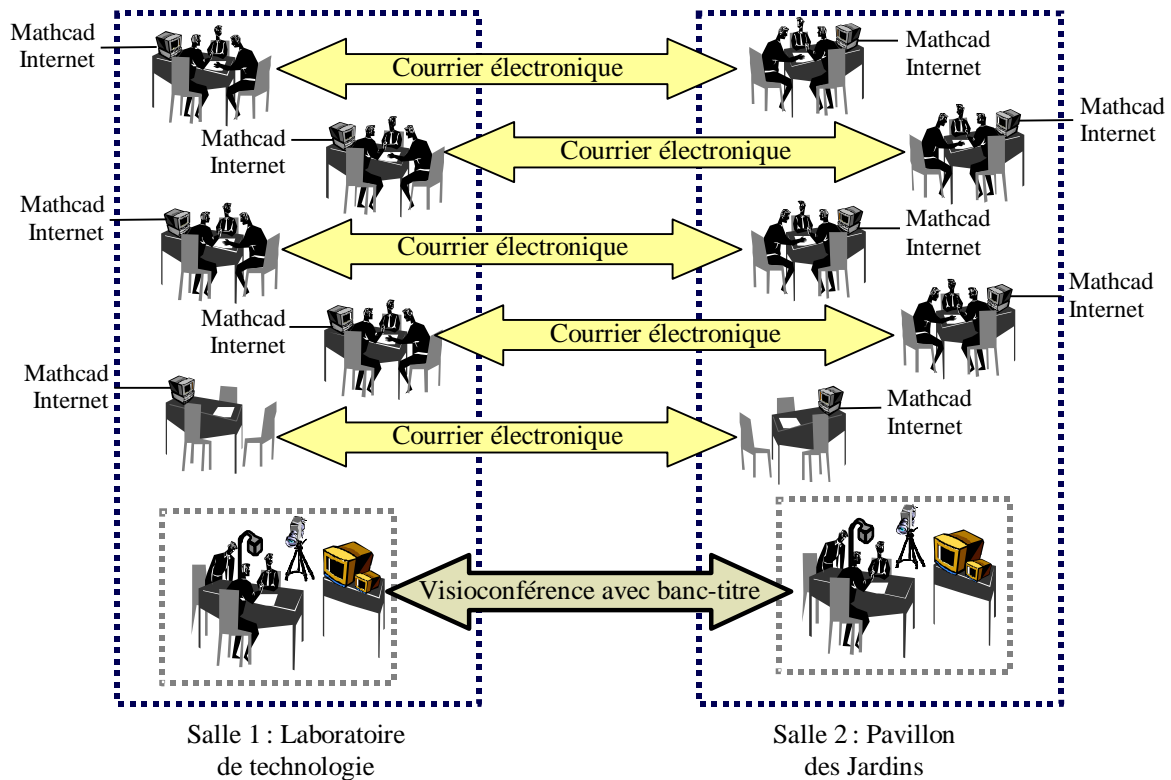


Figure 3: Organisation matérielle de la formation CoDiMI

Les étapes imposées

Les étapes de la conception sont basées sur la démarche de conception de l'entreprise Dosapro Miltonroy, qui conçoit, fabrique et commercialise des pompes doseuses. Cette entreprise est une filiale de la multinationale Miltonroy. Elle compte 250 employés et se situe à Pont-Saint-Pierre, en Normandie. Ainsi, la formation, qui dure 20 heures, a été découpée en cinq séances de quatre heures, en suivant les étapes de conception d'un nouveau produit dans cette entreprise. Son déroulement chronologique est résumé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Déroulement chronologique de la formation CoDiMI

Séance n°1 (4h)	<ul style="list-style-type: none"> - Lecture du cahier des charges - Veille concurrentielle
Séance n°2 (4h)	<ul style="list-style-type: none"> - Choix d'un archétype de pompe doseuse - Dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues
Séance n°3 (4h)	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionnement de l'architecture pour obtenir les performances voulues (suite)
Séance n°4 (4h)	<ul style="list-style-type: none"> - Choix des solutions constructives et dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires
Séance n°5 (4h)	<ul style="list-style-type: none"> - Choix des solutions constructives et dessin des deux plans d'avant-projet complémentaires (suite) - Rassemblement final dans la même salle pour vérifier la compatibilité des solutions dessinées par les groupes jumelés

Dans la suite, nous analysons les activités de conception des étudiants, lors des séances numéro quatre et numéro cinq, et en particulier la conception de deux sous-structures : d'une part la bielle et ses rotules, d'autre part le blocage du système de réglage. Le but est d'inférer dans quelle mesure la capacité de particularisation est acquise par les étudiants.

Méthode d'examen des capacités effectives de particularisation

Dispositif d'observation

Nous avons filmé 12 groupes d'étudiants à leur poste de travail, avec un angle de vue qui permet de voir les documents qu'ils manipulent ou lisent, ce qu'ils écrivent et dessinent, l'écran d'ordinateur, le clavier et la souris (Figure 4). Le microphone, posé sur la table devant les étudiants, a permis d'enregistrer les discours des étudiants.

Parmi ces 12 groupes, six ont la responsabilité de la conception de la bielle et de ses rotules. Les six autres, jumelés aux précédents, sont responsables du blocage du système de réglage. Chaque groupe a été encadré par un enseignant, qui s'occupait simultanément de cinq groupes. Au total, six enseignants différents sont intervenus.

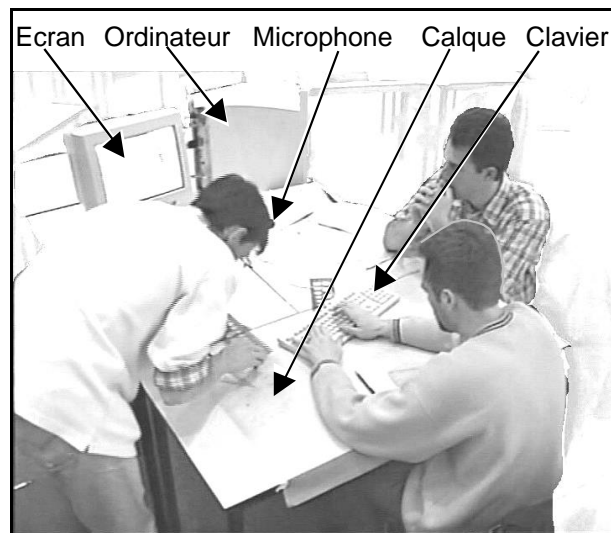


Figure 4: Copie du champ de la caméra filmant un groupe en cours de conception d'une sous-structure

Repérage des moments consacrés à la conception des deux sous-structures

Dans le but d'identifier les moments de conception des deux sous-structures auxquelles on s'intéresse, et pour obtenir d'autres résultats que nous ne développons pas ici, nous avons retranscrit les films sous la forme d'actigrammes (Cartonnet et Durey, 1996 ; Cartonnet, 1999). De tels actigrammes représentent le temps en abscisse, qui s'écoule de gauche à droite, et les actions observées en ordonnée. Une couleur différente est utilisée pour le tracé de l'actigramme, selon qu'il représente les activités de tel ou tel étudiant ou de l'enseignant. Par exemple, un trait dessiné à l'ordonnée A_i , de l'abscisse t_i à l'abscisse t_j , en couleur bleue, signifie que l'étudiant 1 effectue l'action A_i de l'instant t_i à l'instant t_j .

Les « actions A_i » identifiées pendant le travail des étudiants sont :

- les sous-structures de la pompe doseuse en cours de conception ;

- les outils de communication utilisés (messagerie électronique ou visioconférence) ;
- les échanges entre étudiants parmi les catégories suivantes : travail seul au brouillon, travail seul sur calque, collaboration orale, demande d'aide, apport d'aide, demande d'informations, apport d'informations.

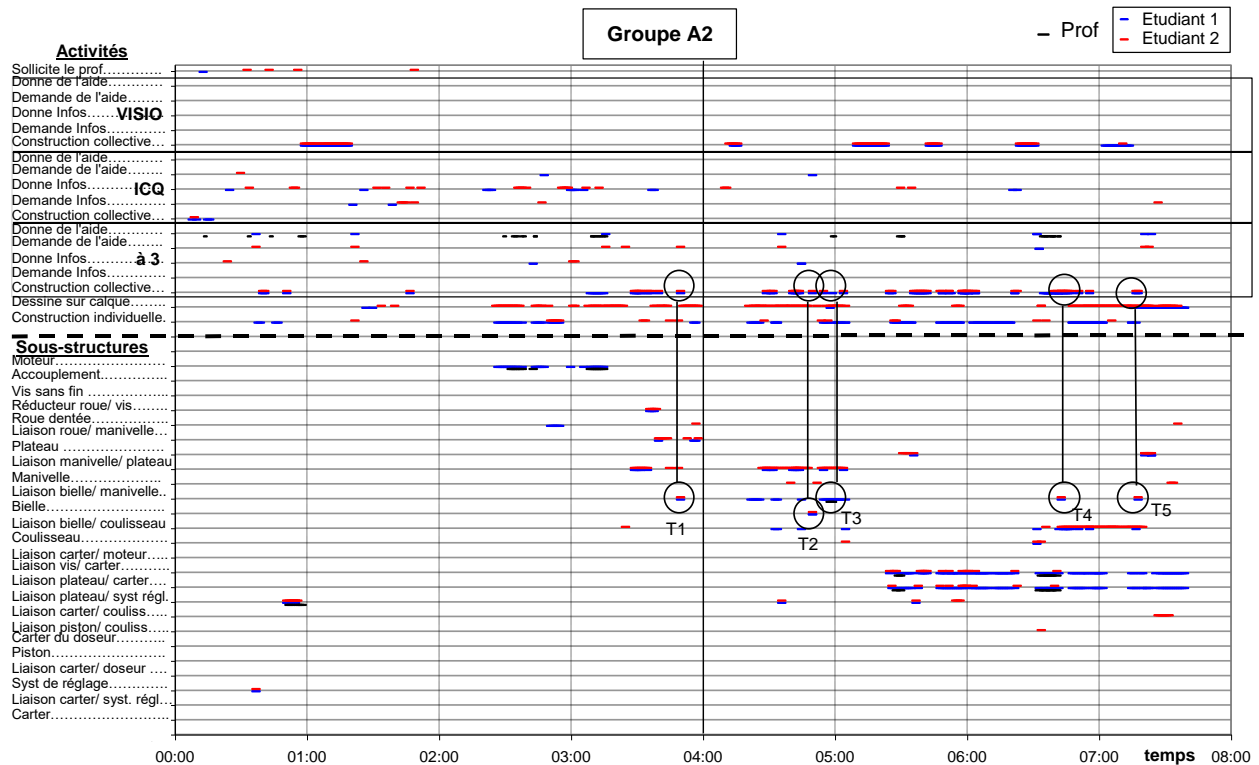


Figure 5 : Exemple d'actigramme : celui qui décrit les tâches réalisées par les deux étudiants du groupe A2 au cours de la séance 5 (de 4h à 8h à partir du début de la séance 4)

Grâce aux actigrammes, entre autre, nous avons identifié les moments de conception collective de ces deux sous-structures, puis visionné une nouvelle fois les films précisément à ces moments pour retranscrire le discours des étudiants. Sur la Figure 5, nous avons repéré les moments que le groupe A2 a consacré à la conception collective de la bielle et de ses rotules.

Analyse des critères d'évaluation énoncés

Dans les retranscriptions, nous avons distingué les interventions qui ont pour but de proposer une solution technique, en la nommant et la décrivant, celles qui ont pour but d'évaluer une solution technique proposée, le plus souvent argumentées par un critère d'évaluation, et celles qui annoncent le choix final d'une solution, qui sera dessinée sur la feuille de calque. Et nous avons distingué, parmi les critères d'évaluation énoncés, plusieurs types de critères :

- les critères qui permettent de vérifier si une solution technique proposée a les performances voulues et n'est pas défaillante (PEM) ;
- les conditions d'existence et de fonctionnement, qui ne sont pas particulières au milieu de fonctionnement (CEP), telles que la fabricabilité, la montabilité, la possibilité de fonctionner ;
- les critères économiques et commerciaux (CEC), tels que le coût et l'esthétique.

Résultats

La Figure 6 montre que les étudiants et les enseignants se sont investis différemment, selon les groupes, dans la conception des deux sous-structures auxquelles on s'intéresse, en terme de nombre de prises de parole.

En particulier, cette figure montre que le groupe D1 ne consacre aucun échange à la conception du blocage du système de réglage. Et effectivement, l'analyse de son dessin, en fin de formation, a permis de constater que cette sous-structure n'a pas été représentée. Le groupe D 1 n'a pas conçu la sous-structure à laquelle on s'intéresse. C'est le seul. Dans la suite, nous excluons donc ce groupe D1 de notre analyse. Par ailleurs, on peut noter que l'enseignant est intervenu dans tous les groupes sauf le groupe D2.

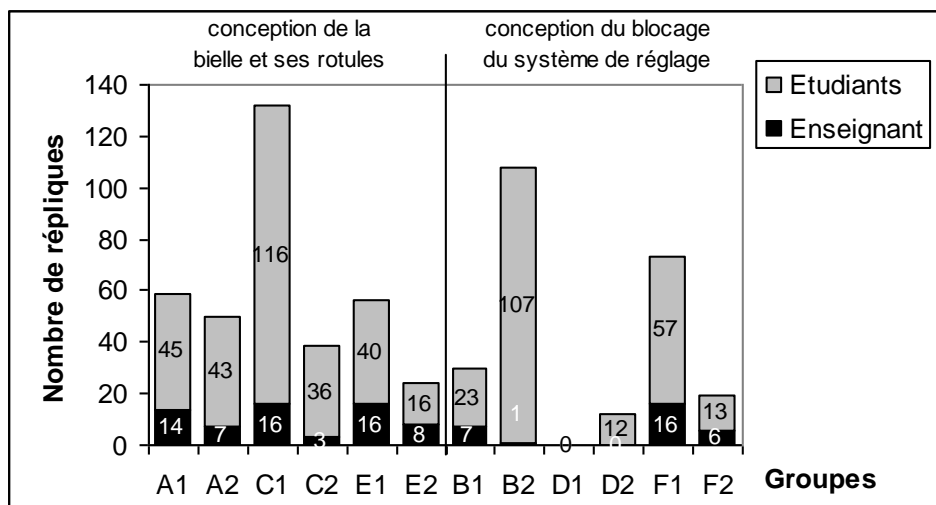


Figure 6 : Quantité de participation des étudiants et de l'enseignant à la conception collective des deux sous-structures, en nombre de prises de parole

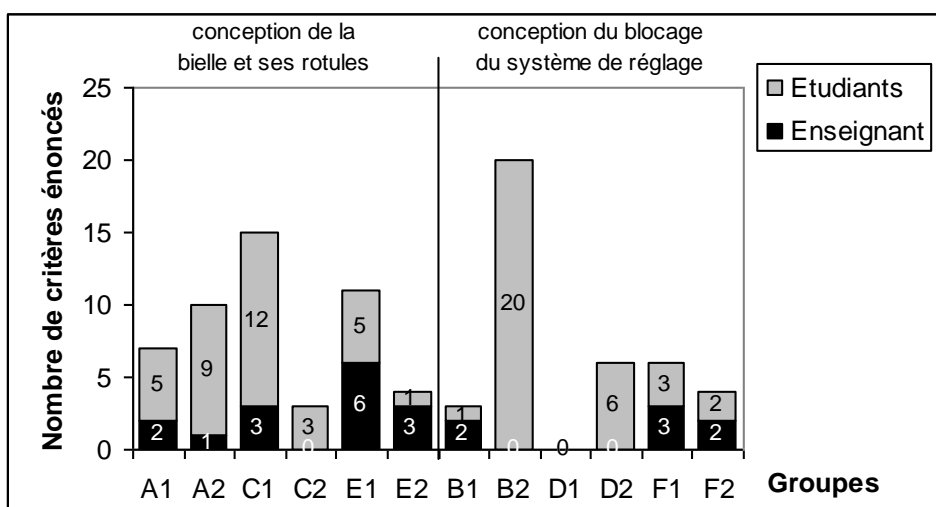


Figure 7 : Nombre de critères énoncés par étudiants et l'enseignant pour évaluer des propositions faites pour concevoir les deux sous-structures

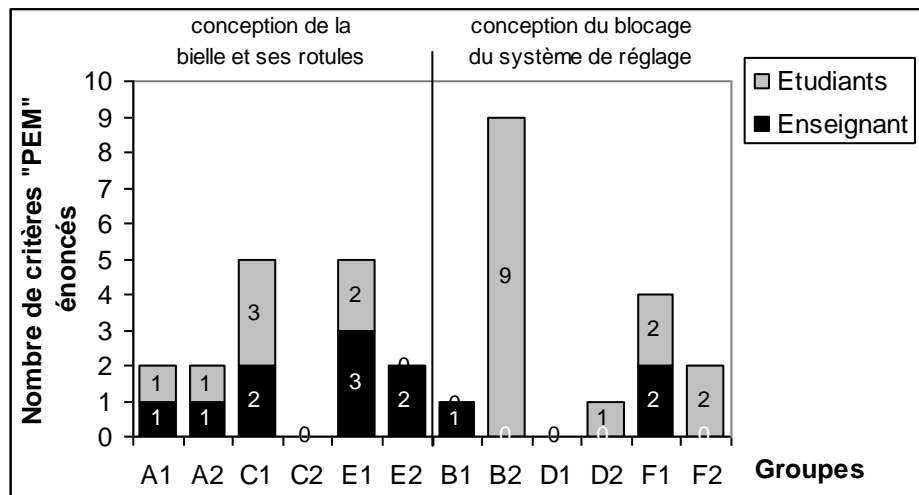


Figure 8 : Nombre de critères « PEM » énoncés par étudiants et l’enseignant pour évaluer des propositions faites pour concevoir les deux sous-structures

La Figure 7, quant à elle, nous montre que tous les groupes ont effectué une activité d'évaluation de solutions proposées, et ont énoncé pour cela de trois à 20 critères d'évaluation différents. Dans huit groupes, l'enseignant a pris part à l'évaluation de solutions, en énonçant d'autres critères que les étudiants, et jusqu'à six critères différents.

Mais les critères énoncés consistent-ils à vérifier que les performances voulues sont atteintes et que des modes de défaillance sont évités ?

Les étudiants utilisent les concepts de performance et de mode de défaillance

Parmi les critères énoncés par les étudiants, la Figure 8 montre que, dans huit groupes sur 11, des étudiants ont utilisé des critères de la catégorie « PEM », c'est-à-dire des critères qui font intervenir le concept de « performance » ou de « mode de défaillance », les deux concepts qui permettent de caractériser le milieu de fonctionnement de la machine à concevoir. Précisons que, au-delà du concept de « mode de défaillance », l'idée de mode de défaillance « prépondérant » n'est évoquée que par un seul groupe, le groupe E1 : « ce qui casserait avant, c'est le truc entre les deux rotules [désigne les extrémités filetées de la bielle] ».

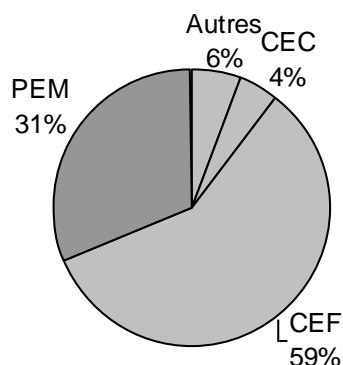


Figure 9 : Répartition des critères énoncés, globalement dans les 12 groupes filmés, par les étudiants uniquement.

La Figure 9 ci-dessus montre qu'une part importante (31 %) des 67 critères énoncés par les étudiants dans l'ensemble des 12 groupes consiste à caractériser effectivement le milieu de fonctionnement de la machine à concevoir, par des critères « PEM. »

Incapacité de caractériser le milieu de fonctionnement

Les Tableaux 2 et 3 visent à montrer si les critères énoncés par les étudiants de la catégorie « PEM », sont pertinents pour caractériser le milieu de fonctionnement voulu. Dans ces tableaux, nous avons fait la liste des performances et des modes de défaillance prépondérants, qu'un expert doit prendre en compte quand il conçoit les deux sous-structures auxquelles on s'intéresse. Parmi ces caractéristiques pertinentes du milieu, moins du tiers ont été énoncées par les étudiants (14 sur 45). Et seul le groupe B2 a correctement caractérisé le milieu de fonctionnement. Par ailleurs, les critères d'« effort maxi/matage » (de la rotule) et d'« efforts/rupture/flambage » (de la bielle) sont presque les seuls critères énoncés par les groupes responsables de la bielle et de ses rotules, mais il faut noter qu'ils ont été utilisés dans la séance numéro trois de la formation lors du pré-dimensionnement de la bielle et des rotules. Les étudiants n'ont fait que réinvestir les deux seuls critères alors proposés par l'enseignant.

Tableaux 2 & 3. Critères d'évaluation énoncés caractérisant correctement le milieu de fonctionnement prévu

Conception de la bielle et ses rotules

Performance et mddp* caractéristiques du milieu	A1	A2	C1	C2	E1	E2
Jeu/ précision/ usure (rotule)	-	-	-	-	-	-
Effort maxi/ matage (rotule)	E	P	E&P	E	E	P
Vitesse de rotation/ grippage (rotule)	-	-	-	-	-	-
Débattement angulaire/ collision (rotule)	-	-	E	-	-	-
Efforts/ rupture/ flambage (bielle)	P	E	E&P	E	E&P	-

Conception du blocage du système de réglage

Performance et mddp* caractéristiques du milieu	B1	B2	D1	D2	F1	F2
Précision/ jeu autorisé	-	E	 	-	E	-
Couple de blocage/ glissement/ vibrations	-	E	 	-	P	P
Mode opératoire d'utilisation/ couple de serrage	-	E	 	E	-	-

Légende : - = pas énoncé ; E = énoncé par un étudiant ; P = énoncé par l'enseignant

*mddp = mode de défaillance prépondérant

Ces résultats empiriques montrent qu'une grande majorité des groupes filmés sont incapables de caractériser correctement le milieu de fonctionnement de la machine, lors de la conception des deux sous-structures auxquelles on s'est intéressé.

La diversité observée des interventions des enseignants

Le Tableau 4 synthétise les modes d'intervention observées des enseignants, selon les groupes. Nous avons identifié quatre modes d'intervention différents. Le premier, le plus fréquent (quatre groupes), consiste à guider les étudiants vers une solution que l'enseignant a prédéterminée

comme corrigé à l'exercice, « la » solution. Le deuxième, observé dans trois groupes, consiste à s'informer sur l'état d'avancement des étudiants dans leur production du plan d'avant-projet. Dans ces trois groupes, il semble que l'enseignant ait jugé satisfaisant cet état d'avancement, et il n'est pas intervenu davantage qu'en s'informant. Le troisième, observé dans deux groupes, consiste à participer à la conception de la machine en évaluant les solutions techniques proposées par les étudiants. Enfin, le dernier mode d'intervention consiste à questionner les étudiants, dans un objectif d'amener les étudiants à argumenter leurs propositions en énonçant des critères d'évaluation. Ce dernier mode d'intervention a été observé dans un groupe.

Tableau 4. Les modes d'interventions observées de l'enseignant.

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.

Partie IV - Bilan et discussion

Un premier apport de ce travail est la définition d'une capacité spécifique à une discipline d'enseignement comme objectif de formation. En effet, les « nouveautés » en enseignement, en France, consistent à viser la formation de capacités transversales à différentes disciplines. Cela est vrai en collèges avec les itinéraires de découverte, en lycées professionnels avec les projets pluridisciplinaires à caractère professionnel (PPCP), en lycées technologiques et généraux avec les travaux personnels encadrés (TPE). L'intérêt d'un point de vue didactique pour ces questions nous semble justement être de caractériser précisément ce que chaque discipline propose de spécifique plutôt que de considérer qu'il faudrait immédiatement viser la construction de métaconnaissances communes à toutes les disciplines, basée par exemple sur l'idée théorique de Feuserstein de formation à la métacognition. Ainsi les activités de formation transdisciplinaires peuvent être définies par complémentarité des apports disciplinaires plutôt qu'en communauté de structures intellectuelles car, par exemple, nous considérons qu'il n'y a pas de concept défini par les seuls signifiants et signifiés, sans référent.

Un deuxième apport, pour la didactique des génies techniques, est l'explicitation de trois capacités (dont la deuxième est spécifiquement enseignée en formation technologique) : la généralisation, la particularisation et l'évaluation par modélisation. Cela situe les formations technologiques par rapport aux formations scientifiques. En effet, du point de vue scientifique, il y a une tension entre l'universel et le singulier. La valeur scientifique est accordée aux lois universelles décrivant des phénomènes universels et pas aux lois singulières, aux phénomènes singuliers. Et du point de vue technologique, la tension est entre le général et le particulier. Il y a ces deux nécessités – généraliser et particulariser – qui peuvent paraître paradoxales simultanément mais qui ne le sont plus en différé. A certains moments il faut généraliser des structures, des principes de fonctionnement communs à plusieurs systèmes techniques par des

schémas et à d'autres moments, il faut particulariser ces schémas à des milieux de fonctionnement particuliers. Or il y a souvent une confusion, sinon un amalgame, entre le caractère singulier et le caractère particulier des objets intellectuels à construire. On peut penser à tort que les formations technologiques proposent, au travers d'études de cas, de traiter des situations singulières, et qu'elles sont donc pauvres relativement à la formation intellectuelle, alors que ce sont des situations particulières, objet central de la maîtrise d'un ingénieur, qu'elle donne à travailler.

La troisième proposition est le schéma d'organisation des formations à l'analyse de PYSTILE ; il définit les catégories d'informations qu'un concepteur, spécialiste d'un champ technique, doit posséder. Il permet donc de guider la constitution des documentations technologiques, et offre ainsi une aide pour des enseignants débutants, pour des ingénieurs ou techniciens débutant ou changeant de domaine économique ou pour la capitalisation des connaissances en entreprise. Ces catégories, par les concepts qui les caractérisent, permettent également de préciser ce qu'est la capacité de particularisation.

Cela permet le quatrième résultat, empirique, qui est que les étudiants n'ont pas construit cette capacité de particularisation au niveau de la Licence de technologie mécanique. Nos observations nous amènent à expliquer cette incapacité par certains manques de connaissances des étudiants, et par des modes d'intervention inadaptés des enseignants. En effet, d'une part les étudiants ne connaissent pas la notion de milieu de fonctionnement, ni le concept de mode de défaillance prépondérant. D'autre part, l'intervention de l'enseignant la plus fréquemment observée, celle qui consiste à guider vers « la solution », inhibe sans doute l'activité d'évaluation, et donc aussi l'activité de caractérisation du milieu de fonctionnement qui permet de particulariser les solutions techniques proposées à ce milieu. En guidant ainsi les étudiants vers un « corrigé », l'enseignant impose une logique scolaire, et ils considèrent la solution de l'enseignant comme la « bonne » solution. Pour eux, il n'est alors plus nécessaire de se poser la question de l'adaptation ou non de cette solution au milieu de fonctionnement visé.

Références

- Canonge, F. et Ducel, R. (1969). *La pédagogie devant le progrès technique*. Paris : PUF.
- Cartonnet, Y. et Durey, A. (1996). Une assistance multimédia interactive pour les séances de travaux pratiques ? Evaluation. *Sciences et Techniques Educatives*, 3(4), 425-443.
- Cartonnet, Y. (1999). Apprentissage de schèmes d'usage et de schèmes d'actions instrumentées ; comparaison de populations d'étudiants et de types de médiation. *Aster*, 28, 149-166.
- 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.ens-cachan.fr/lirest>).
- Chabal, J., De Prester, R., Slafer, J., Ducel, R. (1973). *Méthodologie de la construction mécanique*. Paris : Foucher.

- Deforge, Y. (1981). *Le graphisme technique*. Paris : Ed. Champ Vallon.
- 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 en Didactique des disciplines. Université Paris VII -Denis Diderot.
- Geminard, L. (1970). *Logique et technologie*. Paris : Dunod.
- Martinand, J.-L. (Coordinateur) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris: INRP.
- Martinand, J.-L. (Coordinateur) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- Postic, M. (1971). *Introduction à la pédagogie des enseignements techniques*. Paris : Ed. Foucher.
- Simondon, G. (1958). *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris : Aubier.