



HAL
open science

Modélisation des systèmes de production de compétences : apports à l'ingénierie pédagogique

Christian Clementz

► **To cite this version:**

Christian Clementz. Modélisation des systèmes de production de compétences : apports à l'ingénierie pédagogique. Automatique / Robotique. Université Paul Verlaine - Metz, 2000. Français. NNT : 2000METZ048S . tel-01775474

HAL Id: tel-01775474

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01775474v1>

Submitted on 24 Apr 2018

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE METZ

N° attribué par la bibliothèque

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Année 2000

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE METZ

Discipline : AUTOMATIQUE et PRODUCTIQUE

présentée et soutenue publiquement

par

Christian CLEMENTZ

Le 15 décembre 2000 à l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz

Titre :

MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION DE COMPETENCES : APPORTS A L'INGENIERIE DE FORMATION

Alain BOURJAULT	Professeur à l'ENSMM de Besançon	Rapporteur
Michel CAZIN	Professeur honoraire du CNAM	Examineur
Jean Jacques CLAIR	Professeur à l'UTBM de Belfort-Montbéliard	Rapporteur
Jean Paul KIEFFER	Professeur à l'ENSAM d'Aix en Provence	Rapporteur
Germain LACOSTE	Professeur à l'Université de Toulouse	Rapporteur
Pierre PADILLA	Professeur à l'ENI de Metz	Codirecteur de thèse
Claude POURCEL	Professeur honoraire de l'EIT de Tours	Codirecteur de thèse
Jacques THIERRY	Inspecteur Général de l'Education Nationale	Examineur
François VERNADAT	Professeur à l'Université de Metz	Examineur
Michèle PROQUIN	Chargée de mission, UTBM de Belfort-Montbéliard	Invitée

Les travaux relatifs à cette thèse ont été menés aux :

Laboratoire de Génie Industriel et
Production Mécanique (LGIPM) ENIM /
Université de Metz - Ile du Saulcy
57045 METZ – France

Centre d'Etudes et de Recherches des
Industries Didactiques (CET DIDACT)
57608 FORBACH

« Dans notre domaine comme dans bien d'autres, le chercheur reste, à de rares exceptions près, celui qui explore nuitamment une cathédrale à la lumière d'une bougie »

Maurice Reuchlin
cité par M. Linard
Des machines et des hommes
Editions Universitaires 1990

REMERCIEMENTS

Le travail présenté a été réalisé au sein de l'équipe du Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique (LGIPM) de Metz et au Centre d'Etudes et de Recherches des Industries du Didactique (CET DIDACT).

Je tiens à remercier tous ceux qui, directement ou indirectement, m'ont permis de faire aboutir ces travaux et sans lesquels cette thèse ne serait pas soutenue aujourd'hui.

A ce titre, je remercie le Professeur P. Padilla, Directeur de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM), Directeur de thèse, pour la confiance qu'il m'a toujours témoignée et ses encouragements permanents à poursuivre et à développer un sujet difficile, parfois dérangent et peu exploré. Je le remercie de m'avoir accueilli dans les structures de l'école et offert ce terrain comme terrain d'exploration de nos travaux. Il a particulièrement compté dans la conviction que nous avons aujourd'hui de reconsidérer les démarches de conception des systèmes de formation de manière à être plus réactif sur les marchés de la formation. Il a toujours milité pour une égalité des chances de l'élève, du plus déshérité au plus favorisé, forgée sur la qualité de l'enseignement dispensé.

J'exprime à l'égard du Professeur C. Pourcel, codirecteur de thèse, mes remerciements les plus vifs pour m'avoir permis d'orienter la réflexion de nos travaux dans une perspective tant industrielle qu'universitaire. Sans cette rencontre, sans la prise en compte dans nos travaux d'une connaissance fine du monde de l'entreprise de production, sans ce dirigeant d'entreprise, cette thèse n'aurait sans doute pas conclu à une analogie de l'univers de la formation avec celui de la production industrielle. Je lui dois mon initiation et ma formation à l'approche systémique des systèmes de production. Je voudrais enfin le remercier pour la grande disponibilité qu'il m'a accordée.

Je remercie Madame M. Proquin, Ingénieur de recherche à l'Université Technologique de Berlfort-Montbéliard, Directrice de l'Orientation, pour l'intérêt qu'elle manifeste pour ces travaux. Puisse cette participation aux travaux du jury présager d'un prochain travail commun pluridisciplinaire que nous pourrions réaliser ensemble.

Je remercie le Professeur A. Boujault, Professeur à l'ENSEM de Besançon, pour l'intérêt qu'il manifeste à ce travail en acceptant d'être rapporteur. Il nous semble que sous l'angle de la « compétence », qui est au cœur des préoccupations de cette thèse, les mondes de la production et de la formation se rencontrent. Qu'il sache que l'attention qu'il porte à nos travaux me touche profondément.

Je remercie le Professeur J.P. Kieffer, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers d'Aix en Provence, d'avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse. Je lui suis reconnaissant de m'avoir conseillé dans la présentation de ces travaux à adopter, tant sur la forme que sur le fond, pour exprimer une pensée scientifique. Ses remarques, ses références ainsi que les contacts qu'il m'a recommandés ont été des plus précieux ; j'espère que l'écriture de cette thèse le manifeste pleinement.

Je remercie le Professeur J.C. Clair, Professeur à l'Université Technologique de Belfort-Montbéliard, pour l'attention qu'il a portée à ces travaux et la charge de rapporteur qu'il a acceptée. Au delà d'un encouragement franc à poursuivre, il m'a aidé, en spécialiste des procédés, à mieux percevoir les limites de cette recherche en m'interrogeant sur les phénomènes mis en jeu dans la coproduction de compétences. Je me suis efforcé de toujours garder ses remarques à l'esprit en prenant conscience des forces mais aussi des faiblesses des solutions que nous proposons.

Je remercie le Professeur G. Lacoste, Directeur de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, de l'intérêt qu'il porte à nos travaux en acceptant d'être rapporteur de cette thèse. Je ne pourrais que me réjouir des perspectives d'une collaboration étendue à plusieurs écoles d'ingénieurs dans la recherche de l'optimisation de notre outil de formation.

Je remercie le Docteur J. Thierry, Inspecteur Général de l'Education Nationale, pour avoir accepté de participer aux travaux du jury. Il personnifie à mes yeux le domaine de l'économie et de la gestion, indissociable des préoccupations technologiques et industrielles qui nous animent. Nous avons souhaité inscrire constamment nos réflexions dans une démarche de qualité de satisfaction d'un besoin de formation ; puissent ces travaux lui montrer combien sa sensibilité m'a été précieuse dans l'orientation de cette thèse.

Je souhaiterais remercier le Professeur F. Vernadat, Directeur du Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique (LGIPM) de Metz, pour son accueil dans le laboratoire, son aide et son investissement dans ces travaux. Il m'a permis d'accéder à toutes ses compétences et toute la connaissance qui est la sienne du Génie Industriel. Sans lui, on ne parlerait sans doute pas dans cette étude de modélisation ou d'architecture. Il m'a permis de progresser dans la rédaction de cette thèse avec plus de rigueur, de méthode et d'exigence. Je le remercie pour la disponibilité qu'il m'a toujours accordée dans des périodes où, à l'évidence, les nombreuses tâches ne manquaient pas. Il m'a toujours encouragé à travailler jour et nuit : je pense aujourd'hui qu'il a eu raison.

Enfin, je voudrais remercier tout particulièrement le Professeur M. Cazin, Professeur honoraire du Conservatoire National des Arts et Métiers, pour ses encouragements, ses conseils, sa disponibilité et la rigueur de son jugement sur les travaux que je lui présentais. Le Professeur Cazin a depuis fort longtemps encouragé et aidé de jeunes, et de moins jeunes, doctorants. Je suis heureux d'avoir pu compter parmi ceux qu'il a aidés et fait progresser. Je l'ai toujours senti intéressé par les questions d'enseignement et de formation et si je n'ai pu le convaincre, faute de temps, de certaines vertus des technologies de la communication dans l'enseignement, ce n'est que partie remise.

Naturellement, je remercie tous les membres des entreprises du didactique avec lesquelles nous avons pris plaisir à travailler, développer des produits et valider nos recherches ; il s'agit tout particulièrement de Monsieur S. Lefèvre, de la société MICRELEC, de Monsieur L. Julienne, de la société EDU 4, de Monsieur J.M. Pierron, de la société PIERRON, de Monsieur A. Delmas, de la société HYDROTECHNIC, ...

Pour terminer, que tous ceux qui m'ont accordé leur sympathie, leur soutien, leurs encouragements à poursuivre et leur aide à l'élaboration de cette thèse me pardonnent de pas pouvoir les citer tous, comme il conviendrait de le faire, en les remerciant pour toute l'attention qu'ils ont mis à conseiller, prendre des rendez-vous, relire, photocopier, relier, ...

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE DE L'INGENIERIE DES ETABLISSEMENTS DE FORMATION

1.1. INTRODUCTION

1.2. QU'EST-CE QU'UN ETABLISSEMENT DE FORMATION ?

- 1.2.1. Le système éducatif français
- 1.2.2. Les crises du système éducatif
- 1.2.3. Quelques données objectives

1.3. SPECIFICITES DES SYSTEMES DE FORMATION

- 1.3.1. Le concept de formation
- 1.3.2. Les objectifs dans la formation
- 1.3.3. Modélisation fonctionnelle d'un système opérationnel de formation :
l'établissement scolaire

1.4. LE CONCEPT DE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 1.4.1. Notion de compétence
 - 1.4.1.1. Les savoirs
 - 1.4.1.2. Les savoir-faire
 - 1.4.1.3. Les savoir-être
- 1.4.2. Composants du système de production de compétences
- 1.4.3. Représentation des caractéristiques de la formation
 - 1.4.3.1. Représentation tridimensionnelle
 - 1.4.3.2. Représentation polaire

1.5. APPROCHE SYSTEMIQUE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

1.6. LE CONCEPT D'INGENIERIE DE FORMATION

- 1.6.1. Naissance de l'idée
- 1.6.2. Quelle définition ?
- 1.6.3. Plusieurs acceptions du terme ingénierie pédagogique
- 1.6.4. Les représentations actuelles de l'ingénierie de formation

1.7. ANALOGIE ENTRE LE SYSTEME DE PRODUCTION INDUSTRIEL ET LE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 1.7.1. Les processus
- 1.7.2. L'évaluation de la performance
- 1.7.3. Vers une méthodologie de conception

1.8. LE NOUVEAU CADRE D'ETUDE

1.9. SYNTHESE DU CHAPITRE

CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART

2.1. INTRODUCTION

2.2. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE OU LE PRINCIPE D'UNE METHODE D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE ?

- 2.2.1 Quelle méthode existante d'ingénierie de formation ?
- 2.2.2 Les typologies de pilotage des systèmes de formation
- 2.2.3 Modèles de gestion des systèmes d'enseignement
- 2.2.4 Les méthodes pédagogiques du système éducatif

2.3. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION

- 2.3.1. Les méthodes de modélisation en entreprise
- 2.3.2. Les outils de modélisation, support à l'analyse des systèmes
- 2.3.3. Les modèles : IDEFO-SADT, IDEF3, IDEF1x, CIMOSA, Grille GRAI
- 2.3.4. Les architectures : CIMOSA, GERAM
- 2.3.5. Les méthodologies issues de la productique : GIM, AICOSOP, PERA

2.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UNE METHODE D'INGENIERIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION DE COMPETENCES

3.1. INTRODUCTION

3.2. APPLICATION DU PARADIGME TACHE/COMPETENCE/ACTEUR/ACTIVITE AU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 3.1.1 Présentation du modèle de base
- 3.1.2 Explicitation du modèle
- 3.1.3 Définition des concepts utilisés
 - 3.1.3.1 Le poste de travail
 - 3.1.3.2 L'unité d'organisation

3.1.4 Définition de l'ingénierie de formation

3.3. ADAPTATION DU MODELE CONCEPTUEL A LA CONCEPTION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

3.3.1 Notion de unité d'organisation :

3.3.2 Facteurs clés de succès (FCS)

3.3.3 Conduite interne – conduite externe d'une unité d'organisation

3.3.3.1 Conduite interne

3.3.3.2 Conduite externe

3.3.4 Présentation du modèle conceptuel

3.3.4.1 Notion de système opératoire

3.3.4.2 Application du modèle à la description du système de production de compétences

3.4. NOTION D'OBJECTIF ET D'INDICATEUR DE PERFORMANCE

3.4.1 La pratique industrielle

3.4.2 La pratique de l'institution

3.5. NOTION DE PROCESSUS ET DE PROCEDES D'ENSEIGNEMENT

3.6. PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE D'INGENIERIE DE FORMATION

3.7. SYNTHESE ET CONCLUSION

CHAPITRE 4 : EXEMPLES D'APPLICATION

4.1. ETUDE DE CAS N°1 : Application de la méthodologie à la conception d'un enseignement de Génie Industriel

4.1.1 Phase A : réaliser l'étude préliminaire

4.1.2 Phase B : définir le processus de formation

4.1.3 Phase C : spécifier le système de production de compétences

4.1.4 Phase D : réaliser le système de production de compétences

4.1.5 Phase E : mettre en route et valider du système de production de compétences

4.1.6 Phase F : exploiter le système de production de compétences

4.1.7 Phase G : reconcevoir le système de production de compétences

4.1.8 Conclusion

4.2. ETUDE DE CAS N°2 : Application de la méthodologie à la conception de laboratoires de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz

4.2.1. Problématique de la conception d'un laboratoire de formation

4.2.2. Étude du flux de formation dans un laboratoire à dimensionner

4.2.2.1. Sources

4.2.2.2. Méthodes

4.2.2.3. Lois physiques des flux

- 4.2.2.4. Définition
- 4.2.2.5. Calculs de base
- 4.2.3. Modélisation de l'ordonnement d'un laboratoire de formation
- 4.2.3.1. Modélisation du niveau macro-compétence
- 4.2.3.2. Modélisation du niveau micro-compétence ou modélisation des macro-compétences
- 4.2.3.3. Modélisation des micro-compétences : niveau des Travaux Pratiques
- 4.2.3.4. Modélisation des ressources de formation
- 4.2.3.5. Résolution
- 4.2.3.6. Modélisation mathématique
- 4.2.3.7. Définition du critère
- 4.2.3.8. Traitement
- 4.2.3.9. Conclusion

4.3. ETUDE DE CAS N°3 : Application de la méthodologie à la conception d'un laboratoire de formation à la Technologie pour la société MICRELEC

- 4.3.1. Problématique de conception de laboratoires
- 4.3.2. Analyse fonctionnelle des postes de travail
 - 4.3.2.1. But de l'étude
 - 4.3.2.2. Méthode employée
 - 4.3.2.3. Application
 - 4.3.2.4. Tableau de synthèse des fonctions d'un matériel pédagogique
 - 4.3.2.5. Tableau de synthèse des critères et niveaux d'évaluation des fonctions d'un matériel pédagogique
 - 4.3.2.6. Développement de la méthode
- 4.3.3. Méthodologie de conception de laboratoire de formation

4.4. ETUDE DE CAS N°4 : Détermination d'une méthode d'identification des objectifs et des indicateurs de performance associés aux procédés d'enseignement de l'école Nationale d'Ingénieurs de Metz.

- 4.4.1. Objectifs et indicateurs de performance internes du processus d'enseignement académique
 - 4.4.1.1. Objectifs et indicateurs internes de la tâche de formation
 - 4.4.1.2. Objectifs et indicateurs internes de l'acteur d'enseignement
 - 4.4.1.3. Objectifs et indicateurs internes de l'activité d'enseignement
- 4.4.2. Synthèse et conclusion

CHAPITRE 5 : DISCUSSION DES APPORTS, LIMITES ET PERSPECTIVES

5.1. INTRODUCTION

5.2. LES APPORTS DU TRAVAIL

- 5.2.1. Au niveau conceptuel
- 5.2.2. Au niveau méthodologique
- 5.2.3. Au niveau opérationnel

5.3. LES LIMITES

- 5.3.1. La prise en compte du phénomène humain
- 5.3.2. La formation pluridisciplinaire
- 5.3.3. Les limites imposées par les modèles utilisés

5.4. LES PERSPECTIVES

- 5.4.1. une méthodologie de conception pluridisciplinaire des systèmes de production de compétences
- 5.4.2. le développement d'une méthodologie de conception des systèmes d'information des systèmes de formation
- 5.4.3. la modélisation des systèmes de décision des systèmes de formation

5.5. CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

TABLE DES FIGURES

TABLE DES TABLEAUX

GLOSSAIRE DES SIGLES

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

1. Résumé de « L'ECOLE DESOEUVREE »
2. La méthode S.A.D.T.
3. Exemple d'affectation des ressources d'un laboratoire

INTRODUCTION GENERALE

Résumé de l'introduction :

Cette introduction présente le contexte, les enjeux et les méthodes d'investigation de notre travail de recherche dont l'objet est de proposer des modèles, des méthodologies et des outils de conception des systèmes de formation.

INTRODUCTION GENERALE

Cette thèse concerne l'analyse et la conception (ou re-conception) d'établissements de formation que nous abordons sous l'angle novateur des pratiques actuellement mises en œuvre dans les entreprises industrielles (modélisation en entreprise, ingénierie simultanée, évaluation de performance). Ce travail s'efforcera d'être original en essayant de définir, par analogie avec l'ingénierie des systèmes de production, le concept d'ingénierie de systèmes pédagogiques. Une méthodologie générique de conception d'un système de formation est alors proposée puis validée sur des études de cas.

Cette étude a été réalisée au Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique (LGIPM), commun à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM), à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM) et à l'Université de Metz.

Une part importante du travail a été conduite avec les industriels du Centre d'Études et de Recherche des Entreprises du Didactique (CET DIDACT), association regroupant des chefs d'entreprises, des chercheurs et des responsables de collectivités territoriales.

A l'instar des systèmes de production, la capacité de réagir rapidement et de s'adapter à son marché devient une obligation pour tous les établissements de formation. En effet, le monde de la formation va subir de profondes mutations dans les années à venir, passant d'un système éducatif codifié et technocratique principalement centré sur la formation initiale à un système éducatif alliant formation initiale et formation continue piloté par l'aval, c'est-à-dire par la demande en besoins éducatifs. De plus, le marché de l'éducation subit lui aussi la loi de la globalisation et devient un marché mondial et non plus national.

Notre travail a pour objet de proposer quelques éléments de réponse au problème d'adéquation de l'ingénierie des établissements de formation à leur environnement en appliquant les concepts du Génie Industriel à l'ingénierie¹ de formation.

A l'instar d'une réflexion sur l'évolution des pratiques industrielles, les établissements de formation doivent évoluer sur les points suivants :

au niveau de l'organisation :

- chaque entité de formation doit pouvoir être dimensionnée en fonction de sa finalité ;
- une décentralisation doit permettre à chaque entité de s'adapter en permanence à l'évolution des besoins ;
- la professionnalisation de l'ensemble des personnels du système de formation doit être une priorité pour que chacun des acteurs soit à sa place avec la flexibilité et la polyvalence indispensable au nouveau contexte de la mondialisation de l'économie ;
- la distinction entre la formation du citoyen et la formation de l'acteur économique doit être mieux définie.

au niveau du fonctionnement :

¹ Nous entendons ici par ingénierie, l'ensemble des démarches de conception et de re-conception des systèmes de production.

- la notion d'équipe pédagogique devient une absolue nécessité pour mieux optimiser l'utilisation des ressources et pour travailler dans une approche systémique qui caractérise la société moderne ;
- le professeur doit être doté d'un ensemble de méthodes, d'outils et d'un environnement plus adapté à l'évolution de son métier ;
- les procédés de formation doivent être utilisés au mieux pour optimiser les coûts de formation et les réduire à leur juste niveau ;
- la formation continue des professeurs doit être systématisée tout comme cela a été fait dans l'industrie afin d'intégrer les nouvelles technologies éducatives et de permettre une ouverture plus grande des enseignants au milieu économique ;
- les moyens nécessaires doivent être donnés à chaque établissement pour assurer son bon fonctionnement à partir de critères objectifs et plus équitables.

au niveau opérationnel :

- chaque entité de formation doit pouvoir répondre à des besoins spécifiques et ponctuels pour s'adapter au marché de la formation en entreprise ;
- les programmes et les cursus de formation doivent faire l'objet d'adaptations permanentes au sein de chaque établissement.

L'organisation d'une structure nouvelle du système éducatif et la professionnalisation du corps enseignant sont les deux axes qui ont guidé notre réflexion. Les méthodologies que nous présentons sont indispensables à une nouvelle détermination de l'adéquation des établissements de formation à leur environnement.

Actuellement, les méthodes pédagogiques prônent d'une part l'application à la pédagogie des méthodes scientifiques de psychologie comme constituant des méthodes pédagogiques elles-mêmes (psychologie cognitive), et, d'autre part, l'instrumentation pédagogique en tant que dispositif d'enseignement ou d'apprentissage. Peu d'approches abordent, à partir d'une modélisation des établissements de formation, une conception plus globale et systémique intégrant le pilotage de ces systèmes, la mesure de leurs performances, la définition des tâches de formation et des acteurs associés.

La plupart des résultats de recherche, fort intéressants, ont produit des « théories pratiques » [Palmade, 98] fondées sur des méthodes empiriques ou des réflexions sur la mise en œuvre d'auxiliaires pédagogiques susceptibles de favoriser les apprentissages [Pastiaux, 99].

Cependant, les dépenses croissantes de formation, indispensables au maintien du capital de compétences¹ des entreprises, exigent que le rendement² de la formation soit amélioré par l'usage de méthodologies et d'outils en rapport avec les objectifs poursuivis.

Ce travail prolonge les récentes réflexions menées sur la modélisation des compétences en Génie Industriel [Harzallah, 00] en s'attachant plus précisément à la conception de systèmes capables de produire ces compétences, et plus particulièrement à la modélisation de spécifications des tâches de formation, des acteurs et des activités d'enseignement [Berrah, 97] [Gourc, 97] [JIA, 98] [Boucher, 99].

¹ La notion de compétence est développée au chapitre 1.

² Le rendement de la formation exprime ici le rapport Qualité de la formation / Coûts de la formation.

Notre objectif est de développer des modèles, des méthodologies et des outils pour aider à la conception de formations réactives et performantes.

Après étude des différentes approches de modélisation des systèmes de production (AIRE, CIMOSA, PERA, GIM, GERAM), nous situons notre contribution par rapport aux travaux de modélisation qui sont les plus proches des orientations de notre recherche, c'est à dire l'architecture CIMOSA pour ce qui concerne les aspects de la modélisation et la méthodologie AIRE pour ce qui relève de la démarche de conception d'un établissement de formation.

Nous proposons une méthodologie permettant la conception et la re-conception d'un établissement de formation. Elle s'apparente à une logique de conception de produits et de re-conception des systèmes de production ¹.

Plan de la thèse :

Ce rapport de thèse comprend cinq chapitres.

Le chapitre 1 expose la problématique de l'ingénierie des établissements de formation. « *Conception nouvelle* », plutôt que « *abus de langage* », comme le présente Pastiaux [99]², cette ingénierie sera définie par analogie à l'ingénierie des systèmes de production industrielle ou tertiaire. Ce premier chapitre présente l'orientation résolument novatrice que peut prendre l'acceptation du terme ingénierie pédagogique³.

Le chapitre 2 constitue un état de l'art sur les méthodologies et les outils d'ingénierie, qu'ils concernent les systèmes de production ou les établissements de formation.

Dans le chapitre 3, nous proposons une adaptation du modèle conceptuel d'un système afin de dégager une méthodologie de conception de système de production de compétences.

Dans le chapitre 4, nous proposons quatre études de cas nous permettant de valider l'approche proposée. L'enchaînement des quatre cas repose sur une logique descendante de validation. Nous testons d'abord la performance de la méthode pour concevoir un système de formation, puis nous nous intéressons à la conception et au dimensionnement d'un composant particulier du système de formation (en l'occurrence un laboratoire), pour nous attacher ensuite à la caractérisation des ressources d'un laboratoire commercialisé. Enfin, nous terminons par la validation d'une méthode d'identification des indicateurs de performance des procédés d'enseignement.

Ainsi, la première étude de cas correspond à la validation de la méthodologie générique de conception d'un système de formation en Génie Industriel. Il s'agit de vérifier la pertinence de la méthode dans l'aide à la définition d'un système de production de compétences.

¹ Nous entendons ici par système de production aussi bien la production de biens, d'équipements que de services.

² Dans son « Précis de pédagogie », Pastiaux présente une réflexion relativement pessimiste sur l'ingénierie pédagogique en tant que rationalité techniciste ; il réduit l'ingénierie pédagogique aux usages réfléchis des auxiliaires pédagogiques.

³ Nous définissons au chapitre 1 le concept d'ingénierie pédagogique et proposons un état de l'art du domaine au chapitre 2.

La deuxième est une application de la démarche à la conception d'un laboratoire de formation. Il s'agit dans cette étude de caractériser deux composantes particulières de l'Acteur de formation : les ressources technologiques et les ressources logicielles dans un laboratoire de formation. A cette occasion, un logiciel intégrant le DAO, feuille de calcul et gestionnaire de bases de données relationnelles a été défini et développé pour assurer la tâche de description du laboratoire ; la question de l'affectation des ressources, et plus précisément de l'ordonnement pédagogique du laboratoire, est abordée dans cette partie.

La troisième étude de cas concerne l'application pour l'entreprise MICRELEC d'une méthode de conception pédagogique d'un laboratoire de technologie. Cette application illustre la caractérisation du couple compétence/acteur du paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité qui constitue le cœur de notre approche de modélisation.

Le quatrième cas porte sur une méthode de recherche des indicateurs de performance d'un établissement de formation. Elle est appliquée aux procédés¹ de formation utilisés dans la formation d'ingénieurs de l'ENIM ; la méthode SADT est employée pour traduire les intrants et les extrants, les contraintes et les mécanismes et distinguer les indicateurs pertinents.

Enfin, nous concluons sur les apports, les limites et les perspectives de notre contribution.

Sur le plan conceptuel, nous avons défini le concept d'ingénierie pédagogique par un modèle socio-technique considérant à la fois les dimensions humaine et technique. Il favorise la prise en compte des interactions qui s'établissent entre les acteurs² de la formation, les tâches de formation et les activités d'enseignement.

Au niveau méthodologique, les principaux apports résident dans la définition d'une méthodologie de conception d'un établissement de formation.

Nous avons centré nos travaux sur les phases de conception d'un établissement de formation en nous attachant plus particulièrement à la conception des systèmes de conduite ; ceci en détermine l'originalité mais aussi l'insuffisance par rapport à la complexité du problème posé.

Par ailleurs, le phénomène humain, largement investi dans le fonctionnement d'un système de formation, touchant tant l'acteur de formation que l'apprenant, pose les limites de notre étude. Aussi bien conçu soit-il, un système de production de compétences ne peut faire l'économie du phénomène humain dans l'atteinte de ses objectifs. Cet aspect nécessite une approche pluridisciplinaire que notre étude n'a pu intégrer - faute de temps nécessaire - mais qu'il conviendra d'étudier en relation avec des spécialistes en éducation, des psychologues ou encore des sociologues d'entreprise.

Les perspectives de recherche sont nombreuses tant le problème de formation a été peu exploré du point de vue d'une ingénierie de conception des établissements de formation dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire.

Une méthodologie de conception du système d'information d'un établissement de formation, une méthodologie de qualification des procédés de formation, une méthodologie d'affectation

¹ Nous entendons par procédés de formation un regroupement générique cohérent d'opérations d'enseignement, par exemple « le cours », « les Travaux Pratiques », « le stage en entreprise ».

² Nous entendons ici par acteur de la formation, l'association de ressources humaines, technologiques et logicielles nécessaires à la réalisation de la tâche de formation

des acteurs aux tâches de formation, une méthodologie d'anticipation de la disponibilité des acteurs de formation en fonction de la demande de formation, sont autant de pistes de réflexion à conduire dans une approche pluridisciplinaire pour adapter l'outil de formation à son environnement.

En guise de synthèse de l'introduction générale, nous proposons d'illustrer l'objectif de ce travail par la figure 1.

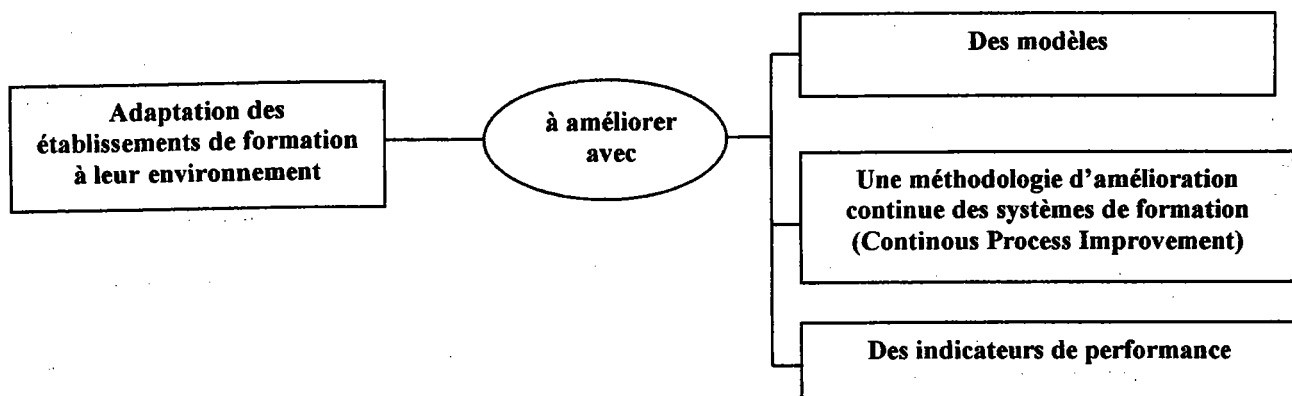


Figure 1 : Représentation de l'objectif de ce travail

CHAPITRE 1

PROBLEMATIQUE DE L'INGENIERIE DES ETABLISSEMENTS DE FORMATION

Résumé du chapitre :

Après avoir précisé l'environnement actuel et les missions du système éducatif français, nous proposons de définir le système de formation à partir d'une comparaison avec les systèmes de production. Nous définissons le concept de système de production de compétences et l'ingénierie de formation comme étant une notion floue, d'acceptions divergentes, constituant une méthodologie de conception des systèmes de formation. Sous l'angle de l'analyse systémique, nous poursuivons la comparaison des deux systèmes et définissons le nouveau cadre d'étude : proposer une méthodologie et des outils de conception des systèmes de production de compétences.

1.1. INTRODUCTION

1.2. QU'EST-CE QU'UN ETABLISSEMENT DE FORMATION ?

- 1.2.1. Le système éducatif français
- 1.2.2. Les crises du système éducatif
- 1.2.3. Quelques données objectives

1.3. SPECIFICITES DES SYSTEMES DE FORMATION

- 1.3.1. Le concept de formation
- 1.3.2. Les objectifs dans la formation
- 1.3.3. Modélisation fonctionnelle d'un système opérationnel de formation :
l'établissement scolaire

1.4. LE CONCEPT DE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 1.4.1. Notion de compétence
 - 1.4.1.1. Les savoirs
 - 1.4.1.2. Les savoir-faire
 - 1.4.1.3. Les savoir-être
- 1.4.2. Composants du système de production de compétences
- 1.4.3. Représentation des caractéristiques de la formation
 - 1.4.3.1. Représentation tridimensionnelle
 - 1.4.3.2. Représentation polaire

1.5. APPROCHE SYSTEMIQUE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

1.6. LE CONCEPT D'INGENIERIE DE FORMATION

- 1.6.1. Naissance de l'idée
- 1.6.2. Quelle définition ?
- 1.6.3. Plusieurs acceptions du terme ingénierie pédagogique
- 1.6.4. Les représentations actuelles de l'ingénierie de formation

1.7. ANALOGIE ENTRE LE SYSTEME DE PRODUCTION INDUSTRIEL ET LE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 1.7.1. Les processus
- 1.7.2. L'évaluation de la performance
- 1.7.3. Vers une méthodologie de conception

1.8. LE NOUVEAU CADRE D'ETUDE

1.9. SYNTHÈSE DU CHAPITRE

1.1. INTRODUCTION

La performance de la formation est depuis peu¹ au cœur des préoccupations du système éducatif². Pour mieux comprendre les problématiques de l'ingénierie des établissements de formation, il faut les resituer dans le contexte global du système éducatif. Nous pourrions ainsi mieux percevoir, analyser et représenter les éléments pertinents qui relèvent de l'ingénierie de l'établissement de formation.

Nous proposons de décomposer ce chapitre de la façon suivante :

- en premier lieu, nous présentons les missions et les contradictions du système éducatif français. Nous mettons l'accent sur l'obligation récente d'une massification de l'enseignement et son incidence sur la conception de l'enseignement. Un tableau de synthèse présente les « scores » actuels de l'Education Nationale en France et permet de dégager quelques dysfonctionnements élémentaires. Une dernière partie est consacrée aux différents types d'objectifs assignés à la formation et propose une modélisation de l'établissement scolaire en tant que système opérationnel de formation. Nous précisons les missions et les objectifs de ce système.
- en deuxième lieu, la discussion porte sur la présentation du concept de système de production de compétences. Après avoir défini la notion de compétences, nous abordons l'établissement de formation sous l'angle d'une vision systémique de son fonctionnement.
- en troisième lieu, nous présentons quelques caractéristiques du concept d'ingénierie pédagogique et nous situons les représentations actuelles de ce concept.
- en quatrième lieu, la discussion est consacrée à une comparaison des systèmes de production avec les systèmes de production de compétences. C'est alors l'occasion de montrer les similitudes et les différences fondamentales qui unissent et séparent ces deux systèmes centrés sur leur environnement.
- en cinquième lieu, nous présentons nos objectifs de travail, le cadre d'étude et les perspectives de notre contribution.
- enfin, nous concluons et introduisons les chapitres suivants.

¹ Nous rappellerons au paragraphe 3 de ce chapitre le souci des pays industrialisés de mieux « piloter » leur système de formation.

² Le système éducatif est considéré ici comme un ensemble national de sous systèmes (dont l'établissement de formation fait parti) possédant des interactions, en constante évolution, centrés sur le but d'éducation et d'instruction du futur citoyen.

1.2. QU'EST-CE QU'UN ETABLISSEMENT DE FORMATION ?

Pour comprendre le rôle d'un établissement de formation, nous proposons de l'étudier par rapport au contexte réglementaire qui le lie au système éducatif français, puis de dégager les missions qui lui sont confiées afin de mieux le situer dans son environnement.

1.2.1. Le système éducatif français

L'article premier de la loi de 1989 assigne quatre grands objectifs¹ au système éducatif français :

- transmettre des connaissances, une culture ;
- préparer à la vie professionnelle ;
- former le futur citoyen ;
- être équitable dans l'atteinte des objectifs précédents, en réduisant les inégalités devant l'école.

Un rapprochement entre l'augmentation du coût de l'école et l'évolution de ses résultats permet de montrer, sur les vingt dernières années, que selon la pondération accordée à ces quatre objectifs du système éducatif, l'école progresse mais dans une proportion moindre que la croissance du coût moyen de l'élève. En réalité, les progrès dépendent des moyens accordés, mais de moins en moins maintenant que l'école de masse est assurée.

La nation se fixe comme objectif de conduire d'ici dix ans l'ensemble d'une classe d'âge au minimum au niveau du certificat d'aptitude professionnelle ou du brevet d'études professionnelles et 80 % au niveau du bac ; c'est l'article 3 de la loi d'orientation de 1989.

Un récent ouvrage sur la situation du système éducatif en France [Joutard et al, 99] rapporte que la « crise, ..., tient autant aux choix politiques² qui ont été faits qu'à la démocratisation elle-même ».

L'hétérogénéité des élèves, « 900 000 enseignants exerçant comme autant de professions libérales » et l'absence de réflexion sur ce que doit être un enseignement de masse conduisent l'auteur à préconiser davantage d'autonomie aux établissements de formation à la condition qu'on n'abandonne pas l'objectif de réussite des élèves.

Pour Joutard [99], que l'on soit « conservateur » ou « progressiste », l'enseignement de masse ne dispose pas des mêmes vertus. Pour les premiers, dont le modèle courant correspond au cours magistral dans une classe homogène à base « d'humanités », l'école est le lieu de la sélection, de la formation disciplinaire et il n'est d'enseignement que l'enseignement de l'élite. Pour les seconds, plutôt optimistes, l'école de masse, signe de la démocratisation, est le lieu d'une école fondamentale, de tronc commun des disciplines, de l'allongement de la scolarité, d'un corps unique d'enseignants, des méthodes actives exclusives, de la réflexion et de l'innovation pédagogique ainsi que de la promotion des sciences de l'éducation.

¹ La définition du concept d'objectif fait l'objet d'un développement particulier au paragraphe 1.3. du chapitre 1. On peut confondre à ce niveau les objectifs avec les missions du système éducatif français si l'on s'accorde sur le fait que le quatrième point (être équitable ... l'école) correspond plus à une recommandation sur les moyens à mettre en œuvre pour parvenir à satisfaire les trois points précédents qu'à une mission véritable du système éducatif.

² Il faut comprendre ici politique au sens politique éducative, c'est-à-dire la logique des directives que le législateur a prévues.

Mais les clivages politiques ne recouvrent pas les clivages pédagogiques et l'école doit aujourd'hui à la fois être école de masse et dégager une élite. Quel pays engagé dans la bataille économique liée à la mondialisation, pourrait aujourd'hui se permettre de ne pas former une élite ? Quel même pays développé, engagé dans la modernisation de son appareil productif, ne verrait pas dans l'allongement de la scolarité obligatoire une élévation du niveau scolaire indispensable à la compétition internationale ?

De cette contradiction interne, celle de l'élite et de la masse, se dégage l'évaluation de la qualité d'un système éducatif capable de mettre en synergie transmission du patrimoine culturel¹ et développement de l'aptitude à l'innovation.

« Il n'y a pas d'ailleurs opposition entre mémoire et imagination, l'imagination se nourrit de mémoire et la mémoire a besoin d'imagination pour mieux se représenter les temps forts d'un passé » [Joutard et al, 99].

C'est ainsi, depuis des décennies, que toute mesure privilégiant la pédagogie fut considérée comme une victoire des instituteurs et toute mesure s'efforçant de garantir la qualité scientifique et culturelle des enseignants comme une revanche des professeurs ; pédagogues et défenseurs des savoirs mènent un combat artificiel et stérile, comme s'il s'agissait d'opposer et de séparer les savoirs de leur transmission.

1.2.2. Les crises du système éducatif

Depuis plus de trente ans, les systèmes de formation sont en crise avec des soubresauts plus ou moins importants, allant parfois jusqu'à la paralysie du pays (la crise de 1968 est de loin la plus violente pour notre pays).

La perturbation permanente du système éducatif n'a épargné aucun gouvernement, toute tendance politique confondue, et les réformes successives réalisées à la suite des mouvements lycéens ou étudiants n'ont pas apporté de solution viable au système.

Les réformes ne vivent que durant la présence du ministre qui les engage et les acteurs de l'éducation se retrouvent toujours avec leurs problèmes sans solution adaptée aux causes.

Si l'on analyse l'évolution du système éducatif en faisant le parallèle avec les évolutions de la société industrielle, on peut comprendre une partie du problème que traverse le système éducatif français.

En effet, en 1889, 1% d'une classe d'âge a accès au bac, en 1936, c'est 3% et en 1985, l'école républicaine doit amener 80% d'une classe d'âge au bac (figure 1.1).

¹ Il s'agit en l'occurrence du legs culturel de notre société.

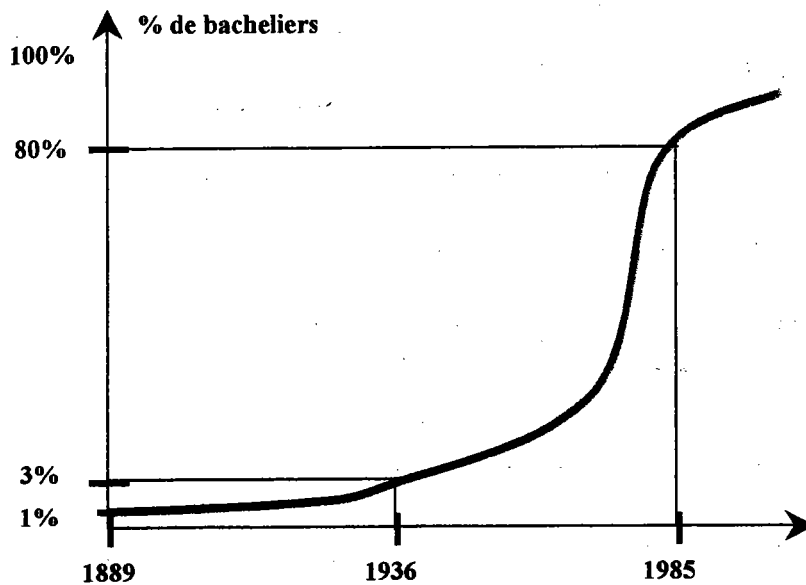


Figure 1.1 : Evolution de l'accès au BAC d'une classe d'âge.

Par ailleurs, l'école d'après guerre se retrouve au cœur de plusieurs types de demandes : l'État qui veut donner une culture commune à la nation, les familles qui attendent du système une promotion sociale de leurs enfants et les entreprises qui ont compris que leurs performances économiques et leur présence sur les marchés passent par la qualité des techniciens et ingénieurs formés.

L'école est donc passée d'une production artisanale (antérieure à 1945) à une production industrielle sans changer ses technologies de production et son organisation. Elle a gardé ainsi une structure artisanale et une organisation taylorienne alors qu'une éducation de masse demande une tout autre organisation.

Les enseignants vivent souvent douloureusement cette évolution. Placés au cœur de la bataille pour l'emploi, sommés de s'adapter à une massification de l'enseignement à laquelle ils n'ont pas été préparés, ils se voient assigner une énorme responsabilité dans un contexte économique et industriel complètement bouleversé.

L'ensemble de la société est passé à l'ère post-industrielle et a intégré la révolution de l'information alors que les systèmes de formation sont restés à l'ère napoléonienne.

1.2.3. Quelques données objectives [Desjardin, 99]

Les chiffres présentés dans le tableau 1.1 illustrent les difficultés que rencontre le système éducatif dans l'atteinte de ses objectifs au moindre coût.

Avec 40% d'illettrés¹ et 25% des jeunes au chômage les performances de notre système sont contestables.

La comparaison du nombre d'élèves par enseignant et du nombre d'élèves par classe laisse à penser que la gestion qualitative des ressources humaines n'est pas optimisée.

Enfin, l'accroissement des dépenses d'éducation (doublement approximativement) par rapport à l'évolution des effectifs (relativement stables sur la même période) suscite quelques inquiétudes ; cette augmentation est essentiellement due à la réduction du nombre d'élèves par classe et à l'augmentation des salaires des enseignants.

En somme, notre système de formation serait coûteux et peu performant.

Budget de l'Education en 1999 :	620 milliards de francs
L'état des lieux en France :	40% d'illettrés 25% des jeunes au chômage 3 millions de chômeurs 7 millions d'exclus
Part du personnel de l'éducation dans la population active en 1999	6.2% (avec 1 418 700 personnes dans l'Education)
Augmentation en % de 1972 à 1999 du : - nombre d'élèves - nombre d'enseignants	9.3% 59% (906 600 enseignants en 1999)
Nombre d'élèves par enseignant en 1999	14 élèves en moyenne ² (20 élèves par enseignant en primaire, 12 élèves par enseignant au secondaire, 24 étudiants par enseignant pour le supérieur)
% des dépenses de l'Education par rapport au PIB : - en 1975 - en 1999	6.3% (100 milliards) 7.1% (620 milliards) soit en Francs 1999 : la multiplication des dépenses par 1.88 alors que le nombre d'élèves n'a augmenté que de 10%.
5% des étudiants du supérieur (étudiants en écoles ou formations d'ingénieurs)	pour 56% du budget d'enseignement du supérieur
Disponibilité de l'école	172 jours sur 365

Tableau 1.1 : Relevé de données d'après Desjardin [99] et Joutard [99].

¹ Selon l'Education Nationale, le score de 20% d'illettrés serait représentatif des résultats de notre système éducatif. Si l'on applique la définition de l'illettrisme de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), ce score passe à 40% : « un illettré est un adulte incapable de lire et de comprendre un texte d'usage courant de vingt cinq lignes et d'en faire un résumé de cinq lignes ».

² Cet effectif moyen par classe est obtenu en divisant l'ensemble des élèves scolarisés par le nombre de personnels enseignants en activité. De toute évidence, ce chiffre est loin de représenter la moyenne nationale des effectifs par classe ; soit un certain nombre d'enseignants n'ont pas d'élèves, soit la moyenne n'est pas représentative de la distribution d'enseignants par discipline ; il reste alors des classes surchargées faute d'adéquation par discipline des besoins aux moyens d'enseignement.

1.3. SPECIFICITES DES SYSTEMES DE FORMATION

En partant du fait que la formation est un des moyens privilégiés pour réduire l'écart entre les compétences acquises par les individus et les compétences requises par les métiers, les emplois ou les diplômes, nous analysons ci-après certains points concernant cette approche.

1.3.1. Le concept de formation

La formation est l'un des volets de la gestion des ressources humaines, dans l'école comme dans l'entreprise. C'est aussi l'un des moyens de répondre aux attentes des personnels et donc de favoriser leur implication par une meilleure considération de leurs besoins.

Le droit à la formation continue dans un établissement de formation a souvent comme conséquence positive de rendre les acteurs plus attentifs aux orientations pédagogiques de l'institution.

Du côté de l'entreprise, la gestion de l'ensemble des ressources, et en particulier des ressources humaines, doit être réalisée comme un véritable investissement ; elle nécessite l'anticipation indispensable des actions et implique, par conséquent, la prise en compte permanente des perspectives d'actualisation des compétences et des technologies en fonction de l'évolution des emplois. Pour Peretti [87], « il s'agit de préparer en permanence les hommes aux exigences de demain ».

Franchini [00], dans son mémoire de thèse de Génie Industriel, suggère que soient plus étroitement rapprochées la gestion de production et la gestion des ressources humaines dans la mesure où les décisions de gestion des ressources humaines (recrutement, mobilité interne, évaluation du personnel, détection des besoins en formation) perturbent la gestion de production. Ainsi, il considère le long terme (élaboration du Plan Directeur de Production) comme une opportunité de formation permettant l'adaptation des ressources humaines locales aux besoins à venir de l'entreprise.

1.3.2. Les objectifs dans la formation

On a coutume de distinguer le but de l'objectif [Magger, 72], [Hameline, 79]. Le but explicite le point d'arrivée d'une stratégie, ce qui doit être atteint ; les objectifs¹ précisent la façon de s'y prendre. Il existe une hiérarchie relative² entre les objectifs permettant d'établir des relations suivantes :

- l'objectif général correspond à une fonction,
- l'objectif intermédiaire correspond à une tâche³,
- l'objectif opérationnel correspond à une habileté.

Plusieurs types d'objectifs peuvent être envisagés dans une action ou un dispositif de professionnalisation ou de formation.

¹ Nous distinguons ici les objectifs généraux de formation des objectifs généraux de l'entreprise qui définissent l'orientation de la politique de l'entreprise.

² En fonction du point de vue selon lequel on se place, un objectif général pour un niveau donné peut correspondre à un objectif intermédiaire pour un niveau supérieur.

³ On entend par « tâche » la définition d'un objectif d'entreprise à atteindre ou d'un résultat à produire.

⇨ *Objectif de formation*

La norme¹ le définit comme un ensemble de compétences à acquérir, à améliorer ou à entretenir exprimées initialement par les commanditaires et/ou les formés.

L'objectif de formation est l'élément fondamental des cahiers des charges. Il sert à évaluer les effets de la formation [AFNOR, 99].

⇨ *Objectifs généraux*

Dans le cadre de la formation, ils viennent souvent compléter les buts. Leur formulation est plus globale que les objectifs pédagogiques puisqu'ils ne précisent pas les comportements observables attendus ni les conditions de réalisation.

⇨ *Objectifs Pédagogiques*

Selon la norme, ils définissent les capacités que le formé doit avoir acquises à l'issue d'une action de formation, définies par le formateur, à partir d'un objectif de formation. L'objectif pédagogique sert à construire et à conduire l'action de formation et à évaluer les capacités acquises.

Ils sont destinés à l'apprenant, Not [89] les appelle des « objectifs d'apprentissage ».

Ce sont des représentations, des prises de conscience, des schémas cognitifs, des connaissances, des savoir-faire que les apprenants doivent avoir acquis au terme de l'action de formation.

Ces objectifs sont formulés :

- en termes « d'être capable de... », pour les savoir-faire ;
- en termes de contenu, pour les connaissances ;
- en termes d'évolution, pour les représentations et la prise de conscience.

Ils décrivent toujours des comportements observables et précisent les conditions de réalisation, ce qui permet ultérieurement leur évaluation.

Parmi eux, on distingue les objectifs de transfert, les objectifs d'enseignement et les objectifs de maîtrise, dont la distinction s'établit selon le domaine d'application (comportement, connaissance ou aptitude) [Not, 89].

⇨ *Objectifs de compétences*

Ils indiquent les compétences que les apprenants doivent construire, en situation réelle de travail ou en situations contextualisées d'apprentissage, en mobilisant les ressources incorporées, qu'ils ont acquises en formation, ou environnementales, que l'environnement met à leur disposition [Le Boterf, 98].

Le différentiel « compétences requises/compétences acquises » mis en évidence par Harzallah [00] permet de mieux définir cet objectif en situation d'apprentissage.

¹ Norme AFNOR, Lexique de la formation.

Ces objectifs sont formulés en termes de "être capable de...".

⇒ *Objectifs de performance*

Toujours associés à un (ou des) indicateur(s) de performance [Berrah, 97], les objectifs de performance confirment le caractère non absolu de la notion de performance, dans l'entreprise comme dans tout système de formation. Ils sont totalement exploités pour le pilotage des processus de formation, tant au niveau global que local. L'objectif de performance ne réalise pas la mesure de la performance mais contribue à la définition des indicateurs en tant qu'outils de mesure de cette performance.

1.3.3. Modélisation fonctionnelle d'un système opérationnel de formation : l'établissement scolaire

Définir un établissement scolaire c'est traduire, avec une approche systémique, cet établissement par une sorte de boîte noire dans laquelle entreraient des élèves qui ressortiraient transformés en citoyens cultivés.

Les nombreuses « opérations » de transformation de cet intrant, représenté par l'élève, sont assurées par un réseau complexe de services en interaction.

Plus schématiquement, quatre niveaux d'étude des systèmes de formation peuvent être distingués :

- Le niveau du macro-système : niveau national, niveau régional (ou académique) ;
- Le niveau du méso-système : établissement scolaire ;
- Le niveau du mini-système : la classe ;
- Le niveau du micro-système : le poste de travail en Travaux Pratiques.

L'application de la méthode SADT¹ [Lissandre, 90] dans l'analyse fonctionnelle d'un établissement scolaire permet la représentation suivante (figure 1.2) :

¹ La méthode d'analyse Structured Analysis and Design Technique (SADT) fait l'objet d'un développement en annexe 3. Il ne s'agit pas ici d'une présentation de la méthode, mais plutôt de son utilisation en vue d'une explicitation plus succincte de l'activité du macro-système et du méso-système.

SADT du macro-système

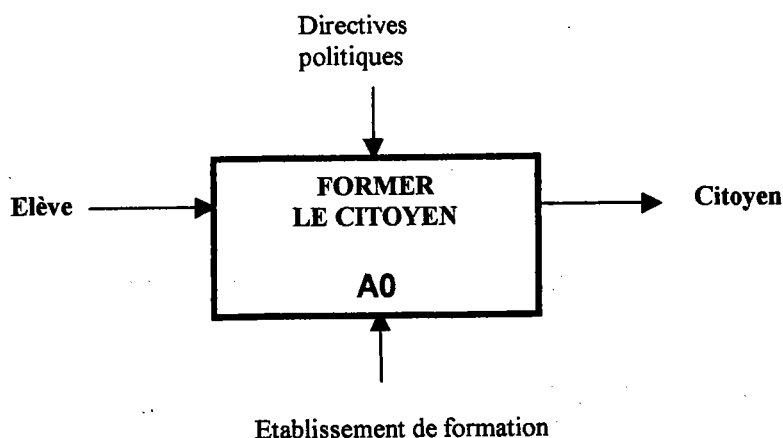


Figure 1.2 : Actigramme de la formation du point de vue du macro-système.

Très globalement, le macro-système a pour objectif la formation du citoyen à partir du recrutement de l'élève. Le macro-système organise alors les tâches de transformation de l'élève en citoyen, c'est-à-dire des tâches d'éducation et des tâches d'instruction. S'il n'est pas le seul à contribuer à cette progressive transformation, il est la seule organisation à s'y consacrer totalement.

En appliquant la même méthode à la boîte « Former le citoyen », on obtient la décomposition fonctionnelle représentée par la figure 1.3 ; la fonction (ou boîte) A0, « former le citoyen » peut se décomposer en quatre boîtes :

- A1 (Eduquer),
- A2 (Instruire),
- A3 (Qualifier).

Ces trois fonctions, A1, A2 et A3, représentent les missions premières de l'école.

En appliquant le même modèle au niveau « Instruire », on obtient la décomposition fonctionnelle représentée par la figure 1.4 ; la fonction « Instruire » se décompose elle-même en quatre autres boîtes :

- A21 (Transmettre la connaissance),
- A22 (Transmettre les oeuvres),
- A23 (Coproducteur des compétences),
- A24 (Préparer aux examens).

La combinaison des trois premières fonctions traduit le processus de formation de chaque élève ; on y retrouve évidemment la mise en œuvre d'un enseignement axiomatique et scientifique, d'un enseignement littéraire et artistique, d'un enseignement technologique et professionnel.

Si la transmission de la connaissance et des œuvres ne pose pas de problème a priori quant à la justification de son corpus de connaissances (bien qu'elle puisse en rencontrer quant à son processus de transmission), il n'en va pas de même s'agissant de la coproduction des compétences.

La notion de **compétence** est en effet indissociable du contexte dans lequel il est prévu qu'elle s'organise, se développe et s'évalue. Il s'agit alors de créer les conditions dans lesquelles l'élève devra mobiliser toutes les ressources disponibles afin d'agir dans une situation donnée. C'est dire combien la coproduction d'une compétence ne vise pas la restitution immédiate d'un savoir mais plutôt la réorganisation des acquis en vue d'un savoir réagir dans une situation insolite que l'élève n'a pas encore rencontrée.

Cette particularité n'est pas de nature à réduire la légitimité de son intérêt ; la connaissance industrielle est un savoir finalisé, et les finalités évoluent de façon permanente. Il s'agit là d'une différence fondamentale qui pose tout le problème de l'identification du savoir nécessaire et du processus de formation associé, c'est-à-dire de sa mise en forme et de sa transmission.

Rapporté aux préoccupations des entreprises du didactique, ce secteur d'activité est de loin celui qui pose le plus d'interrogations :

- quel savoir pour quelle compétence ?
- quel équipement pour quel procédé de formation ?
- quel laboratoire pour quel processus de formation ?

Et c'est précisément dans cet ordre que devrait ce poser le questionnement.

Nous distinguons dans le système éducatif la mission d'éducation de celle d'instruction.

Nous entendons par « éduquer », transmettre à l'élève un comportement civique et démocratique lui permettant, par une logique d'émancipation progressive, le passage de son état d'élève à un statut d'adulte citoyen. En ce sens, toutes les structures où l'élève est confronté au monde des adultes participent à cette mission. Il en est ainsi du rôle des personnels enseignants bien sûr, mais aussi des personnels non enseignants (administratifs, agents de service, ouvriers, parents d'élèves).

Décomposition fonctionnelle du système de formation

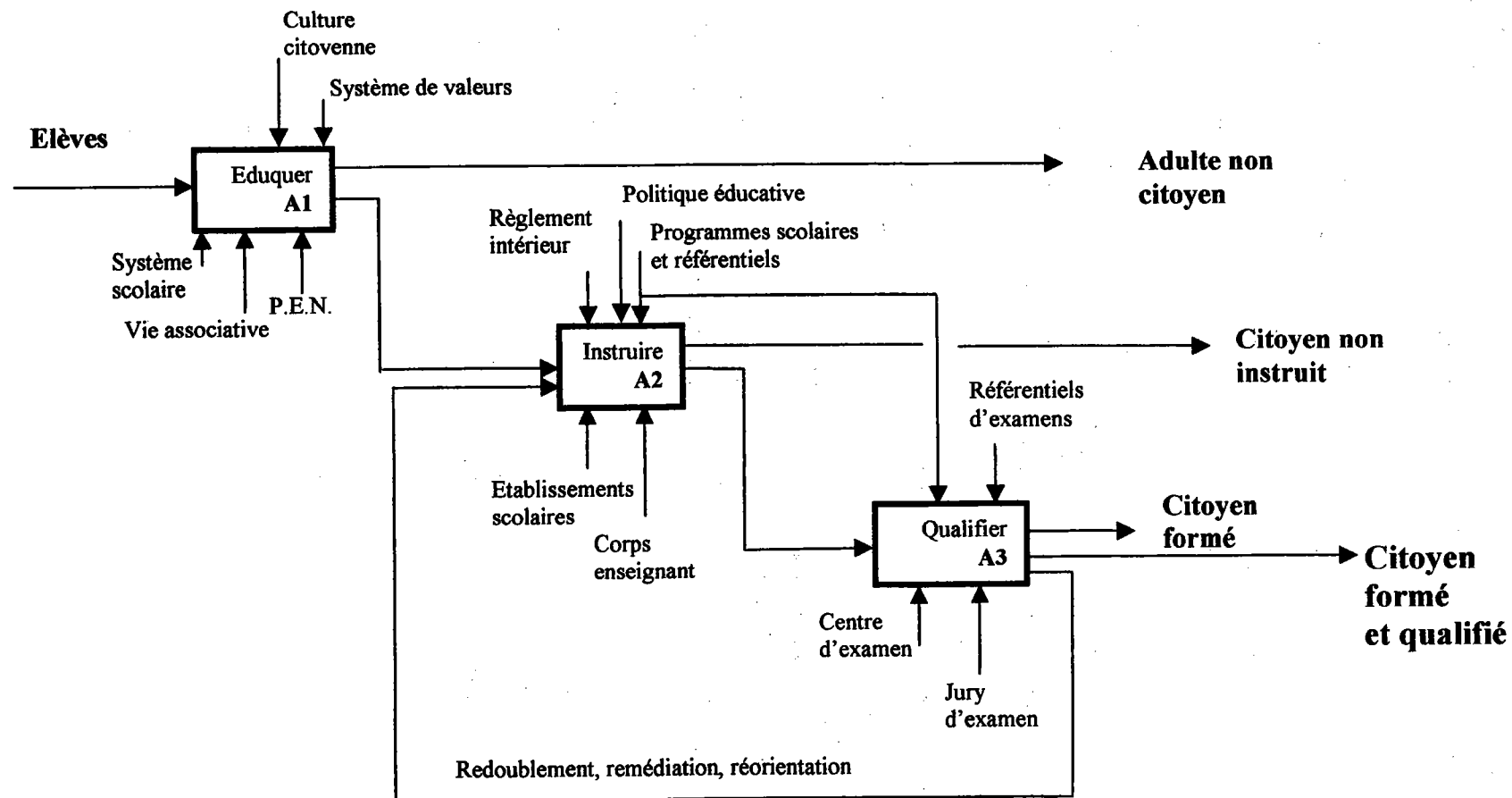


Figure 1.3 : Décomposition fonctionnelle des missions de formation d'un système de formation.

Décomposition fonctionnelle de l'activité INSTRUIRE

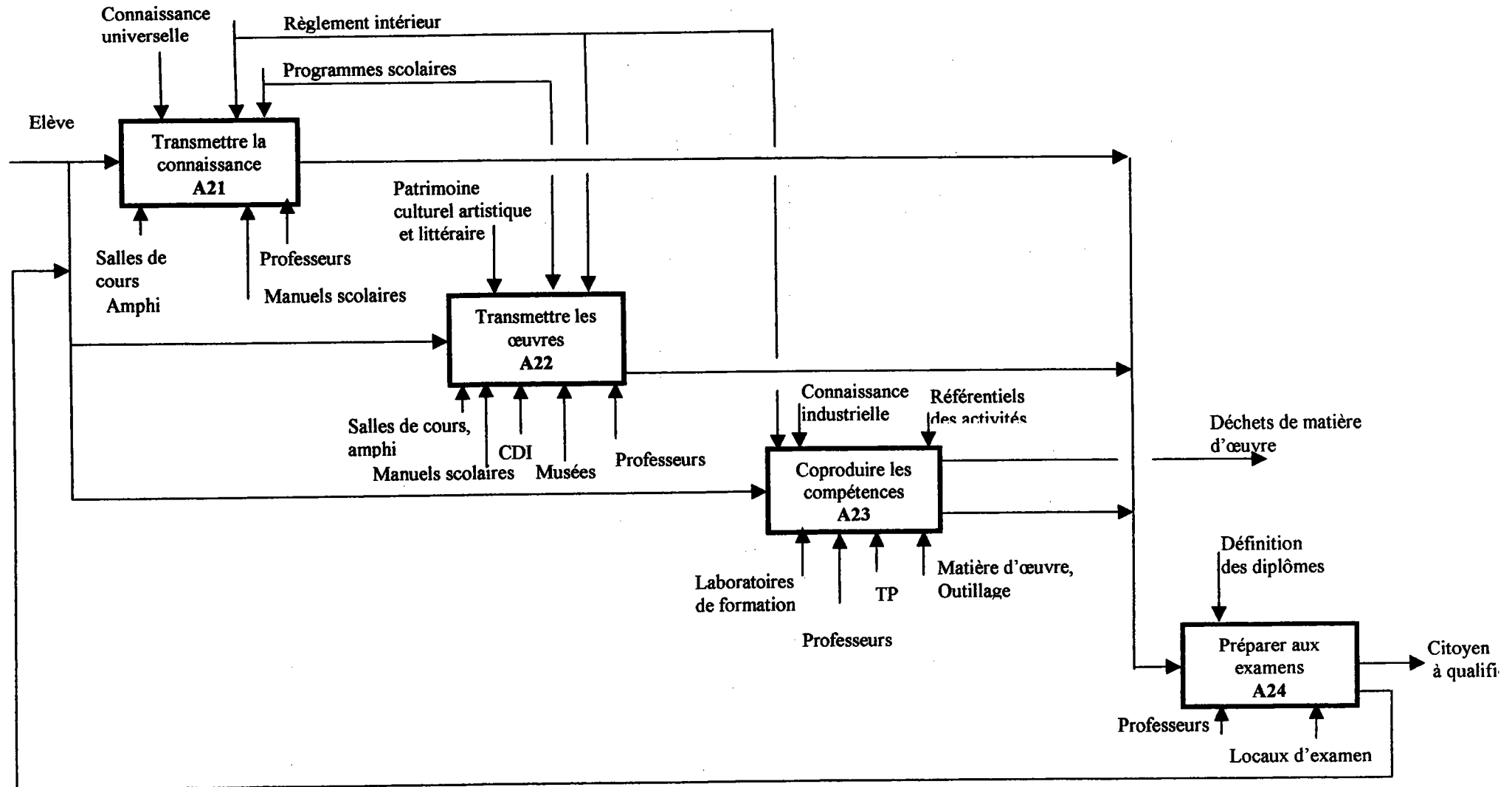


Figure 1.4 : Décomposition de l'activité INSTRUIRE.

Instruire repose sur l'acte d'enseigner, c'est transmettre la connaissance, les œuvres, coproduire des compétences. Il existe un personnel qualifié, hautement hiérarchisé, pour cette mission du système éducatif. La fonction « instruire » est contrôlée par quatre contraintes :

- les politiques éducatives, au sens où la nation définit les priorités et en attribue les moyens ;
- les programmes, pour ce qui concerne les enseignements généraux, et les référentiels, pour ce qui concerne la formation technologique et professionnelle, comme autant de cahiers des charges de la formation dispensée ;
- les programmes de santé scolaire, en tant qu'instruments de régulation et de prévention de la politique de santé ;
- la qualité de l'éducation¹ des élèves.

Ainsi, tout système de formation réalise tout ou partie de ces fonctions. Nous pourrions définir l'établissement scolaire comme un méso-système complexe, composé d'hommes et de services en interaction, assurant des opérations de transformation par formation des intrants (les élèves) dans un but prédéfini : construire le citoyen de demain. Il revient donc à l'établissement scolaire de mettre tout en œuvre pour éduquer, former et qualifier ce citoyen.

1.4. LE CONCEPT DE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Notre objectif est de développer, selon l'angle de l'approche systémique, un concept capable d'unifier et de représenter les tâches d'un système formation.

Nous nous attacherons à définir le système de production de compétences de façon cohérente avec tout système de production, tel qu'il se définit habituellement dans l'entreprise.

Pour ce faire, nous définissons la notion de compétence en tant que produit immatériel, dont l'accroissement pour l'apprenant constitue le produit du système de production de compétences lui-même. Nous définirons ensuite les composants du système de production de compétence dans leurs aspects essentiels. Puis, nous préciserons, par la présentation des profils de formation, les attentes du système de production de compétences. Enfin, nous présentons une vision systémique de ce système.

Nous définissons :

- l'accroissement de compétence à partir du modèle développé par Harzallah [00] ;
- le système de production de compétences avec le modèle du système général de Le Moigne [87].

1.4.1. Notion de compétence

Largement discuté par les psychologues, les sociologues, les ergonomes et les cognitivistes, les enseignants, les directeurs de ressources humaines, les chefs d'entreprise, le concept de compétences a bénéficié de multiples définitions. En fait, il existe autant de définitions qu'il

¹ Nous entendons ici la mise en œuvre d'un minimum de règles favorable à la pleine consommation de l'instruction suivie (tolérance, respect de l'autre, ponctualité, assiduité, ...).

peut exister de points de vue différents d'analyse de la compétence. Ce débat manifeste clairement l'emprise de la compétence sur son environnement.

Le Mouvement des Entreprises de France (MEDEF) définit la compétence dans le cadre d'une « démarche compétences » [Medef, 00]. La démarche compétences est un élément du projet stratégique d'entreprise qui présuppose une claire perception des enjeux, en particulier l'amélioration de la compétitivité de l'entreprise et le renforcement de l'employabilité de ses salariés ; c'est un facteur de dynamisation de l'entreprise au moment où « *la technique n'apporte plus toujours un avantage décisif tant elle est partagée par les concurrents, où la finance elle-même est devenue volatile...* » alors que « *le capital de compétences de l'entreprise constitue un atout concurrentiel majeur* ».

Le MEDEF propose une définition de la compétence : « *la compétence professionnelle est une combinaison de connaissances, savoir faire, expériences et comportement s'exerçant dans un contexte précis. Elle se constate lors de sa mise en œuvre en situation professionnelle à partir de laquelle elle est validable. C'est donc à l'entreprise qu'il appartient de la repérer, de l'évaluer, de la valider et de la faire évoluer* ». La compétence est ainsi définie comme un processus dynamique de combinaison de ressources et est directement contingente d'une situation professionnelle explicite.

Le MEDEF parle aussi de « compétence clés » en tant que compétences donnant un avantage concurrentiel à l'entreprise et correspondant à son cœur de métier (par exemple : compétences rares sur le marché, compétences nécessitant un long apprentissage ou compétences relativement répandues mais essentielles à la réalisation de l'activité de l'entreprise) ; ces compétences sont des compétences stratégiques.

La Chambre de Commerce et de l'Industrie (CCI) des Pays de Loire¹ propose la définition suivante : La compétence vise un savoir-faire en situation, relatif à une situation déterminée. La notion de "compétences transférables" traduit l'idée de compétences susceptibles de s'appliquer à des domaines, des contenus, des tâches, des situations variées, et celle d'une organisation le plus souvent hiérarchisée des compétences de l'individu, certaines étant considérées comme dérivées de compétences plus générales.

L'exercice d'un emploi exige l'utilisation, sinon la maîtrise, de compétences de plus en plus complexes et surtout de plus en plus nombreuses. Aussi cette notion est-elle nécessairement à utiliser au pluriel lorsqu'elle sert à caractériser un emploi ; il n'existe pas une compétence mais des compétences. Pour définir le terme, le CEREQ prend en compte trois rubriques : celle des savoirs², des savoir-faire et celle des savoir-être.

La compétence est inséparable de l'action et elle ne peut être véritablement appréhendée qu'au travers de l'activité par laquelle elle s'exprime et dont elle permet la réalisation. Elle est toujours "compétence à agir" et n'a de sens que par rapport au but que poursuit l'action. Autrement dit, la compétence se rapporte autant à des situations professionnelles qu'à des qualités individuelles et l'on ne peut valablement évaluer les secondes sans avoir une

¹ « L'insertion en 80 mots » CCI des pays de Loire.

² **Savoir** : Ensemble des connaissances théoriques et pratiques ; **Savoir-être** : Terme communément employé pour définir un savoir-faire relationnel, c'est-à-dire, des comportements et attitudes attendus dans une situation donnée ; **Savoir-faire** : Mise en œuvre d'un savoir et d'une habileté pratique maîtrisée dans une réalisation spécifique. [AFNOR, 99].

connaissance des premières. Toute compétence combine de façon dynamique les différents éléments qui la constituent : des savoirs, des savoir-faire, des types de raisonnement, des capacités relationnelles. En considération de ces deux caractéristiques, on peut convenir d'appeler compétence un ensemble de connaissances, de capacités d'action et de comportements, structuré en fonction d'un but dans un type de situations données. A contrario, ni les aptitudes générales individuelles, ni les diplômes détenus ne sont des compétences (tableau 1.2).

Ce qui est une compétence	Ce qui n'est pas une compétence
Réparer sa mobylette	Avoir un CAP mécanique
Animer un groupe	Être sociable

Tableau 1.2 : Exemples de compétences.

Sur beaucoup d'aspects, cette définition rejoint celle du MEDEF, notamment pour ce qui concerne les attributs de la compétence (savoir, savoir faire, aptitudes personnelles), sa construction dynamique et sa relation avec l'activité professionnelle.

On associe à la compétence :

- des qualités personnelles intrinsèques,
- des capacités à actualiser,
- des performances à évaluer,
- des comportements à réaliser,
- des savoirs disposés à être mobilisés.

Harzallah [00] dans le cadre de ses travaux de recherche sur la réorganisation d'entreprise, s'appuyant pour partie sur les travaux de Le Boterf [97], propose une caractérisation et un modèle¹ d'explicitation de la compétence..

Harzallah définit les attributs de la compétences. Ainsi, la compétence est soit requise soit acquise ; elle nécessite des ressources, se réalise dans un contexte défini et elle est liée à l'accomplissement d'une ou plusieurs tâches (figure 5).

Dans le modèle présenté, les structurations des ressources sont prises en compte et s'inspirent plus particulièrement de celles présentées par Le Boterf [97].

Plusieurs termes désignent les catégories de ressources de la compétence : savoirs, connaissances, savoir-faire, expériences, aptitudes, capacités, traits de personnalité. De plus, il y a plusieurs manières de structurer les ressources de compétence en catégories. Le Boterf [97] distingue trois catégories et les décompose en sous-catégories : des savoirs, des savoir-faire et des aptitudes ou qualités personnelles. Michel [97], Bruneau et Pujos [92] considèrent, quant à eux, les trois composantes suivantes : des savoirs, des savoir-faire et du savoir-être.

¹ Cet apport est développé au paragraphe 3.1. du chapitre 3 dans le cadre de la conception d'un système de production de compétences.

Nous retiendrons dans nos travaux les trois catégories :

- 1) les savoirs (S)
- 2) les savoir-faire (SF)
- 3) les savoir-être (SE)

1.4.1.1. Les savoirs

C'est tout ce qui est appris théoriquement à l'école ou à l'université ou tout ce qui demande une formation préliminaire dans un organisme de formation. Les connaissances en sont un synonyme.

Trois sous-catégories composent cette catégorie : ce sont les savoirs théoriques, les savoirs sur l'existant et les savoirs procéduraux.

- Les savoirs théoriques sont un ensemble d'informations générales. Ils peuvent comprendre des théorèmes, des concepts, des lois, des connaissances disciplinaires, etc. Exemple : connaître les principes fondamentaux de la dynamique.
- Les savoirs sur l'existant désignent l'ensemble des savoirs concernant le contexte ou l'environnement dans lequel s'accomplit une compétence. Exemple : connaître la politique commerciale de son entreprise.
- Les savoirs procéduraux sont constitués de procédures, de méthodes et de modes opératoires qui expliquent comment il faut faire pour effectuer une activité. Exemple : la méthode de conception d'un système de production de compétences.

1.4.1.2. Les savoir-faire

Ils sont reliés à l'expérience et au site de travail. Ils ont pour synonymes capacités opérationnelles et expérience. Ils s'acquièrent par l'action ; par exemple, l'expérience de traitement de certains types de contrats.

Pour Harzallah [00], cette catégorie se décompose en deux sous-catégories : les savoir-faire procéduraux et les savoir-faire empiriques.

- Les savoir-faire procéduraux sont constitués de savoirs procéduraux dont l'application pratique est maîtrisée. Il s'agit de savoir appliquer une procédure, une méthode, etc. Exemple : savoir monter une carte électronique dans un automate de type Y.
- Les savoir-faire empiriques sont constitués des savoir-faire opérationnels difficiles à structurer et à formuler. Ils sont, dans la plupart des cas, personnels. Cette sous-catégorie comprend les astuces, les intuitions, etc. Ils ont pour synonymes les savoir-faire tacites. Exemple : savoir shunter une fonction sur une machine Z.

1.4.1.3. Les savoir-être

Ce sont des caractéristiques individuelles qui permettent d'adopter un comportement particulier dans une situation donnée. Ils permettent (ou accompagnent) souvent la mise en œuvre des savoirs et des savoir-faire. Parmi les ressources de cette catégorie, on peut citer : l'initiative, la ténacité, la créativité, l'esprit critique, la confiance en soi, la communication, la curiosité, etc. Cette catégorie a été largement traitée par les psychologues. En effet, ils lui ont

donné une signification précise en définissant des listes générales associées à ces ressources et des tests pour les identifier et les évaluer pour un poste ou une mission donnée. Elle fait l'objet d'une taxonomie spécifique. Ce domaine sort de notre champ d'étude.

La figure 1.5 résume et illustre cette structuration de la compétence suivant un contexte donné [Harzallah, 00].

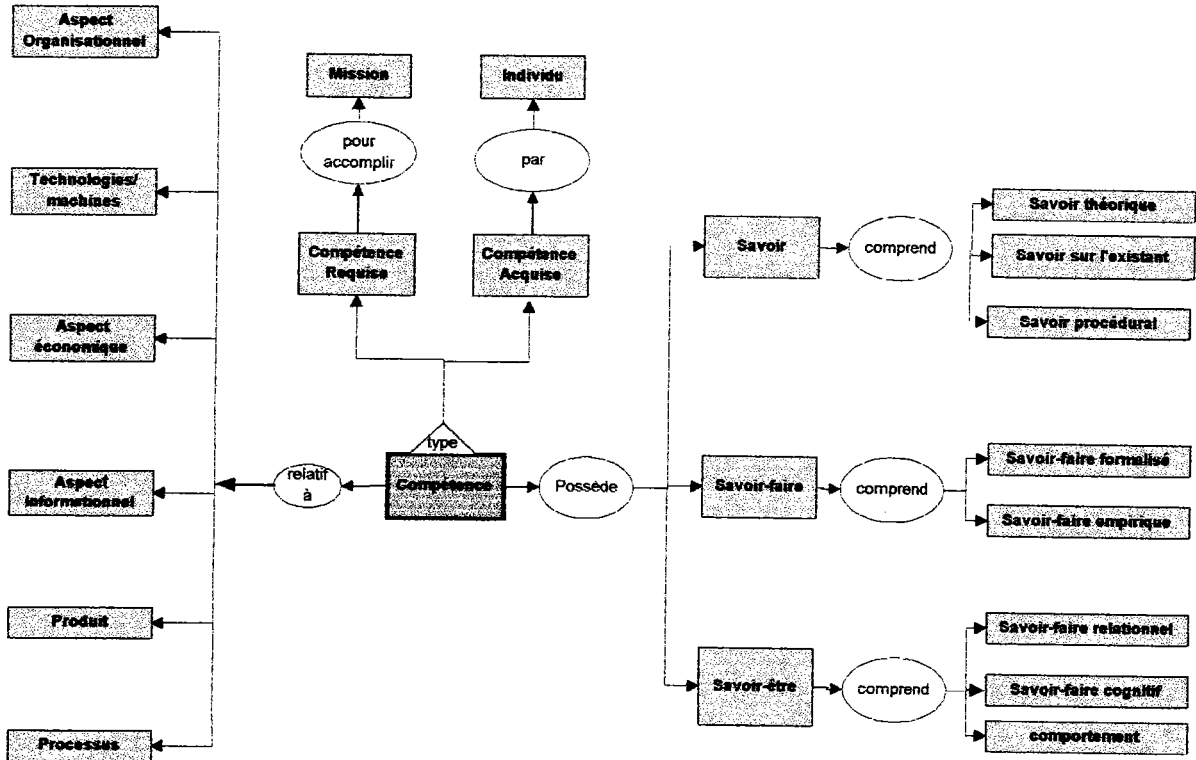


Figure 1.5 : Modèle explicatif et global de la compétence selon Harzallah.

La compétence se définit donc par une combinaison de ressources pour une mise en œuvre finalisée dans un contexte donné. Le Boterf [98] la définit comme « un savoir réagir » dans une situation insolite consolidant nécessairement une réorganisation des ressources incorporées.

Nous retiendrons cette définition pour la suite de nos travaux.

1.4.2. Composants du système de production de compétences

Il est difficile de donner une définition précise des domaines que recouvre la production tant cette fonction varie d'une entreprise à l'autre.

Si on se réfère à la définition normalisée de la production industrielle, on entend par production l'ensemble des fonctions relatives à l'approvisionnement et à la fabrication. Le modèle conceptuel de production (figure 1.6) présente deux sous-systèmes distincts : un système physique de production et un système de conduite de production [Pourcel, 86] [Doumeingts, 83]. Le système physique est alors composé de deux unités d'organisation : l'unité d'approvisionnement et l'unité de fabrication (transformation). Le système de conduite

est constitué d'un système de décision et d'un système de pilotage (nous précisons, au paragraphe 1.4. du chapitre 1, le rôle de chacun de ces systèmes).

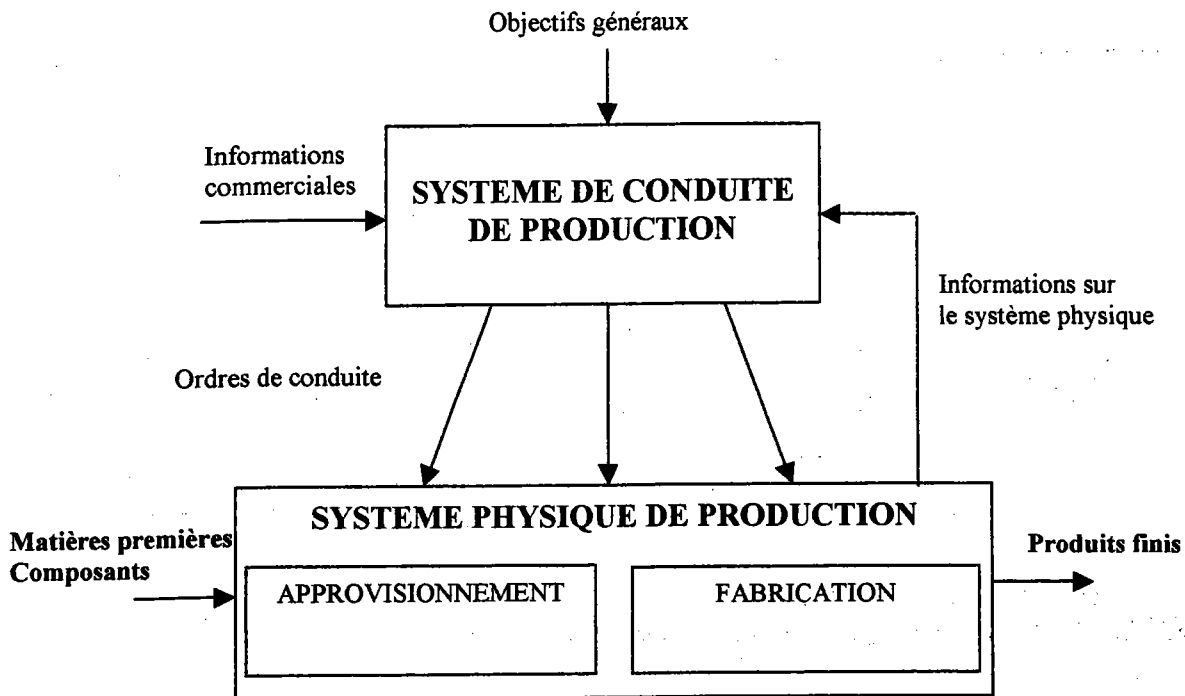


Figure 1.6 : Exemple de modèle conceptuel de production

1.4.3. Représentation des caractéristiques de la formation

Après avoir défini la notion de compétence au paragraphe 1.3.1, nous nous attachons à associer compétences et nature de ressources incorporées¹, pour trois profils² déterminés, représentatifs des catégories de ressources humaines dans l'entreprise.

Nous proposons dans un premier temps une modélisation tridimensionnelle représentative de la combinaison des compétences selon trois axes : l'axe des connaissances générales, l'axe des compétences techniques et l'axe des compétences professionnelles.

Nous décomposons ensuite chacun de ces trois profils selon la contribution disciplinaire des enseignements concernés pour en représenter un modèle polaire.

1.4.3.1. Représentation tridimensionnelle

Les trois profils présentés ci-dessous ne sont pas hiérarchisables mais permettent de comprendre et de construire les évolutions de profils associés : évolution du profil "professionnel" vers le profil "technique", et du profil "technique" vers le profil "généraliste". Le Répertoire Officiel des Métiers et Emplois [ROME, 99] utilisé dans l'entreprise comme par l'Agence Nationale pour l'Emploi, consacre deux tomes à la définition des profils et des possibilités d'évolution en s'attachant à présenter les mobilités professionnelles possibles pour chaque famille de profils.

¹ Au sens où l'entend Le Boterf, les ressources incorporées sont propres à l'individu et capables d'être mobilisées quel que soit l'environnement.

² Le profil est défini ici comme étant l'image de la combinaison de l'ensemble des compétences de l'individu.

Nous présentons les caractéristiques de chacun des trois profils dominants.

a) Le profil à dominante professionnelle

Le profil correspond à celui de l'ouvrier de métier, de qualification CAP, BAC Professionnel, voire BEP ; il se caractérise par une exigence de connaissances générales abstraites (mathématiques, dessin industriel par exemple) et des compétences techniques nécessaires mais non substituables aux comportements professionnels (figure 1.7).

Les activités complexes confiées à ces personnels ne sont généralement pas modélisables (le modelage, le soudage, etc.) et nécessitent une durée de formation professionnelle peu compressible dans le cursus.

Problèmes liés à ce type de formation :

- difficulté de caler la formation technique par rapport à la durée incompressible des apprentissages pour développer les compétences techniques sans réduire la formation professionnelle ;
- la formation professionnelle ne peut se construire sur une exclusivité des activités scolaires d'apprentissage.

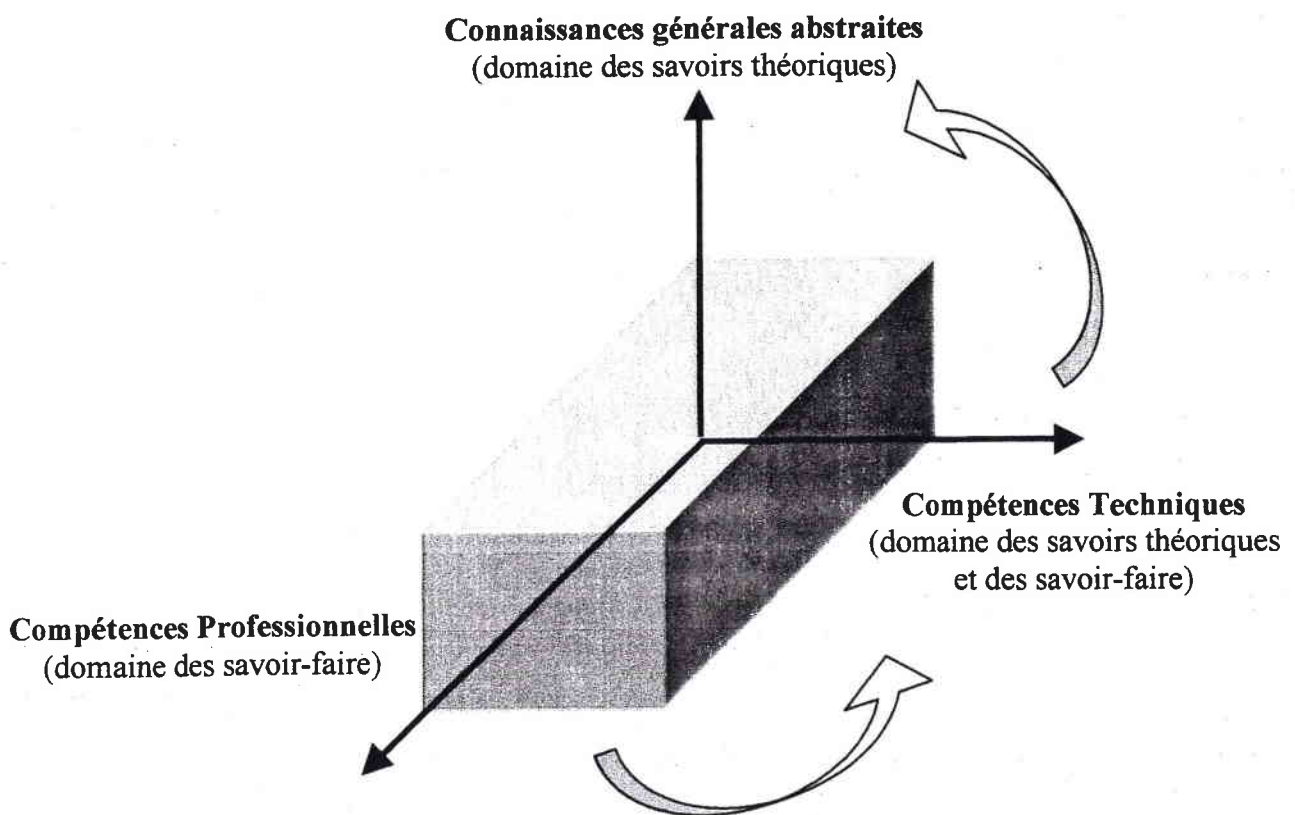


Figure 1.7 : Profil à dominante professionnelle.

b) Le profil à dominante technique

Le profil correspond généralement à celui du Brevet de Technicien, du Baccalauréat Technologique ou du Brevet de Technicien Supérieur dont la formation technique a augmenté en même temps qu'évoluait l'automatisation dans l'entreprise ; il se caractérise par la maîtrise de savoirs professionnels indispensables et de savoirs techniques irréductibles (exemple, pour la pratique des Machines Outils à Commande Numérique : programmation, origines, aléas). Souvent ces emplois sont liés à l'augmentation de l'automatisation avec émergence des profils internes à partir de ceux des Ouvriers Qualifiés pour la conduite et la maintenance des installations de production (figure 1.8).

Problèmes liés à ce type de formation :

- il existe une technicité qui s'appuie sur des connaissances scientifiques et techniques permettant la modélisation d'une partie de l'activité de l'opérateur (exemple : enlèvement de matière, génie électrique, etc.) ;
- la capacité d'abstraction nécessaire à ce type de profil permet une anticipation et une formalisation des gestes professionnels qui ne doivent pas réduire la double maîtrise du professionnel et du technique.

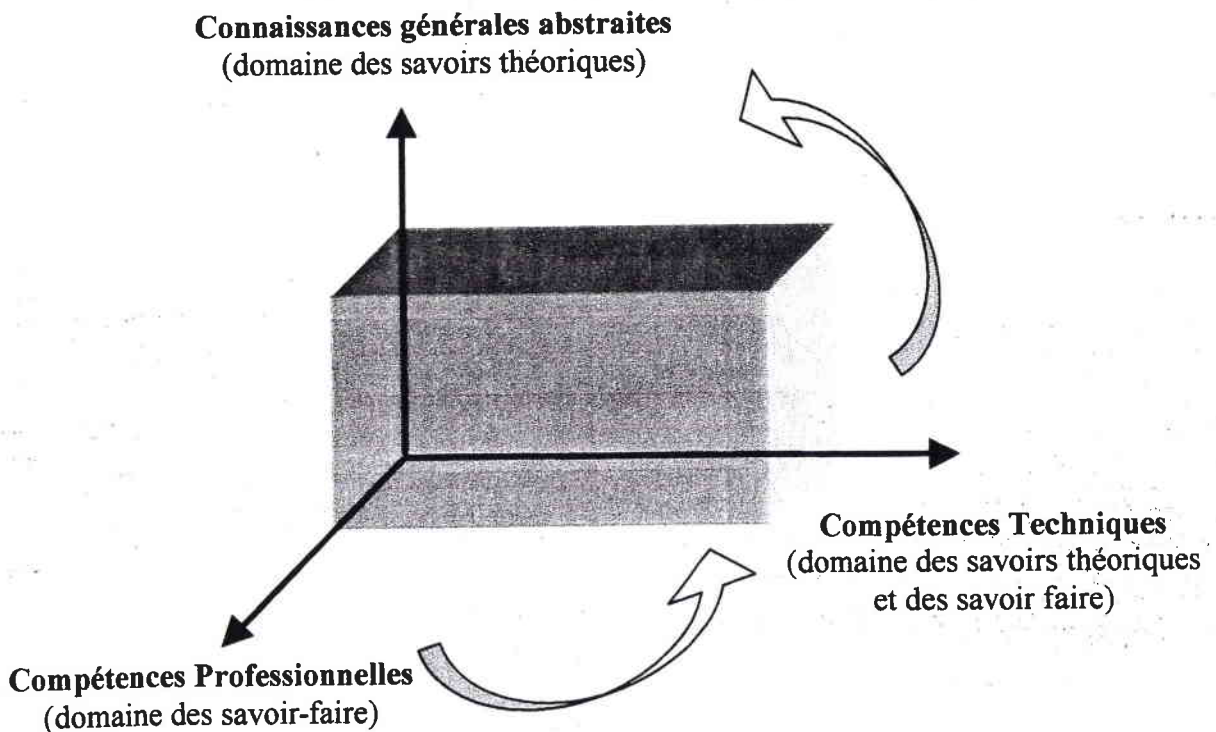


Figure 1.8 : Profil à dominante technique.

c) Le profil à dominante généraliste

Ce profil est né du besoin d'optimiser les installations de production de plus en plus complexes et coûteuses ; il intègre l'intérêt de maximaliser le taux d'utilisation des moyens, d'offrir une qualité maximum, de réduire les stocks et les délais (figure 1.9). Il correspond au profil de l'ingénieur disposant d'une culture technologique transversale assise sur une solide culture scientifique.

La conduite de machines et de procédés, le contrôle de la qualité et l'obligation de maintenance exigent des compétences telles que :

- concevoir, maintenir ;
- diagnostiquer, planifier ;
- imaginer, transcrire ;
- communiquer.

Problèmes liés à ce type de formation :

S'appuyant sur des compétences professionnelles et techniques certaines, ce profil demande la maîtrise de champs disciplinaires autres que ceux directement concernés par la filière de formation (management de projet, communication, gestion, etc.) ;

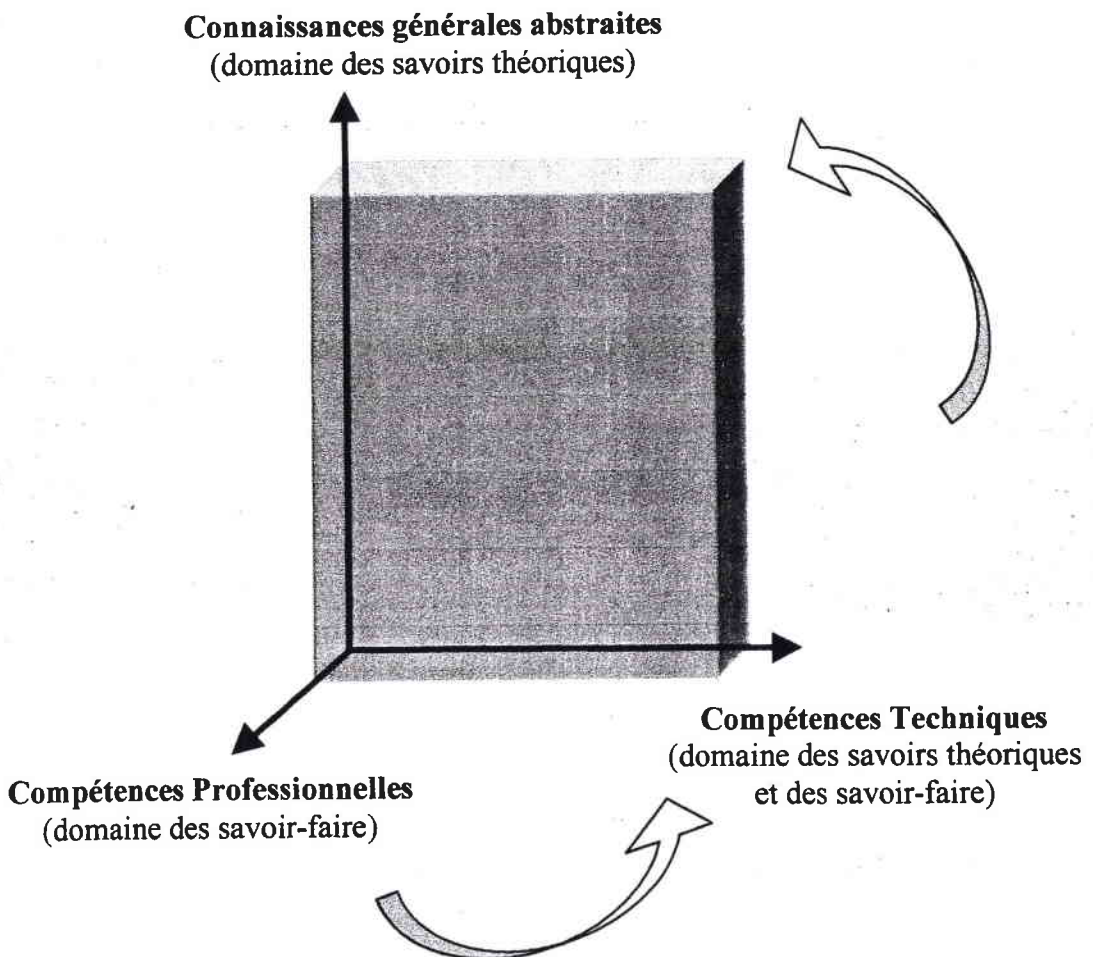


Figure 1.9 : Profil à dominante généraliste.

1.4.3.2. Représentation polaire

Chacune des branches indique le rapport horaire relatif de la formation considérée ; par exemple, dans le profil scientifique correspondant au Baccalauréat S, l'horaire consacré à la formation en mathématique est double de celui consacré à la formation en langue.

Le choix délibéré d'un axe « Professionnel-Technologique » permet la distinction rapide entre les formations généralistes et les formations non-généralistes ; en effet, les tracés obtenus en forme « d'ailes de papillon » réparties de part et d'autre de cet axe sont spécifiques des formations généralistes, qu'elles soient scientifiques, littéraires ou autres. La distinction entre l'axe technologique et l'axe professionnel s'attache à différencier les formations majoritairement professionnelles, pour ce qui concerne les CAP et les BAC PRO, des formations essentiellement technologiques, pour celles du type BAC Technologique, la proportion de savoirs théoriques étant plus forte pour les formations technologiques.

Formation généraliste :

Le diagramme polaire représenté sur la figure 1.10 traduit l'absence de toute préoccupation professionnelle ou technologique dans la formation des scientifiques en France.

Représentatif dans sa forme, ce diagramme reflète la conception d'une culture de base française excluant toute composante technologique au profit des enseignements de mathématique, littéraires ou scientifiques.

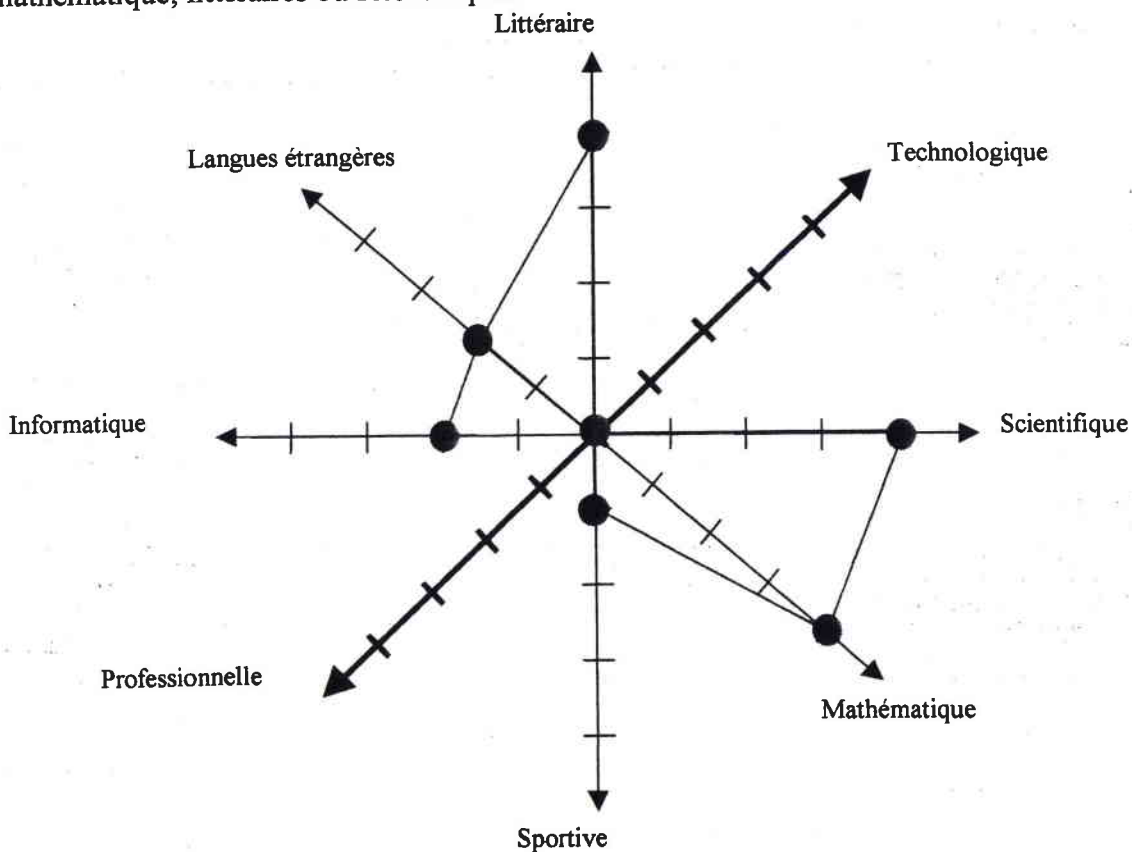


Figure 1.10 : Représentation polaire d'une formation généraliste de type scientifique (Baccalauréat S, option Sciences de la Vie et de la Terre)

Formation technologique :

Relativement équilibrée dans la contribution de chacune des composantes, cette formation est représentée par un diagramme polaire continu fermé ; la composante « Technologique » est privilégiée, quel que soit le domaine d'application, en raison de sa forte détermination dans le diplôme préparé (figure 1.11).

Le choix des composantes générales de formation et l'importance qui leur est attribuée (scientifique, littéraire, langues étrangères, mathématiques) montrent que le profil ainsi développé peut évoluer vers un profil plus généraliste.

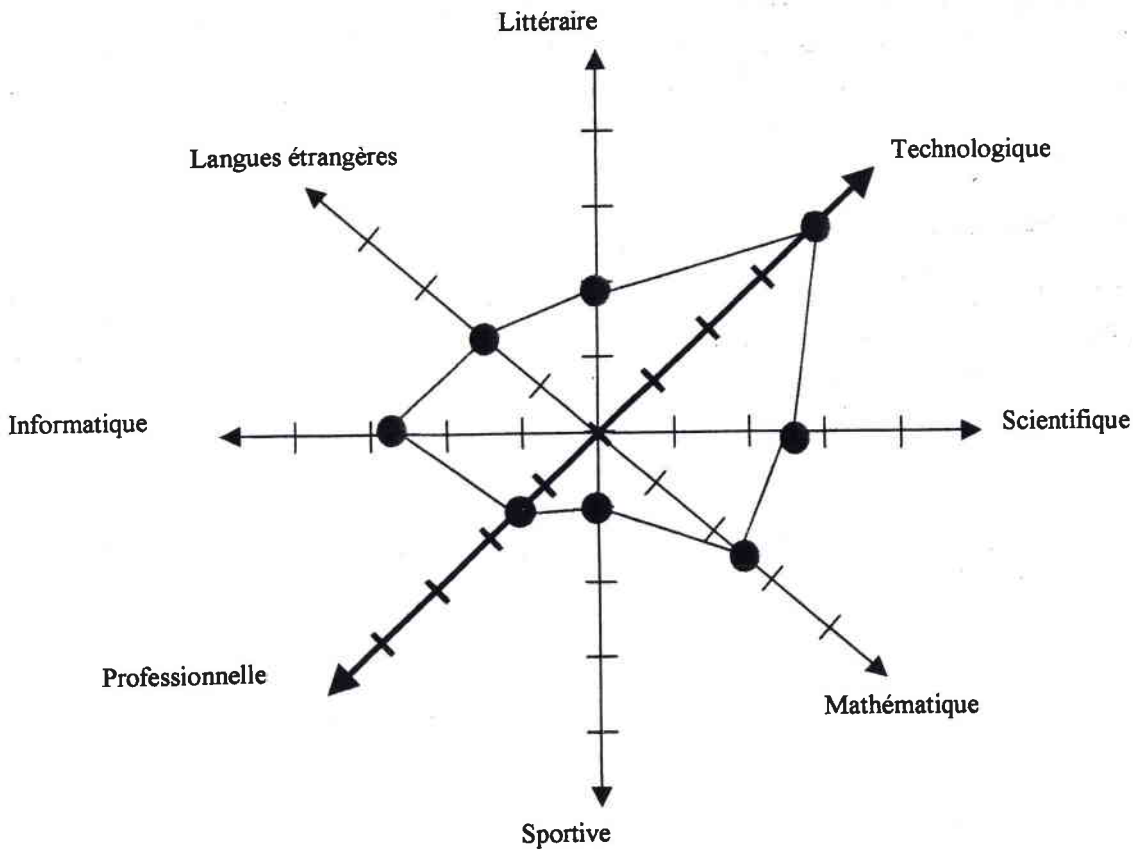


Figure 1.11 : Représentation polaire d'une formation de type technique (Baccalauréat Technologique F).

Formation professionnelle :

Sur un diagramme polaire, l'aire correspondant à cette formation est naturellement plus réduite que celles des formations précédentes ; en effet, cette représentation en « pic » traduit la prépondérance de la composante « professionnelle » de la formation au détriment de la contribution des composantes généralistes (figure 1.12).

On peut noter une contribution appréciable de la composante « Technologique » qui, bien qu'elle ne corresponde pas directement à l'emploi recherché, permet de « tirer » ultérieurement le profil vers le profil de formation technologique ; en effet, les travaux ont

montré l'évolution possible du profil « professionnel » vers le profil « technologique » puis vers le profil « généraliste ».

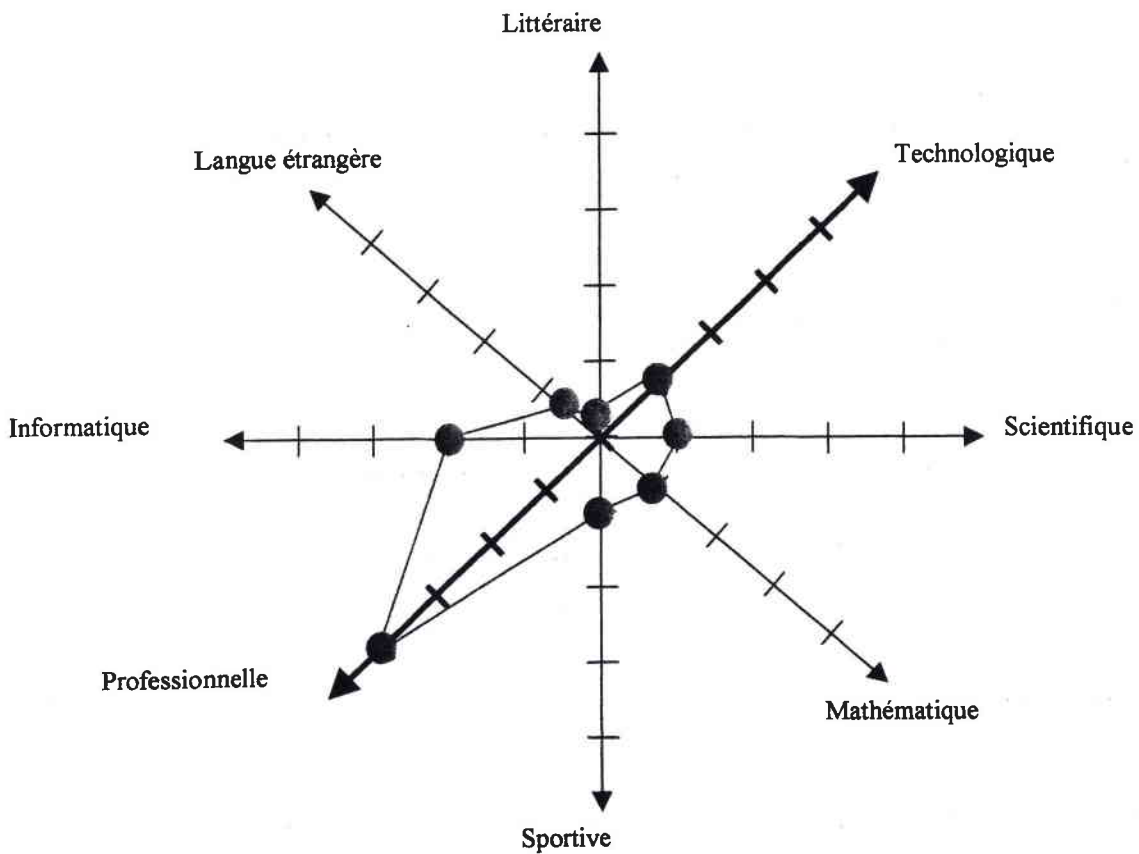


Figure 1.12 : Représentation polaire d'une formation de type professionnel (Certificat d'Aptitude Professionnel en Tournage).

Formation d'ingénieurs :

La Commission des Titres d'Ingénieur¹ (CTI) définit quatre profils d'ingénieurs, figure 1.13 :

- l'ingénieur de type « Manager » - 1,
- l'ingénieur de type « Informaticien » - 2,
- l'ingénieur dit de « Production » - 3,
- l'ingénieur dit « Maison » - 4.

¹ Intervention de M. Castex, président de la CTI, le 09 novembre 2000 à la Sorbonne.

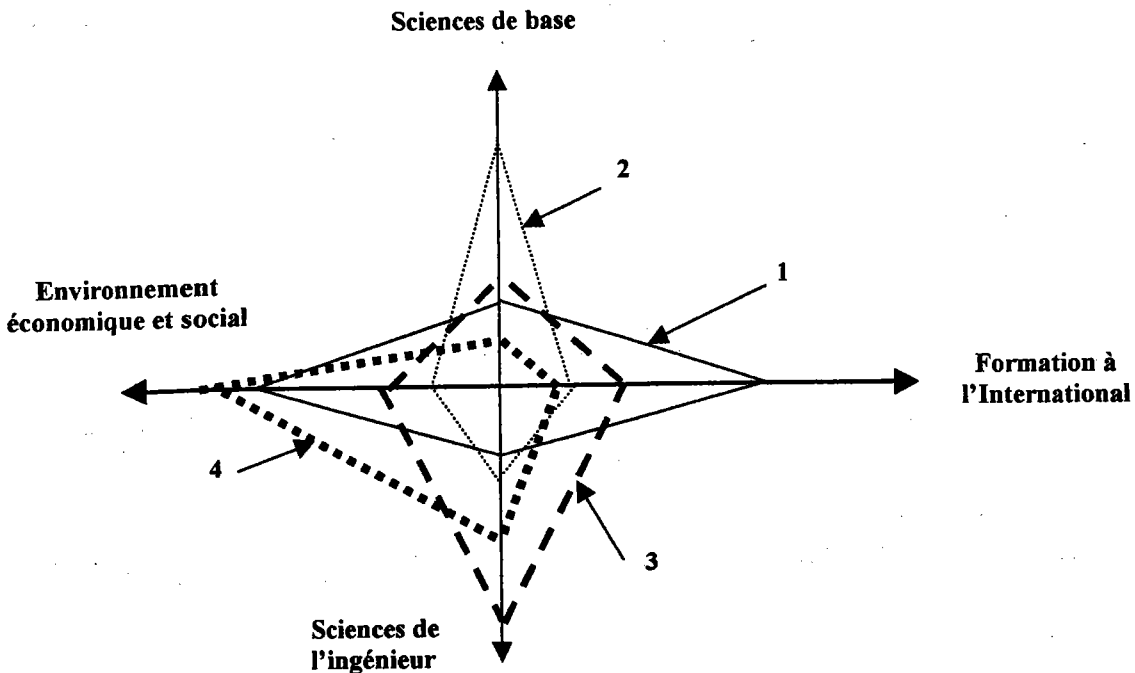


Figure 1.13 : Représentation des quatre profils type d'ingénieurs.

1.5. APPROCHE SYSTEMIQUE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Nous entendons ici par système, un ensemble présentant des caractères d'autonomie, de cohérence interne, de permanence en constante évolution. Cet ensemble est composé d'éléments en interaction, organisés en vue de la réalisation d'un but. Ces systèmes complexes se décrivent et se représentent par des modèles ; nous développerons cette modélisation dans le chapitre 2.

D'après la systémique, chaque système est composé de sous-systèmes en interaction, plus ou moins hiérarchisés.

Rappelons la définition du système industriel de Kieffer [86] : « Nous appellerons système industriel un ensemble composé d'hommes, de matériaux, d'équipements, d'énergie et d'information en interaction dynamique, organisés et structurés en fonction de buts bien définis ». Thouvenin [99] ajoute : « cette définition du système industriel est valable pour définir le domaine du Génie Industriel, un projet ou même une solution technologique ».

Cette définition, orientée approche systémique [Le Moigne, 90], convient tout à fait pour définir un système de production de compétences. Elle présage de la définition de l'ingénierie pédagogique présentée au paragraphe 3 en ajoutant la notion d'interaction dynamique, qui confère au modèle sa pertinence systémique.

Le modèle conceptuel défini figure 1.14 s'applique tant aux systèmes industriels qu'aux systèmes de production de compétences.

“Un système d’information mémorise et transmet au système de décision une représentation du fonctionnement du système opérant, transmet au système opérant les ordres du système de pilotage, et réalise certains traitements utiles au système opérant” [Lissandre, 90].

Ce modèle illustre la forme canonique du modèle Opérant – Information – Décision (O.I.D.) de Le Moigne [87] ; il montre un ensemble de sous-systèmes organisés dans un but donné.

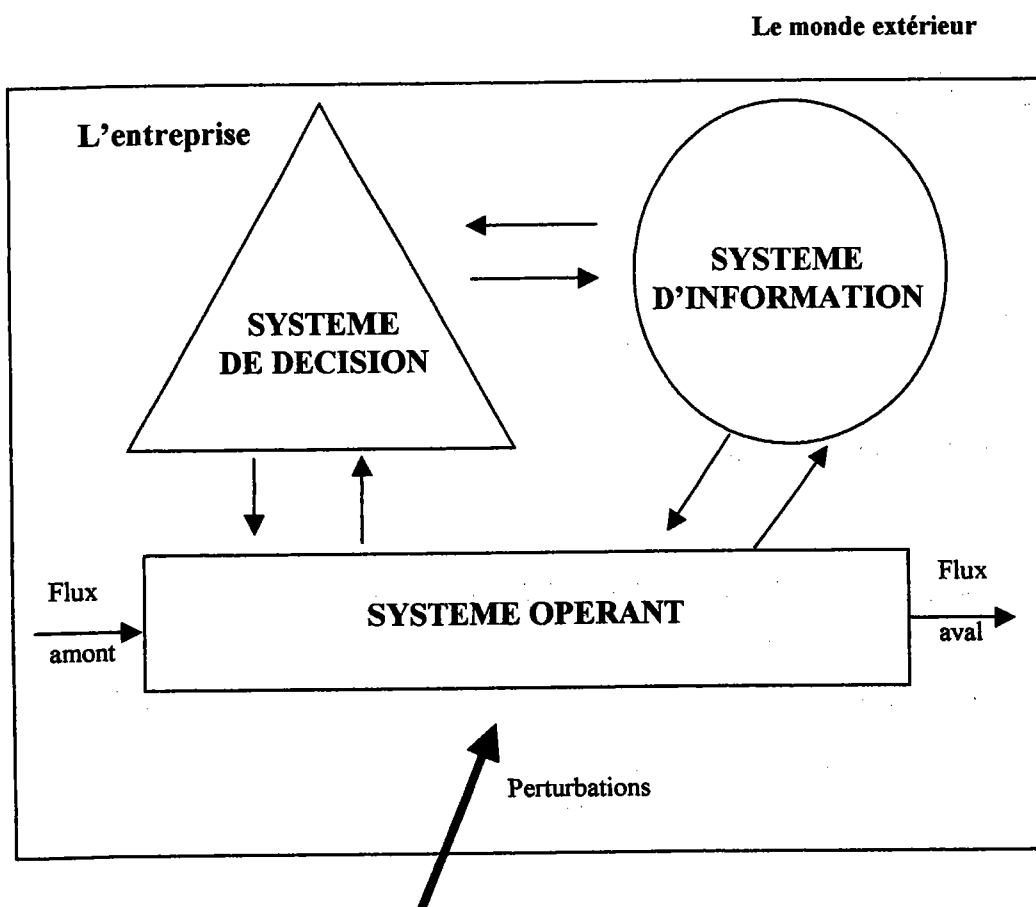


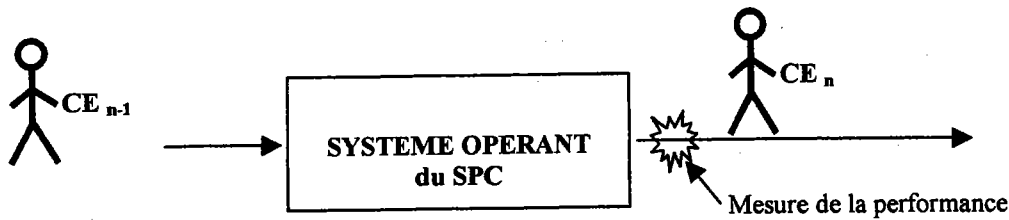
Figure 1.14 : Approche systémique de l'entreprise.

En appliquant au modèle canonique Opérant-Information-Décision de Le Moigne, la vision systémique permet la décomposition du système de production de compétences en trois sous-systèmes :

- un système opérant ou système d'enseignement ;
- un système d'information, réparti, incomplet, souvent mal identifié, sans mémoire collective ;
- un système de décision, centralisé, associé à un système de pilotage fortement délégué et diffus.

Le système opérant ou système d'enseignement :

Il a pour mission d'assurer les opérations « physiques » du système de production de compétences dans son environnement ; il réalise la tâche d'enseignement permettant un accroissement de compétences des intrants, c'est-à-dire des compétences des élèves, d'un niveau de rang n-1 à un niveau de rang n (figure 1.15).



CE_{n-1} = Compétence Elève de rang n-1

CE_n = Compétence Elève de rang n

Figure 1.15 : Représentation du système opérant du système de production de compétences.

Ce système est composé de moyens humains et de ressources . Il exécute les directives du système de décision.

Le système de décision :

Il a pour fonction d'élaborer et de réaliser les décisions de modification du comportement du système opérant. Il doit permettre d'atteindre les objectifs du SPC en tenant compte des règles et procédures retenues. Capable de conception de nouvelles formes d'action et de décision de sa propre stratégie, il fonde le caractère autonome du système de production de compétences (figure 1.16).



Figure 1.16 : Représentation du système de décision du système de production de compétences.

L'environnement du système de décision d'un système de production de compétences est très complexe à analyser puisqu'il exige un traitement à la fois des données formelles provenant de l'institution et des données à recueillir auprès du monde de l'entreprise.

Le système d'information :

Il assure l'interface entre le système opérant et le système de décision. Il enregistre et mémorise les données relatives au comportement du système opérant et les soumet au système de décision pour traitement.

Il enregistre et mémorise les décisions du système de décision et reflète en temps réel l'état du système opérant et du système de décision. Il est généralement diffus et peu performant dans les systèmes de production de compétences.

L'absence de structure et de mémorisation en fait le système le moins performant du système de production de compétences. S'il ne lèse pas excessivement le système de pilotage, très délégué au niveau du système opérant, il perturbe énormément le système de décision privé d'informations pertinentes, historiques et actualisées.

1.6. LE CONCEPT D'INGENIERIE DE FORMATION

Pour reprendre le « Récit d'un itinéraire » de Le Boterf [98], les concepts que nous utilisons dans le domaine de la formation, de l'accroissement de compétences ou de la gestion des ressources humaines sont des concepts évolutifs, « en voie de fabrication ». C'est précisément le cas de l'ingénierie pédagogique.

Cette dynamique s'appuie sur des pratiques professionnelles de formation orientées par les concepts, lorsque les concepts eux-mêmes se nourrissent de ces pratiques. De cette ambiguïté naît la difficulté de concevoir l'ingénierie pédagogique à partir d'un concept fort, stable, unique et partagé par l'ensemble de la communauté éducative.

Nous présenterons dans ce paragraphe les raisons qui ont présidé à la naissance d'une ingénierie de formation. Nous tenterons de donner une définition de cette ingénierie à partir des pratiques mises en œuvre. Enfin, nous illustrerons ces propos avec des exemples empruntés aux représentations actuelles de l'ingénierie pédagogique.

1.6.1. Naissance de l'idée

L'idée récente de la nécessité d'un pilotage des systèmes d'enseignement date d'une dizaine d'années, période où les pays industrialisés ont souhaité installer des « tableaux de bord » de leur système de formation [Kaplan, 98].

Landsheere [94] pose le problème en terme de compétitivité des nations, liée à la qualité de leur système de formation ; il écrit : « Pour conserver leur place sur le marché mondial, les nations les plus avancées s'efforcent de promouvoir l'excellence et d'augmenter la qualité générale de leur enseignement, tout en limitant les dépenses au maximum ».

Il ne s'agit pas à proprement parler d'ingénierie de la formation, mais les bases et les perspectives de la nécessité d'une « formation au plus juste » [Clémentz, 98] sont jetées.

Pourtant, depuis une trentaine d'années, la conception des grands systèmes de formation professionnelle des pays en voie de développement a posé le problème d'une formation rapide, efficace et efficiente de techniciens et d'ingénieurs. Le concept d'ingénierie de formation était né [Viallet, 71] apportant rigueur, méthodes et outils d'ingénierie dans la formation.

1.6.2. Quelle définition ?

Le dictionnaire de la langue française donne pour définition de l'ingénierie, la formulation suivante :

« Ensemble des activités ayant pour objet la conception rationnelle et fonctionnelle des ouvrages ou des équipements techniques et industrielles, l'établissement du projet, la coordination et le contrôle de la réalisation » [Dic., 87].

Le dictionnaire Larousse [Larousse, 94] définit l'ingénierie comme « l'ensemble des études qui permettent de déterminer pour la réalisation d'un ouvrage ou d'un programme d'investissement, les tendances les plus souhaitables, les modalités de conception les meilleures, les conditions de rentabilité optimales, les matériels et les procédés les mieux adaptés ».

Si ces deux définitions, empruntées au monde de la production, ne se contredisent pas, comment peuvent-elles s'appliquer au domaine de la pédagogie ?

Sous l'influence des pratiques d'ingénierie dans le secteur du bâtiment et des travaux publics¹, Le Boterf [98] définit l'ingénierie de la formation comme « l'ensemble coordonné des activités de conception d'un système de formation (dispositif de formation, centre de formation, plan de formation, centre de ressources éducatives,...) en vue d'optimiser l'investissement qu'il constitue et d'assurer les conditions de sa viabilité ». Mais cette définition s'est heurtée aux résistances, en France, du secteur public. Le Boterf rapporte que « bon nombre de formateurs ou d'organisations, davantage marqués par la tradition scolaire ou par une culture psychosociologique très répandue dans les années 60, considéraient que les notions de système et d'ingénierie relevaient d'une démarche technocratique indigne de la noble mission de transmission du savoir ».

Cette définition, qui découle de l'intégration d'ingénieurs (« ingénieurs de formation ») dans l'univers de la formation, apporte un éclairage nouveau sur les notions d'activités de conception, d'investissement et de coûts de fonctionnement.

Nous proposons d'analyser les méthodes d'ingénierie pédagogique existantes à partir de la représentation normalisée suivante : l'ingénierie de formation est « l'ensemble de démarches méthodologiques cohérentes qui s'appliquent à la conception de systèmes d'actions et de dispositifs de formation pour atteindre efficacement l'objectif fixé. L'ingénierie de formation peut comprendre l'analyse de la demande, des besoins de formation, le diagnostic, la conception du projet formatif, les moyens mis en oeuvre, la coordination et le contrôle de sa mise en oeuvre et l'évaluation de la formation » [AFNOR, 99].

1.6.3. Plusieurs acceptions du terme ingénierie pédagogique

Selon Raynald [97], l'ingénierie pédagogique se définit de la façon suivante :

« Ingénierie provient du terme américain *engineering* qui signifie analyse, conduite, évaluation de projet dans quelque domaine que ce soit. L'entreprise ou l'individu qui se

¹ Si cette ingénierie était particulièrement lourde et linéaire, elle répondait à la demande d'un « ouvrage de formation » sur mesure tel qu'une école d'ingénieurs, un institut ou un centre de formation.

prétend spécialiste d'ingénierie pédagogique ou d'ingénierie de formation affirme donc sa compétence dans les domaines de l'analyse des besoins ainsi que dans la conception, la conduite, l'animation et l'évaluation des actions ou des projets de formation ».

Il semblerait ainsi qu'il n'y ait pas de contradiction entre ingénierie et ingénierie pédagogique si l'on s'accorde sur une démarche de conduite de projet.

Pourtant, dans le même *dictionnaire des concepts clés en pédagogie*, les auteurs distinguent ce qu'on appelle le « design pédagogique » de la « technologie de l'éducation ». Le premier (design pédagogique), qui est aussi appelé en américain *Instructional design*, est traduit dans la littérature pédagogique par « technologie de l'éducation » ou « technologie éducative ». « C'est une science charnière entre les théories de l'apprentissage et un certain pragmatisme pédagogique ». Elle tente de découvrir « s'ils existent, les principes d'un enseignement efficace, afin de décrire les méthodes les plus performantes en fonction d'un type d'objectif visé et de la population à traiter » [Raynald, 97].

Les préoccupations de *l'instructional design* sont :

- « que sait-on de l'apprentissage humain qui soit pertinent pour l'enseignement ?
- comment ce corps de connaissances doit-il être organisé pour être utilisé par des concepteurs pédagogiques ?
- quelles procédures doit-on suivre pour appliquer les connaissances relatives à l'apprentissage humain au design de l'instruction ? ».

La technologie de l'éducation est définie par l'Association for Education and Communication Technology comme un « processus complexe, intégré, impliquant des hommes, des procédés, des idées, des moyens et une organisation en vue d'analyser les problèmes et d'imaginer, d'implanter, d'évaluer et de gérer les solutions aux problèmes qui se posent dans l'apprentissage humain ».

Deux sens sont attribués à cette définition selon qu'on se place du point de vue de la rationalité de l'activité de formation ou du point de vue de l'exploitation des auxiliaires pédagogiques capables d'aider les professeurs dans leurs tâches (magnétophone, rétroprojecteur, vidéos, ...).

C'est l'ambiguïté de ces deux significations qui a conduit les pédagogues américains à substituer le terme *instructional design* au terme *educational technology*.

1.6.4. Les représentations actuelles de l'ingénierie de formation

Le concept d'ingénierie de formation serait donc un concept récent, ambigu, évolutif, dont l'acception dépend du point de vue suivant lequel on se place pour le définir.

Nous pouvons considérer en France trois points de vue différents permettant d'analyser l'ingénierie pédagogique ; ces points de vue ne s'excluent pas mutuellement, mais au contraire apportent des éléments complémentaires de perception et de compréhension de l'ingénierie de formation. On peut cependant regretter qu'ils ne construisent pas à eux seuls le concept d'ingénierie de formation mais le morcellent et le sectorisent plutôt.

Par exemple, pour le Centre Université - Economie d'Education Permanente (CUEEP) de Lille [CUEEP, 00], l'ingénierie pédagogique correspond à un ensemble de dispositifs de formation nécessaires à la construction de modes pédagogiques favorisant les parcours de formation personnalisés. La démarche d'ingénierie de formation regroupe ainsi la conception et la mise en œuvre des actions de formation ainsi que des contenus de formation associés ; elle s'intéresse particulièrement à la formation de groupe, l'enseignement à distance, les centres de ressources, les ateliers pédagogiques personnalisés et l'autoformation mettant en œuvre les Technologies de l'Information et de la Communication Educatives. Ce point de vue témoigne de la capacité du concepteur à créer des programmes de formation.

Le point de vue de l'entreprise diffère totalement ; l'ingénierie pédagogique correspond généralement à un service de l'entreprise en charge de la conception et de la production d'équipements pédagogiques et de laboratoires de formation : logiciels pédagogiques, matériels didactiques, manuels scolaires ... Ce point de vue s'intéresse essentiellement aux parts de marché à maintenir ou à conquérir par l'entreprise.

Du point de vue des sciences cognitives et des sciences de l'éducation, l'ingénierie pédagogique est un processus complexe de résolution de problèmes de communication humaine. Elle se préoccupe des mécanismes psychologiques d'apprentissage, développe des méthodes et des techniques de représentation des connaissances, construit des modèles pédagogiques spécifiant les processus de formation. Ce point de vue nous semble être strictement du domaine de l'enseignement ; nous le montrerons au chapitre 3.

1.7. ANALOGIE ENTRE LE SYSTEME DE PRODUCTION INDUSTRIEL ET LE SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Si nous observons l'activité d'une entreprise industrielle nous constatons qu'elle est fournie par un ensemble complexe de sous-systèmes interactifs, figure 1.17, réalisant chacun de nombreuses activités.

- Un sous-système stratégique scrute les évolutions du marché et rend compte à la Direction Générale ;
- Un sous-système commercial collecte et traite les informations relatives aux clients et aux produits commercialisés ;
- Un sous-système de distribution assure la mise à disposition des produits sur le marché ;
- Un sous-système de production réalise les produits à commercialiser ;
- Un sous-système administratif et financier gère les flux informationnels et financiers.

Décomposition fonctionnelle d'une entreprise

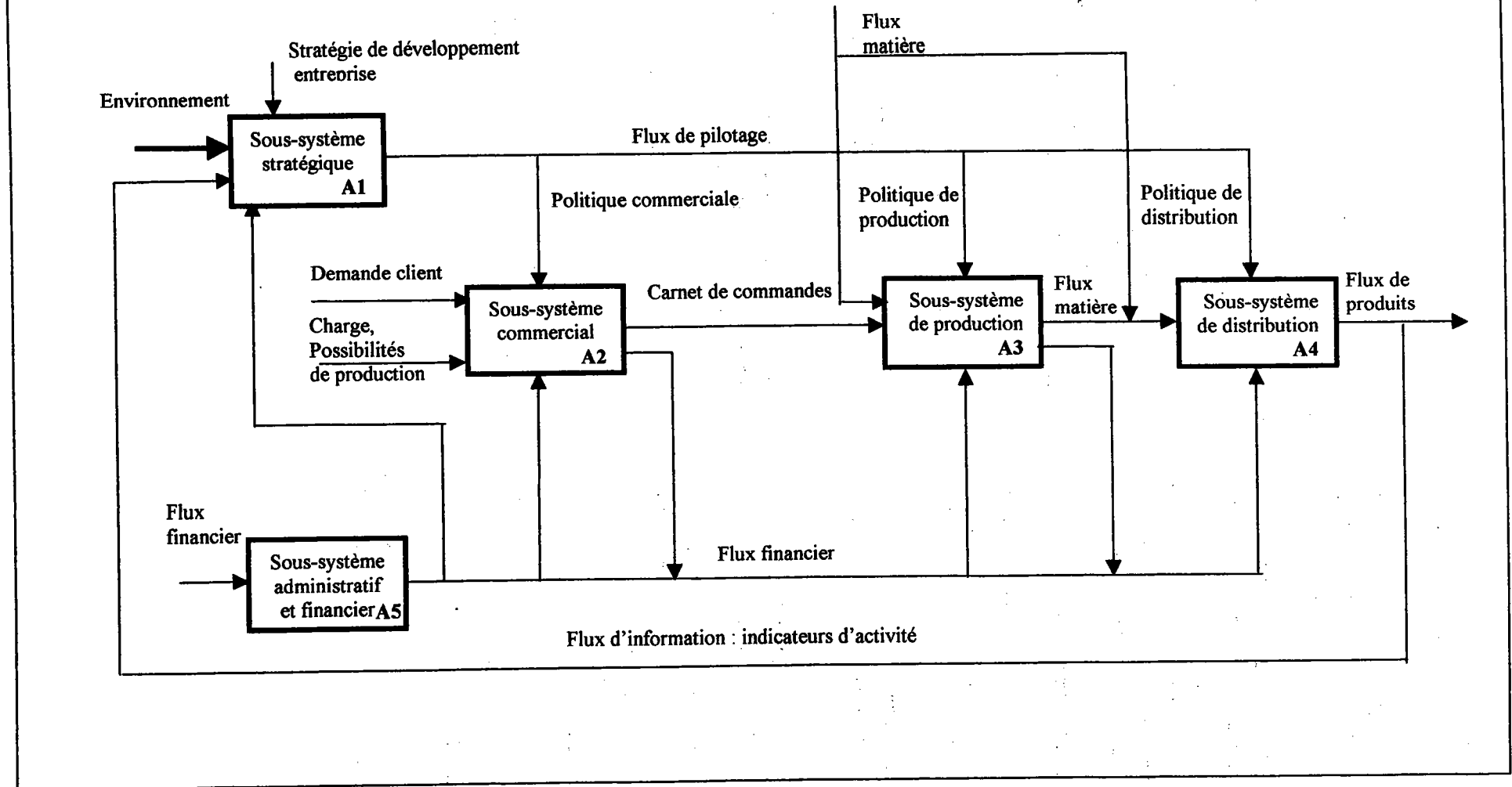


Figure 1.17 : Exemple de décomposition d'une entreprise, inspiré de [Roboam, 88].

Si nous nous intéressons au sous-système de production, nous pouvons l'appréhender à partir de sa décomposition en activités (figure 1.18). Quatre activités définissent la fonction de production :

- L'activité « Planifier » assure la gestion de l'information pour l'ensemble des activités de production ; elle consomme des ressources de deux humaines et logiciel les ;
- L'activité « Approvisionner » gère et distribue les approvisionnements de matière d'œuvre et de composants nécessaires à la fabrication des produits commercialisés ; deux types de ressources lui sont associées : des ressources humaines et des ressources logicielles ;
- l'activité « Fabriquer » transforme la matière d'œuvre et les composants en produits à commercialiser ; les ressources qui lui sont spécifiques sont des ressources humaines et des ressources technologiques (machines, outils) ;
- l'activité « Piloter » réalise la régulation du sous-système en agissant sur le contrôle de l'activité « Planifier » et le flux de fabrication.

La comparaison de ce système de production industriel avec le système opérationnel de formation décrit au paragraphe 1.2.4.3, fait ressortir un certain nombre de similitudes :

- l'un comme l'autre des systèmes est une organisation complexe d'activités différentes et coordonnées ; les liaisons entre chaque activité ne renseignent pas sur les relations de cause à effet des activités mais sur la logique du cheminement du flux et déterminent ainsi les processus de transformation ;
- les activités des deux systèmes assurent des transformations d'intrants en extrants en consommant des ressources affectées (ressources humaines, ressources technologiques, ressources logicielles) ;
- les deux systèmes possèdent des activités commandées et pilotées entre elles ;
- les deux systèmes accomplissent des cycles (boucles d'activités) de retraitement de l'extrait ou de l'information.

Nous constatons une certaine analogie fonctionnelle entre un système de production et un système de production de compétences, particulièrement dans son organisation générale structurée en processus de transformation composés de plusieurs activités.

Décomposition fonctionnelle d'une activité de production

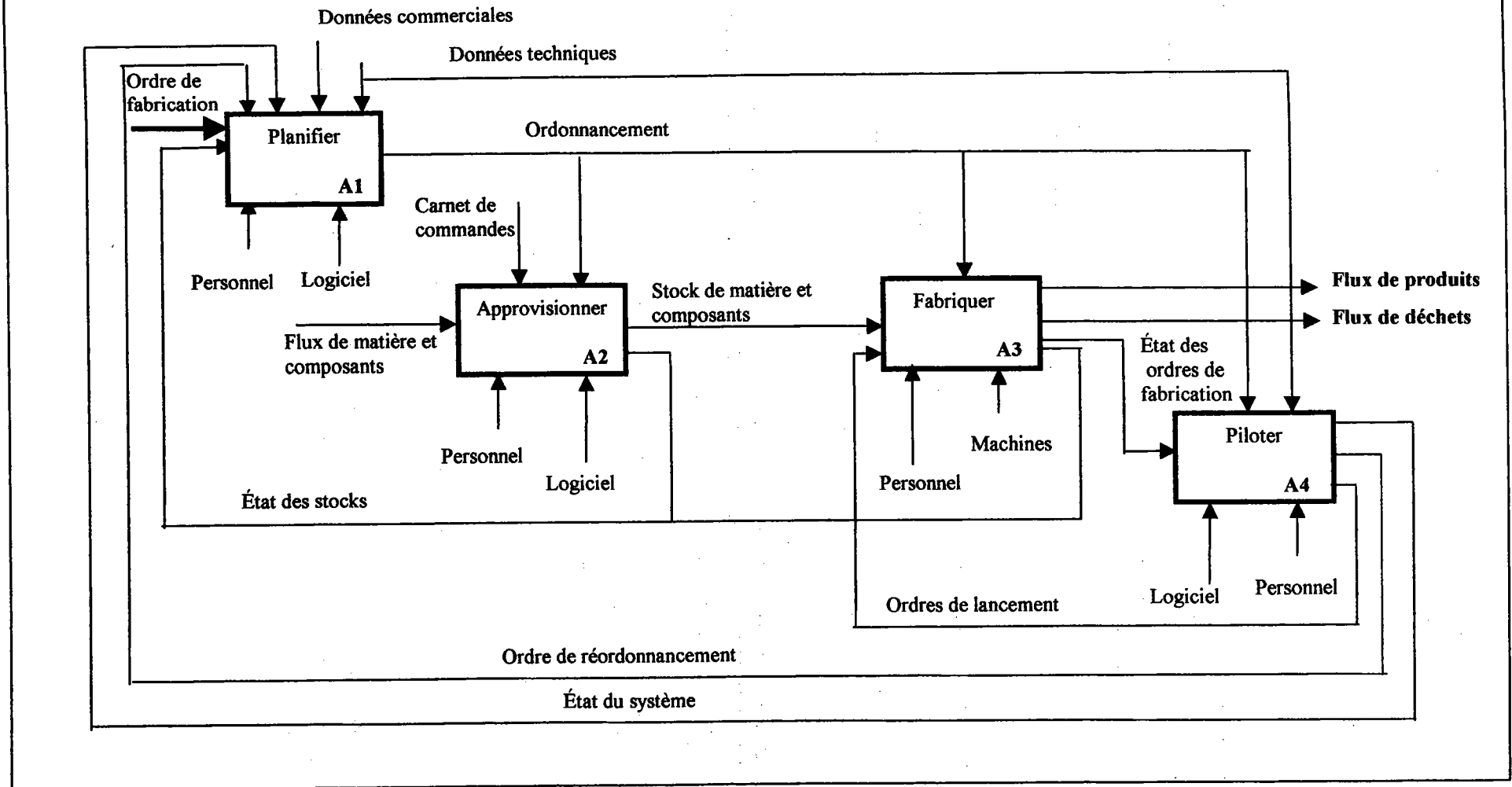


Figure 1.18 : Exemple de décomposition fonctionnelle d'une activité de production, inspiré de [Vernadat, 99].

A cette identité de système s'ajoute un certain nombre d'analogies en liaison avec la nature des activités. Le tableau 1.3, illustre le parallélisme qui peut être fait entre le monde de l'entreprise industrielle et celui de l'école :

	INDUSTRIE	ECOLE
Production	Production de produits	Production de compétences
Processus opérants	Processus d'approvisionnement	Processus de recrutement
	Processus de transformation,	Processus de production de compétences
Programme de production	Plan de production	Plan de formation
Ordonnancement	Ordonnancement d'approvisionnement	Ordonnancement de recrutement
	Ordonnancement de production	Ordonnancement de production de compétences
Conception des objets	Bureau d'études	Conseil d'Administration
Conception processus/procédés	Bureau des méthodes	Équipe pédagogique
Indicateurs de performance :		
Coûts	Coûts des produits	Coûts de formation/élève
Délais	Délais des ordres de fabrication	Programme de formation
Qualité	Satisfaction du besoin	Constance des flux

Tableau 1.3 : Tableau de comparaison Industrie/Ecole.

Trois domaines d'équivalence entre la production et la formation sont identifiables :

- les processus,
- l'évaluation de la performance,
- la méthodologie de conception.

1.7.1. Les processus

Tout comme dans le domaine de la production, la formation conçoit et met en œuvre des procédés de formation. Elle regroupe et ordonne ces procédés en processus complexes correspondant aux « gammes de fabrication » nécessaires à la transformation des compétences des apprenants.

Ces processus sont mis en œuvre au moment de la réalisation de la tâche d'enseignement.

Le chapitre 3 détaille l'ensemble des processus et procédés existants dont les combinaisons permettent la mise en œuvre de l'activité de formation.

1.7.2. L'évaluation de la performance

La transformation de l'intrant (l'apprenant) en extrant (l'apprenant plus compétent) qu'opère de le système de production de compétences demande que soit clarifiée l'activité de formation. En effet, nous devons considérer dans notre étude trois aspects différents de l'apprenant ; l'apprenant peut être :

- confondu avec le « produit » du système de production de compétences, dans mesure où il « porte » l'accroissement de compétences visé ;
- assimilé à la fois à l'intrant et la « ressource », dans la mesure où lui-même est co producteur de son propre accroissement de compétences et participe à l'activité en tant que ressource indispensable à la transformation ;
- considéré comme « client » d'une relation de type client-fournisseur classique liant celui qui consomme à celui qui offre.

Nous le rappelions au paragraphe 1.3.1. (Naissance de l'idée), dans un environnement concurrentiel exacerbé, nul ne peut faire l'économie de l'étude de rentabilité d'un système de production, fût-il de production de compétences. Retegui [99] le souligne dans une communication au 3^e congrès international de Génie Industriel : « Le secteur éducatif n'a pas senti jusqu'à présent la pression du client pour imposer des plans de Qualité ».

Une approche industrielle globale consiste à évaluer le triplet Qualité/ Coûts/Délais ; si les coûts et les délais sont des grandeurs parfaitement identifiables et maîtrisables (coûts d'une action de formation, coûts d'une ressource, durée de formation, durée d'un programme, ...), la notion de qualité est plus délicate à traiter.

En effet, au sens de la norme, la qualité est l'expression de la satisfaction du besoin : en quoi tel produit satisfait-il le besoin attendu par le client. Dans un contexte d'activité de formation, le produit devient l'apprenant muni d'un accroissement de ses compétences et le client est l'entreprise à la recherche des compétences confirmées. Il peut exister alors un différentiel entre la compétence potentiellement produite par la prestation de l'acteur de formation et la compétence effectivement acquise de l'apprenant. Il se peut donc que cette relation « confuse » client-fournisseur soit faussée par ce différentiel qui exprime directement le phénomène humain engagé dans tout processus de formation entre l'acteur et l'apprenant.

Le chapitre 3 propose de résoudre cette difficulté par la mise en place d'indicateurs de performance liés à chaque phase de la mise en œuvre du système de production de compétences. Nous nous attacherons à distinguer alors les indicateurs de résultats des indicateurs de processus.

Les indicateurs de résultat rendent compte à la hiérarchie et fournissent une mesure sur le résultat final d'un processus en prenant en compte les aspects à la fois quantitatifs et qualitatifs (par exemple pour une entreprise : nombre de pièces bonnes produites ; par exemple pour une école d'ingénieurs : nombre d'ingénieurs sortant trouvant un emploi en moins de trois mois).

Les **indicateurs de processus** servent à corriger à temps un problème dans le déroulement d'un processus observé. Ils expliquent comment celui-ci est en train de se dérouler et ont pour objectif de traiter les anomalies en temps réel ; ils cernent aussi bien le degré de capacité que la productivité des moyens. Un indicateur de processus doit révéler les évolutions tendanciennes dans les processus pour fournir une capacité d'anticipation ou de réaction à temps [Lorino, 97] (par exemple pour une entreprise : la façon dont la quantité a été produite, le suivi du délai de fabrication, le suivi du nombre de rebuts ; par exemple pour une école d'ingénieurs : le suivi du nombre d'élèves ingénieurs ré-orientés par niveau, le suivi du délai d'acquisition de compétence dans un domaine donné).

1.7.3. Vers une méthodologie de conception

Tout système de production est le fruit d'une ingénierie de conception capable d'assurer son développement, son maintien et sa ré-ingénierie.

Un système de production de compétences n'échappe pas cette règle.

Après avoir fait l'inventaire des principales méthodes d'ingénierie, au chapitre 2, nous proposerons, au chapitre 3, une méthode générique d'ingénierie pédagogique centrée sur la conception d'un système de production de compétences.

1.7.4. Les différences

Si les similitudes sont nombreuses, pour ne pas dire évidentes, nous ne pouvons prétendre cependant à une correspondance parfaite du système de production et du système de production de compétences.

La première réserve se situe au niveau de ce que le système de production de compétences produit lui-même. Retegui [99] rappelle que « dans l'enseignement, il ne faut pas oublier que le service se produit et se consomme en même temps et, qu'en plus, les clients font partie du processus de prestation de service. Ceci fait qu'un service défectueux ne puisse être ni revendu ni changé par un bon service. De l'importance de « bien faire dès la première fois ». Retegui met l'accent sur la relation « client-fournisseur » et sur ce que nous avons appelé la coproduction de compétences, où l'acteur de formation et l'apprenant réalisent de concert l'accroissement de compétences [Clémentz, 98]. C'est toute la difficulté de travailler à partir d'un phénomène humain.

La deuxième opposition réside dans une pratique courante et persistante dans les systèmes de formation qui consiste peu contrôler le « produit » avant livraison. Pour autant que les processus et les procédés de formation soient complexes, peu d'évaluations en cours de formation sont réalisées, permettant le repositionnement des tâches de formation en cours et à venir, la réduction des cycles de retraitement (redoublement, réorientation) ou le réordonnancement des procédés de formation. Si la part d'évaluation des enseignements généraux est assez fréquente, l'évaluation de compétences moins formalisées telles que savoir faire et savoir être est peu réalisée.

Selon le principe qu'il serait inacceptable de porter un jugement sur le niveau d'acquisition d'un apprenant pendant le processus d'acquisition, les systèmes de formation se sont privés de toute source d'information sur la qualité des processus et procédés retenus dans la formation. On imagine mal une entreprise de services ou de production de biens de consommation

attendre la dernière opération pour valider le produit ! Retegui [99] pose le problème plus en amont : « D'autre part, la formation ne peut se contenter d'être efficace par rapport aux buts fixés par les formateurs, mais il faut qu'elle soit pertinente et réponde aux besoins des clients. On ne doit pas oublier que, de la même façon que pour les produits industriels, les services ne peuvent être l'objet d'un contrôle de conformité à la fin du trajet, mais qu'il doivent être contrôlés tout au long du processus, ce qui implique la mise en œuvre d'une vraie gestion de la qualité ».

On le comprend bien, la relation client-fournisseur n'est pas de mise dans les systèmes de formation actuels.

1.8. LE NOUVEAU CADRE D'ETUDE

Peu satisfaits par le vide existant entre les prétentions de la terminologie utilisée (système de formation, système éducatif, système scolaire,...) et les réalisations concrètes effectives, nous avons choisi de « calquer » le modèle systémique de l'entreprise sur les systèmes de production de compétences afin d'en dégager les forces, mais aussi les faiblesses.

Cette approche plus globale du système de production de compétences intègre naturellement les représentations citées au paragraphe 3.4. et lie l'ensemble des démarches de conception à la recherche de l'optimisation du système lui-même.

Nous constatons que le champ d'investigation est à la fois vaste et novateur ; il nécessite une approche pluridisciplinaire. Nous proposons de limiter le cadre de notre contribution aux trois domaines suivants :

- Sur le plan conceptuel, nous restons cohérent avec les travaux du laboratoire LGIPM consistant à appréhender le problème à partir des techniques de modélisation en entreprise.
- Sur le plan organisationnel, nous nous proposons de nous appuyer sur une caractérisation du système de conduite d'un système de production de compétences. Cette caractérisation accorde une place importante à la structure du système de conduite et à la gestion des indicateurs de performance (cf. § 3.1. du chapitre 3).
- Sur le plan opérationnel, nous proposerons une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences (cf. §3.3. du chapitre 3) ; elle prend sa pleine signification en référence à l'approche théorique qui la sous-tend : le modèle Entité / Relation étendu au concept de Tâche/Compétences/Acteur/Activité.

Dans ce travail, nous souhaitons agir à la fois au niveau de l'organisation et de la conception des systèmes de production de compétences, mais aussi contribuer à une amélioration du système d'information par la mise en place de méthodes et d'outils favorisant une meilleure traçabilité des tâches de formation ; les applications développées tant au niveau de l'institution qu'en entreprises illustreront la mise en œuvre et la validation de ces outils : modélisation des procédés de formation, conception de laboratoires de formation, méthodologie de conception d'un système de production de compétences.

A l'image de la pyramide CIM (Computer Integrated Manufacturing) (figure 1.19) que proposait Waldner [90], nous souhaiterions que soit mieux compris « le CIM de l'ingénierie pédagogique » (figure 1.20), seule intégration et mise en œuvre communes des moyens pour une « formation au plus juste ».

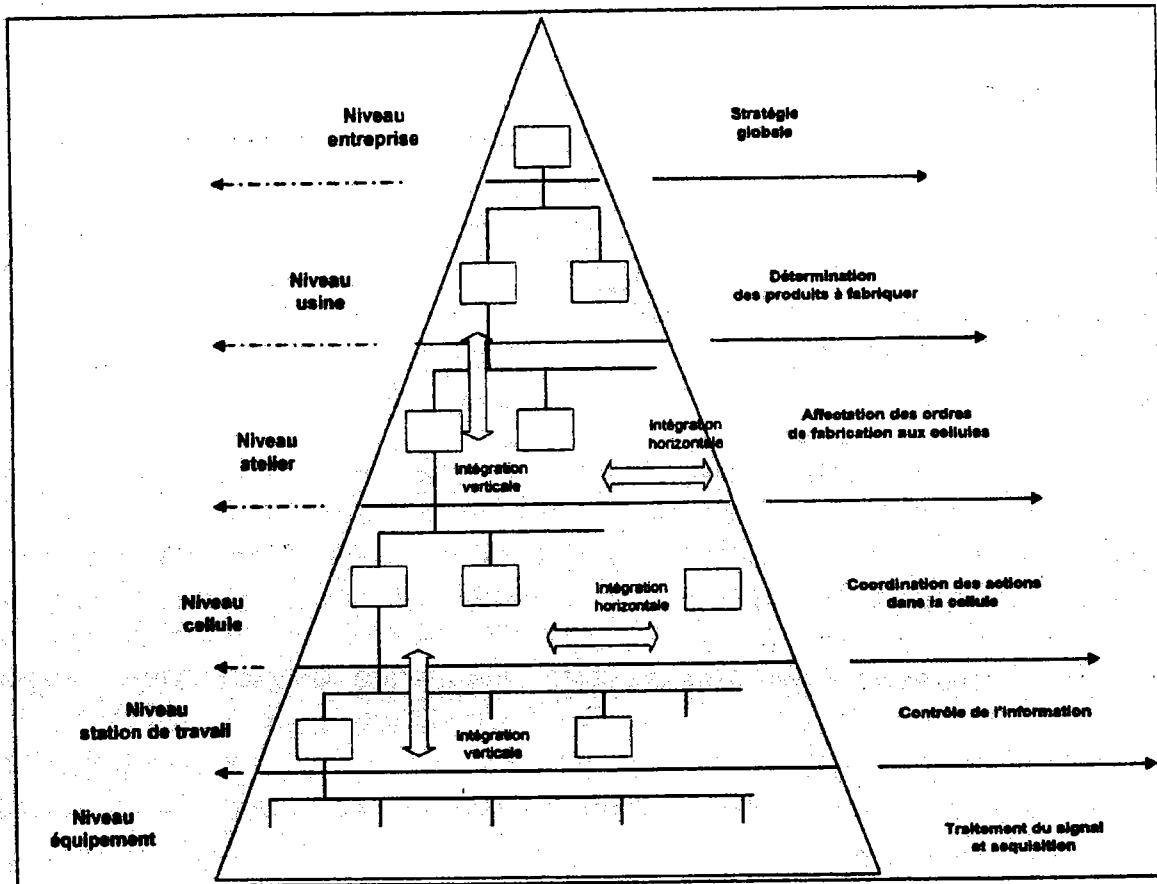


Figure 1.19 : Pyramide CIM.

C'est ainsi que nous avons montré¹ qu'un premier niveau d'intégration verticale est indispensable à la conception des laboratoires de formation. Il s'agit, pour l'essentiel, à partir du cahier des charges de l'accroissement de compétences visé (« le marché de formation »), de définir les ressources capables de satisfaire la réalisation des tâches² de formation.

Pratiquement, l'identification de la compétence « apprenant » visée permet la conception de la tâche d'enseignement, donc, la définition de la ressource nécessaire et par conséquent de la compétence de l'acteur supposé.

Plus naturellement, connaissant la compétence « élève » visée, on peut définir les Travaux Pratiques (TP1, TP2,...) à conduire et en déduire les postes de travail (P1, P2,...) par la définition des équipements, matériels et logiciels nécessaires ; on en déduit aussi les compétences des enseignants capables de réaliser l'activité.

¹ Le chapitre 4, consacré aux applications, illustre pour l'étude de cas n°4 la validation de ce premier niveau d'intégration.

² Les notions de tâche, compétence, acteur et activité seront définies au chapitre 3.

Cette première intégration est indispensable à la conception des laboratoires de formation¹.

La deuxième intégration verticale correspond à la mise en œuvre de la politique d'établissement. Il s'agit alors de définir le poids relatif des composantes de la formation pour chaque « profil » retenu². Une première distribution consiste à pondérer la part relative de formation générale (FG), formation technologique (FT) et formation professionnelle (FP). Cette distribution est indispensable à l'inventaire des ressources, tant humaines que technologiques ou logicielles. Elle fonde le ratio entre les besoins et moyens en ressources.

En ce qui concerne la première intégration horizontale, elle est justifiée par le souci de mutualisation des ressources locales de l'établissement. En effet, l'optimisation des moyens, donc des coûts de formation, exige que soit sollicité au mieux l'ensemble des acteurs³.

La deuxième intégration horizontale manifeste le souci légitime de gérer au mieux le flux d'apprenants en évitant toute dispersion des formations proposées. L'objectif est alors de veiller à l'alimentation des filières et des sections de telle sorte que, sans nuire à la qualité du flux existant, les structures de formation répondent aux attentes de l'environnement et élaborent et fournissent le « produit » attendu.

A la différence du *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), dont le sigle rappelle l'idée forte d'intégration par l'ordinateur, nous pensons comme Brenier [92] et Toffler [93] que l'intégration des systèmes s'opère avant tout par l'information.

¹ Nous entendons ici par « laboratoire de formation », tout espace pédagogique dédié à la réalisation d'une tâche d'enseignement.

² Nous renvoyons le lecteur au paragraphe 1.2.3. du chapitre 1.

³ L'acteur correspond ici au processus, c'est-à-dire l'ensemble des ressources humaines, technologiques et logicielles qui participent à la réalisation de la tâche.

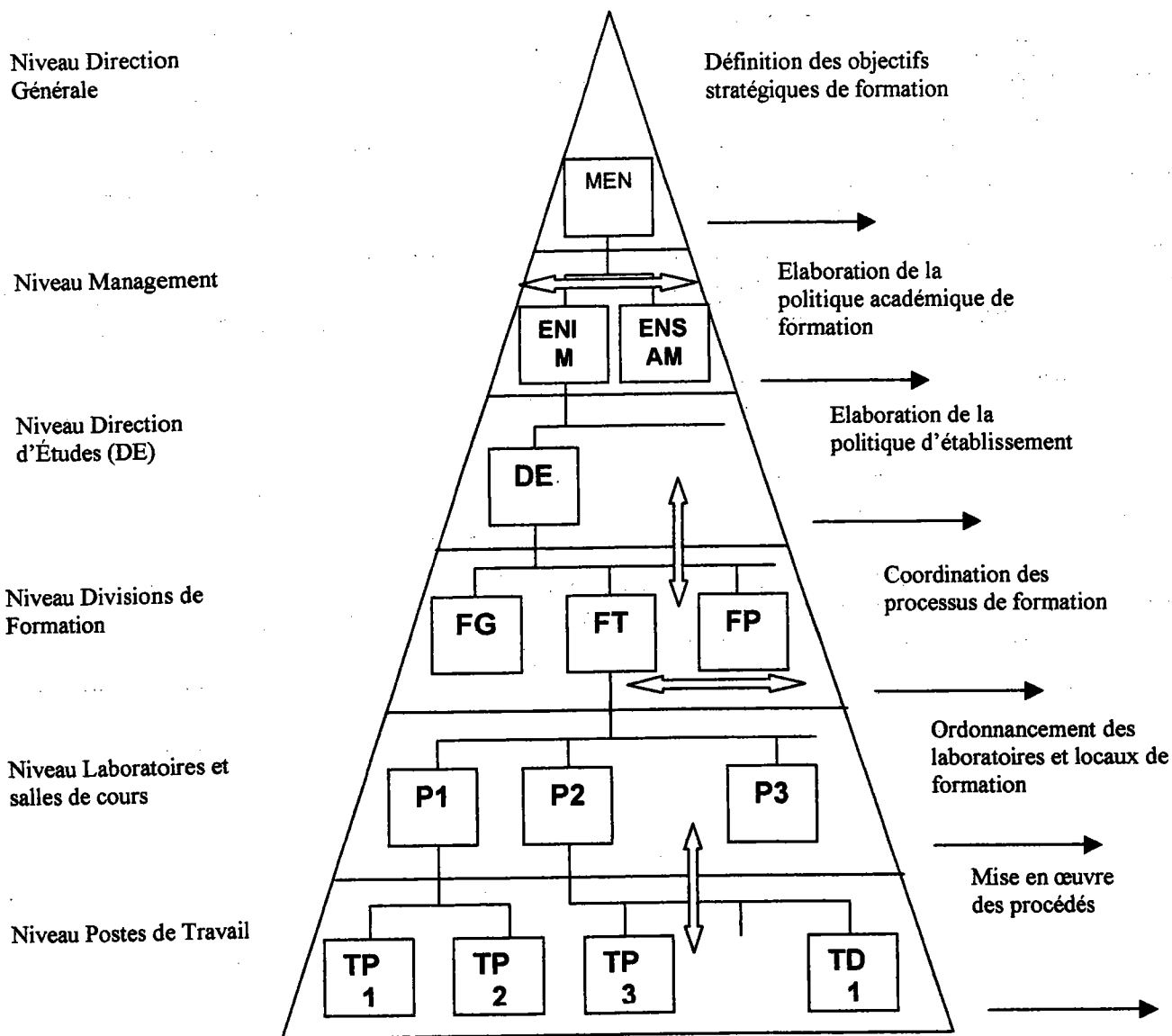


Figure 1.20 : Le CIM de l'ingénierie de formation.

1.9. SYNTHÈSE DU CHAPITRE

Nous avons présenté une analyse rationnelle des systèmes de formation centrée sur une vision systémique. La conduite des systèmes de production de compétences revêt un caractère capital dans la compétitivité des systèmes de formation et des nations qui les conçoivent.

Selon Souty [91], l'expérience directe journalière est irremplaçable. Mais elle ne porte ses fruits que fécondée par une recherche rationnelle finalisée. Cette recherche nous l'avons faite à partir de l'étude des systèmes. Il s'agit de construire l'analyse des systèmes de formation à partir des méthodes et outils du Génie Industriel.

Avant de présenter nos réflexions et notre contribution (chapitre 3), nous proposons, dans le chapitre suivant, de faire un état de l'art en matière de méthodes d'ingénierie des systèmes de production et des systèmes de production de compétences, tant du point de vue des modélisations, des méthodologies que des outils et techniques de conception et de description (figures 1.21 et 1.22).

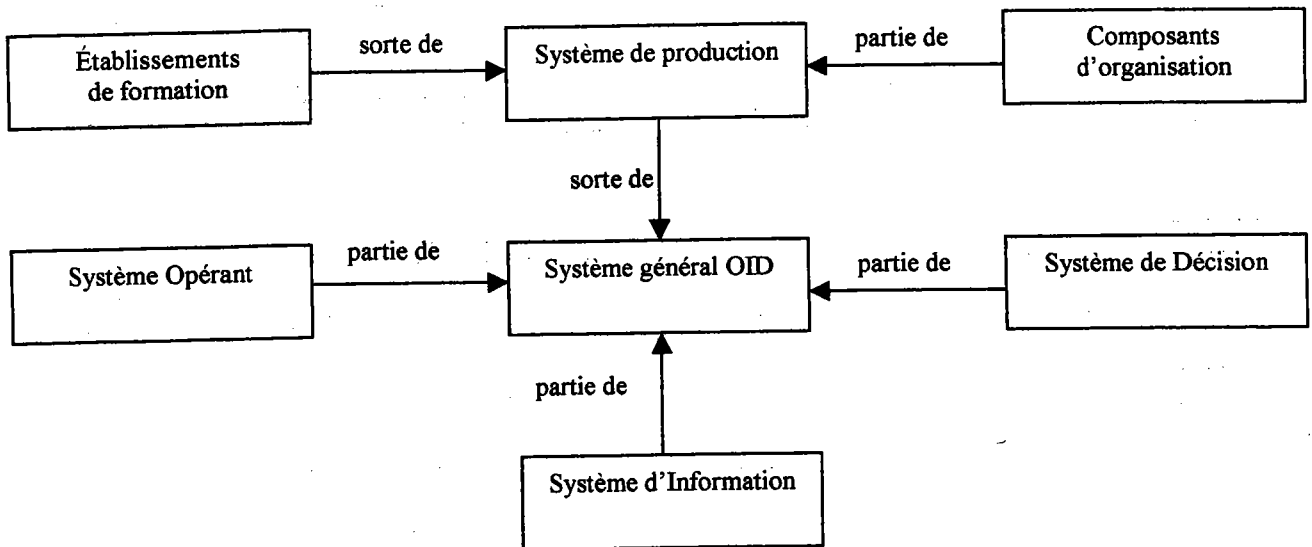


Figure 1.21 : Synthèse du chapitre 1, première partie.

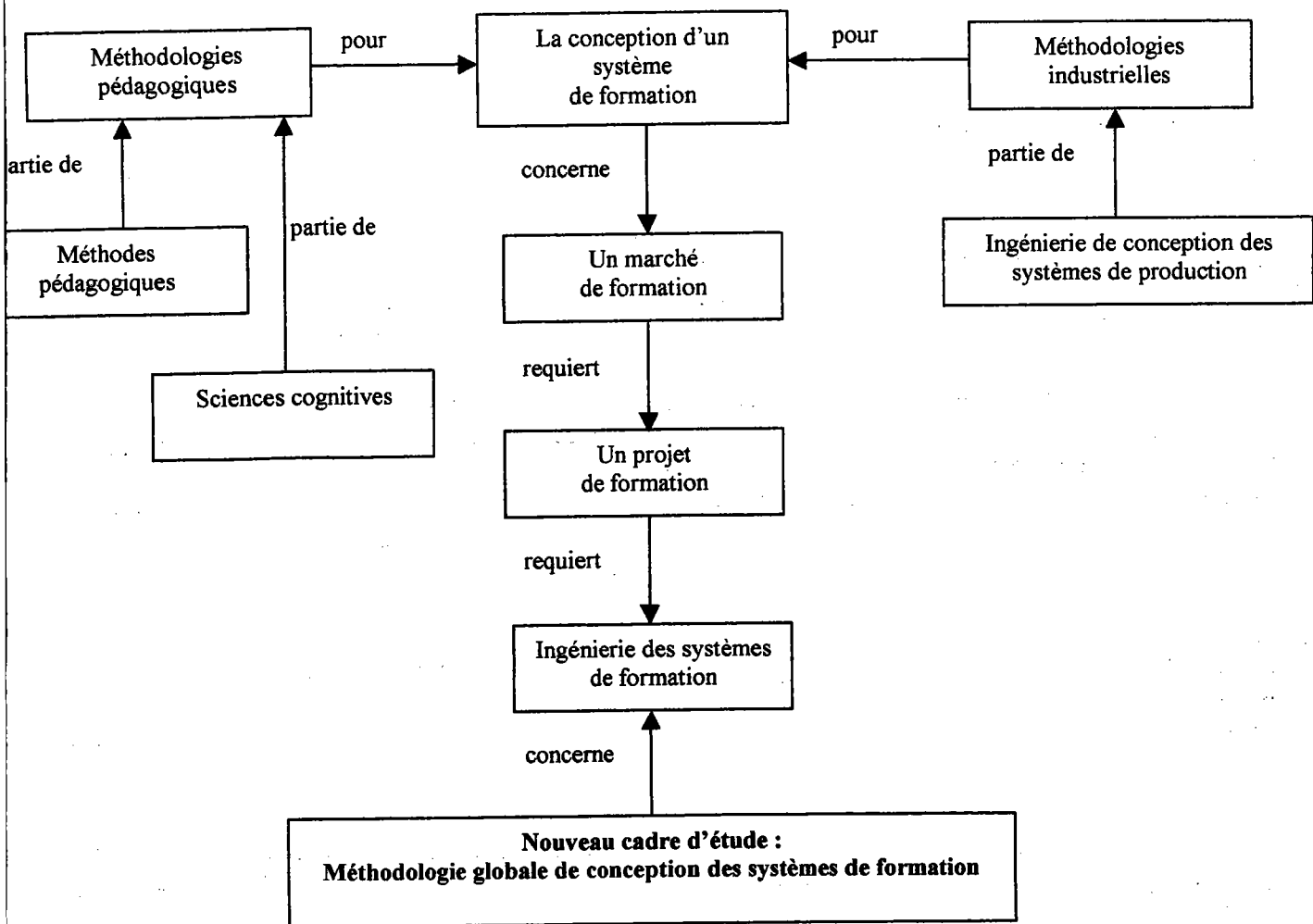


Figure 1.22 : Synthèse du chapitre, deuxième partie.

CHAPITRE 2

ETAT DE L'ART

Résumé du chapitre :

Souhaiter proposer une méthodologie de conception des systèmes de production de compétences requiert qu'on se soit attaché à recenser ce qui existe en matière d'ingénierie pédagogique et d'ingénierie des systèmes de production. Nous présentons dans ce chapitre un inventaire de ce qui est considéré comme ingénierie de formation, puis nous proposons d'explorer quelques architectures et méthodologies des systèmes de production, en phase avec l'orientation de nos travaux, afin d'en dégager les plus pertinentes et les moins complexes à mettre en œuvre.

2.1. INTRODUCTION

2.2. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE OU LE PRINCIPE D'UNE METHODE D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE ?

- 2.2.1 Quelle méthode existante d'ingénierie de formation ?
- 2.2.2 Les typologies de pilotage des systèmes de formation
- 2.2.3 Modèles de gestion des systèmes d'enseignement
- 2.2.4 Les méthodes pédagogiques du système éducatif

2.3. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION

- 2.3.1 Les méthodes de modélisation en entreprise
- 2.3.2 Les outils de modélisation, support à l'analyse des systèmes
- 2.3.3 Les modèles : IDEFO-SADT, IDEF3, IDEFIx, CIMOSA, Grille GRAI
- 2.3.4 Les architectures : CIMOSA, GERAM
- 2.3.5 Les méthodologies issues de la productique : GIM, AICOSCOP, PERA

2.4. SYNTHESE DU CHAPITRE

2.1. INTRODUCTION

Nous avons vu dans le chapitre précédent quelles étaient les missions d'un système de formation et quel précieux éclairage la démarche industrielle pouvait apporter dans l'analyse de l'organisation interne de ce système.

Mais il ne suffit pas de décrire les composants d'un système de formation pour le comprendre. Le système de formation est un système complexe, en évolution permanente, contraint de s'adapter à son environnement et de réagir avec lui. Il a, en France, une histoire, des traditions en prise avec notre culture et un fonctionnement réparti sur une constellation d'entités différentes.

Pour mieux comprendre la système de production de compétences¹, il importe de distinguer les méthodes qui président à sa conception et à son organisation de celles qui témoignent de son fonctionnement.

L'approche que nous proposons dans ce chapitre est fondée sur le repérage de méthodes et de pratiques mises en œuvre tant dans le domaine de la conception des tâches² de formation que dans celui de la conception des systèmes de production. Elle s'appuie sur une analyse des systèmes existants et présente les modèles, les méthodes et les outils susceptibles de traduire notre projet.

Nous proposons de décomposer ce chapitre en trois parties. Nous présenterons un état de l'art en matière de méthodes d'ingénierie tant pour les systèmes de production de compétences que les systèmes de production.

Notre démarche consiste à dégager les aspects pertinents des méthodologies et des outils existants pour la conception des systèmes de production de compétences afin de proposer, au chapitre 3, une démarche de conception ancrée sur des pratiques réalistes en vigueur, qu'elles concernent la production de formation ou la production de produits ou de service en entreprise.

2.2. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE OU LE PRINCIPE D'UNE METHODE D'INGENIERIE PEDAGOGIQUE ?

Toute maîtrise et tout progrès de l'école sont le résultat d'un perpétuel va-et-vient entre la pratique et le concept. De ruptures en reconstructions périodiques, les acteurs de la formation structurent les systèmes de formation et en construisent peu à peu l'évolution et le développement.

Selon Lissandre [90], « une méthode propose une démarche cherchant à définir l'ordonnancement de toutes les activités à mener à bien pour atteindre un objectif final. Une

¹ Mise en œuvre, en situation professionnelle, de capacités qui permettent d'exercer convenablement une fonction ou une activité [AFNOR, 99].

² Nous considérerons dans ce chapitre la tâche de formation comme une mission de formation ; nous expliciterons d'avantage ce concept au chapitre 3.

technique est un procédé permettant de réaliser une ou plusieurs de ces activités. Une méthode peut donc demander l'emploi successif de plusieurs techniques ». Nous reprendrons cette définition au chapitre 3 pour proposer une méthodologie de conception d'un système de production de compétences .

Nous allons projeter cette définition sur plusieurs aspects des pratiques pédagogiques, et notamment sur les tâches d'enseignement.

2.2.1. Quelle méthode existante d'ingénierie de formation ?

A proprement parlé, on ne distingue pas de méthode d'ingénierie des systèmes pédagogiques au sens où nous l'avons définie au chapitre 1 (paragraphe 1.3.). Tout au plus, certaines méthodes pédagogiques induisent-elles certaines pratiques pédagogiques, donc certaines organisations pédagogiques.

Les systèmes de formation seraient conçus sans ingénierie pédagogique, c'est-à-dire sans démarche rationnelle de conception construite du besoin de formation identifié jusqu'au besoin de ré-ingénierie du système de formation conçu.

La maîtrise et l'optimisation des moyens de formation sont conditionnées par l'expérience réelle des plans de formation, des structures et protocoles de formation, la gestion des flux de formés, les process de formation et les conditions de « transformation » des formés.

Pour le monde de l'enseignement, la méthode de conception des systèmes de formation reste très artisanale. C'est une approche pragmatique reposant sur le bon sens, souvent idéologiquement orientée¹, de laquelle les préoccupations financières² sont absentes.

Pour Pastiaux [99], « le terme d'ingénierie, appliqué récemment à l'enseignement, vient du monde de l'entreprise technique et industrielle » ; il est lié aux dépenses croissantes d'éducation et au souci d'améliorer le rendement de l'apprentissage. Il l'assimile à « une réflexion sur la mise en pratique, dans une situation donnée, des moyens et supports favorisant les apprentissages ».

S'il est difficile de nier l'intérêt qu'on les pays industrialisés à mesurer les dépenses d'éducation en regard des performances atteintes (cf. paragraphe 1.2 du chapitre 1), on peut douter du bien fondé d'une ingénierie pédagogique dont l'unique préoccupation serait de s'interroger sur l'utilité de tel ou tel matériel didactique.

Cette perception de l'ingénierie pédagogique, que les auteurs qualifient de « abus de langage ou conception nouvelle », rejoint dans les faits l'acception du terme par la plupart des entreprises dites « du didactique ».

¹ Quelqu'en soit la tendance.

² Nous distinguons ici l'aspect financier de l'aspect matériel, qui lui est de plus en plus préoccupant. Nous rappelons simplement que les dispositions financières à l'égard des systèmes de formation (subvention état de fonctionnement, allocation de budget, crédits exceptionnels,...) n'ont pas conduit la communauté éducative à s'interroger sur le fonctionnement financier et l'origine des ressources des établissements de formation.

Nous avons déjà évoqué [Clémentz, 99] cette approche dans le cadre de la conception de laboratoires de formation en alertant le lecteur sur le risque majeur de manquer de « hauteur » pour considérer la tâche de formation ; s'il est légitime, qu'en l'état actuel de nos connaissances, ce point de vue puisse s'exprimer, il n'en demeure pas moins vrai qu'il ne souscrit pas à la volonté de concevoir un système de formation comme un véritable produit apte à satisfaire un besoin de formation clairement identifié. Les entreprises l'on bien compris : en l'absence de toute méthode rationnelle, offrons des solutions à un problème de formation souvent mal posé. Il s'agirait donc d'adapter la formation aux ressources disponibles ; c'est une méthode largement répandue qui repose sur une politique de l'offre et ne peut réagir à une demande ciblée qui s'écarterait des possibilités du système de formation.

D'une part cette méthode ne produit pas l'amélioration recherchée du rendement des systèmes de formation, d'autre part elle ne permet pas de faire face à un environnement de moins en moins stable et prévisible ; ce que nous cherchons, c'est une méthode, soumise aux contraintes de l'environnement économique et social, capable d'aider à la conception d'un système de production de compétences pour tout projet de formation. La « tâche à risque nul » n'existant plus dans l'entreprise depuis les années 80, il convient, comme pour l'ingénierie des systèmes de production, de concevoir des méthodes d'aide à la décision.

Pour Bireaud, [90], s'interrogeant sur la crise de l'université et sur les méthodes de l'enseignement supérieur, l'ingénierie pédagogique « se caractérise d'une manière générale par l'application d'une démarche technique au processus de formation, lui-même interprété comme un système technique, c'est-à-dire dont le fonctionnement, à travers un certain nombre d'opérations – notamment pédagogiques – clairement identifiées, produit des résultats observables ».

2.2.2. Les typologies de pilotage des systèmes de formation

Landsheere [94] définit le pilotage des systèmes de formation comme « la prise de décision au niveau macroscopique (c'est-à-dire du système ou d'un sous-système éducatif) ou microscopique (c'est-à-dire d'un établissement, voire d'une classe) sur la base de constats aussi objectifs que possible relatifs à l'état, au fonctionnement ou aux produits du système ». Cette définition appelle les commentaires suivants :

- sans que l'auteur explicite clairement la place du pilotage des systèmes éducatifs, il associe pilotage et décision situant ainsi son action au niveau du système de décision ; de plus, il intègre les niveaux stratégique, tactique et opérationnel souvent exploités pour la modélisation des systèmes de production ;
- les constats objectifs sur l'état du système s'apparentent aux mesures d'indicateurs de performance d'un système opérant.

On peut penser que cette définition du pilotage des systèmes est conforme aux préceptes du modèle conceptuel des systèmes de production tel que nous l'avons décrit au paragraphe 1.2.4. du chapitre 1, en ce qui concerne l'interaction du système d'information avec le système de décision.

En somme, les systèmes de production de compétences ne disposeraient pas d'ingénierie de conception, mais s'identifieraient en tant que système aux systèmes de production.

L'auteur distingue trois types de pilotage :

- le pilotage administratif, significatif du respect des dispositions réglementaires ; ils concernent l'évaluation des titres requis des enseignants pour l'ensemble de leurs missions, la validation des équipements pédagogiques et la certification des transports scolaires ;
- le pilotage formatif (ou diagnostic), sorte de dépistage administré aux apprenants afin d'identifier les difficultés d'apprentissage (figure 2.1) ;

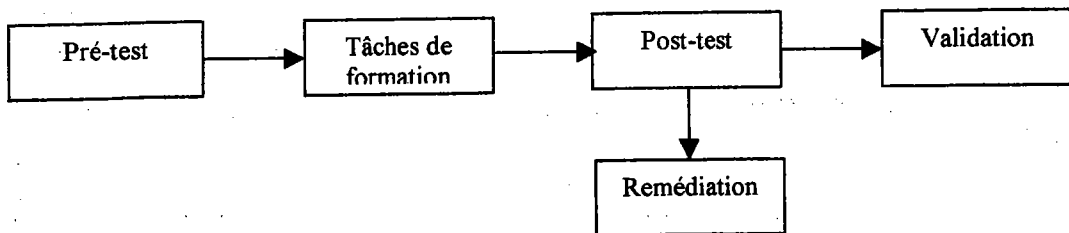


Figure 2.1 : Le pilotage formatif.

- le pilotage du rendement scolaire, sorte de bilan administré par tests normatifs de manière à rendre compte de façon comparative des performances des classes, des écoles ou des régions.

Si une telle typologie peut paraître satisfaisante au premier abord, il n'en reste pas moins vrai qu'aucune démarche explicite ne permet d'en comprendre le fonctionnement au niveau du système de conduite du système de formation ; aucune interaction n'est définie, tout au plus, on identifie sommairement des indicateurs de performance, sans que soient explicités les objectifs de performance associés [Berrah, 99]. Par ailleurs, le pilotage du rendement scolaire, tel qu'il est défini ici, est à l'ingénierie pédagogique ce que la comptabilité analytique est au pilotage de l'innovation : une information incapable de permettre les anticipations sur le développement des produits et la régulation des processus.

On se situe plus précisément dans l'ordre du contrôle terminal, sans rétro action, que dans celui du pilotage ; les décisions susceptibles d'adapter le système à son environnement restent à concevoir.

Pour Landsheere [94] trois exigences sont assignés au pilotage des systèmes éducatifs : la cohérence, la qualité et l'équité.

La cohérence se définit en référence aux objectifs de formation ; plus précisément, il s'agit de vérifier que :

- « les objectifs poursuivis s'inscrivent effectivement soit dans la ligne du projet éducatif (macropilotage), soit dans la ligne de projets particuliers (micropilotage) » ;
- le curriculum implanté correspond bien aux objectifs fixés ;
- les modalités d'évaluation sont conformes à ces mêmes objectifs.

La qualité est évaluée de façon absolue ou relative :

- absolue lorsqu'il importe de vérifier que l'Éducation permet le développement optimum de l'apprenant ;
- relative quand on compare la formation des apprenants entre eux.

Quant à l'équité, elle nécessite que l'ensemble des ressources disponibles soient accessibles à tous les apprenants ; ce qui ne signifie pas que tous en fasse le même usage, de la même manière. Nous reviendrons sur cette exigence au chapitre 4 à propos de la conception de laboratoires de formation.

Peu d'éléments favorables à la conduite des systèmes ressortent de cette première partie de l'étude. Il semble que le pilotage ne soit pas une préoccupation forte du système de formation. Sans doute confit-on la formation sans obligation de résultat à des systèmes peu concurrentiels, totalement assistés dans l'allocation de ressources et jouissant d'une large autonomie.

Le paradoxe pourtant réside dans la contradiction d'une attribution de plus en plus large (du moins dans le discours) d'autonomie aux établissements avec un renforcement du macropilotage dans la mise en œuvre de dispositifs d'évaluation des établissements les contraignant à rendre compte de la qualité de leurs travaux.

Partout où ces informations sont publiques (Etats Unis, France, ...), on tente d'appliquer la loi du marché aux systèmes scolaires. Il s'agit alors de rapprocher le système de formation de son environnement.

2.2.3. Modèles de gestion des systèmes d'enseignement

Il existe schématiquement deux types de gestion des systèmes d'enseignement :

- le modèle technologique, ou modèle à tendance socio-économique (Entrée / Sortie / Rétroaction) ;
- le modèle humaniste, ou « modèle à tendance psychologisant » [Landsheere, 94].

Le modèle technologique produit une approche technocratique de la gestion de l'enseignement ; ce modèle induit « l'économie de la condition humaine : un produit éducatif étant souhaité, on s'efforce de réunir les matières premières aux meilleures conditions (recrutement des personnes et acquisition des moyens) pour engager un processus permettant d'obtenir le résultat désiré » [Landsheere, 94].

Dans l'approche humaniste, on entend toujours respecter la personne humaine, sa liberté et tenir compte de ses projets personnels.

Le tableau 2.1 rend compte synthétiquement des oppositions entre ces deux modèles de gestion.

	Le modèle technologique	Le modèle humaniste
Idéologie dominante	Économie de la condition humaine	Respect de la personne humaine
Modèle	Priorité à la démarche Entrée/Sortie/Rétroaction	Priorité à l'éthique
Objectif	Optimiser la productivité	Développer le potentiel humain. « Réaliser l'actualisation de soi ».
Compatibilité	avec un certain débat démocratique	avec l'utilisation des technologies de l'éducation

Tableau 2.1 : Comparaison du modèle technologique et du modèle humaniste.

Au delà de ces caractéristiques, il est important de constater que ces systèmes de gestion ont pour objet l'enseignement et non pas la formation. La distinction est importante tant la pratique courante conforte le fait que former c'est enseigner. Nous montrerons au chapitre 3 une variation de cette approche distinguant l'activité d'enseignement de la tâche de formation.

Nous notons par ailleurs dans le modèle technologie une démarche d'ingénierie consistant à concevoir une solution répondant à un « produit éducatif souhaité ». Nous reprendrons à notre compte cette approche dans le chapitre 3.

2.2.4. Les méthodes pédagogiques du système éducatif

Nous définissons ici ce qu'on entend par méthode pédagogique selon la norme :
« Ensemble de démarches formalisées et appliquées selon des principes définis pour acquérir un ensemble de savoirs conformes aux objectifs pédagogiques [AFNOR, 99] ».

La pédagogie est une théorie pratique dont les méthodes sont fondés sur trois sources [Palmade, 98] :

- la pratique pédagogique dégage elle-même et empiriquement ses méthodes ;
- les méthodes pédagogiques découlent de règles établies par la psychologie scientifique ;
- l'application à la pédagogie des méthodes scientifiques de la psychologie permet de constituer les méthodes pédagogiques elles-mêmes.

Palmade distingue les méthodes pédagogiques et les méthodes d'enseignement qu'il réserve à l'activité propre d'enseignement.

Ainsi, en première approximation, l'ensemble des méthodes pédagogiques et d'enseignement se résume à :

- deux types de méthodes pédagogiques (les méthodes traditionnelles [Not, 84] et les méthodes nouvelles) ;
- deux types de méthodes générales d'enseignement (la méthode dogmatique ou expositive et la méthode interrogative) .

Les méthodes traditionnelles sont caractérisées par :

- une progressivité établie,
- un formalisme déductif,
- la mémorisation,
- une autorité concentrée,
- une organisation de classe

Les méthodes nouvelles sont caractérisées par :

- une découverte autonome des notions,
- la prise en compte de l'apprenant (développement et motivations),
- une démarche d'appropriation par l'apprenant du contenu de formation,
- une attitude libérale vis à vis de l'autorité.

La méthode dogmatique repose sur le principe selon lequel on ne saurait tirer du cerveau de l'apprenant ce qui n'y est pas.

La méthode interrogative utilise des questions pour mesurer le feedback ou susciter la découverte par les apprenants de vérités dont ils auraient quelques représentations. On comprend bien alors que la qualité des questions serait fondamentale.

Nous venons de constituer une matrice de présentation des méthodes de formation de laquelle nous pouvons tirer un certain nombre de remarques :

- i) au regard de cette matrice, l'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) s'apparente à une méthode traditionnelle ; au delà de la technologie utilisée (ordinateur, logiciel pédagogique, ...) qui pourrait laisser penser qu'il s'agit d'une pédagogie nouvelle, la décomposition progressive des notions, leur agencement et le formalisme déductif en font l'exemple même d'une pédagogie traditionnelle ;
- ii) l'ensemble des méthodes pédagogiques, généralement désignées par ce que Not [84] appelle une « sur-détermination » ou une « sous-détermination »¹, peut être distingué dans cette matrice ; il s'agit des méthodes dites de l'alternance, de la pédagogie de projet, de la pédagogie par objectif, de la méthode inductive, de la méthode expérimentale,...

Pour Bireaud, [90], la dichotomie des méthodes pédagogiques s'établit à partir de la légitimité des savoirs. Elle considère deux modèles pédagogiques : le modèle pédagogique traditionnel et le modèle pédagogique des formations professionnalisées.

La finalité du premier consiste à assurer la « reproduction de la communauté scientifique » ; il faut former des égaux et transmettre un savoir qui trouve d'abord sa légitimité en lui-même. On constate que le processus de formation consacré est l'enchaînement Cours + Travaux

¹ Pour Not, il n'existe que des méthodes naturelles ou des méthodes traditionnelles ;

Dirigés + Travaux Pratiques¹. La formation est centrée sur le cours du Professeur ; les Travaux Dirigés et les Travaux Pratiques sont des applications du cours que l'on confie à des enseignants de rang inférieur.

Pour le modèle pédagogique des formations professionnalisées, les contenus ne sont pas définis par l'existence d'une discipline particulière mais plutôt par les exigences de l'exercice d'une profession ; le caractère pluridisciplinaire de ces formations implique des relations fortes avec les secteurs professionnels concernés. Les processus de formation privilégient les prises de contact avec le terrain et la transmission des savoirs « théorico-pratiques » par le monde professionnel. La formation aujourd'hui des ingénieurs en France ne peut économiser l'intervention de l'entreprise dans le curriculum des apprenants. La connaissance scientifique se construit en dehors de toute finalité alors que la connaissance industrielle se fait par rapport à une utilité ; la connaissance scientifique est formelle alors que la connaissance technique est aléatoire. Pour Gille [90] "la théorie scientifique met en évidence un certain nombre de principes, explications de phénomènes techniques mais ne les régit pas ; cette marge représente bien la différence entre la connaissance scientifique et la connaissance technique".

IL est difficile, voire impossible, de rendre compte de l'opération technique en ce qu'elle engage un travail humain. Décrire un objet technique est difficile mais décrire une opération technique l'est encore plus.

Bireaud propose une définition d'une méthode pédagogique considérant trois éléments dans le processus « enseigner/apprendre » :

- le mode de détermination des contenus,
- l'organisation des situations d'apprentissage ou d'enseignement,
- les modalités d'évaluation.

Enfin, il définit certaines méthodes pédagogiques telles que l'alternance, la pédagogie par objectifs, le projet pédagogique. Mais il s'agit bien là encore de méthodes d'enseignement et non pas de méthode d'ingénierie de la formation.

Nous remarquons que pour l'ensemble des études abordées, la question des coûts de formation est totalement évacuée alors qu'elle correspond à une donnée essentielle, fortement influencée par le choix d'une méthode pédagogique.

L'absence de méthode rationnelle de conception des systèmes de production de compétences ne nous donne pas la possibilité d'appuyer notre réflexion sur une ingénierie pédagogique existante. Tout au plus, avons-nous pu identifier quelques processus de transformation du système opérant.

Nous proposons d'explorer le domaine industriel afin d'identifier les modèles et les méthodologies existants capables de répondre à nos travaux, c'est-à-dire nous permettant de concevoir, analyser et améliorer un système de formation.

¹ Nous y reviendrons au chapitre 3, à propos de l'analyse des procédés de formation.

2.3. LES PRINCIPALES METHODES D'INGENIERIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION

Dans l'introduction générale, nous avons proposé d'aborder l'ingénierie sous l'angle de la modélisation en entreprise. Les paragraphes suivants concernent la présentation des modèles, méthodes et outils de cette modélisation relatifs à nos travaux.

C'est à partir de ces représentations que nous souhaitons dégager les méthodes d'ingénierie des systèmes de production transposables aux systèmes de production de compétences.

2.3.1. Les méthodes de modélisation en entreprise

Pour Vernadat [99], « la modélisation en entreprise a pour objet la construction de modèles d'une partie déterminée d'une entreprise pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement ». Il insiste sur le fait qu'il s'agit d'une modélisation en entreprise pour un objectif donné et non pas la modélisation de l'entreprise.

La méthode SADT, proposée par Ross [77] pour analyser les aspects fonctionnels d'un système, et le modèle entité-relation, proposé par Chen [76] pour décrire le schéma de principe d'un système d'information, fournissent les bases de la modélisation en entreprise. A cela, on peut ajouter la méthode des diagrammes de flux de données (DFD ou Data Flow Diagrams), proposée par Gane et Sarson [82], et qui combine les aspects fonctionnels et informationnels d'un système de traitement de l'information. Ces méthodes, proposées à l'origine pour construire des applications informatiques et donc, pour la plupart, issues du génie logiciel, sont toutes basées sur la théorie des systèmes [Le Moigne, 77].

2.3.2. Les outils de modélisation, support à l'analyse des systèmes

Les concepteurs et analystes de systèmes complexes de production disposent de techniques de modélisation éprouvées reposant pour l'essentiel sur les principes de la systémique : MERISE, SADT/IDEF0, YOURDON¹. Un bref historique permet de positionner ces méthodes dans le temps (tableau 2.2).

¹ Nous développerons chacune de ces méthodes afin d'identifier leur contribution éventuelle à l'ingénierie pédagogique.

1970	<p align="center">Naissance de la programmation structurée</p> <p>Décomposition modulaire / Décomposition fonctionnelle Approche descendante</p>
1975	<p align="center">Analyse et conception structurées</p> <p>Ross (méthode SADT) Chen (modèle Entité/Relation) Yourdon et Constantine (Structured Design)</p>
1980	<p align="center">Méthodologies structurées</p> <p>De Marco (Structured Analysis) Jackson (Design Methodology) MERISE, NIAM, ...</p> <p align="center">Modélisation des données</p> <p>Codd (modèle relationnel et les formes normales) IBM (langage SQL) Abrial (modèle binaire)</p>
1985	<p align="center">Analyse structurée temps réel</p> <p>SA/RT</p>
1990	<p align="center">Approches orientées objet</p> <p>Booch (méthode Booch) Coad (OOA) Rumbaugh et coll. (OMT) HOOD UML</p>

Tableau 2.2 : Évolution des techniques structurées.

Une méthode est généralement définie comme « une technique de résolution de problèmes caractérisée par une ensemble de règles bien définies qui conduisent à une solution correcte » [Calvez, 90].

L'apport spécifique de toute méthode consiste généralement à :

- guider l'analyste dans la construction de ses modèles ;
- guider l'analyste dans la conversion des modèles d'une technique de modélisation à une autre.

De nombreux exemples permettent d'illustrer l'aide à la construction de modèles.

Concernant les techniques de conversion de modèles, on distingue :

- une approche par traduction, qui consiste à édicter les règles de traduction directe du modèle initial (exemple : IDEF0 en réseaux de Petri colorés) ;
- une approche par transformation, qui repose sur la projection d'un modèle donné au travers de modèles de référence ;
- une approche par association, privilégiant la notion de vues différentes exprimant plusieurs aspects du même système modélisé (exemple: CIMOSA et IDEF0 et 3).

Modéliser une méthode de conception, c'est donc :

- modéliser chacune des techniques de modélisation retenues (la syntaxe des modèles) ;
- modéliser les techniques de construction de modèles (sémantique associée aux modèles) ;
- modéliser les techniques de passage d'un modèle à un autre (intégration de la méthode).

Pour modéliser les méthodes de conception de système de production, nous avons retenu dans ces travaux le paradigme Tâche/Compétence/Activité/Acteur, qui sera développé dans le chapitre 3.

Une méthodologie s'appuie sur des modèles pour décrire un système sous forme de parties plus facilement analysables et en se focalisant sur les faits importants.

Dans cette partie, nous cherchons à identifier et à étudier les méthodes de modélisation proposées par différentes approches et disciplines pour appréhender les aspects essentiels de l'entreprise, en l'occurrence, les aspects organisationnels, fonctionnels et informationnels permettant d'identifier leurs apports spécifiques à l'ingénierie pédagogique.

2.3.3. Les modèles : IDEF0-SADT, IDEF3, IDEF1x, CIMOSA, Grille GRAI

IDEF0 est une technique de modélisation des fonctions d'un système dérivée du langage graphique SADT (Structured Analysis and Design Technique) [Ross, 77 ; Bravocco et Yadav, 85]. En se basant sur une approche systémique et sur le principe de décomposition fonctionnelle de système, IDEF0 part d'une vision globale pour représenter ensuite les différents liens existant entre les activités pour un même niveau de modélisation et ce, à différents niveaux de détail organisés hiérarchiquement.

C'est un excellent outil de communication entre utilisateurs grâce à sa notation graphique et sa syntaxe simple et naturelle. En outre, c'est un outil de modélisation de premier niveau. En effet, il permet de définir ce que l'entreprise fait, et ainsi de déterminer les activités clés de

l'entreprise et ses fonctions secondaires. Ces caractéristiques sont utiles pour l'analyse du système au niveau stratégique, notamment pour identifier ses parties à réorganiser.

IDEF3 permet de modéliser des processus opérationnels [Mayer et coll.,92]. C'est une méthode complémentaire de IDEF0 fondée sur la description des étapes d'un processus et des relations de causalité entre situations et événements. Elle sert à répondre à la question comment se réalisent les choses, dans quel ordre. IDEF3x est une extension d'IDEF3. Elle est plus adaptée à la modélisation des processus non-structurés [ACNOS, 97]. IDEF3 fournit une vue comportementale de l'entreprise, elle permet la simulation de scénarios pour les aspects fonctionnels. Elle peut donc être employée au niveau tactique ou opérationnel, dans l'étape d'analyse et de conception.

IDEF1x est une méthode pour l'analyse et la représentation des données. Elle est souvent utilisée pour 1) identifier les informations gérées dans l'organisation, 2) déterminer, parmi les problèmes identifiés dans l'analyse, ceux qui ont un manque ou une mauvaise gestion des informations et 3) spécifier quelles informations il faut gérer dans l'implantation du système réorganisé (TO-BE).

CIMOSA offre des langages de modélisation intégrés couvrant les aspects fonctionnels, informationnels, ressources et organisationnels [Vernadat, 96]. D'autre part, CIMOSA ne propose pas seulement une représentation graphique des activités et des processus, mais fournit un langage formel de description basé sur des « Constructs » ayant une syntaxe et une sémantique [AMICE, 93], [Vernadat, 96].

- Les constructs (au sens de constructions ou briques de base de modélisation) sont des structures informatiques élémentaires (ou primitives de modélisation) constituant les éléments de base du cadre de modélisation de CIMOSA. Leur définition est fournie dans la couche générique du cube CIMOSA. Leur structure est exprimée sous forme de pro-formats (templates) dans le document technique de référence de CIMOSA.
- Les modèles CIMOSA sont des structures informatiques complexes (que l'on peut stocker en bases de données) issues de l'agrégation et de la spécialisation (particularisation) des constructs génériques pour les besoins d'une entreprise particulière.

Les langages de CIMOSA sont utilisables pour toutes les étapes de conception et d'implantation d'une nouvelle organisation. (Figure 2.2)

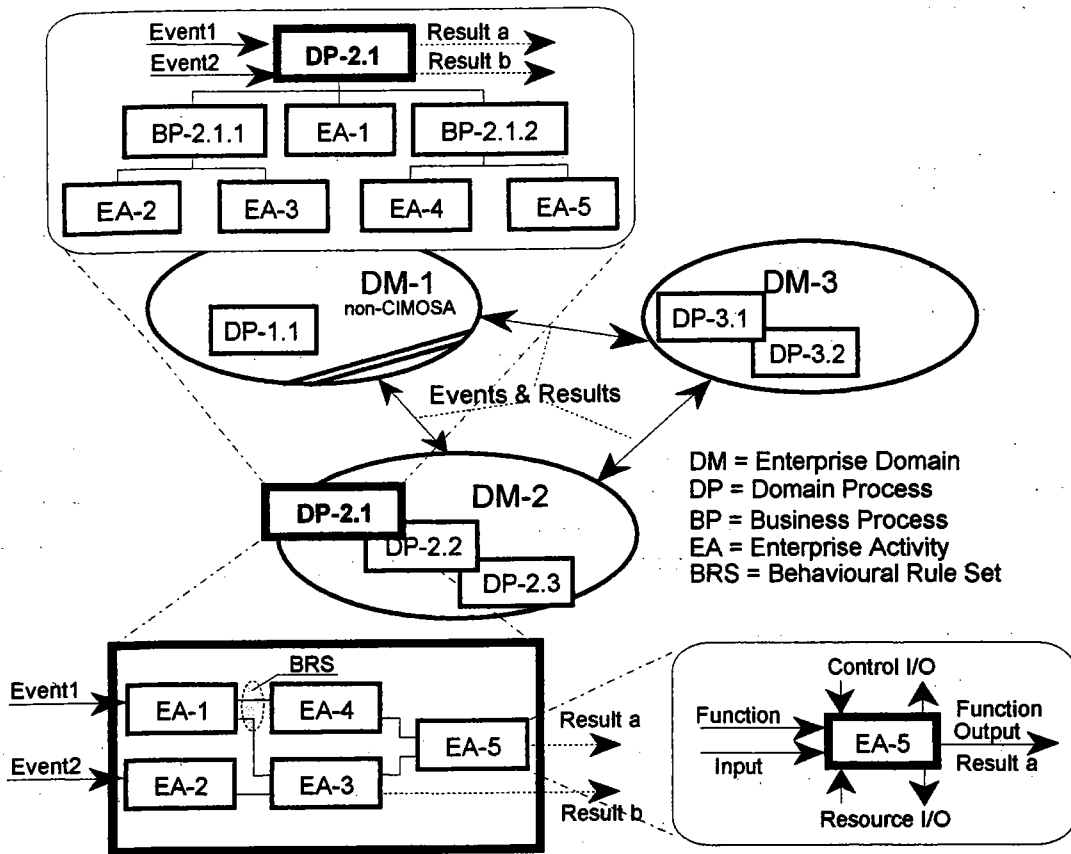


Figure 2.2 : Les principes du modèle fonctionnel de CIMOSA.

La grille GRAI est l'expression d'une vision globale et macroscopique de la structure du système de production étudié. Elle est basée sur une décomposition verticale de l'entreprise afin d'identifier ses centres de décision (CD) par fonction et suivant les niveaux de décision. La grille situe ensuite les différents centres de décision les uns par rapport aux autres et met en évidence les principaux liens décisionnels de l'organisation étudiée [Doumeings, 84 ; Roboam, 93].

Un centre de décision est un ensemble d'activités de décision appartenant à un même niveau horizon-période et remplissant la même fonction. A chaque centre de décision, sont rattachées des activités d'information nécessaires à la préparation des données pour les activités de décision. Par ailleurs, des réseaux GRAI sont associés à chaque centre et servent à modéliser la fonctionnalité du centre (sous forme d'un réseau d'activités). Des règles de dysfonctionnement sont développées pour étudier les dysfonctionnements dans la grille GRAI établie.

La grille GRAI (figure 2.3) donne une vision globale des centres de décision dans l'entreprise. Cependant, son découpage par fonction et par niveau n'est pas toujours valable, surtout lorsque des décisions peuvent se prendre entre plusieurs fonctions ou/et plusieurs niveaux.

Enfin, son découpage par fonction tend à préserver une organisation par fonction et non par projet ou par processus, et par conséquent elle privilégie les missions de chaque fonction à l'égard des missions principales de l'entreprise.

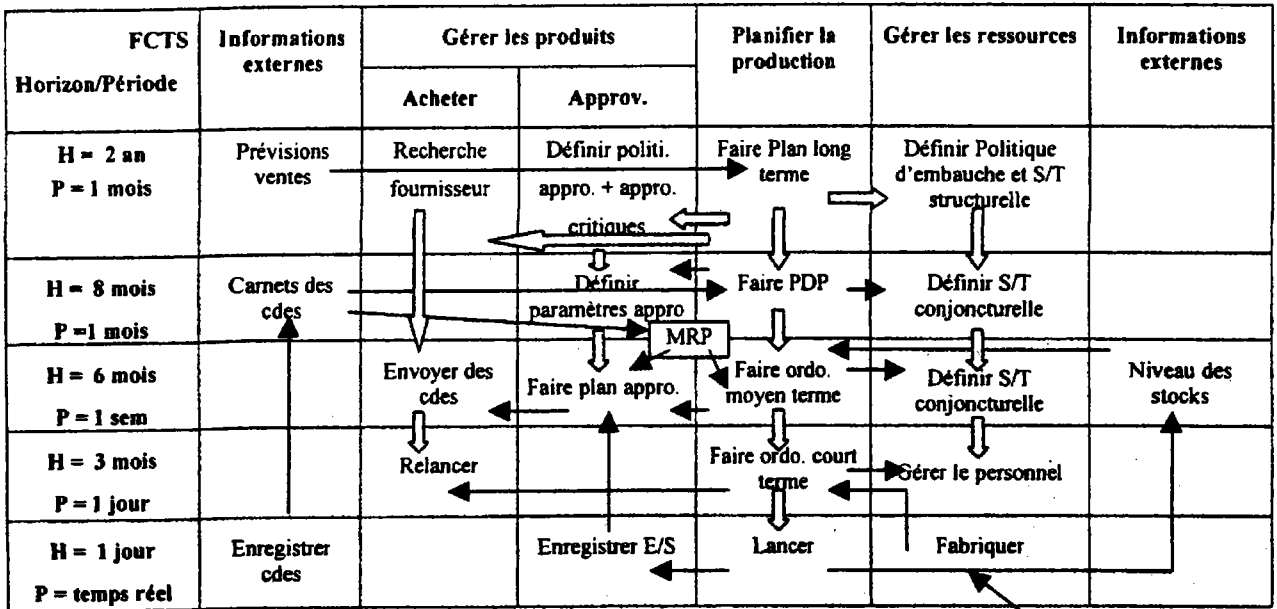


Figure 2.3 : Exemple de Grille GRAI (d'après [Roboam, 93]).

2.3.4. Architectures et méthodologies de référence pour la productique

Nous présentons dans ce paragraphe des architectures et des méthodologies de conception ou de re-conception de systèmes industriels. Elles se basent notamment sur la modélisation du système lors des différentes phases de son cycle de vie.

Ces architectures et méthodologies offrent une démarche structurée pour analyser un système sur la base de modèles associés. Elles offrent des outils et des modèles pour l'analyse et la conception d'une organisation sans s'engager dans une approche de rupture ou d'amélioration. Nous verrons dans le chapitre suivant que des modèles conceptuels similaires apporteront une aide déterminante dans l'analyse des unités de formation.

L'architecture CIMOSA

CIMOSA (CIM Open System Architecture) est une architecture pour construire des systèmes intégrés de production, développée par le ESPRIT Consortium AMICE entre 1985 et 1994 [AMICE, 93 ; CIMOSA Association, 96].

L'architecture CIMOSA s'articule autour de trois composants principaux et interdépendants : 1) un **cadre de modélisation** qui offre les moyens nécessaires pour construire un modèle, 2) une **méthodologie d'ingénierie** du système industriel basée sur la notion de cycle de vie du système et qui permet de créer et maintenir des modèles et 3) une **infrastructure** intégrante qui a comme objectif principal l'intégration des composantes de l'entreprise et l'exécution des modèles CIMOSA.

Le cadre de modélisation de CIMOSA préconise de modéliser l'entreprise suivant quatre points de vue complémentaires : les vues fonctionnelle, informationnelle, ressources et organisationnelle.

Pour l'instant, CIMOSA n'offre pas de méthode de conception bien définie mais seulement une proposition d'approche descendante et ascendante basée sur l'analyse des processus opérationnels. Cependant, Kosanke et coll. [97] ont montré que l'on pouvait utiliser la méthodologie PERA comme méthode de conception pour CIMOSA. Par ailleurs, en accompagnant la conception d'un système ou sa re-conception, CIMOSA définit trois niveaux de modélisation : 1) un **niveau de définition** des besoins permettant l'écriture du cahier des charges dans le langage de l'utilisateur final, 2) un **niveau des spécifications** de conception permettant de spécifier et d'analyser dans le détail des solutions répondant aux besoins exprimés et 3) un **niveau de description** de l'implantation permettant de décrire précisément l'implémentation de la solution retenue.

En outre, Vernadat [99] recommande, lors de la phase d'analyse d'une organisation, de réaliser en premier lieu l'analyse fonctionnelle accompagnée de l'analyse du système d'information. L'analyse des ressources peut être menée indépendamment. L'analyse de la structure organisationnelle doit être réalisée en dernier.

Enfin, CIMOSA est une approche vaste et complexe qui peut s'intégrer dans une méthodologie de réorganisation, notamment parce qu'elle offre à la fois une vue globale et une vue opérationnelle de l'entreprise industrielle.

La méthodologie PERA

PERA (Perdue Entreprise Reference Architecture) est une méthodologie conçue pour assister les entreprises dans le développement et l'implémentation de systèmes industriels complexes et intégrés [Williams, 94 ; Williams et coll., 96]. Cette méthodologie permet de décrire le cycle de vie complet d'un projet CIM (Computer Integrated Manufacturing) à partir d'objectifs prédéfinis, en passant successivement par l'analyse fonctionnelle, la conception préliminaire (fonctionnelle), la conception détaillée, le développement, l'installation et l'exploitation.

PERA propose de diviser le projet CIM suivant trois volets développés en parallèle :

- Le premier est centré sur l'architecture de commande et d'information liée à la conduite et à la gestion des opérations de production (données techniques de production, commandes, indicateurs de pilotage, etc.).
- Le deuxième est centré sur l'architecture liée aux moyens matériels et aux opérations physiques de production.
- Le troisième est centré sur l'architecture liée aux activités humaines en relation avec les deux précédentes.

Par ailleurs, PERA prend en compte quatre aspects de l'entreprise à savoir l'aspect informationnel, l'aspect organisationnel, l'aspect fonctionnel et l'aspect compétences. Par contre, elle n'offre pas d'outils propres de modélisation pour la réorganisation de l'entreprise.

Enfin, il nous apparaît que, bien que définie à l'origine pour l'ingénierie de grands systèmes industriels, l'architecture PERA, notamment les guidelines associées à chaque étape, fournissent une base très intéressante pour une méthodologie de réorganisation.

La méthodologie GIM

GIM (GRAI-IDEFO-MERISE) est une méthodologie proposée pour la productique résultant de la combinaison de trois méthodes : GRAI pour l'analyse du système de décision, IDEFO pour l'analyse du système physique et MERISE pour l'analyse du système d'information. Le terme GIM signifie aujourd'hui « GRAI Integrated Methodology », puisque seulement les formalismes des méthodes GRAI, IDEFO (actigrammes) et MERISE (entité-relation) ont été conservés [Doumeingts, 84 ; Marcotte, 95].

Par ailleurs, GIM considère quatre vues d'entreprise, à savoir une vue décision, une vue information, une vue physique et une vue fonctionnelle. Néanmoins, c'est la vue décision qui est la plus développée et sur laquelle se base la conception d'un système.

La démarche de modélisation et de conception d'un système de production par la méthode GRAI comprend quatre phases [Roboam, 93] :

1. **Initialisation.** Elle comprend la prise de contact avec l'entreprise, la définition de l'étendue du projet et de celle du groupe de travail, ainsi que la planification des étapes du projet et de sa mise en place.
2. **Analyse de l'existant.** Elle a pour but d'identifier les structures et les éléments composant le système de gestion de production et de présenter un modèle interprétable par les différents acteurs. Elle comprend une sous-phase d'analyse descendante où on représente la structure hiérarchisée des activités de décision (dans le temps) par la grille GRAI, vue par les responsables de l'entreprise. Une deuxième sous-phase d'analyse ascendante permet la remise en cause puis la validation de la première phase. Cette sous-phase s'effectue par niveaux successifs de la grille. Enfin, une troisième phase permet d'identifier des dysfonctionnements.
3. **Contexte et objectifs du futur système.** Dans cette phase, il s'agit d'obtenir un consensus quant aux objectifs et aux contraintes du futur système de production.
4. **Conception du futur système.** Cette phase de conception comprend trois sous-phases principales : 1) une **phase d'initialisation** de la conception où on définit les architectures possibles du futur système, 2) une **phase de conception globale** où la macro-structure du futur système et les centres de décision qui la composent sont définis et 3) une **phase de conception détaillée** où le fonctionnement de chaque centre de décision est détaillé.

Enfin, GIM peut s'intégrer dans une méthodologie de réorganisation d'entreprise industrielle puisqu'elle offre une démarche structurée pour l'analyse des systèmes de décision. Encore faudrait-il l'adapter aux nouvelles structures organisationnelles (entreprises étendues, entreprises virtuelles).

L'architecture GERAM

GERAM (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) est une architecture de référence développée par un groupe de réflexion international (IFAC-IFIP Task Force) sur les architectures pour l'intégration des entreprises [IFAC/IFIP, 97]. GERAM est en fait une généralisation de CIMOSA, de GRAI-GIM et de PERA plus de quelques autres architectures (ARIS', CEN ENV², et IEM³) [Vernadat, 99].

A l'instar de PERA, la méthodologie GERAM prend en compte trois aspects : les ressources humaines, les processus et la technologie. Elle comprend sept phases : 1) identification du besoin, 2) définition du domaine d'étude, 3) définition des besoins opérationnels, 4) conception, 5) implantation, 6) une phase opérationnelle et 7) une phase de changement.

GERAM a pour ambition de proposer une architecture adéquate pour la réorganisation. Cependant, pour l'instant elle n'est pas assez développée : elle se restreint à un cadre très général et reste une coquille vide (pas de constructs définis ni d'outils associés). Cependant, son principal intérêt est de fournir un cadre de référence pour les utilisateurs, de fournir une terminologie commune pour le domaine de l'intégration d'entreprise et permettre la comparaison d'architectures ou de méthodologies particulières pour en évaluer la couverture ou identifier leur complémentarité ou leurs redondances.

¹ ARIS : Architecture for Information System

² CEN : Comité Européen de Normalisation

³ IEM : Integrated Enterprise Modelling

La méthodologie AICOSCOP

Le projet **AICOSCOP** (Aide à la COncption de Système de COnduite de Production) avait pour objectif de réfléchir à l'analyse et à la conception des systèmes de conduite de production, et d'élaborer une méthode correspondant aux besoins actuels de l'ingénierie des systèmes de production [Pourcel, 94].

Un projet de re-conception d'un système de production, selon les principes de AICOSCOP se déroule en quatre phases :

1. Initialisation et organisation du projet. Cette phase a pour mission d'identifier les idées directrices pour l'orientation des travaux d'analyse et de conception, de rédiger un cahier des charges du projet et de préciser les délais et les ressources nécessaires pour sa réalisation.

2. Analyse globale du système. Cette phase permet d'approfondir la connaissance du système, de détecter les dysfonctionnements et d'identifier les axes de solution.

3. Conception. Cette phase permet de concevoir ou re-concevoir le système.

4. Industrialisation. Cette phase a pour objectifs d'acquérir les moyens de production, de les implanter, d'approvisionner les ressources et de réaliser une présérie de produits qui servira de test pour la validation du système de production.

La méthodologie AICOSCOP a été utilisée dans des projets importants en vue de sa validation. Outre les points forts de cette méthode tels que le concept d'activité, la conduite interne/externe et les facteurs clés de succès, de récents travaux ont permis de compléter les points suivants :

- formalisation plus précise des notions de tâches, opération, processus et ressources,
- introduction des composantes organisationnelles et de leur hiérarchisation,
- formalisation détaillée de la méthode en ce qui concerne le projet d'ingénierie ou de ré-ingénierie.

2.4. SYNTHÈSE DU CHAPITRE

L'étude menée au cours de ce chapitre a permis de montrer quelques-uns des formalismes, modèles et méthodologies applicables dans notre domaine de recherche. Nous avons vu notamment l'intérêt de disposer de méthodes et d'outils de modélisation permettant :

- d'appréhender, de comprendre et de décrire le système de production en cohérence avec les objectifs qui lui sont assignés ;
- de conserver une vision globale et de mettre en évidence les interdépendances entre les différents aspects du système (flux d'informations, de matière, de décisions) ;
- de simuler le fonctionnement des modèles ;
- de rester facilement accessibles à la plus large communauté possible d'utilisateurs.

Si l'on s'en tient aux méthodes existantes de l'ingénierie pédagogique et aux méthodes génériques associées, nous sommes contraints de constater que :

- l'ingénierie de formation, quand elle se pratique, ne considère que les processus d'enseignement et ne s'étend pas à l'ensemble du processus de conception de la formation ;
- aucun formalisme n'est associé à la modélisation des systèmes de production de compétences et les représentations restent très sommaires ;
- toute référence à des indicateurs de performance se trouve évitée ; en particulier, la question des coûts est rarement évoquée ;
- la caractérisation des acteurs de formation est pudiquement bornée à la considération de statuts, comme si cette caractéristique était gage de qualité permanente.

Les méthodes qui en découlent restreignent le champ d'application au domaine de l'activité d'enseignement, c'est-à-dire au domaine de réalisation de la tâche d'enseignement duquel se dégage un certain consensus sur les méthodes pédagogiques dites traditionnelles.

A l'opposé de l'ingénierie des systèmes de production, où un large consensus¹ s'établit sur l'intérêt et la mise en œuvre d'une démarche de conception, les méthodes d'ingénierie des systèmes de production de compétences sont conçues encore aujourd'hui sur des représentations idéologiques de l'enseignement, concentrant la tâche de formation sur la tâche d'enseignement et évacuant ainsi toute perspective conceptuelle de caractérisation de l'acteur.

Cette analyse montre combien notre système éducatif est peu préparé à la production économique du savoir en tant que produit ou service qui s'achète ou se vend, mais qui dans tous les cas coûte et doit satisfaire un besoin. Tout ce passe comme si, dans notre système centralisé, l'initiative ou l'innovation ne pouvait avoir lieu. En effet, aucune des méthodes proposées n'est de nature à poser globalement et scientifiquement le problème des tâches de formation et des compétences des acteurs de la formation. On décrit simplement certains types d'activité d'enseignement dont le fondement repose souvent sur les perspectives de la psychologie scientifique.

Le système éducatif semble à ce point « soumis » qu'on n'imagine pas la place d'une ingénierie plus en amont de l'activité d'enseignement.

¹ Les divergences reposent sur les méthodologies de conception et les outils de description mais pas sur le bien fondé d'une démarche d'ingénierie (until préférera la méthodologie AIRE, un autre l'architecture CIMOSA,...).

Nous montrerons au chapitre 3, que l'ingénierie pédagogique s'entend de la conception des tâches de formation jusqu'à leur réalisation et qu'elle se préoccupe des acteurs de formation, de leurs compétences et des activités qu'ils sont en mesure de réaliser.

Pour ce qui concerne l'éclairage apporté par les méthodologies de conception d'organisations industrielles, elles sont dans la plupart des cas issues de la productique, dont l'objectif premier est la modélisation et l'intégration d'entreprise. Ces méthodologies sont essentiellement orientées vers les systèmes automatisés de production. Leur transposition au monde de l'éducation nécessite que soit intégrée la notion de système d'information. Or, c'est précisément le système le moins performant d'un système de production de compétences actuellement.

Au chapitre 3, nous présenterons notre contribution à la définition d'une ingénierie pédagogique. Des méthodes et architectures citées précédemment, nous retiendrons pour notre étude :

la méthodologie AICOSCOP pour l'ingénierie des systèmes de production que nous développerons pour définir le système de production de compétences selon une démarche conception reposant sur le cycle de vie du produit ;
la modélisation CIMOSA et IDEF0 pour la représentation de certains aspects du système de production de compétences.

A cela, nous ajouterons le modèle Entité/Relation étendu au formalisme Tâche/Compétence/Acteur/Activité¹ pour une base de définition des concepts, principes et méthodes de l'ingénierie de formation.

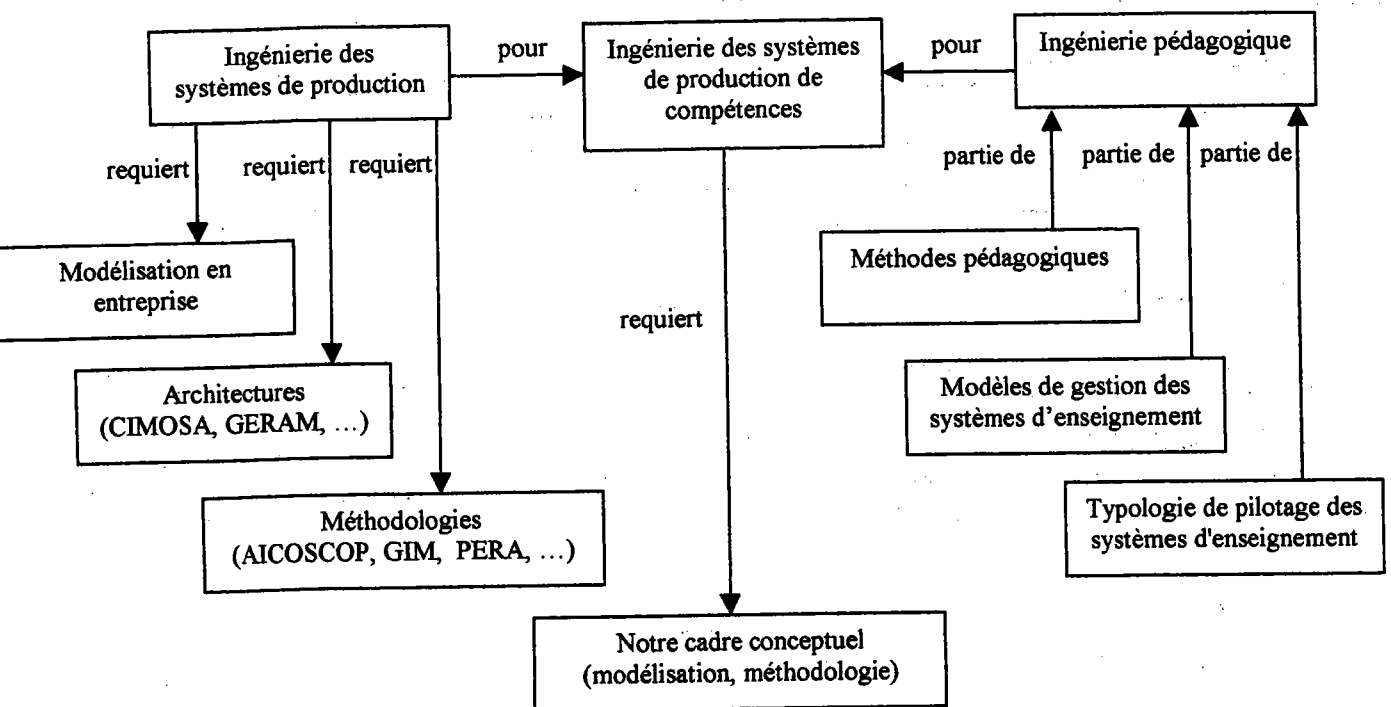


Figure 2.4 : Synthèse du chapitre 2.

¹ Ce paradigme est présenté au paragraphe 3.2. du chapitre 3.

CHAPITRE 3

PROPOSITION D'UNE METHODE D'INGENIERIE DES SYSTEMES DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Résumé du chapitre :

Après avoir défini le concept d'ingénierie de formation à partir du paradigme tâche/compétence/acteur/activité, nous présentons le système de production de compétences sous l'angle de l'analyse systémique, en empruntant le modèle conceptuel « OID » de Le Moigne. Nous distinguons les tâches de formation des tâches d'enseignement et proposons un inventaire des procédés d'enseignement disponibles. Le pilotage de ce système nécessite que soient définis des objectifs et indicateurs de performance. Enfin, selon une démarche de conception de produit, nous présentons notre méthodologie de conception d'un système de production de compétences.

3.1. INTRODUCTION

3.2. APPLICATION DU PARADIGME TACHE/COMPETENCE/ACTEUR/ACTIVITE AU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 3.1.1 Présentation du modèle de base
- 3.1.2 Explicitation du modèle
- 3.1.3 Définition des concepts utilisés
 - 3.1.3.1 Le poste de travail
 - 3.1.3.2 L'unité d'organisation
- 3.1.4 Définition de l'ingénierie de formation

3.3. ADAPTATION DU MODELE CONCEPTUEL A LA CONCEPTION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

- 3.3.1 Notion de unité d'organisation :
- 3.3.2 Facteurs clés de succès (FCS)
- 3.3.3 Conduite interne – conduite externe d'une unité d'organisation
 - 3.3.3.1 Conduite interne
 - 3.3.3.2 Conduite externe
- 3.3.4 Présentation du modèle conceptuel
 - 3.3.4.1 Notion de système opératoire
 - 3.3.4.2 Application du modèle à la description du système de production de compétences

3.4. NOTION D'OBJECTIF ET D'INDICATEUR DE PERFORMANCE

- 3.4.1 La pratique industrielle
- 3.4.2 La pratique de l'institution

3.5. NOTION DE PROCESSUS ET DE PROCEDES D'ENSEIGNEMENT

3.6. PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE D'INGENIERIE DE FORMATION

3.7. SYNTHESE ET CONCLUSION

3.1. INTRODUCTION

Dans l'analyse des travaux développés concernant le domaine de l'ingénierie pédagogique, nous avons montré au chapitre précédent que peu de recherches s'intéressaient à une considération globale des démarches de conception et réalisation des systèmes de production de compétences¹. De plus, les concepts utilisés semblent fluctuer selon les points de vue retenus ; en effet, on parle tantôt de méthodes pédagogiques, de méthodes d'enseignement, de méthodologie de formation, de méthodologie d'enseignement, en y mêlant, faute d'avoir retenu une vision d'ensemble, des concepts de formation ou d'enseignement, avec des concepts d'organisation ou de production. Ergonomes, psychologues, enseignants et concepteurs d'équipements didactiques y trouvent ce qu'ils sont venus chercher : une justification partielle de leurs réflexions et/ou de leurs développements.

Pourtant, la question de plus en plus aiguë des coûts de formation associée à la nécessité croissante de répondre rapidement à un marché de formation a contraint les établissements de formation à réagir et à se structurer dans leur environnement. Quelle organisation, quelle méthode permettent cette adaptation ? Quelles sont les fonctions, dans une grande école, d'une Direction d'Etudes, d'une Direction de la Formation ? Quel est le rôle pédagogique d'un Directeur, d'un Chef de division pédagogique, d'un enseignant, ou d'un agent de laboratoire ? Ces questions n'ont pas de réponse formelle ; les réponses partielles se sont construites empiriquement devant la nécessité de construire.

Nous constatons en fait que les établissements se sont organisés par la force des choses, un peu à la manière des entreprises, en développant leurs structures et en adaptant leurs services ; ce que nous percevons moins c'est le cadre et les méthodes utilisés pour répondre à cette adaptation de la formation à son marché, et pour la maintenir dans le temps.

Notre objectif est de fournir un cadre conceptuel permettant de traiter plus rigoureusement et plus scientifiquement ce que nous avons appelé l'ingénierie des « systèmes de production de compétences ».

A partir du paradigme tâche/compétence/acteur/activité, nous montrerons dans ce chapitre en quoi la tâche de formation se distingue de l'activité d'enseignement et qu'elle incidence cette distinction produit sur le concept d'ingénierie pédagogique. Nous suggérerons alors une définition de l'ingénierie de formation articulée autour du concept de tâche de formation et du cycle de vie d'un produit de formation.

Nous proposerons un modèle descriptif d'un système de production de compétences en nous attachant, dans la transposition du modèle OID, à la définition des unités de décision qui composent ce système.

Enfin, une fois l'ingénierie de formation et le système de production de compétences définis, nous proposerons, pour répondre au besoin d'une aide méthodologique apte à guider les établissements de formation, une méthodologie de conception des systèmes de production de compétences. Elle s'appuie sur la projection au système de production de compétences du

¹ Mise en oeuvre, en situation professionnelle, de capacités qui permettent d'exercer convenablement une fonction ou une activité. (AFNOR).

paradigme tâche/compétence/acteur/activité dans une caractérisation et une spécification des chacune des entités concernées et repère les différentes phases de conception et de réalisation selon le cycle de vie du produit de formation considéré.

Ce chapitre est décomposé en trois parties. La première partie est consacrée à l'exploration du paradigme tâche/compétence/acteur/activité ; elle permet la transposition des concepts sous-tendus par cette modélisation au domaine de l'ingénierie des systèmes de production de compétences.

La deuxième partie est une contribution à la définition d'un système de production de compétences sous l'angle de l'approche systémique en vue de sa caractérisation ultérieure (chapitre 4).

La troisième partie propose une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences.

Au cours de la description de nos travaux, quelques exemples, empruntés au monde industriel ou à celui de la formation, illustreront les propos tenus ; les exemples trop « volumineux » sont renvoyés en annexe afin de ne pas perturber la construction du discours.

3.2. APPLICATION DU PARADIGME TACHE/COMPETENCE/ACTEUR/ACTIVITE AU SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Nous avons montré au chapitre 1 qu'un système de production de compétences présentait certaines analogies avec un système de production. Notamment, dans l'analyse SADT, paragraphe 1.6, nous avons déterminé que l'un et l'autre se décomposait en un enchaînement logique d'activités parcourues par divers flux et contraintes par différentes ressources. Nous proposons de prolonger cette étude par la définition d'un ensemble de relations réunissant ces différentes entités.

3.2.1. Présentation du modèle de base

Plusieurs travaux de recherche ont déjà montré l'intérêt de l'utilisation d'un modèle de type Entité/Relation¹ [Chen, 76], [Tardieu, 85], [Brenier, 92], [Vernadat, 99] dans l'analyse, la description et la compréhension d'un phénomène complexe de production. Ainsi, en Génie Industriel, on peut considérer principalement les travaux de Gourc, Jia, Boucher et Harzallah :

- Gourc [97], en fondant l'« acteur » et le « processus élémentaire » dans sa définition de l'activité, travaille sur le doublet tâche/activité pour proposer une méthode de ré-ingénierie des systèmes de production ;
- Jia [98] applique le modèle Entité/Relation au triplet tâche/compétence/ressource, en associant la notion de compétence aux attributs des ressources humaines de l'acteur ; tout comme dans CIMOSA, une « tâche » requiert des « compétences » et les « compétences » sont fournies par des « ressources » ; par contre, la notion d'acteur, en tant que processeur de la tâche

¹ Le lecteur trouvera les compléments nécessaires à la compréhension du modèle Entité/Relation dans [Chen, 76], [Brenier, 92], [Vernadat, 99].

(c'est-à-dire réunissant une combinaison de ressources humaines, ressources technologiques et ressources logicielles) n'apparaît pas ici ;

- Boucher [99], dissociant le couple « acteur-activité », propose le paradigme **compétence/acteur/activité** pour développer une méthodologie d'ingénierie simultanée fondée sur la coopération d'activités ;
- Harzallah [00], dans la modélisation globale de la compétence préconise plus spécifiquement le triplet **individu/compétence/activité** dans les démarches de réorganisation d'entreprise (ici à nouveau, l'activité requiert des compétences qui sont fournies par l'individu).

Dans nos travaux, nous nous appuyons sur une synthèse de ces différentes approches de manière à relier de façon plus globale toutes les entités relatives à la compétences entre elles.

La figure 3.1 présente le méta-modèle de base retenu et qui intègre les concepts de « tâche », « compétence », « acteur » et « activité », tout en respectant les approches déjà évoquées.

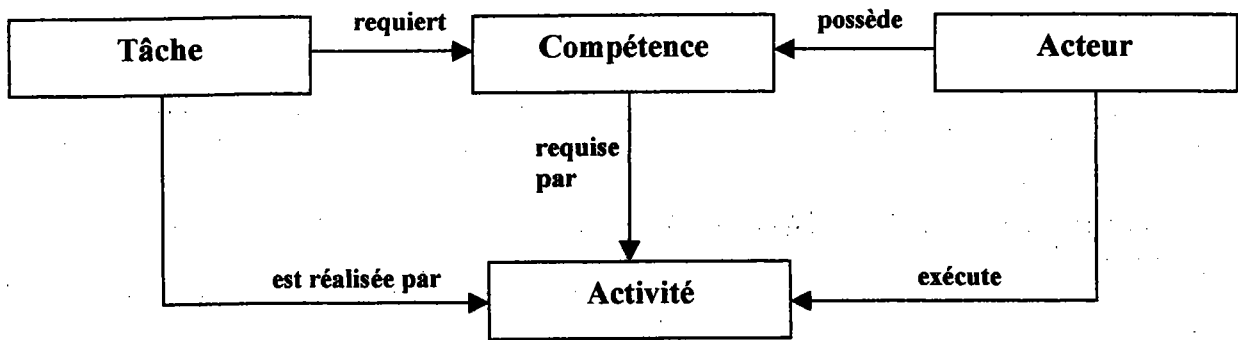


Figure 3.1 : Modèle Entité/Relation étendu au formalisme Tâche/Compétence/Acteur/Activité.

3.2.2. Explicitation du modèle

Par définition, une entité est un objet discernable d'autres objets. Le diagramme Entité/Relation de la figure 3.1 représente les classes de relations existant entre les classes d'entités retenues.

Une classe d'entités est un ensemble d'entités de même type (ou occurrences). Par exemple, la classe d'entités « Compétence » regroupe toutes les compétences nécessaires à la réalisation de l'activité par un acteur donné.

On appelle relation, l'association entre au moins deux classes d'entités. Par exemple, la relation « est réalisée par » associe la classe d'entités « Tâche » avec la classe d'entités « Activité » (la Tâche « est réalisée par » l'Activité).

On appelle attributs, les données caractérisant une entité, par exemple l'entité « Compétence » a pour attributs majeurs les savoirs, savoir-faire et savoir-être caractéristiques de la

compétence donnée. Une classe d'entités est donc définie par une collection d'attributs qui lui est associée.

Lorsqu'on effectue la modélisation d'un système de données, l'approche descendante du modèle Entité/Relation permet de construire la structure de la base de données correspondante.

Nous pouvons dire en appliquant le modèle décrit par la figure 3.1, que :

- une « tâche » de formation « est réalisée par » une « activité » d'enseignement ;
- une « tâche » de formation « requiert » une « compétence » ;
- un « acteur » de formation « possède » la « compétence » requise ;
- un « acteur » de formation « exécute » l' « activité » d'enseignement ;
- une « compétence » « est requise par » l' « activité » d'enseignement.

Nous avons alors défini le paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité nous permettant de décrire par la suite les missions d'un système de production de compétences.

Le lecteur peut être surpris par la disparition du concept de « ressources », cher à l'organisation de l'entreprise. En fait, comme le montre la figure 3.1, l'évolution du concept d'acteur a permis d'absorber le concept de ressources en l'intégrant à l'acteur ; l'acteur est alors composé de l'ensemble des ressources humaines (RH), des ressources technologiques (RT) et des ressources logicielles (RL), et devient ainsi le processeur.

Afin de mieux présenter notre contribution, nous proposons de définir précisément chacun des termes nécessaires à l'analyse des concepts utilisés dans l'étude des systèmes de production de compétences.

3.2.3. Définition des concepts utilisés

Nous appuyons ici notre réflexion sur les concepts de CIMOSA et sur la démarche de Modélisation d'Entreprise pour la Conception Intégrée (MECI) ; les définitions des composants d'organisation lui sont empruntées ; deux composants d'organisation sont employés : le poste de travail et l'unité d'organisation.

3.1.3.1. Le poste de travail

Le poste de charge est le composant d'organisation de base que nous utilisons pour nos travaux de modélisation et de ré-ingénierie. La transformation d'un ou plusieurs objets d'entreprise, réalisée au sein d'un poste de charge est appelée activité. L'activité est la réalisation effective d'une tâche. Dans le cadre de sa description, il convient de préciser :

le ou les acteurs de la transformation et les compétences exigées,
les conditions de réalisation de la tâche.

a) Objets physiques d'entreprise

« Les objets dont on peut avoir une preuve de leur existence par des caractéristiques morphologiques et dont la considération repose essentiellement sur leurs propriétés matérielles et palpables sont qualifiés d'objets physiques d'entreprise »

b) Objets informationnels d'entreprise

« Les objets qui sont considérés essentiellement pour ce qu'ils représentent, c'est-à-dire que c'est la sémantique que l'on peut associer à leur existence qui est primordiale, sont qualifiés d'objets informationnels d'entreprise »

c) Tâche

« Une tâche est considérée comme l'énoncé d'un but à atteindre qui concerne l'obtention d'un ou plusieurs objets d'entreprise par modification des caractéristiques d'un ou plusieurs objets informationnels d'entreprise appelés composant(s) »

d) Compétence

« Une compétence est une combinaison de savoir, de savoir-faire et de savoir-être pour agir ou réagir dans une situation fortement contextualisée »

e) Ressource

« Une ressource est un moyen élémentaire dont la mise en œuvre, associée à d'autres ressources, permet la réalisation d'une ou plusieurs tâches »
Une ressource peut être humaine, technologique ou logicielle.

f) Acteur (ou processeur)

« L'acteur est l'association effective d'une ou plusieurs ressources humaines à une ou plusieurs ressources technologiques ou logicielles, pour la réalisation effective d'une ou plusieurs tâches »

g) Activité

« L'activité est le comportement concret (constitué d'un ensemble d'opérations) d'un acteur déterminé en situation de réaliser effectivement une tâche ». L'activité est caractérisée par ses entrées et ses sorties (objets de l'entreprise) et utilise du temps et des ressources pour la durée de son exécution.

3.1.3.2. L'unité d'organisation

Une unité d'organisation est une entité organisationnelle regroupant plusieurs postes de travail ayant pour mission de transformer une collection d'objets d'entreprise (physiques ou informationnels) intrants en une collection d'objets d'entreprise extrants dans le cadre d'objectifs et de contraintes fixés par la conduite externe de l'unité considérée. Elle fournit un compte-rendu de sa mission à son environnement.

a) Conduite externe d'une unité d'organisation

Dans le cadre du fonctionnement d'un système, la conduite externe d'une unité d'organisation est définie par l'ensemble des entités composant son environnement et susceptibles d'élaborer les objectifs et contraintes transmis à cette dernière pour orienter ses décisions.

b) Vue interne de l'unité d'organisation

Une unité d'organisation est composée d'un processus de conduite interne et d'un processus opérant.

(1) Processus

« D'une manière générale, un processus est un ensemble partiellement ordonné d'activités pour réaliser plusieurs tâches relevant d'une même mission ».

Un processus opérationnel a pour but de réaliser un des objectifs généraux de l'entreprise. Par exemple : fabriquer un produit. Tout processus utile à l'entreprise est un processus opérationnel. Parmi les processus opérationnels, on peut distinguer les processus de conduite interne et les processus opérants.

(2) Processus de conduite interne

Un processus de conduite interne a pour mission de transformer les objectifs en signaux d'action, qui ont eux-mêmes pour rôle de déclencher les processus opérationnels et d'élaborer le compte-rendu du fonctionnement de l'unité d'organisation.

Un processus de conduite interne est constitué par l'ensemble des acteurs chargés de la réalisation des tâches de « contrôle commande » du processus opérationnel.

(3) Processus opérant (ou processus de transformation)

Un processus opérant est constitué par l'ensemble des acteurs chargés de la réalisation de l'ensemble des tâches de transformation.

c) Performance de l'unité d'organisation

La description complète d'une unité d'organisation implique du point de vue de son évaluation :

- la mesure du niveau ;
- la mesure de la performance globale au travers d'un jeu multicritère d'indicateurs de performance.

d) Objectif

« Un objectif est un élément permettant d'orienter la mission d'une unité d'organisation. Il est défini par la conduite externe ».

Selon la mission fixée à l'unité d'organisation, l'objectif :

- peut-être quantifié, par exemple le taux de fonctionnement brut doit être supérieur à 0.875 ;
- ou signifier une orientation : augmenter le taux de fonctionnement.

e) Indicateur de performance

A chaque objectif fixé par la conduite externe ou interne doit correspondre un indicateur de performance.

« Un indicateur de performance est un critère de mesure du respect d'un objectif fixé par la conduite externe ou interne d'une unité d'organisation. Il doit être quantifiable, mesurable et programmable »

f) Inducteur de performance

« Un inducteur de performance est une entité, interne ou externe à l'unité d'organisation, qui permet de retrouver la cause de l'évolution positive ou négative de sa performance »

Ces définitions vont contribuer à préciser le concept d'ingénierie de formation dans le paragraphe suivant.

3.2.4. Définition de l'ingénierie de formation

Faute de définition consensuelle et satisfaisante de l'ingénierie de formation en tant que démarche globale de conception et de réalisation d'un système de formation, nous proposons au regard de la figure 3.2 de définir cette ingénierie.

Une **tâche** de production de compétence définit les conditions d'accroissement de compétences d'un apprenant.

La Tâche requiert des **compétences** humaines ; celles-ci sont définies par un ensemble de ressources incorporées (Savoir, Savoir-faire, Savoir-être) et de ressources associées (ressources technologiques, ressources logicielles).

L'association d'une ou plusieurs ressources humaines (RH) à une ou plusieurs ressources technologiques (RT) et/ou ressources logicielles (RL) constitue un **acteur** chargé de la réalisation de la tâche.

La réalisation effective de la tâche est appelée **activité** ; l'activité est le lieu d'action du système opérant.

Nous retenons le formalisme Tâche/Compétence/Acteur/Activité pour décrire les missions des systèmes de production de compétences.

Ainsi, la Tâche T_n énonce les conditions de transformation de la compétence CE_{n-1} de l'élève en compétence CE_n .

Elle est effectivement réalisée par une activité $A_{(T_n)}$, activité d'enseignement, conduite par un acteur $R_{(T_n)}$ possédant au moins la compétence $CA_{(T_n)}$ requise par la tâche T_n .

La composante Ressource Humaine (RH) de cet acteur $R_{(T_n)}$ dispose alors de ressources incorporées et/ou environnementales lui permettant de réaliser cette tâche.

Il importe à présent de définir chacun des termes qui compose la figure 3.2.

La tâche T_n de formation :

Nous considérons comme tâche, la tâche T_n de formation conformément à la définition donnée au chapitre 1, cohérente avec la mission générale de tout système de formation : éduquer, instruire et qualifier l'apprenant. Dans le système de production de compétences, cette tâche T_n est libellée par l'accroissement de compétences élève visé $|CE_n - CE_{n-1}|$; au sens de la définition de la tâche présentée au paragraphe 3.1.3.1., il s'agit bien d'un but assigné et d'une transformation des caractéristiques de l'intrant (Compétence Elève requise de rang $n-1$, CE_{n-1}) en caractéristiques de l'extrait (Compétence Elève acquise de rang n , CE_n).

La notion de compétence requise et de compétence acquise est fondamentale dans la définition du processus de transformation (cf. paragraphe 1.3 du chapitre 1) car elle préfigure du choix des procédés et de l'importance des délais de transformation.

Une tâche de formation serait par exemple :

- former les apprenants à la commande numérique sur tour 5 axes sur un îlot de production stabilisée ;
- préparer un élève ingénieur à la conduite de réunion de projet ;

- former un groupe d'enseignants à l'analyse systémique des systèmes de production de compétences ;
- former des techniciens supérieurs en Génie Mécanique.

a) La compétence :

Il s'agit ici de la compétence requise par la tâche, qu'il ne faut pas confondre avec la compétence (ou plutôt l'accroissement de compétence) visée par la tâche, cette dernière étant affectée à l'apprenant. On définit, sur la figure 3.1, la compétence de l'acteur A pour la tâche T_n , $CA_{(T_n)}$.

A ce niveau, un exemple de compétence serait :

- connaissances générales en systémique et en modélisation en entreprise d'un maître de conférence ;
- connaissances générales et technologiques, savoir-faire dans la mise en œuvre d'un tour 5 axes d'un professeur agrégé de génie mécanique.

b) L'acteur :

Il est défini par $R_{(T_n)}$ représentant la composition de ressources $RH + RT + RL$ nécessaires à la réalisation de la tâche T_n de formation déterminée.

Ici, un exemple d'acteur serait :

- agrégé de Génie Mécanique + ordinateur + logiciel de simulation, cet ensemble devant être disponible au moment de la réalisation de la tâche ;
- un professeur des universités + un amphi de 200 places.

Sur la représentation de la figure 3.1, nous avons étendu le modèle à l'entité « Ressources » par les relations « exploite » et « est composé » caractérisant l'acteur, au sens où l'acteur est une combinaison de ressources. La ressource est le moyen élémentaire dont le système de production de compétences dispose pour réaliser tout ou partie de la tâche de formation.

c) L'activité :

Elle correspond au comportement concret de l'acteur dans la réalisation de la tâche de formation, c'est-à-dire dans l'activité strictement d'enseignement $A_{(T_n)}$. Il s'agit bien ici de la transformation en un temps donné de l'intrant en extrant, c'est-à-dire de l'apprenant à compétence de rang $n-1$ (CE_{n-1}) en apprenant à compétences de rang n (CE_n). Elle fait l'objet d'une affectation et libération de ressources continues.

Un exemple d'activité d'enseignement serait :

- 2 heures de cours en amphi avec le professeur xx ;
- 4 heures de Travaux Pratiques sur tour à commande numérique 5 axes dans le laboratoire de formation à la productique ;
- recherche documentaire en autonomie sur Internet au Centre d'Information et de Documentation.

Nous constatons que l'activité de transformation est, dans un système de production de compétences, limitée à une activité d'enseignement ; l'enseignement est donc toujours considéré comme l'activité de transformation de la tâche de formation. Elle est indispensable pour la réalisation de la tâche de formation, elle nécessite des ressources et des compétences spécifiques.

Si nous rapprochons ce constat des résultats des recherches faites au chapitre 2 (Etat de l'art), il semble alors logique que la majeure partie des méthodologies et méthodes rencontrées ne concerne principalement que les méthodes d'enseignement (cf paragraphes 2.4 du chapitre 2).

Les difficultés rencontrées à déployer une ingénierie de formation résident ainsi dans la difficulté à considérer globalement la tâche de formation ; en ne s'intéressant qu'à l'activité d'enseignement, il est évident qu'on se prive de la possibilité de concevoir et développer toute ingénierie de formation liée aux tâches de formation, aux compétences requises pour cette tâche ainsi qu'aux acteurs de formation.

Par ailleurs, dans le cadre de nos travaux, nous nous sommes limités à l'ensemble du processus composant le cycle de vie d'un produit de formation.

Nous proposons de définir l'ingénierie de formation comme étant l'ensemble des démarches de conception et de réalisation d'un système de production de compétences structuré à partir du paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité, ces démarches concernant l'ensemble du cycle de vie d'un produit de formation.

L'ingénierie de formation correspond ainsi à l'étude des processus de mise à disposition des Compétences CA d'une ressource humaine RH (professeur) associée à des ressources technologiques RT (laboratoire de formation, manuels scolaires, consommables, ...) et/ou des ressources logicielles RL pour la réalisation d'une tâche Tn de formation conformément à un objectif fixé.

On conçoit alors qu'il s'agit tout à la fois de traiter :

- de la définition et de la planification des tâches (conception d'une filière) ;
- de la conception et de la mise à disposition des ressources technologiques (conception d'un laboratoire pédagogique, d'équipements didactiques) ;
- de la conception et mise à disposition des ressources humaines (formation initiale et continue des maîtres) ;
- des processus de maintenance des compétences des acteurs (formation continue des maîtres) ;
- de la conception des activités de production de compétences (choix des méthodes pédagogiques) ;
- de l'étude des coûts de formation (totalement absente, nous le constatons, des activités d'enseignement mais indispensable à l'évaluation de l'efficacité de la formation) ;
- de la mesure de la performance de ce système de production de compétences (indispensable à l'évaluation de l'efficacité de la formation) ;
- ...

Dans le chapitre précédent, nous avons montré qu'un système de production de compétences s'apparente, en tant qu'unité d'organisation, à un système de production industriel.

Nous proposons dans le paragraphe suivant d'appliquer le modèle conceptuel aux systèmes de production de compétences afin de dégager une méthodologie de l'ingénierie pédagogique.

3.3. ADAPTATION DU MODELE CONCEPTUEL A LA CONCEPTION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION DE COMPETENCES

Une approche systémique de la formation est indispensable à la compréhension du fonctionnement et du pilotage d'un système de production de compétences.

Nous nous proposons d'étudier le système de production de compétences en tant qu'unité d'organisation dédiée à la production d'un accroissement de compétences de l'apprenant. A cette fin, nous précisons les notions d'unité d'organisation, de facteurs clé du succès et de conduite interne ou externe d'une unité d'organisation.

Enfin, après avoir défini les composants du système de conduite, nous projeterons ce modèle sur un système de formation existant, l'Ecole d'Ingénieurs de Tours, afin d'obtenir une vision des flux plus significative de son organisation.

3.3.1. Notion d'unité d'organisation

L'unité d'organisation définie dans AICOSCOP portait le terme d'activité. Ce changement de terme indique une volonté de rapprocher notre vocabulaire de celui de la communauté Génie Industriel. L'unité d'organisation est à la base du diagnostic et du pilotage [Lorino, 97]. En effet, elle remplit deux missions qui se trouvent au cœur d'une gestion efficace d'un système :

- offrir une capacité d'analyse et de compréhension de la performance,
- fonder le déploiement de la stratégie dans l'entreprise (pilotage).

Les performances s'accomplissent à travers la réalisation d'activités organisées en processus opérants. Le processus opérant est piloté par la conduite interne qui reçoit des objectifs et des contraintes et génère des décisions nécessaires pour transformer les intrants du processus opérant en extrants. Nous appelons parfois la conduite interne le processus de pilotage.

Les contraintes correspondent à des conditions qui doivent être satisfaites impérativement. Elles limitent l'ensemble des actions possibles de conduite interne. En ce sens, elles influencent les performances de l'unité d'organisation considérée.

Le ou les objectif(s) permet(tent) de sélectionner la meilleure action de conduite interne à retenir parmi les possibles lors de la décision. La préparation de la décision est assurée par le processus de pilotage.

La description de la unité d'organisation implique :

- la mesure du niveau de l'activité du processus opérationnel,
- la mesure de sa performance.

Le niveau d'activité ne peut-être qu'homogène à la mesure des objets extrants, par exemple un débit d'objets par unité de temps.

La performance de l'unité d'organisation ne pourra être mesurée, en général, qu'à travers une analyse multicritère de plusieurs indicateurs de performances (par exemple : coûts, délai, qualité, ...)

3.3.2. Facteurs clés de succès (FCS)

Les facteurs dont on estime qu'ils contribuent de manière décisive au profit de l'entreprise ($\text{profit} = \text{valeur} - \text{coût}$) constituent les « facteurs clés de succès ».

Une unité d'organisation contribue à la performance économique, d'une part par les coûts qu'elle absorbe ou fait absorber par une autre unité d'organisation, d'autre part par la valeur économique qu'elle crée ou permet de créer par ailleurs.

Le mécanisme de création de la valeur ne peut pas être chiffré, mais seulement approché de manière heuristique à travers un certain nombre de facteurs dont on sait expérimentalement qu'ils contribuent à la valeur (qualité, délai, ...).

3.3.3. Conduite interne – conduite externe d'une unité d'organisation

La conduite d'une activité est l'ensemble des décisions prises pour qu'une unité d'organisation puisse se réaliser conformément aux FCS retenus. On distingue la conduite interne et la conduite externe.

3.3.3.1. Conduite interne

Le processus opérationnel (donc les activités) et le processus de pilotage mettent en œuvre des savoir-faire. Ce savoir-faire n'est que partiellement modélisé et formalisé, donc appropriable de l'extérieur, et comprend des « domaines indéterminés » ou « domaines de choix ». On entendra par là des actions dont les caractéristiques doivent être décidées par l'opérateur lui-même (qui agit ou qui décide) au vu d'un certain nombre d'informations.

Les décisions qui sont prises par l'opérateur de décision dans le cadre de la « conduite interne » sont influencées, orientées par des contraintes d'environnement et par des objectifs impartis et acceptés.

3.3.3.2. Conduite externe

Le jeu de contraintes et d'objectifs transmis au décideur d'une unité d'organisation et orientant ses décisions de conduite interne constitue ce que nous appellerons la « conduite externe » ou « orientation ».

Nous venons de préciser la notion d'unité d'organisation. Nous nous proposons de l'appliquer sans plus tarder au modèle conceptuel.

3.3.4. Présentation du modèle conceptuel

Nous cherchons à identifier, à travers la présentation du modèle conceptuel, les origines des contraintes et des objectifs influençant la performance d'un processus opérant. Nous présenterons, au paragraphe suivant, quelques éléments capables d'alimenter notre réflexion sur la performance des systèmes de production de compétences.

Il est indispensable d'identifier clairement les décisions susceptibles d'influencer les performances d'un processus opérant. Ces décisions sont le résultat (extrait) de processus ou d'activité qui sont susceptibles d'intervenir sur les différentes caractéristiques identifiées d'une unité d'organisation. On peut ainsi décomposer le système de conduite en cinq types de processus :

a) Processus de conception de l'extrait

Il s'agit du processus qui conçoit l'extrait (ou les extraits) produit par l'unité d'organisation considérée. Ce processus a pour but de :

- de définir les caractéristiques de l'extrait (ou des extraits) produit(s) par le processus opérant lors de l'activité ;
- de définir les caractéristiques des intrants primaires à utiliser ;
- de définir les principes de transformation.

Exemple industriel : conception des plans d'un produit intermédiaire.

Exemple « pédagogique » : conception du cahier des charges d'une formation

b) Processus de conception du processus opérationnel d'obtention de l'extrait

Il s'agit de définir le processus opérationnel d'obtention de l'extrait produit par l'unité d'organisation analysée à l'aide de ressources. Ce processus (ou cette activité) définit :

- l'ensemble des tâches élémentaires à réaliser pour transformer les intrants en extraits, leur organisation et leurs relations ;
- les types de compétences requises pour l'exécution de chacune des tâches.

Exemples industriels :

- *Conception d'une gamme opératoire*
- *Conception d'une procédure d'aide à la décision*

Exemples « pédagogiques » :

- *Conception d'un processus d'enseignement de type Cours-Travaux Dirigés-Travaux Pratiques*
- *Conception d'un contrôle de connaissances*

Remarque :

On voit apparaître le concept de tâches mises en jeu lors de l'exécution d'un processus. Sa définition peut être plus ou moins fine, dépendant du degré d'abstraction que l'on souhaite manipuler, en particulier pour la conduite interne. Une tâche constitue, vue de l'unité d'organisation à laquelle elle appartient, un tout indissociable, même si en d'autres circonstances, elle pourra elle-même être considérée comme décomposable en de nouvelles tâches plus fines.

c) **Processus de conception et de mise à disposition des ressources**

Il s'agit ici d'assurer la mise à disposition des ressources possédant les compétences requises pour l'exécution des tâches de l'unité d'organisation. Trois aspects sont à considérer :

- spécification et choix des ressources et de leur organisation,
- définition du niveau, de l'acquisition et de l'implantation des ressources,
- définition des conditions de leur fiabilisation.

Exemple industriel : Conception d'un atelier de fabrication.

Exemple « pédagogique » :

- Conception d'un laboratoire de formation
- Conception d'un manuel scolaire, d'un logiciel pédagogique
- Conception d'un Centre d'Informations et de Documentation

d) **Processus d'exploitation**

Il s'agit du processus qui définit le plan de production de l'extrait de l'unité d'organisation considérée.

Remarque :

Certaines activités relevant de ce processus peuvent être décentralisées localement au niveau de la unité d'organisation (par exemple : ordonnancement d'atelier).

Exemple « pédagogique » : Affectation des ressources à partir d'un emploi du temps

e) **Processus produisant les intrants**

Ces processus peuvent influencer la performance de l'unité d'organisation analysée dans la mesure où les intrants attendus ne possèdent pas les caractéristiques attendues.

Exemple « pédagogique » : Processus de recrutement des candidats à une école d'ingénieurs

f) **Processus produisant les objectifs**

Ce processus, initialement non prévu dans AICOSCOP, est celui qui définit les FCS, les objectifs globaux et locaux. Nous l'appelons fréquemment processus stratégique. Il définit alors également les politiques de conception, de production, etc.

Ces processus sont regroupés au sein de unités d'organisation telles que nous les avons décrites précédemment.

3.3.4.1. Notion de système opératoire

Les descriptions précédentes du système de conduite d'une unité d'organisation (conduite interne et conduite externe) ont fait apparaître la nécessité de considérer plusieurs processus lorsque l'on traite simultanément les aspects conception et exploitation de ces unités.

Ceci nous a conduit à introduire le concept de « système opératoire ». Un système opératoire se compose d'un système opérant, d'un système d'information et d'un système de conduite.

a) Système opérant

Le système opérant d'un système opératoire est l'ensemble des acteurs mis à la disposition d'une unité d'organisation pour la réalisation effective des tâches de transformation des objets intrants.

Un système opérant peut être composé d'un ensemble d'unités d'organisation qui concourent à un même objectif global (par exemple : *produire* un objet est composé d'*acquérir* les matières premières et de les *transformer* pour obtenir des produits finis ; *produire* un ingénieur est composé de *recruter* un candidat et *transformer* ce candidat en ingénieur).

b) Système de conduite

Il s'agit du système dans lequel sont prises l'ensemble des décisions nécessaires à la production des objets issus de ou des unités d'organisation. En fonction de ce que nous avons vu précédemment, ce système de conduite (conduite externe) comprend :

- un module de conception des objets produits par chaque unité d'organisation (processus de conception de l'objet extrant) ;
- un module de conception et de réalisation du système opérant du système opératoire considérée (processus de conception du processus opérationnel d'obtention de l'objet et processus de conception et de mise à disposition des ressources) ;
- un module d'exploitation des ressources du système opérant ;
- un module stratégique.

Remarques :

- i) Les deux premiers modules peuvent être regroupés sous forme de deux unités d'organisation coordonnées dans le cadre d'un système nommé système d'ingénierie.
- ii) Le module d'exploitation peut s'assimiler à la gestion de production, dans le cas d'un système de production. Plus généralement on parle de système de gestion.

c) Système d'information

Le système d'information a la charge de saisir, de mémoriser et de transmettre les informations entre l'environnement, le système de conduite et les différents constituants du système opérant.

Cette analyse plus fine du système de conduite d'un système opératoire va nous permettre de mieux appréhender le pilotage d'un système de production de compétences. Nous l'appliquerons, à titre d'exemple, au cas de l'École d'Ingénieurs de Tours, uniquement à propos de la tâche de formation d'ingénieurs¹.

¹ L'École d'Ingénieurs de Tours possède trois missions distinctes : la formation initiale d'ingénieurs, la formation continue à destination des ingénieurs et la production de savoir en tant que mission principale de la recherche. Nous intéresserons exclusivement à la première.

3.3.4.2. Application du modèle à la description du système de production de compétences

Nous venons d'identifier les différents processus définissant les modules (ou unités d'organisation) constituant le système de conduite¹.

Le système opératoire de formation du système de production de compétences est donc composé de :

- un système opérant de production de compétences,
- un système de conduite composé de quatre modules (ou unités d'organisation) qui sont : conception des objets produits, conception et réalisation du système opérant de production de compétences, un module d'exploitation des ressources et un module stratégique,
- un système d'information.

Appliquons cette décomposition au système opérant de production de compétences de l'Ecole d'Ingénieurs de Tours (EIT). La figure 3.2 montre cette décomposition.

Trois missions différentes sont assignées à l'EIT : la formation initiale des ingénieurs, la formation continue d'ingénieurs et la recherche. L'exemple d'application que nous traitons ne prend en compte que la première mission : la formation initiale des ingénieurs.

Globalement, le système opérant de production de compétences de l'EIT a pour extrants des ingénieurs GIPM et des ingénieurs P&E. Il a pour intrants des élèves candidats.

- a) Le système opérant peut se décomposer en deux unités d'organisation :
- l'unité d'organisation « recrutement des élèves »,
 - l'unité d'organisation « production de compétences ».

Remarque : ces deux unités d'organisation correspondent aux unités couramment rencontrées dans tout système de production puisqu'il s'agit respectivement de la unité d'organisation chargée de l'approvisionnement et de celle chargée de la transformation, qui définissent les deux secteurs de la production.

L'unité « recrutement des élèves » a pour extrant des élèves ingénieurs et pour intrant des élèves candidats.

L'unité « production des compétences » a pour extrant des ingénieurs GIPM et des ingénieurs P&E.

Remarque : Chacune des unités peut être décomposée en unités de niveau inférieur.

b) Système de conduite

I. Conception des objets produits (ingénieurs)

¹ Un exemple industriel est donné à propos de la production d'un micro-interrupteur en Annexe 4: Exemple de système opératoire de production industrielle.

Ce module (ou unité d'organisation) a pour mission de spécifier les compétences requises pour exercer les missions d'un ingénieur en GIPM ou d'un ingénieur en P&E. Cette spécification est construite sur la base de notre modèle savoir – savoir-faire – savoir-être. Il devra également définir les compétences minimales des élèves admis après les épreuves du concours de recrutement. La spécification est également construite sur la base du modèle savoir – savoir-faire – savoir-être.

II. Conception et réalisation du système opérant « production de compétences »

Cette unité d'organisation a deux missions distinctes :

- Conception du processus opérationnel d'obtention de l'objet :

- Objet « Elève » : c'est la définition des conditions de réalisation du concours de recrutement. Dans le cas d'un concours commun cette mission n'est pas du ressort de la démarche proposée.
- Objet « Ingénieur » : c'est la rédaction du programme des enseignements, des stages, des projets,... Nous allons à ce stade définir les tâches et les compétences requises pour les réaliser.

- Conception et mise à disposition des ressources : il s'agit ici de définir les acteurs (ressources humaines RH, ressources technologiques RT et ressources logicielles RL) du système opérant. Il faut donc définir les spécifications des enseignants, des équipements et des logiciels qui vont permettre de réaliser les tâches de formation des élèves ingénieurs. La mise à disposition s'effectue :

- pour les enseignants : selon le mode de recrutement de l'établissement considéré (*par exemple : commission de spécialistes*)
- pour les équipements et les logiciels : on retrouve un processus d'investissement classique. C'est à ce stade que l'on doit se préoccuper de la fiabilisation des ressources technologiques (*maintenance par exemple*)

III. Exploitation des ressources du système opérant « production des compétences »

C'est la mise en œuvre du programme des enseignements (planification, affectation des ressources,...). Cette tâche est généralement dévolue à la Direction des Études.

IV. Stratégie du système opératoire

C'est la définition des objectifs stratégiques et des objectifs locaux par le Conseil d'Administration de l'établissement et la Direction. Citons par exemple :

- Former des ingénieurs GIPM et P&E qui trouvent un emploi,
- Recruter 72 élèves par promotion,
- Concurrencer une autre école,
- Mailler le tissu industriel national,
- Fournir le recrutement en ingénieurs des grandes entreprises.

c) Le système d'information

Il est composé des unités d'organisation d'acquisition et de traitement, de mémorisation et de transfert de l'information. Il communique avec l'environnement et assure l'interfaçage du système de conduite avec le système opérant de production de compétences.

Nous venons de montrer en quoi la décomposition du modèle conceptuel permettait de mieux comprendre les missions et les fonctions d'un système de production de compétences. Cette décomposition explicite l'organisation interne du système de production de compétences en distinguant les différents flux d'informations associés aux différentes unités d'organisation.

De façon schématique, le système de conduite (SC) assure le pilotage du système opérant (SO) à partir des informations distribuées par le système d'information (SI). Mais la question du pilotage se pose à chacun des niveaux des unités d'organisation du système de production de compétences. Piloter nécessite donc que soit renseigné le système de décision sur l'état du système opérant.

Nous proposons dans le paragraphe suivant l'usage d'objectifs et d'indicateurs de performance pour rendre compte de l'état d'un système de production de compétences.

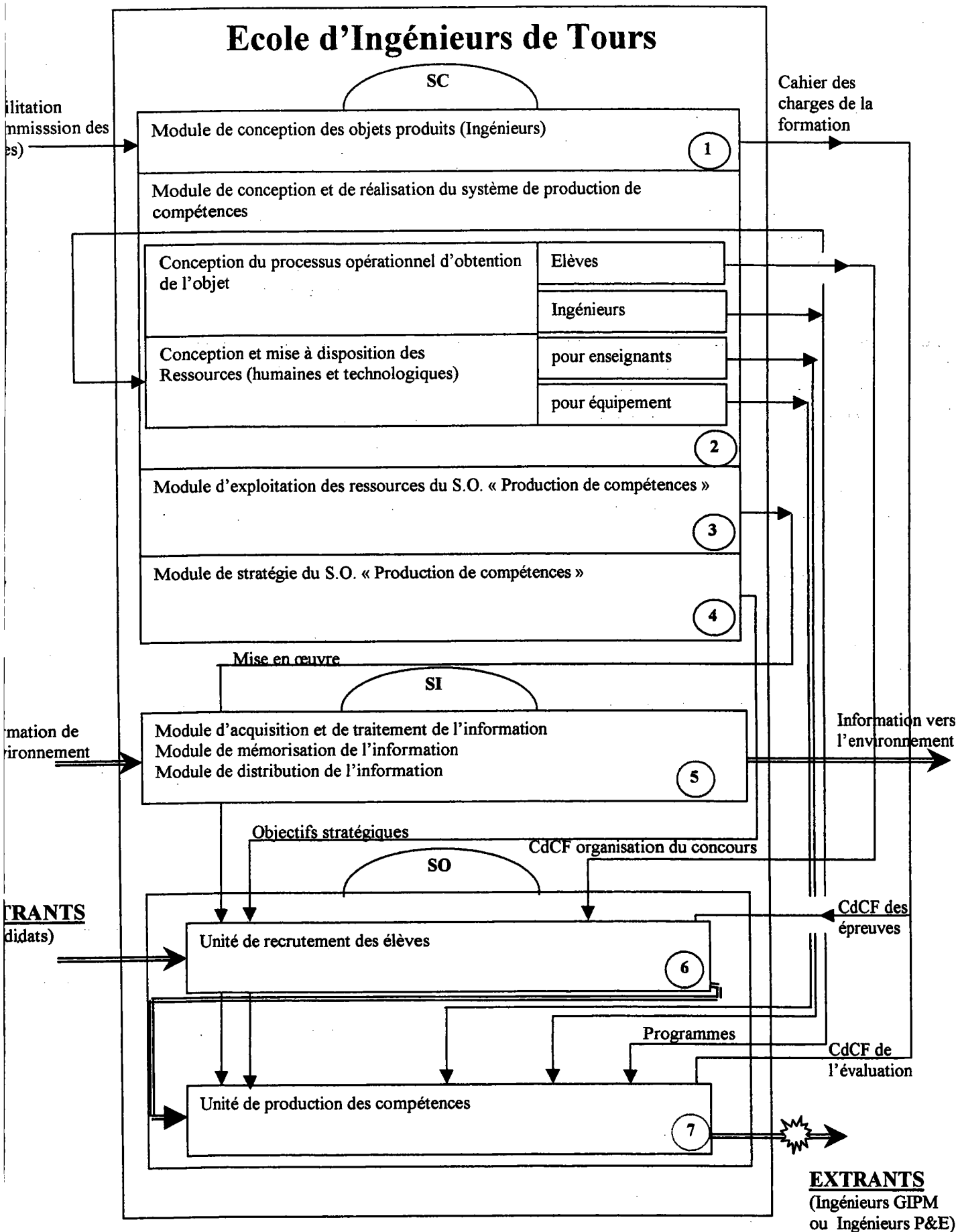


Figure 3.2 : Application du modèle descriptif d'un SPC à la formation d'ingénieurs de l'Ecole d'Ingénieurs de Tours.

3.4. Notion d'objectif et d'indicateur de performance

Le système de conduite a pour mission le pilotage du système opérant. A partir des données concernant l'état du système opérant et transmises par le système d'information, le système de conduite prend les décisions nécessaires au maintien de la performance du système.

3.4.1. La pratique industrielle

Piloter, c'est réagir selon les performances retournées par les indicateurs de performance mis en place ; le pilotage nécessite donc un diagnostic continu qui s'interroge constamment sur [Lorino 97] :

- les causes d'efficience, par rapport aux activités et processus consommant le moins de ressources possible pour un résultat donné ;
- les causes d'efficacité, soient les activités et processus produisant le résultat le plus pertinent ; nous présenterons au paragraphe XXI une typologie des processus de formation en fonction des objectifs des tâches de formation.

Usuellement, le diagnostic des performances est réalisé selon trois niveaux d'analyse :

- l'analyse des conditions de déroulement de l'activité ou du processus considérés ;
- l'analyse des répercussions des performances atteintes sur le système et les objectifs ;
- l'analyse des tendances d'évolution.

On considère ainsi qu'il existe un niveau opérationnel de diagnostic, un niveau tactique et un niveau stratégique.

Le contexte taylorien ayant évolué, les limites de la comptabilité analytique sont apparues face aux concepts de qualité, de délai et de réactivité si bien que la notion de coûts, critère retenu a posteriori de l'événement réalisé, ne constitue pas un élément pertinent dans le pilotage réactif des systèmes de production. Le décalage « cause-effet », souvent important, nécessite d'être réduit pour rendre l'entreprise réactive et performante. Être réactif, c'est piloter non pas les coûts mais leur cause.

Le raisonnement sur la base d'indicateurs de performance a rapidement été instauré sous l'impulsion notamment de Kaplan [88] et de la nécessité d'adapter les « tableaux de bord » au pilotage stratégique [Kaplan, 98].

Un **indicateur de performance** est un critère de mesure de respect des objectifs fixés par la conduite externe de l'unité d'organisation.

Il doit posséder trois caractéristiques essentielles :

- être quantifiable, c'est-à-dire prendre une valeur clairement définie¹ ;
- être mesurable, c'est-à-dire qu'un dispositif quelconque doit pouvoir en donner une valeur ;

¹ Berrah montre dans son étude que, dans le cas fréquent d'emploi d'indicateurs qualitatifs de performance, l'utilisation de la logique floue permet la substitution d'une classe de niveaux à une représentation linguistique de la valeur de l'indicateur de manière à le traiter de façon quantitative.

- être programmable afin de définir une période de validité de celui-ci en rapport avec la période de validité de l'objectif à contrôler.

Berrah [99] propose une définition de l'indicateur : « *un indicateur de performance est une expression – plus ou moins valide – qui mesure la performance de tout ou partie d'un processus ou activité d'un système (réel ou simulé), par rapport à un objectif. Cette expression est éventuellement exprimée de manière à être évaluée par rapport à la globalité des objectifs du système et appréciée au regard du contexte de déroulement de l'activité ou processus ou système considéré* ».

Cette définition montre que l'évaluation de la performance à partir d'un indicateur résulte de la comparaison entre un objectif de performance et une mesure réalisée.

Berrah définit un modèle d'indicateur de performance construit à partir de la déclaration d'un objectif et de la spécification de l'indicateur. Par convention, la déclaration de l'objectif est décrite conformément à la grammaire suivante :

$o :: \langle \text{identificateur } U_o \rangle, \langle = \rangle, \langle \text{expression} \rangle.$

où l'expression de l'objectif précise les valeurs espérées et U_o est défini par :

$U_o :: \langle \text{identificateur } U_o \rangle, \langle \text{type} \rangle, \langle \text{sous-type} \rangle, \langle \text{pas} \rangle, \langle \text{unité} \rangle, \langle \text{domaine} \rangle.$

où :

- l'identificateur permet de reconnaître l'objectif, c'est-à-dire la variable essentielle concernée ;
- le type peut être numérique et/ou linguistique ; un objectif quantitatif portant sur la taille d'un lot de fabrication est numérique ; un objectif qualitatif portant sur la qualité d'un produit, ou d'un service ou d'une activité est de type linguistique ;
- le sous-type est entier, réel, ..., pour un type numérique ; il est énuméré ou ordonné pour un type linguistique ;
- le pas, réservé au type numérique, précise de manière optionnelle la distance séparant deux éléments consécutifs ;
- l'unité précise l'unité dans laquelle l'objectif est exprimé dans le cas numérique ;
- le domaine fixe les valeurs potentielles numériques ou linguistiques prises par l'objectif.

Au paragraphe 3.3, nous appliquerons ce formalisme à la description d'objectifs de performance stratégique, tactique et opérationnel. Par exemple, nous proposons l'objectif de performance suivant :

$o :: \text{durée de formation du module } a = 20h$

$U_o :: \text{durée de formation du module } a, \text{numérique, entier, 2, heure, } N=[15, 25].$

Berrah [99] distingue le pilotage local du pilotage global. Le pilotage global (pilotage externe) nécessite des indicateurs de performance externes : succès des produits et services de l'entreprise, résultats, satisfaction des clients,... Par contre, le pilotage local (pilotage interne) requiert des indicateurs de performance internes organisés selon trois niveaux :

- **niveau entreprise** : indicateurs stratégiques correspondant à la rentabilité de l'entreprise ; ils sont regroupés en indicateurs structurels (financiers) et indicateurs conjoncturels (objectifs stratégiques) ;
- **niveau processus** : indicateurs tactiques reflétant la compétitivité de l'entreprise liée à la performance techniques des processus ; ils englobent les activités périphériques à la fabrication, notamment les relations d'échange et de synchronisation ;
- **niveau physique** : indicateurs opérationnels permettant la mesure de la performance des unités de production à travers la productivité des ressources ; ils considèrent seulement la productivité des unités de production à partir de l'utilisation des ressources.

De plus, les indicateurs de résultat ont une vocation rétrospective établie sur le contrôle des objectifs mais ne permettent pas le suivi des objectifs en cours de processus.

Les indicateurs de processus signalent l'évolution en temps réel du processus. Ils permettent d'expliquer les performances affichés par les indicateurs de résultats, d'intervenir et d'anticiper les résultats à venir en signalant la moindre dérive.

Projetons cette représentation au cas concret d'un système de production de compétences telle que l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz. Ce système est régi par le paradigme tâche/compétence/acteur/activité, tel que nous l'avons défini au chapitre 3 paragraphe 3.2. Les tâches de formation sont réalisées par des acteurs (RH+RT+RL) possédant les compétences nécessaires à la conduite des activités d'enseignement.

Il apparaît donc que les mesures physiques des indicateurs de performance, nécessaires au niveau opérationnel du pilotage, portent sur les activités d'enseignement. A ce niveau, il s'agit d'indicateurs de consommation des ressources tels que : état et disponibilité des équipements de formation, des salles et des laboratoires ; quantité de photocopies par élève par professeur ; variation du stock matière d'œuvre ; surface de laboratoire par élève ; heures d'enseignement effectivement assurées ou temps d'utilisation des ordinateurs et logiciels.

Pour le niveau tactique, la performance se déduit de la performance des processeurs. Les indicateurs concernent alors l'acteur. Ils communiquent la qualité d'affectation des ressources (les emplois du temps en sont une représentation) ; les plans de charge des laboratoires de formation ; les heures de laboratoire de formation par rapport aux heures de formation totale ; le taux d'accidents ; le taux de panne et de défaillance des équipements ; le taux de maintenance des acteurs (la formation continue des enseignants en est une expression) ; l'implication des élèves ; l'absentéisme Elève et/ou Professeur ; le taux de redoublants et de non qualifiés ; le rapport Prag/PrUniv.

Enfin, le niveau stratégique, concernant particulièrement la « rentabilité » de l'école et les objectifs stratégiques, est associé à la tâche de formation. Les indicateurs de performance sont alors :

- **des indicateurs structurels** :
- Coûts de formation par élève
- Coûts de fonctionnement de l'école
- Taux de participation financière des entreprises par rapport à la subvention état

- **des indicateurs conjoncturels :**
- Temps de conception d'une nouvelle formation
- Taux de placement des élèves ingénieurs dans la grande entreprise
- Taux de poursuite d'études en DEA, DESS
- Taux d'élèves en postes à l'étranger
- Taux de participation et d'intervention des entreprises dans l'école

La figure 3.3 illustre cette caractérisation ; elle est inspirée de la grille de Berrah (Organisation des indicateurs, p153). Nous l'avons spécifiée pour un système de production de compétences en s'attachant à respecter le paradigme tâche/compétence/acteur/activité.

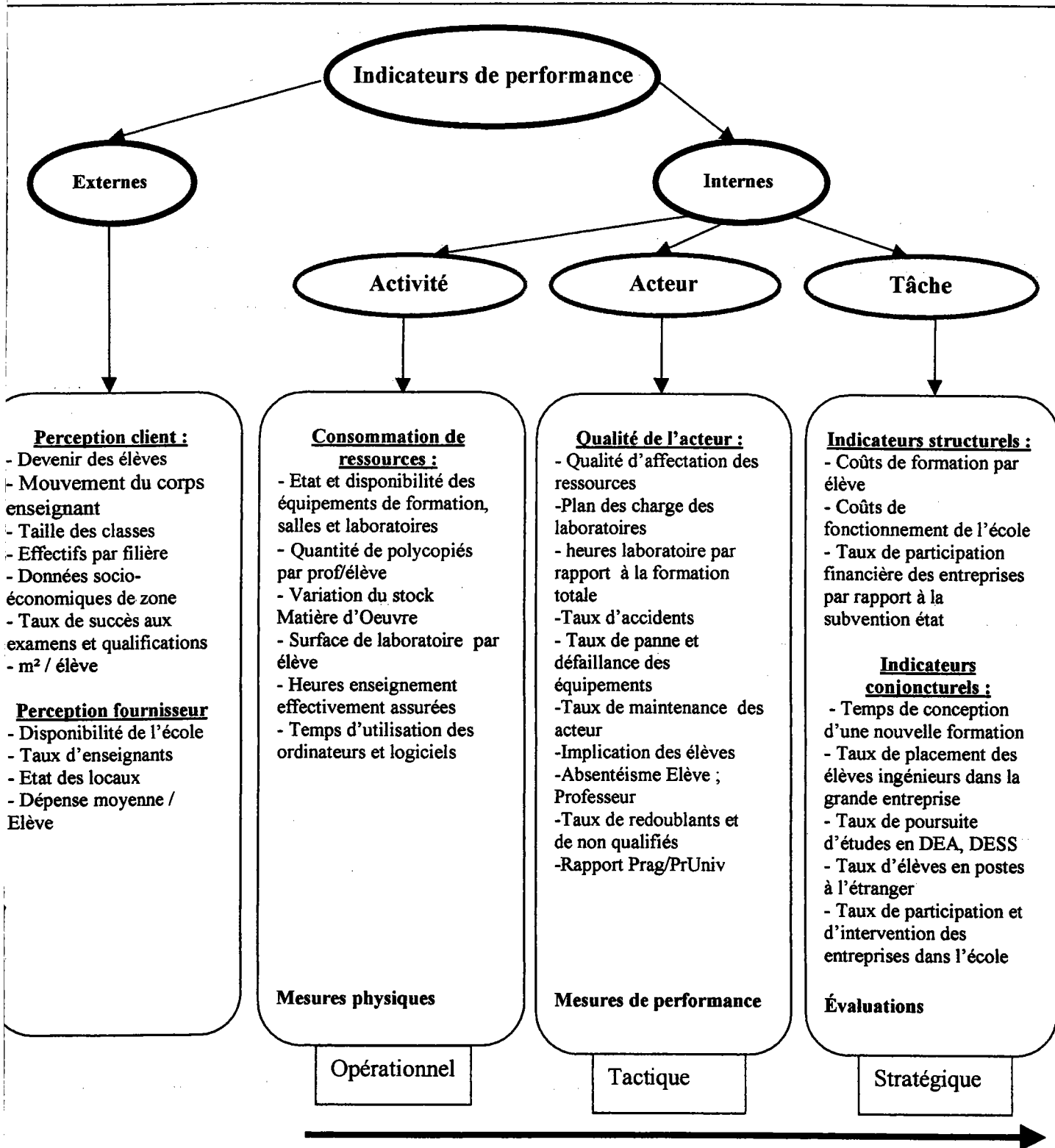


Figure 3.3 : Caractérisation des indicateurs de performance d'une école d'ingénieurs (inspiré de Berrah [97]).

3.4.2. La pratique de l'institution

Dès 1990, le Ministère de l'Éducation Nationale, Direction de l'Évaluation et de la Prospective, a publié chaque année une brochure présentant l'évolution des indicateurs du système éducatif français [Thélot, 95] pour donner des éléments d'appréciation sur son efficience, son efficacité et son équité.

Regroupés en trois grandes catégories, les coûts, les activités et les résultats, les indicateurs présentés concernent l'ensemble du système éducatif : le premier et le second degré, l'enseignement supérieur et la formation continue.

Pour l'essentiel, les indicateurs généraux des lycées¹ sont :

- les dépenses d'éducation par niveau,
- les acquis et le niveau des formés par niveau,
- l'espérance de succès à l'entrée d'un cycle de formation,
- l'incidence des variations démographiques par niveau,
- les disparités de performances des établissements,
- les effets de scolarisation sur la vie sociale de l'apprenant².

Dans leur publication [Joutard et Thélot, 99] regroupent les indicateurs généraux des lycées dans une « batterie » composées de cinq classes : les indicateurs de résultats (concernant essentiellement par des taux de réussite, d'accès ou de devenir), les indicateurs relatifs à la population prise en charge (essentiellement des caractéristiques d'élèves et d'origines sociales), des indicateurs d'environnement (particulièrement relatifs aux données socio-économiques de l'environnement), des indicateurs de ressources et de moyens (très proches de notre spécification d'acteur de formation³) et enfin des indicateurs de fonctionnement (très pertinents sur certains aspect du système éducatif⁴).

Si cette collecte d'informations est très fournie, les données restent brutes, assez peu interprétées et isolées de toute méthode d'intégration ou d'amélioration des dispositifs conçus. On informe après coup, à charge pour chaque établissement, chaque enseignant, chaque système de formation d'exploiter tout ou partie des données comme il l'entend, aucune méthodologie n'étant fournie.

On peut noter par ailleurs le souci institutionnel de tester la performance du système éducatif sur des variables telles que l'activité, les ressources et les moyens, les coûts de fonctionnement et les ressources humaines.

Le fonctionnement du système éducatif, dont il est question dans le développement d'indicateurs de performance, appelle une clarification des activités d'enseignement. Nous proposons au chapitre 3.2.6. de définir les différents processus de formation à partir des procédés d'enseignement existants.

¹ Les IPES : Indicateurs pour le Pilotage des Etablissements du Secondaire.

² Il s'agit ici des effets de la scolarisation sur l'emploi, le salaire, la situation sociale, la mobilité professionnelle.

³ Notamment les moyens horaires alloués, les caractéristiques des enseignants et les effectifs élèves.

⁴ On retrouve particulièrement le devenir des élèves, la proportion d'heures d'enseignement effectivement assurées, la tailles des classes, l'importance des services liés à l'enseignement, le mouvement du corps enseignant et les accidents dans l'établissement.

3.5. Notion de processus et de procédés d'enseignement

La notion de processus de formation est étroitement liée à celle de processus d'unité d'organisation. Vernadat [99] dirait que, naturellement conduite sous l'autorité d'une personne réputée compétente, l'activité d'enseignement est la plus petite composante organisationnelle du processus de formation. Ce processus ordonne les différents procédés de formation susceptibles de développer les compétences visées par la tâche de formation.

Les processus s'établissent à partir d'opérations d'enseignement définissant ainsi des logiques spécifiques ou « gammes » d'enseignement.

Pour Palmade [98], trois procédés d'enseignement existent : les procédés d'exposition, les procédés d'application et les procédés de contrôle. Ils correspondent à des opérations élémentaires de formation. Nous retiendrons que :

- les procédés d'exposition sont attachés à la transmission des connaissances (que l'approche soit formelle, expérimentale ou figurée) ; ils permettent la transmission du savoir théorique ; la forme la plus pertinente en est le cours ;
- les procédés d'application s'apparentent aux devoirs (que ce soit des devoirs de reproduction, d'application, d'initiative, d'intervention ou de réflexion) ; ils correspondent typiquement à ce que nous appelons Travaux Dirigés ou Travaux Pratiques, c'est-à-dire des procédés de consolidation¹ de l'acquisition ; nous distinguerons aux Travaux Pratiques, par rapport aux Travaux Dirigés, la faculté de développer par ailleurs les savoir-faire ;
- les procédés de contrôle recouvrent évidemment les examens terminaux mais aussi les contrôles en cours de formation comme disposition de mesure de la construction de l'acquis, et donc de la performance du procédé employé.

Nous proposons de faire l'inventaire de ces procédés tels qu'ils ont été définis dans la littérature officielle (Bulletin Officiel de l'Education Nationale, BOEN) ou par les pratiques de terrain, rassemblant ainsi dans un même tableau (tableau 3.2) le droit et le droit coutumier.

Nous avons listé dans le tableau 3.2 l'ensemble des différentes « opérations » d'enseignement actuellement pratiquées dans l'enseignement français de manière à produire une nomenclature des opérations d'enseignement.

Notre étude s'est intéressée à l'assemblage de ces opérations de façon à constituer des « gammes » d'enseignement en cohérence avec les objectifs pédagogiques visés.

Il ressort de cette analyse que ces opérations d'enseignement présentent les caractéristiques suivantes selon leur nature :

- la taille des lots d'élèves à traiter varie (de un à deux élèves pour une formation par apprentissage avec maître, à trois cents étudiants en conférence dans un amphi) ;

¹ Nous définissons ici les procédés de consolidation comme des procédés d'assistance à l'assimilation des contenus théoriques préalablement dispensés par des procédés d'exposition.

- l'opération d'enseignement fait référence à un objectif d'enseignement (cas de tous les enseignements de programme) ou une recherche de « re motivation » (« reconditionnement »). Pour cet aspect, les caractéristiques de l'acteur peuvent être très différentes d'une opération d'enseignement à l'autre ;
- la nature et le volume des ressources varient selon les opérations. La notion de coûts de formation est directement liée à cette caractéristique ; elle prend en compte les coûts liés aux ressources humaines (RH), technologiques (RT) et logicielles (RL) de l'acteur (minimes pour une formation à distance et maximaux pour des travaux pratiques) ;
- selon que l'on utilise une opération d'enseignement en « présentiel ou « non présentiel », » l'acteur peut être mutualisée ou non ;
- la spécificité de l'opération préfigure l'utilisation d'un indicateur de performance directement lié aux attributs de la compétence élève attendue : Savoir, Savoir-faire et/ou Savoir-être.

Symbole	Désignation	Caractéristiques principales
Cs	Cours	Procédé d'enseignement de masse des connaissances Enseignement de programme
ED (TD)	Exercice Dirigé (ou Travail Dirigé)	Procédé dédié à l'assimilation des connaissances à effectif réduit
TP (EC)	Travaux Pratiques(ou Etudes de Cas)	Procédé de construction de compétences à effectif très réduit pour un développement de savoir-faire
TPE	Travaux Personnels Encadrés	Procédé interdisciplinaire de motivation Pas de programme – lycée 1 ^{ère}
SE	Stage en Entreprise	Procédé d'immersion culturelle avec obligation de résultat
Cf	Conférences	Procédé d'enseignement sélectif de connaissances
Pt	Projet	Procédé de mobilisation des connaissances et des compétences Obligation de résultat
TA	Travaux Autonomes	Procédé de construction personnelle de compétences
AM	Apprentissage avec maître	Procédé de construction assistée et personnalisée de compétences en liaison avec la profession
AA	Apprentissage en Autonomie	Procédé de renforcement des compétences et des connaissances Obligation de moyen
VE	Visite d'Entreprise	Procédé d'appropriation culturelle de l'entreprise

Vx	Visite d'Exposition	Procédé d'appropriation culturelle ciblée
NTA	Nouvelles Technologies Appliquées	Procédé interdisciplinaire de remédiation à partir des outils informatiques Pas de programme - collège Obligation de résultat
TC	Travaux Croisés	Procédé interdisciplinaire de remédiation Pas de programme- collège Obligation de résultat
PD	Parcours Diversifiés	Procédé interdisciplinaire de remotivation Pas de programme-collège
AF	Auto Formation	Procédé personnel de formation
FR	Formation par la Recherche	Procédé de production de connaissances Obligation de résultat
TICE	Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement	Procédé d'acquisition de connaissances à partir d'une obligation de moyens informatiques Pas nécessairement de programme ou d'obligation de résultat
AS	Aide et Soutien	Procédé de remédiation culturelle – ED en français ou mathématiques en petits groupes ($\cong 8$) Pas de programme- lycée et collège
FD	Formation à Distance	Procédé de formation de masse en non présentiel
	Module	Procédé d'aide associé à un programme de mathématiques, français, histoire ou langues (ED en demi classe) – lycée
Op	Option	Procédé d'enseignement disciplinaire destiné à présenter une orientation possible

Tableau 3.1 : Liste des procédés d'enseignement en vigueur (BOEN, publications internes, presse syndicale).

Quelques exemples de processus stabilisés les plus couramment employés dans des activités d'enseignement sont proposés ci-dessous. Ils sont mis en œuvre tant dans l'enseignement secondaire que dans le supérieur. Ils correspondent à ce que nous pourrions appeler des « gammes types d'enseignement », c'est-à-dire des logiques d'enseignement dont on adapte quelques variations (notamment le contenu et la durée) pour satisfaire l'activité d'enseignement retenue dans la filière correspondante.

Exemples de processus d'enseignement stabilisés :

- **enseignement déductif de type universitaire** : il correspond à l'archétype de la formation générale construite sur une transmission de connaissances en cours et un affinage de son appropriation par l'élève en Travaux Dirigés (TD) ou Exercices Dirigés pour des groupes de plus faibles effectifs.

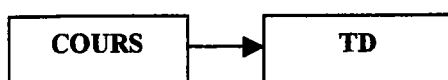


Figure 3.4 : Exemple type « Enseignement des mathématiques ».

- **formation scientifique déductive** : elle se caractérise par une transmission importante de connaissances théoriques fondée sur une logique déductive conduisant l'élève à s'appropriier le contenu théorique avant expérimentation. Les TP permettent de confirmer l'approche théorique. C'est l'enseignement de la loi sur fondement de vérification.

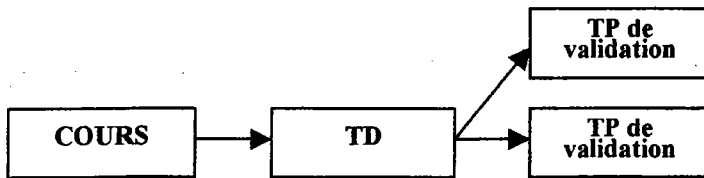


Figure 3.5 : Exemple type « Enseignement de la physique ».

- **formation déductive technologique de type universitaire** : la finalité de ce type de formation conduisant à la mise en œuvre de produits et de systèmes et la conduite de processus industriels complexes, l'appropriation des connaissances est complétée par l'acquisition des compétences nécessaires à la mise en œuvre d'équipements spécifiques à la filière choisie.

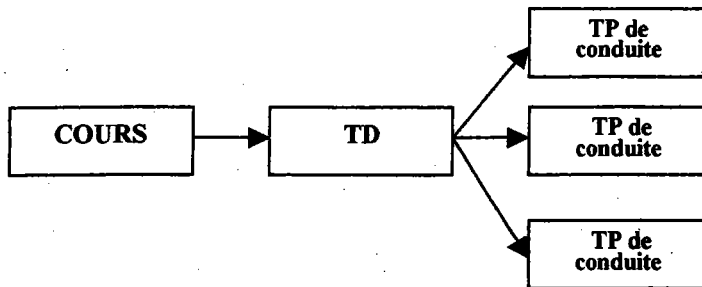


Figure 3.6 : Exemple type « Enseignement de l'automatique en école d'ingénieurs ».

- **formation inductive technologique de type enseignement secondaire** : elle se caractérise par un enseignement général et technologique préalable suivi de la mise en œuvre de TP ; ce processus se termine par un TD de synthèse nécessaire à la généralisation des concepts abordés. Les TP sont généralement justifiés par la nécessité de développer des compétences spécifiques selon les filières ainsi que le besoin de renforcer l'accès à la connaissance par l'exploration du réel ; sur ce dernier point, ce procédé très inductif se distingue du précédent.

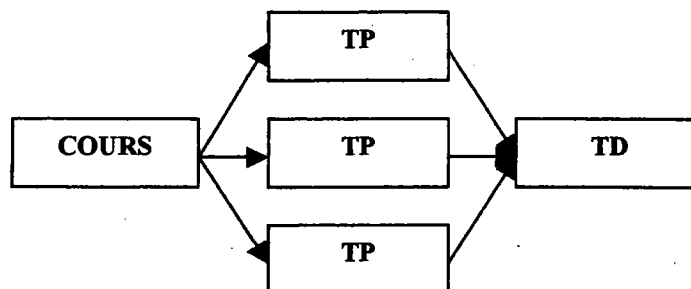


Figure 3.7 : Exemple type « Enseignement des systèmes automatisés en lycée ».

- **formation inductive professionnelle de type enseignement secondaire** : en dehors de la formation générale, elle se caractérise par une immersion la plus rapide possible avec la culture professionnelle de la filière concernée ; les TD de synthèse sont indispensables à la formalisation des contenus technologiques théoriques.

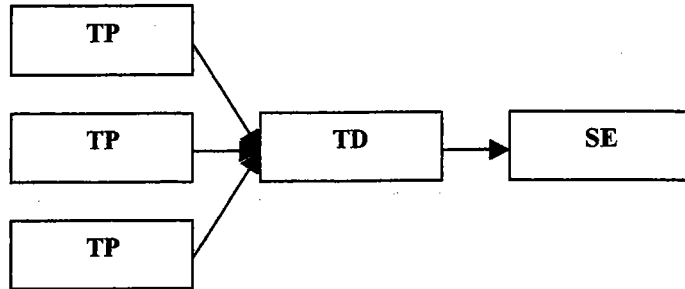


Figure 3.8 : Exemple type « Enseignement professionnel CAP ».

- **formation par la recherche** : elle se définit par l'obligation de production de connaissances ; regroupée autour d'un thème principal, la formation privilégie les travaux autonomes.

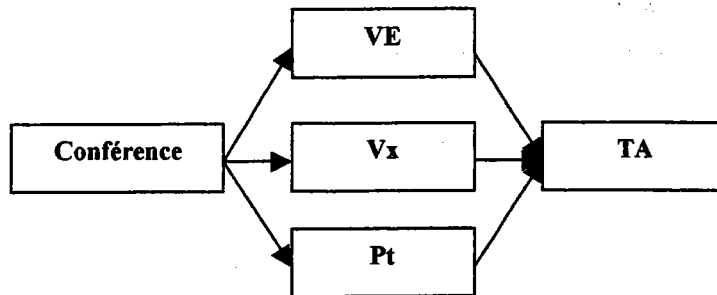


Figure 3.9 : Exemple type « Doctorat de 3^{ème} cycle ».

- **action de remédiation** : dans la combinatoire présentée ci-dessous, cette action permet de remettre à niveau des élèves de seconde à partir de deux dispositifs complémentaires de compensation culturelle leurs permettant de suivre à nouveau les cours dispensés.

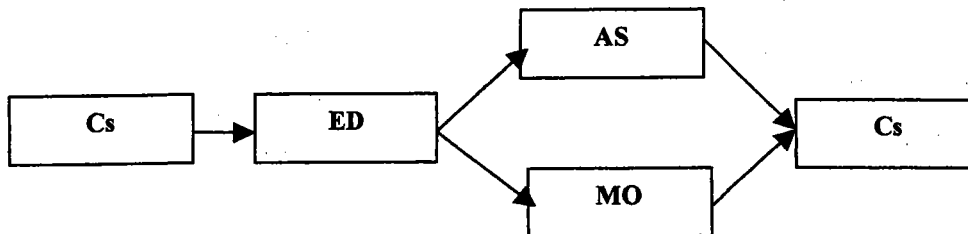


Figure 3.10 : Exemple type « Remédiation du français en seconde de lycée ».

Il apparaît que l'unité d'enseignement polyvalente capable d'assurer l'accroissement de compétence dans les domaines du savoir, du savoir-faire et du savoir-être est de la forme (figure 3.11) :

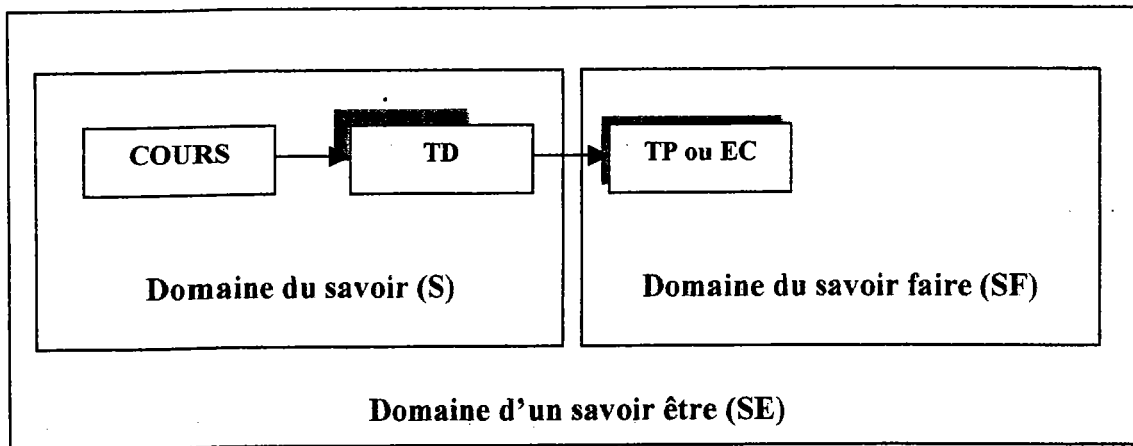


Figure 3.11 : Modèle général d'une unité d'enseignement

En l'absence de contexte de formation, nous avons préféré parler du domaine « d'un savoir-être » conformément à la définition normalisée du savoir-faire¹ qui nécessite que soit précisé le contexte relationnel dans lequel se réalise l'activité d'enseignement.

3.6. PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE D'INGENIERIE DE FORMATION

Au terme de cette présentation, nous pouvons affirmer que :

- le système de production de compétences est un système complexe, en perpétuelle transformation pour satisfaire son environnement, construit autour d'unités d'organisation en complète interaction ;
- le paradigme « tâche/compétence/acteur/activité » est la clé de voûte de l'ingénierie de formation distinguant les tâches de formation des activités d'enseignement, donc les tâches de conception des tâches réalisation ;
- les processus de formation sont architecturés autour de procédés (ou opérations) d'enseignement élémentaires dont la logique repose sur les attributs spécifiques (S, SF, SE) de la compétence visée, ou de son accroissement ;
- la qualité du pilotage d'un système de production de compétences nécessite la conception d'un système d'information capable d'acquérir, de traiter, de distribuer et de mémoriser les données issues des indicateurs de performance ;
- la mission d'un système de production de compétences demeure la coproduction de l'accroissement de compétence de l'apprenant.

Ce constat étant fait, il conviendrait de permettre à tout système de production de compétences de maintenir ses objectifs ou d'envisager sa ré-ingénierie.

La vocation de ce paragraphe est de définir une méthodologie générique de conception et de réalisation d'un système de production de compétences.

¹ Savoir-être : Terme communément employé pour définir un savoir-faire relationnel, c'est-à-dire, des comportements et attitudes attendus dans une situation donnée [AFNOR].

En nous inspirant des travaux de Petittedemange [95], nous proposons d'utiliser pour notre modélisation les six phases déterminantes du cycle de vie d'un produit de formation :

- la phase préliminaire d'avant projet ;
- la phase de conception et de développement consacré à la définition, l'industrialisation et la qualification du produit de formation ;
- la phase de production ;
- la phase de diffusion ;
- la phase d'exploitation du produit (maintenance et après-vente compris) ;
- la phase de recyclage du produit en fin de vie économique.

Si nous reprenons le schéma de la figure 3.1 (modèle Entité/Relation étendu au paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité), la finalité de tout système de formation consiste à développer chez les apprenants des compétences organisées à partir d'un produit de formation identifié, l'extrait devant alors posséder une compétence C_n réputée supérieure à la compétence C_{n-1} de l'intrant.

Dans une première approche, un système de production de compétences peut être assimilé à une unité d'organisation chargée de concevoir une formation selon une logique respectant le cycle de vie d'un produit.

Nous limiterons notre étude à la conception du système opératoire de formation composé :

- d'un système opérant de production de compétences, lieu de l'activité d'enseignement ;
- d'un système de conduite, composé lui-même des quatre modules (ou unités d'organisation) définis au paragraphe 3.2.3. : conception des objets produits (Extrants), conception et réalisation du système opérant de production de compétences, un module d'exploitation des ressources et un module stratégique ;
- d'un système d'information ayant pour mission l'interfaçage informationnelle des deux systèmes précédents.

Il s'agit donc de définir une méthodologie permettant de concevoir le système de conduite de ce SPC. En associant à la description du SPC le paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité, nous pouvons dégager six phases de cette méthodologie (figure 3.12) :

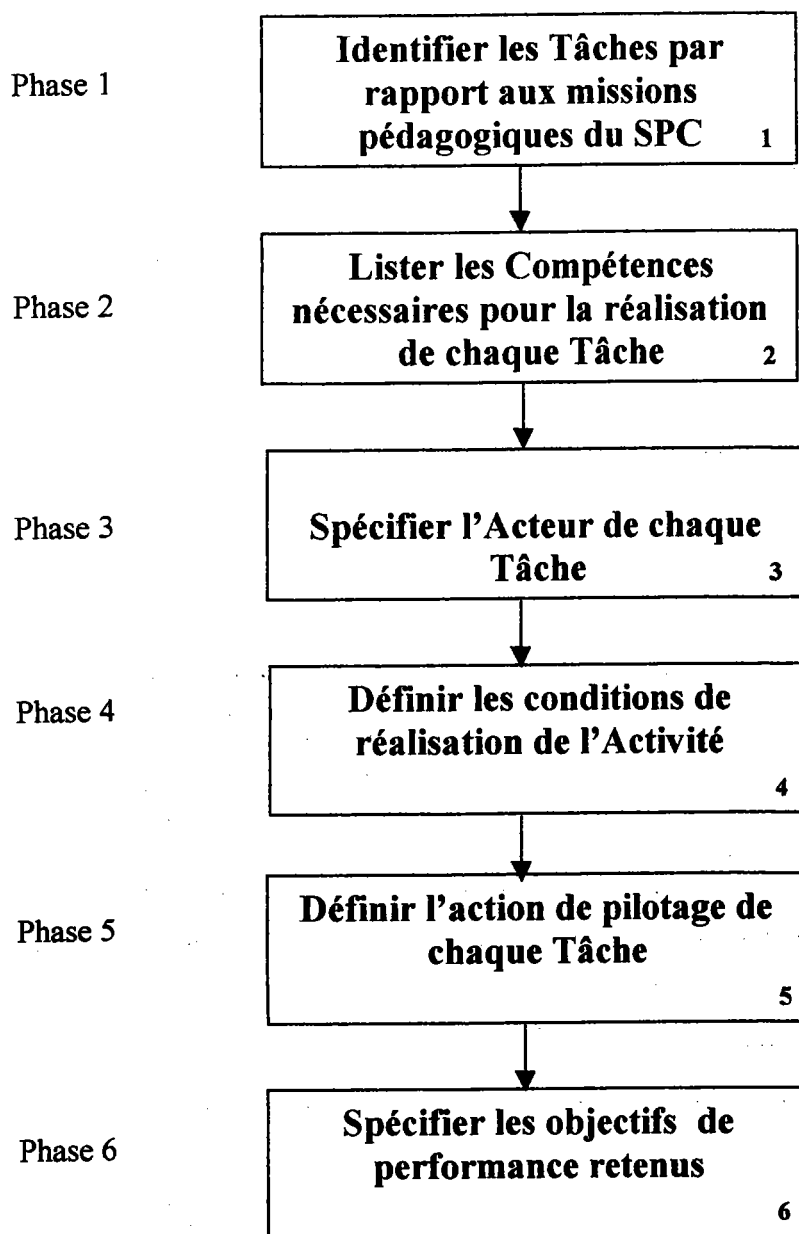
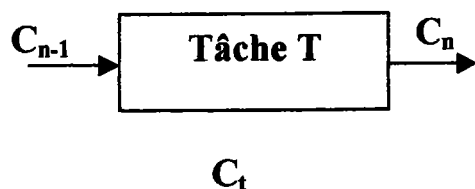


Figure 3.12 : Méthodologie de conception d'un système de production de compétences

- **Identifier les Tâches par rapport aux objectifs pédagogiques :**

Pour un objectif pédagogique donné, chaque tâche de formation T peut être identifiée par la compétence C_{n-1} précédant la tâche T , la compétence C_n visée par la tâche T et la compétence spécifique C_t de la Tâche T .



Il convient alors de spécifier la tâche T ainsi que les compétences associées C_{n-1} , C_n et C_t .

- **Lister les Compétences nécessaires pour la réalisation de la Tâche**

Il s'agit de spécifier $CA_{(T)}$, c'est-à-dire la compétence de l'acteur indispensable à la réalisation de la Tâche T ; cette compétence concerne à la fois les ressources humaines, pour lesquelles il convient d'identifier les S, SF et SE nécessaires de l'acteur, ainsi que les ressources technologiques et logicielles, pour lesquelles il faut lister les ressources environnementales disponibles.

- **Spécifier l'Acteur**

L'acteur est le processeur ; il correspond à l'association d'une (ou plus) ressource(s) humaine(s) RH à une (ou plus) ressource(s) technologique(s) RT et /ou logicielle(s) RL.

La connaissance de la compétence de l'acteur pour la réalisation de la tâche T, $CA_{(T)}$, permet de spécifier à la fois RH, RT et RL. Ceci revient à définir le couple (CA, RH) caractéristique de la Tâche T à réaliser et à identifier les RT et RL correspondantes de manière à dégager les moyens et le budget nécessaires à la réalisation de la tâche T.

Pour un processus de formation donné, il existe une liste de tâches à réaliser pour acquérir les compétences C_t :

$$\{ Ct_1, Ct_2, \dots, Ct_n, \dots \}$$

A cette liste de Tâches correspond une liste d'acteurs potentiels décrits en termes de RH, RT et RL associées :

$\{RH_1, RH_2, \dots, RH_n, \dots\}$ = liste des RH nécessaires

$\{RT_1, RT_2, \dots, RT_n, \dots\}$ = liste des RT nécessaires

$\{RL_1, RL_2, \dots, RL_n, \dots\}$ = liste des RL nécessaires

Il convient alors de rechercher parmi les ressources humaines, technologiques et logicielles disponibles celles qu'on peut affecter et celles qu'il faut concevoir ou développer.

Concevoir les Ressources Humaines RH, c'est concevoir la formation initiale des maîtres pour l'obtention des compétences nécessaires à la réalisation des tâches définies.

De la même manière, développer les Ressources Humaines RH, c'est concevoir la formation continue des maîtres.

Concevoir et développer les Ressources Technologiques RT, c'est concevoir et maintenir les cours, les Travaux Dirigés et les Travaux pratiques, les matériels et équipements didactiques, les laboratoires de formation et les locaux des établissements de formation.

Concevoir et développer les Ressources Logicielles RL, c'est concevoir et maintenir les logiciels et leurs périphériques dédiés.

- **Définir les conditions de réalisation de l'Activité**

Pour chacune des réalisations de la tâche, l'activité correspondante peut être caractérisée par un couple de ressources spécifique de l'acteur capable de réaliser la tâche :

Ensemble des Tâches du processus de formation $\{T_1, \dots, T_n\}$

Ensemble des Activités correspondantes $\{A_1, \dots, A_n\}$

avec $A_1 = \{RH_1, RT_1, RL_1\}$

$A_n = \{RH_n, RT_n, RL_n\}$

- **Définir l'action de pilotage de chaque Tâche**

Pour chacune des tâches, l'action de pilotage correspondante est caractérisée par un processus de pilotage associé :

Ensemble des Tâches du processus de formation $\{T_1, \dots, T_n\}$

Ensemble des processus de pilotage $\{PP(T_1), \dots, PP(T_n)\}$

Avec $PP(T_1) = \{ \text{Identifiant } PP(T_1), \text{ Libellé, Sorte de, Partie de, Propriétés, Est spécifié par, Est chargé de} \}$

$PP(T_n) = \{ \text{Identifiant } PP(T_n), \text{ Libellé, Sorte de, Partie de, Propriétés, Est spécifié par, Est chargé de, Concerne} \}$

Exemple de spécification d'un processus de pilotage :

- 1 Identifiant : $PP_i(T_i)$
- 2 Libellé : *Processus de Pilotage interne de l'unité d'organisation « Recruter des candidats en première année »*
- 3 Sorte de : *Processus de conduite interne*
- 4 Partie de : *Unité d'organisation « Recruter des candidats »*
- 5 Propriétés :
- 6 Est spécifié par : *« Concevoir processus opérationnel PO(1) »*
- 7 Est chargé de : *« Conduire le processus opérationnel PO(1) »*
- 8 Concerne : *« Tâche T_i et/ou Compétence C_{ti} et/ou Acteur $(R_{hi} + R_{ti} + R_{li})$ et/ou Activité A_i »*

- **Spécifier les objectifs de performance retenus**

Dans la phase de conception d'un système de production de compétences, il convient de spécifier l'objectif de performance associé à la tâche. Cette approche est alors suffisante comme aide à la décision sur des conflits éventuels de solutions constructives.

La maîtrise de l'indicateur de performance n'est pas envisageable à ce niveau du développement ; il est donc inutile d'en préciser la valeur, le pas, l'unité puisqu'au mieux le domaine est tout juste identifié.

Nous recommandons alors de définir uniquement l'objectif de performance afin de tenir compte de son incidence sur les différentes phases de conception et de réalisation du système de production de compétences.

L'objectif de performance correspond à l'état souhaité d'un composant du système exprimé par rapport à une variable essentielle sous la forme :

$o :: \langle \text{identificateur}_{U_o} \rangle, \langle = \rangle, \langle \text{expression} \rangle.$

ou U_o est défini par l'expression :

$U_o :: \langle \text{identificateur}_{U_o} \rangle, \langle \text{type} \rangle, \langle \text{sous-type} \rangle, \langle \text{pas} \rangle, \langle \text{unité} \rangle, \langle \text{domaine} \rangle.$

Exemples de spécification d'un objectif de performance :

Objectif stratégique :

$o :: \text{Taux de participation financière des entreprises} = 10\%$

$U_o :: \text{Taux de participation financière des entreprises à la formation, numérique, réel, } 1\%, N = [0, 20\%]$

Objectif tactique :

$o :: \text{Absentéisme Elève} = 3$

$U_o :: \text{Absentéisme Elève, numérique, réel, journées par an, } N = [0, 5]$

Objectif opérationnel :

$o :: \text{Variation du stock Matière d'œuvre dans l'année} = \text{modérée}$

$U_o :: \text{Variation du stock Matière d'œuvre dans l'année, linguistique, ordonné, } L = [\text{nulle, modérée, moyenne, importante}]$

Nous venons de présenter une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences composée de six phases. Nous pensons qu'elle permet :

- l'analyse et le diagnostic des systèmes de formation existants ;
- la ré-ingénierie de tout ou partie d'un système de production de compétences existant ;
- la conception de nouveaux systèmes de formation ;
- la conception, la prescription et la réalisation des acteurs de formation nécessaires.

Cette méthodologie fait l'objet au chapitre 4 d'une application à la conception d'un système de production de compétences en Génie Industriel.

3.5. SYNTHÈSE ET CONCLUSION

Nous avons montré dans ce chapitre, à partir des démarches et des méthodes empruntées à l'analyse de l'entreprise industrielle, que la formation était un système fortement assimilable à tout système d'entreprise, au moins du point de vue de sa modélisation, de sa conception et de son organisation interne.

Ce système est régi par une logique de conception dont l'ensemble des processus réalise le cycle de vie du produit de formation.

La formation, comme tout processus de production, nécessite :

- que soient capitalisés des savoirs, savoir-être et savoir-faire pour s'organiser autour d'objectifs clairement définis ;
- que soit mesurée et évaluée chacune des opérations de transformation du « produit » par rapport au programme de production et à la gamme d'enseignement retenus ;
- que soient optimisés les procédés d'enseignement en fonction des contraintes économiques, sans altérer la qualité du produit ;
- que ce qu'elle produit soit modulaire et recyclable afin d'intégrer dans le temps toutes les caractéristiques de la durée de vie du produit.

Nous avons décomposé ce système sous l'angle d'une vision systémique pour percevoir son organisation interne, notamment aux différents niveaux de décision du système de conduite qui le compose. Nous avons alors défini le concept de « système de production de compétences » comme étant le système de production d'un accroissement de compétences de l'apprenant. Le paradigme tâche/compétence/acteur/activité nous a permis de caractériser plus scientifiquement chacun des processus de décision du système de conduite du système de production de compétences.

Nous avons ensuite proposé une définition de l'ingénierie de formation correspondant à l'ensemble des phases de conception et de réalisation des systèmes de production de compétences. Cette définition propose une approche globale et scientifique de la conception d'un système de formation que nous n'avions pas rencontrée dans la recherche des travaux existants (chapitre 2, Etat de l'art).

Mais cette définition ne permettant pas d'instrumenter la conception et la réalisation des systèmes de formation, nous avons proposé une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences. Elle respecte le paradigme établi pour l'analyse d'un système de formation et s'accorde avec notre souci de fournir une méthodologie ancrée sur les démarches de conception d'un produit de formation conformes au respect du cycle de vie d'un produit.

Le chapitre suivant est entièrement consacré à la validation de cette approche. Il puise son contenu :

- dans l'expérience de terrain acquise ces dernières années dans la conception de systèmes de formation (centres de formation initiale et continue des maîtres,

centres de ressources pour l'enseignement de la technologie, centres de recrutement des maîtres), pour l'enseignement secondaire ;

- dans la pratique de partenariat avec les entreprises du didactique (CET DIDACT) ;
- dans la prise en compte du terrain d'exploration et d'expérimentation que constituent les écoles d'ingénieurs de Metz (ENIM) et de Tours (EIT), pour l'enseignement supérieur.

Quatre applications sont traitées :

- application de la méthodologie générique d'ingénierie de formation à la conception d'un enseignement de Génie Industriel ; il s'agit ici d'expérimenter la méthodologie préconisée dans ce chapitre sur une étude de cas particulière : la formation en Génie Industriel ;
- application de la démarche à la conception d'un laboratoire de formation ; nous tenons ici à présenter, pour un acteur particulier qu'est le laboratoire, les démarches de conception des ressources didactiques et les méthodes de dimensionnement afin d'en dégager l'exploitation optimale ;
- définition d'une méthode de conception de laboratoire de formation commercialisé ; cette application illustre la caractérisation du couple compétence/acteur lors de la définition d'un laboratoire de formation ;
- méthode d'élaboration d'indicateurs de performance pour les procédés de formation de l'ENIM ; le projet de mettre l'ENIM sous tableau de bord nécessite que soient inventoriés les procédés de formation afin de dégager les indicateurs les plus pertinents.

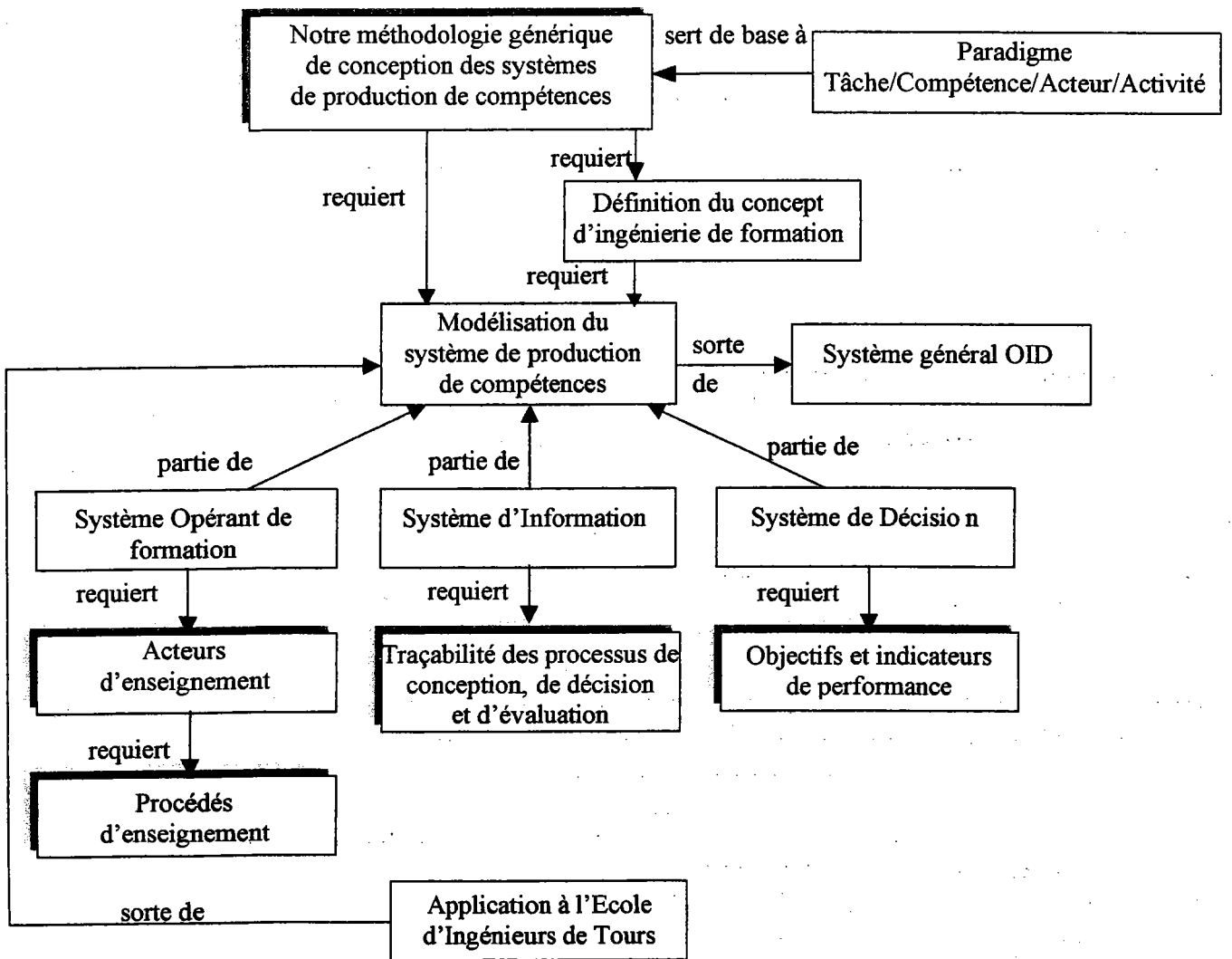


Figure 3.13 : Synthèse du chapitre 3.

CHAPITRE 4

EXEMPLES D'APPLICATION

Résumé du chapitre :

Ce chapitre est consacré à la validation des modèles et méthodes développés ; il présente quatre applications complémentaires qui concernent tout d'abord une tâche de formation d'ingénieurs en Génie Industriel, la conception et le dimensionnement d'un laboratoire de formation, la caractérisation d'un laboratoire commercialisé par une entreprise du didactique et enfin la présentation d'une méthode d'analyse des objectifs et indicateurs de performance des procédés de formation de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz.

4.1. ETUDE DE CAS N°1 : Application de la méthodologie à la conception d'un enseignement de Génie Industriel

- 4.1.1 Phase A : réaliser l'étude préliminaire
- 4.1.2 Phase B : définir le processus de formation
- 4.1.3 Phase C : spécifier le système de production de compétences
- 4.1.4 Phase D : réaliser le système de production de compétences
- 4.1.5 Phase E : mettre en route et valider le système de production de compétences
- 4.1.6 Phase F : exploiter le système de production de compétences
- 4.1.7 Phase G : re-concevoir le système de production de compétences
- 4.1.8 Conclusion

4.2. ETUDE DE CAS N°2 : Application de la méthodologie à la conception de laboratoires de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz

- 4.2.1. Problématique de la conception d'un laboratoire de formation
- 4.2.2. Étude du flux de formation dans un laboratoire à dimensionner
 - 4.2.2.1. Sources
 - 4.2.2.2. Méthodes
 - 4.2.2.3. Lois physiques des flux
 - 4.2.2.4. Définition
 - 4.2.2.5. Calculs de base
- 4.2.3. Modélisation de l'ordonnancement d'un laboratoire de formation
 - 4.2.3.1. Modélisation du niveau macro-compétence
 - 4.2.3.2. Modélisation du niveau micro-compétence ou modélisation des macro-compétences
 - 4.2.3.3. Modélisation des micro-compétences : niveau des Travaux Pratiques
 - 4.2.3.4. Modélisation des ressources de formation

- 4.2.3.5. Résolution
- 4.2.3.6. Modélisation mathématique
- 4.2.3.7. Définition du critère
- 4.2.3.8. Traitement
- 4.2.3.9. Conclusion

4.3. ETUDE DE CAS N°3 : Application de la méthodologie à la conception d'un laboratoire de formation à la Technologie pour la société MICRELEC

- 4.3.1. Problématique de conception de laboratoires
- 4.3.2. Analyse fonctionnelle des postes de travail
 - 4.3.2.1. But de l'étude
 - 4.3.2.2. Méthode employée
 - 4.3.2.3. Application
 - 4.3.2.4. Tableau de synthèse des fonctions d'un matériel pédagogique
 - 4.3.2.5. Tableau de synthèse des critères et niveaux d'évaluation des fonctions d'un matériel pédagogique
 - 4.3.2.6. Développement de la méthode
- 4.3.3. Méthodologie de conception de laboratoires de formation

4.4. ETUDE DE CAS N°4 : Détermination d'une méthode d'identification des objectifs et des indicateurs de performance associés aux procédés d'enseignement de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz.

- 4.4.1. Objectifs et indicateurs de performance internes du processus d'enseignement académique
 - 4.4.1.1. Objectifs et indicateurs internes de la tâche de formation
 - 4.4.1.2. Objectifs et indicateurs internes de l'acteur d'enseignement
 - 4.4.1.3. Objectifs et indicateurs internes de l'activité d'enseignement
- 4.4.2. Synthèse et conclusion

Au chapitre 3, nous avons montré, après avoir souligné l'importance du paradigme tâche/compétence/acteur/activité, en quoi la tâche de formation se distingue de l'activité d'enseignement. Nous avons pu ainsi définir **l'ingénierie de formation en tant que démarche globale de conception des systèmes de production de compétences**. Cette définition, sans rompre avec les perceptions parcellaires évoquées au chapitre 2 à propos des acceptions communes de l'ingénierie pédagogique, se trouve renforcée par l'idée que le système de production de compétences se construira de plus en plus à partir d'un besoin de formation conçu selon son propre cycle de vie¹.

En nous attachant à concevoir une ingénierie de formation sur le modèle d'une ingénierie de conception des systèmes industriels, nous nous sommes engagés à proposer une méthodologie plus scientifique de la conception des systèmes de production de compétences.

Pour rester fidèle à notre objectif, il nous incombe maintenant de montrer comment cette étude permet de satisfaire à la fois les établissements de formation, les industriels des entreprises du didactique et les collectivités territoriales² tout en améliorant incidemment la qualité de l'enseignement à concevoir.

Nous nous proposons dans ce chapitre de valider notre réflexion sur l'ingénierie des systèmes de formation en montrant comment notre contribution facilite la conception de tout ou partie d'un système de production de compétences. Nous avons choisi de traiter quatre points de vue complémentaires en partant du cas le plus général pour aboutir à des applications très particulières. Cette disposition permet de tester la méthode dans le cadre d'une ingénierie initiale d'un système de production de compétences ainsi que pour la ré-ingénierie de certains de ses composants pris isolément.

Nous avons délibérément retenu des points de vue qui satisfassent les établissements de formation mais aussi les entreprises du didactique, pensant que dans tous les cas proposés toute optimisation des coûts et toute amélioration de la qualité étaient de nature à satisfaire aussi les collectivités territoriales.

Nous abordons successivement dans ce chapitre l'application de la méthodologie de conception d'un système de production de compétences en Génie Industriel, puis la conception d'une ressource de formation dans l'étude d'un laboratoire pédagogique, ensuite la caractérisation des ressources d'un laboratoire commercialisé et enfin la validation d'une méthode d'identification des indicateurs de performance des procédés d'enseignement de l'ENIM.

Enfin, nous concluons et présentons le chapitre 5 relatif à une discussion sur les apports, les limites et les perspectives de notre contribution.

¹ Tout laisse à penser que très prochainement la formation continue dispensée dans les écoles d'ingénieurs dépassera les besoins de formation initiale ; ces établissements centreront alors leurs efforts sur autant de prestations différentes qu'il sera nécessaire de concevoir et proposer (colloque de la Commission du Titre d'Ingénieur, Sorbonne, novembre 2000).

² Conformément à nos convictions, nous prétendons par cette étude répondre à certains soucis d'arbitrage des projets de financement des collectivités territoriales.

4.1. ETUDE DE CAS N°1 : Application de la méthodologie à la conception d'un enseignement de Génie Industriel

Nous proposons ici une méthodologie de conception d'un système de production de compétences. Elle prend en compte le paradigme tâche/compétence/acteur/activité défini au chapitre 3 pour la spécification logique des phases du projet de formation et s'organise autour d'une démarche de projet élaborée à partir du cycle de vie du produit de formation. Selon la norme NFX 50 400, le cycle de vie d'un produit comprend sept phases. La vie du produit est ainsi composée de trois groupes de phases : la croissance (1, 2, 3), la vie active (4, 5, 6) et la mort (figure 4.1) :

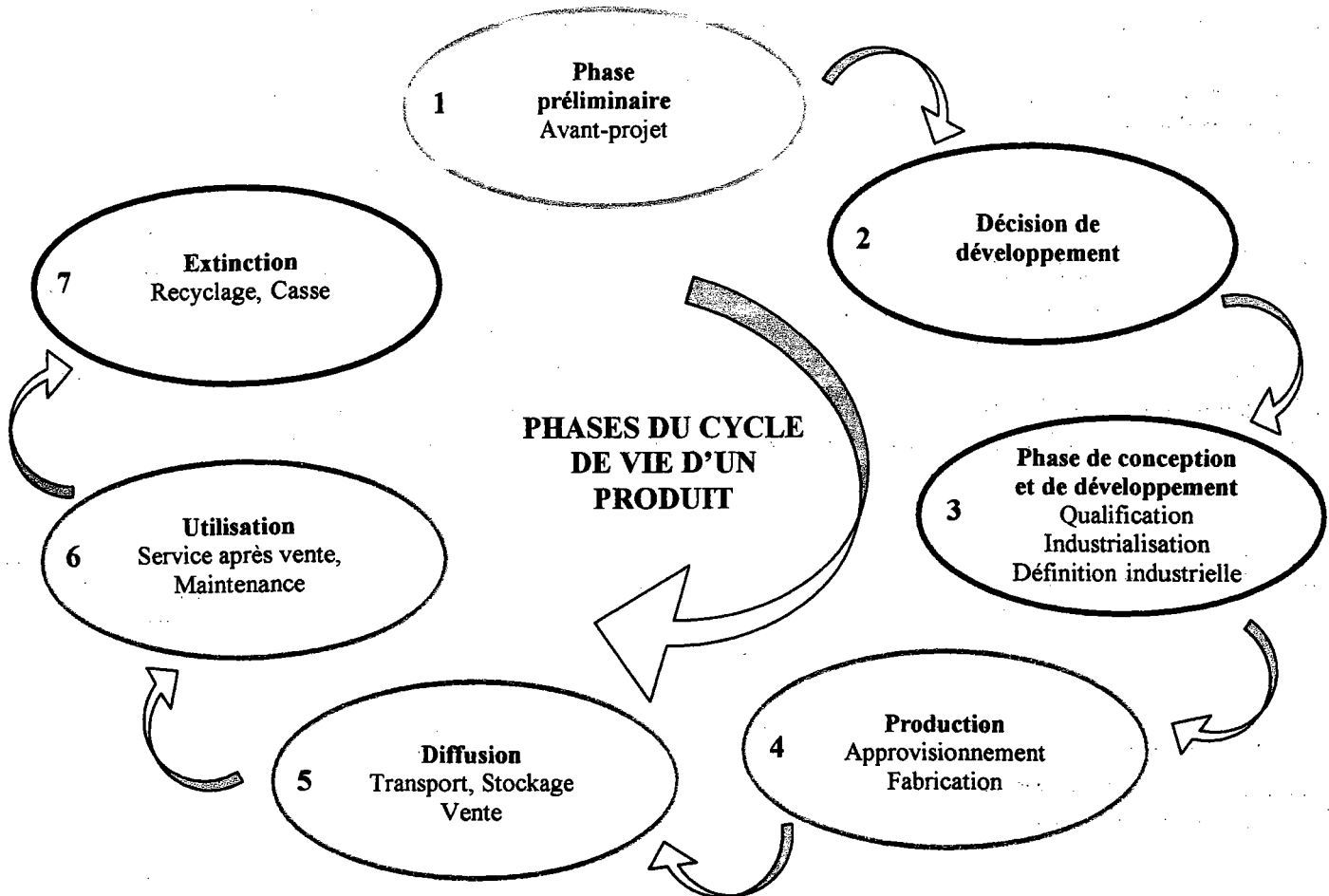


Figure 4.1 : Les phases du cycle de vie du produit.

Nous considérons que, comme pour tout produit d'entreprise, une formation naît d'un besoin identifié, se développe, s'exploite, meurt et doit être recyclée. Si cette logique peut surprendre de prime abord, elle correspond à la réalité économique du couple marché-produit étendue à la formation où le marché serait lié au besoin d'accroissement de compétences des personnels d'une entreprise et le produit serait la formation dispensée nécessaire à cet accroissement. Nous tenons ici à cette notion de cycle de vie d'un produit de formation qui seul peut engager une réflexion sur la naissance des acteurs et la prévision de leur recyclage ; notamment, il s'agira d'associer les ressources humaines à des ressources technologiques et logicielles de

telle sorte qu'elles puissent être affectées de nouveau à d'autres produits de formation chaque fois qu'elles se trouvent libérées.

De cette précaution dépend la conception du système de production de compétences ancré dans son environnement économique, lié aux différents flux d'apprenants et aux contraintes de disponibilité de l'ensemble des ressources, conçu de façon suffisamment modulaire pour être aisément recyclable et rigoureusement informé pour exercer toute conduite interne capable de le mobiliser sur l'amélioration de ses processus.

Nous définissons le système de production de compétences par rapport à un besoin de formation d'ingénieurs en Génie Industriel³.

Nous définissons les différentes phases qui composent le projet de conception du système de production de compétences et associons aux phases la description générique nécessaire définie au chapitre 3, concernant les tâches, les compétences requises, les acteurs et les activités d'enseignement correspondantes :

Phase A : « réaliser l'étude préliminaire »

Phase B : « définir le processus de formation »

Phase C : « spécifier le système de production de compétences »

Phase D : « réaliser le système de production de compétences »

Phase E : « mettre en route du système de production de compétences »

Phase F : « exploiter le système de production de compétences »

Phase G : « re-concevoir le système de production de compétences »

Chacune des tâches est ensuite détaillée et spécifiée.

Cette méthodologie permet d'appréhender l'ensemble du produit de formation en offrant une traçabilité des processus de conception et de décision. Nous nous référons ici à la décomposition du système de formation telle qu'elle a été décrite au chapitre 3 (paragraphe 3.3.4.2.), notamment en ce qui concerne le système de décision composé d'un processus de conception de l'objet extrant, d'un processus de conception et de réalisation du système opérant (processus de conception du processus opérationnel et processus de conception et de mise à disposition des ressources), d'un processus d'exploitation des ressources du système opérant et d'un processus stratégique définissant les objectifs assignés aux systèmes de production de compétences.

4.1.1 Phase A : Réaliser l'étude préliminaire

Cette phase est spécifiée par un libellé de phase, un identifiant de phase, un but et les objets intrants et extrants de la phase A (tableau 4.1).

³ Cet enseignement est défini contractuellement par la Commission des Titres. Un extrait du programme réglementaire est présenté en annexe.

LIBELLE	ETUDE PRELIMINAIRE
Identifiant	A
But	Préparer la décision de lancer un projet de conception de SPC
Objet intrant	Idée de création de système de production de compétences
Objet extrant	Cahier des charges du projet, dossier de fin de phase A et notification de la décision prise suite à cette phase

Tableau 4.1 : Spécification de la Phase A « Réaliser l'étude préliminaire ».

La phase préliminaire comporte cinq tâches (figure 4.2). Elle correspond à une étude de marché devant aboutir à un cahier des charges ; à l'issue de cette étude, la décision doit être prise de poursuivre le projet, ou de l'arrêter.

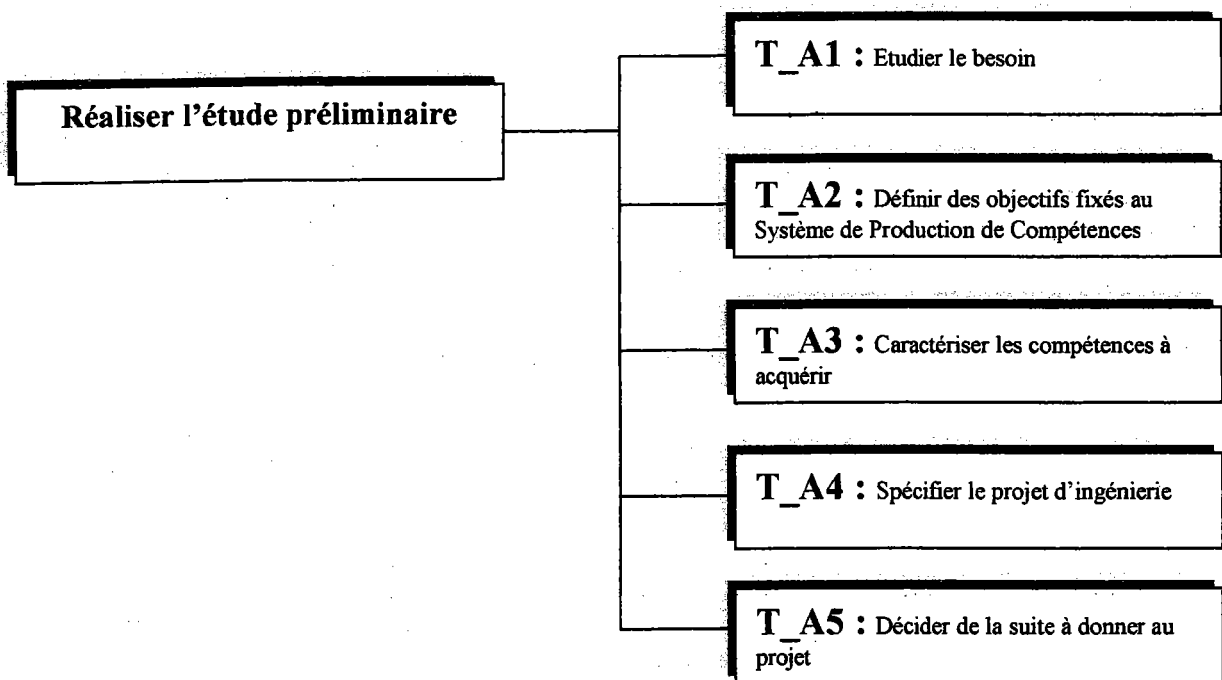


Figure 4.2 : Description de la phase A « Réaliser l'étude préliminaire ».

a) Étudier le besoin

LIBELLE	ETUDIER LE BESOIN
Identifiant	T A1
But	Procéder à une étude des besoins permettant de valider le besoin de création de SPC
Objet intrant	Idée de création d'un SPC
Objet extrant	Conclusion d'étude de marché

Tableau 4.2 : Tâche « Etudier le besoin ».

b) Définir des objectifs fixés au système de production de compétences

LIBELLE	DEFINIR LES OBJECTIFS DU SPC
Identifiant	T_A2
But	Déterminer les objectifs du SPC en termes de coût, de délai et de qualité
Objet intrant	Idee de création et étude de marché
Objet extrant	Liste d'objectifs : ➤ Nombre d'élèves formés par an ➤ Coût annuel de la formation ➤ Nombre d'ingénieurs placés sur les trois dernières années

Tableau 4.3 : Tâche « Définir les objectifs du système de production de compétences ».

c) Caractériser les compétences à acquérir

Il s'agit ici des compétences que la tâche de formation doit faire acquérir à l'élève-ingénieur.

LIBELLE	CARACTERISER LES COMPETENCES A ACQUERIR
Identifiant	T A3
But	Définir les missions de l'ingénieur et leurs contextes et caractériser les savoirs, les savoir-faire et les savoir-être
Objet intrant	Etude de marché, expression des besoins d'emploi Liste des savoirs de l'élève recruté
Objet extrant	Liste des compétences à acquérir

Tableau 4.4 : Tâche « Caractériser les compétences à acquérir ».

Les tableaux 4.5 et 4.6 présentent les savoirs et les savoir-faire à acquérir pour un ingénieur en Génie Industriel.

CONNAISSANCES GÉNÉRALES	CONNAISSANCES PROCÉDURALES	CONNAISSANCES SPÉCIFIQUES
Mathématiques appliquées	Méthode d'analyse de la valeur	Etude de cas et projets interdisciplinaires
Sciences de la matière	Démarche de modélisation	Projets industriels internes et en entreprise
Sciences du mouvement	Procédure de gestion des stocks	Stages industriels
Sciences pour l'ingénieur	Procédure de traitement des non-conformités	Savoir adapter les nouvelles technologies aux besoins et prendre en compte l'impact de leur introduction
Filière métier	Connaître les normes et les procédures de sécurité informatique	Savoir concevoir et maintenir un produit ou un service

Tableau 4.5 : Liste des savoirs à acquérir – cas de l'ingénieur en Génie Industriel.

SAVOIR-FAIRE OPERATIONNEL	SAVOIR-FAIRE RELATIONNEL	SAVOIR-FAIRE COGNITIF
Savoir utiliser un ordinateur et les logiciels courants	Conduire une réunion	Conceptualiser et modéliser
Savoir utiliser les NTIC	Travailler en équipe	Construire et développer un argument
Savoir utiliser un logiciel de DAO, de CAO ou de CFAO	Conduire un travail collaboratif	Mettre en œuvre une démarche expérimentale
Savoir établir un bilan et un compte d'exploitation	Maîtriser les techniques de management de projet et d'équipe	Raisonner par analogie
Savoir mettre en œuvre une démarche qualité	Savoir utiliser, produire et communiquer l'information	Maîtriser les techniques de gestion des risques

Tableau 4.6 : : Liste des savoir-faire à acquérir – Cas de l'ingénieur en Génie Industriel.

d) Spécifier le projet d'ingénierie

LIBELLE	SPECIFIER LE PROJET DE CONCEPTION DU SPC
Identifiant	T A4
But	Rédiger le cahier des charges du projet et le dossier de fin de phase A
Objet intrant	L'ensemble des informations recueillies lors des tâches précédentes
Objet extrant	Cahier des charges du projet et du dossier de fin de phase A

Tableau 4.7 : Tâche « Spécifier le projet de conception ».

Le cahier des charges du projet de conception comportera les éléments suivants :

- La définition du groupe de projet.
- L'organisation du projet : maître d'ouvrage, maître d'œuvre, responsable du projet, définition des tâches et des acteurs chargés de leur réalisation, ...
- L'estimation du budget du projet.
- L'estimation du budget d'exploitation du système de production de compétences.
- L'étude de faisabilité.

e) Décider de la suite à donner au projet

LIBELLE	DECIDER DE LA SUITE A DONNER
Identifiant	T A5
But	Décider : <ul style="list-style-type: none"> ➤ La poursuite du projet ➤ Ou, une demande d'information complémentaire ➤ Ou, l'abandon du projet
Objet intrant	Cahier des charges du projet et dossier de fin de phase A
Objet extrant	Notification de la décision

Tableau 4.8 : Tâche « Décider de la suite à donner ».

Si la décision est favorable à la poursuite du projet, alors la phase B est enclenchée.

4.1.2 Phase B : Définir le processus de formation

LIBELLE	DEFINIR LE PROCESSUS DE FORMATION
Identifiant	B
But	Procéder à une définition des tâches et des processus
Objet intrant	Cahier des charges du projet et dossier de fin de phase A
Objet extrant	Définition des tâches d'enseignement et des processus élémentaires de formation, dossier de fin de phase B et notification de la décision prise suite à cette phase

Tableau 4.9 : Phase « Définir le processus de formation ».

La phase B « Définir le processus de formation » comporte cinq tâches (figure 4.3) :

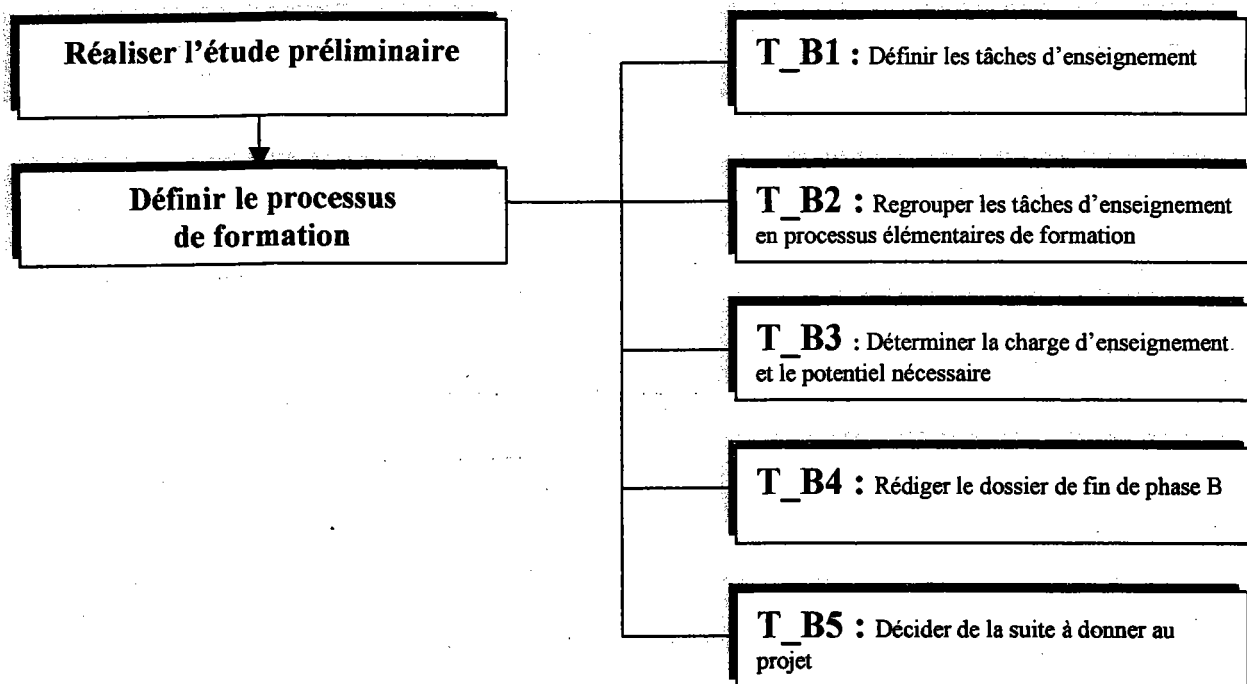


Figure 4.3 : Description de la phase B « Définir le processus de formation ».

a) Définir les tâches d'enseignement

Nous avons montré au chapitre précédent l'intérêt de distinguer les tâches de formation des tâches d'enseignement. Il s'agit ici de se préoccuper essentiellement de la traduction des compétences à faire acquérir aux apprenants (combinaisons de savoirs, savoir-faire et savoir-

être) en tâches d'enseignement, c'est-à-dire en processus d'enseignement (ensemble de Cours Magistraux, Travaux Dirigés, Travaux Pratiques, Projets⁴).

LIBELLE	DEFINIR LES TACHES D'ENSEIGNEMENT
Identifiant	T B1
But	Traduire les compétences à acquérir en tâche d'enseignement
Objet intrant	Liste des compétences de l'élève recruté Liste des compétences de l'élève formé
Objet extrant	Liste des tâches d'enseignement par discipline

Tableau 4.10 : Tâche « Définir les tâches d'enseignement ».

AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE	SCIENCES DE GESTION ET DES ORGANISATIONS	SCIENCES ECONOMIQUES
Automatique fondamentale	Management et gestion de l'entreprise	Comptabilité et contrôle de gestion
Informatique fondamentale	Gestion de production et gestion de projet	Sciences et techniques comptables
Automatismes industriels	Logistique et transport	Economie et économie appliquée
Informatique d'entreprise	Administration et gestion des ressources humaines	Economie de la technologie et de l'innovation
Intégration des systèmes	Organisation du travail dans l'entreprise	L'environnement macro-économique de l'entreprise
Métrologie	Théorie des systèmes et des organisations	
	Prospective et stratégie des organisations	

Tableau 4.11 : Exemple de tâches d'enseignement - Cas de l'ingénieur en Génie Industriel.

⁴ Procédés d'enseignement définis par la Commission des Titres d'Ingénieur [CTI, 00] pour un volume horaire dans toute filière classique de 2200 à 2700 heures encadrées.

Les tâches d'enseignement indiquées dans le tableau N°4.11 doivent être précisées, par exemple la tâche automatismes industriels comportera les éléments du tableau N°4.12.

DESCRIPTION TACHE « AUTOMATISMES INDUSTRIELS »	REFERENCE	CHARGE
Modélisation, analyse et commande des systèmes continus	C - A1 - 13935	50
Modélisation, analyse et commande des systèmes séquentiels	C - A2 - 13953	50
Commande des systèmes à événements discrets	C - B0 - 13800	70
Représentation fréquentielle et commande des systèmes asservis	C - B1 - 13819	60
Représentation d'état et commande des systèmes asservis linéaires	C - B2 - 13828	130
Automatisme industriel	TP - B0 - 13837	110
Automatisation des systèmes de production	C - C1 - 13846	55
Diagnostic et sûreté de fonctionnement	C - C4 - 13873	55
Total		580

Tableau 4.12 : Tâches d'enseignement concernant les Automatismes Industriels.

b) Regrouper les tâches d'enseignement en processus élémentaires de formation

LIBELLE	DEFINIR LES PROCESSUS ELEMENTAIRES DE FORMATION
Identifiant	T B2
But	Regrouper les tâches d'enseignement dans des ensembles homogènes et ordonnés
Objet intrant	Liste des tâches d'enseignement par discipline
Objet extrant	Liste des processus élémentaires Liste des tâches d'enseignement par processus

Tableau 4.13 : Définition des processus élémentaires de formation.

Nous présentons ci-dessous un exemple de regroupement de tâches d'enseignement en processus élémentaires de formation

AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE	REF.	T1_PO1	T2_PO1	T3_PO1	T4_PO1	T5_PO1	T6_PO1
Automatique fondamentale	T1 PO1	0	0	1	0	0	0
Informatique fondamentale	T2 PO1	0	0	0	1	0	0
Automatismes industriels	T3 PO1	0	0	0	0	1	0
Informatique d'entreprise	T4 PO1	0	0	0	0	1	0
Intégration des systèmes	T5 PO1	0	0	0	0	0	0
Métrologie	T6 PO1	0	0	1	1	0	0

Tableau 4.14 : Processus élémentaire « Enseignement de l'automatique et de l'informatique ».

c) Déterminer la charge d'enseignement et le potentiel nécessaire (section CNU)

LIBELLE	DETERMINATION DE LA CHARGE D'ENSEIGNEMENT
Identifiant	T B3
But	Déterminer les besoins en enseignants
Objet intrant	Liste des tâches d'enseignement par processus
Objet extrant	Charge par processus et par section CNU

Tableau 4.15 : Détermination des charges d'enseignement.

RUBRIQUE	NOMBRE D'HEURES	SECTION CNU
Mathématiques	600	26
Physique et chimie	420	31 et 32
Informatique	400	27 et 61
Automatique	580	61
Sciences économiques	240	05
Sciences de gestion et des organisations	480	06 et 61
Sciences juridiques	240	01, 02 et 05
Sciences de l'information et de la communication	240	71
Histoire des sciences et des métiers	120	72
Filière métier : hypothèse mécanique	900	60 et 62
Total	4220	

Tableau 4.16 : Charge d'enseignement par discipline.

Le tableau 4.16 permet de fixer le potentiel de ressources humaines par section du CNU.

d) Rédiger le dossier de fin de phase B

LIBELLE	REDIGER LE DOSSIER DE FIN DE PHASE B
Identifiant	T B4
But	Rassembler toutes les informations qui résultent de la phase de conception du processus de formation
Objet intrant	Liste
Objet extrant	Liste des tâches d'enseignement par discipline Liste des processus élémentaires Liste des tâches d'enseignement par processus Charge par processus et par section CNU

Tableau 4.17 : Rédiger le dossier de fin de phase B.

e) Décider de la suite à donner au projet

LIBELLE	DECIDER DE LA SUITE A DONNER
Identifiant	T B5
But	Décider : <ul style="list-style-type: none"> ➤ La poursuite du projet ➤ Ou une demande d'information complémentaire ➤ Ou l'abandon du projet
Objet intrant	Dossier de fin de phase A
Objet extrant	Notification de la décision

Tableau 4.18 : Tâche « Décider de la suite à donner au projet.

4.1.3 Phase C : Spécifier le système de production de compétences

Cette phase comporte sept tâches (figure 4.4) :

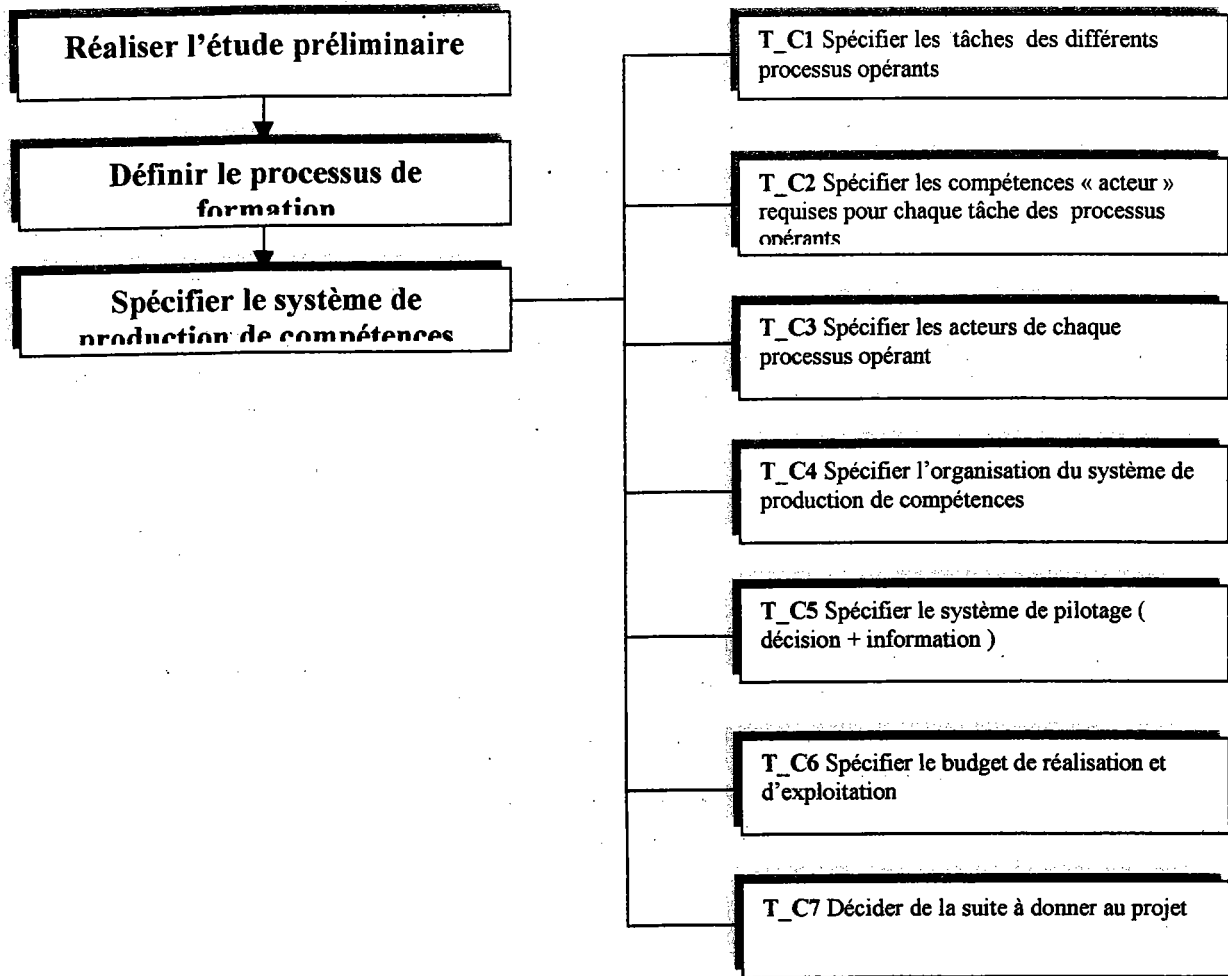


Figure 4.4 : Description de la phase C « Spécifier le processus de formation ».

Spécifier les acteurs des différents **processus opérants** (recrutement, formation, recherche, documentation, relations extérieures) n'est possible que si les tâches de recrutement, de recherche, de documentation et des relations extérieures sont définies avec précision. Dans cette version du document nous nous limiterons à examiner l'aspect formation.

Une approche logique de l'élaboration des spécifications consiste à appliquer le paradigme :

Tâche / Compétences / Acteurs (RH + RT + RL) / Activité

Nous traiterons ici d'un exemple particulier qui est celui de la formation par étude d'un cas interdisciplinaire, par exemple « Conception d'un système de production ». Il nécessite l'union de compétences de plusieurs ressources humaines pour la réalisation de la tâche d'enseignement.

- a) Spécifier la tâche « Conception d'un système de production » du point de vue de l'enseignant :

LIBELLE	CONCEVOIR UN SYSTEME DE PRODUCTION
Identifiant	Tâche CSP
Type de spécification	Spécification tâche
But	Mettre les élèves-ingénieurs de troisième année en situation de concevoir un système de production en partant d'un cas réel
Objet intrant	Elèves ingénieurs de troisième année
Objet extrant	Elèves ingénieurs de troisième année formés à la conception des systèmes de production
Caractéristiques	Etude à réaliser par groupe de 4 élèves Durée de l'étude : 30 heures Délai de l'étude : 10 semaines (3 h / semaine)

Tableau 4.19 : Spécification d'une tâche de formateur.

- b) Spécifier les compétences « enseignant » requises

LIBELLE	COMPETENCES POUR REALISER T CSP
Identifiant	Compétences Tâche CSP
Type de spécification	Spécification compétence
Savoir	Génie mécanique : conception produit / processus Génie informatique : conception de système d'information Gestion et management : pilotage des systèmes de production
Savoir-faire	Savoir réaliser des interventions de conseil et d'études
Savoir-être	Savoir travailler en équipe et manager un groupe

Tableau 4.20 : Spécification des compétences requises pour la réalisation d'une tâche.

c) Spécifier les acteurs du processus opérant de formation

LIBELLE	GROUPEMENT D'ACTEURS
Identifiant	GR Tâche CSP
Type	Groupe autonome
Ressources humaines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Enseignant en Génie mécanique et productive ➤ Enseignant en Génie informatique ➤ Enseignant en Génie Industriel
Ressources technologiques	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Labo informatique avec ordinateurs
Ressources logicielles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Logiciel de CAO ➤ Logiciel de modélisation ➤ Logiciel de simulation

Tableau 4.21 : Spécification des acteurs pour réaliser la tâche « Conception d'un système de production ».

d) Spécifier l'organisation du système de production de compétences

Dans ce cas cette tâche est présentée dans le cadre d'une étude globale d'un système de production de compétences. Avec cette hypothèse, la liste des processus opérants est celle du tableau N° 4.22.

LIBELLE DES PROCESSUS OPERANTS	IDENTIFIANT
Recruter des élèves-ingénieurs	PO ₁
Enseigner les disciplines fondamentales	PO ₂
Enseigner l'automatique et l'informatique	PO ₃
Enseigner les disciplines du management	PO ₄
Enseigner la filière	PO ₅
Rechercher et transférer des connaissances	PO ₆
Maintenir les ressources à niveau	PO ₇
Administrer le système de production de compétences	PO ₈
Fixer la stratégie du système	PO ₉
Coordonner les différents processus	PO ₁₀

Tableau 4.22 : Liste des processus opérants d'un système de production de compétences.

e) Spécifier le système de pilotage (décision + information)

f) Spécifier le budget de réalisation et d'exploitation

g) Décider de la suite à donner au projet

4.1.4 Phase D : Réaliser le système de production de compétences

Les phases D, E, F et G nécessitent que le système soit réellement en fonctionnement pour pouvoir être réalisées. Elles sont présentées pour mémoire.

La phase D comporte trois tâches (figure 4.5) :

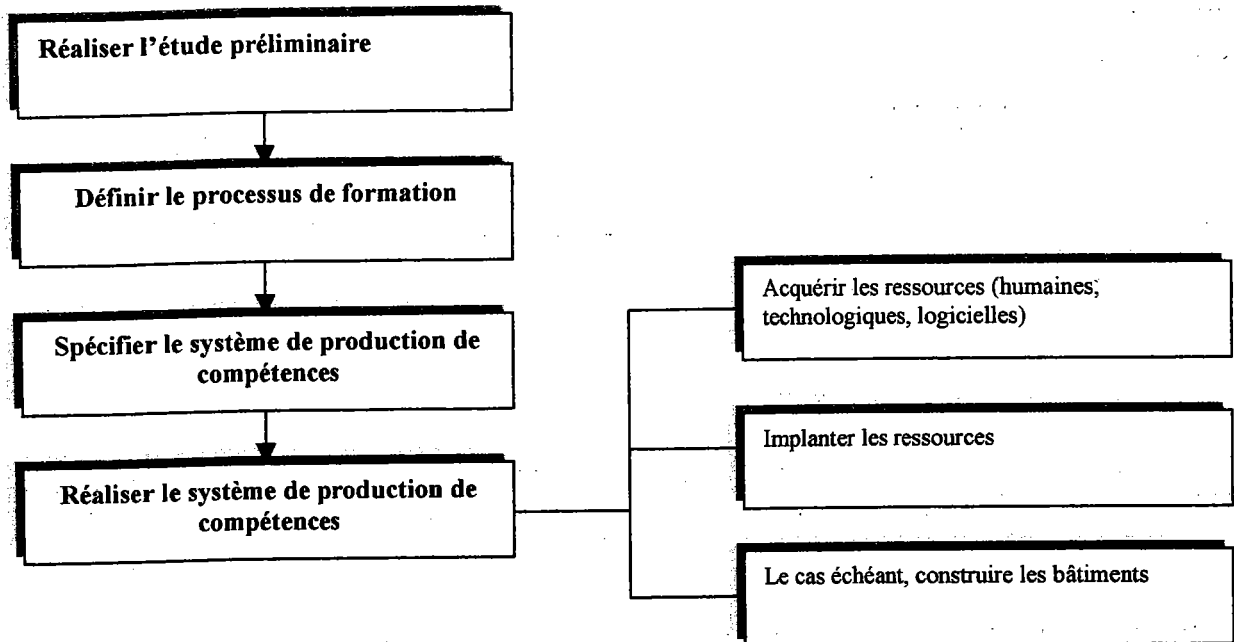


Figure 4.5 : Description de la phase D « Réaliser le système de production de compétences ».

4.1.5 Phase E : Mettre en route et valider le système de production de compétences

Cette phase comporte trois tâches (figure 4.6) :

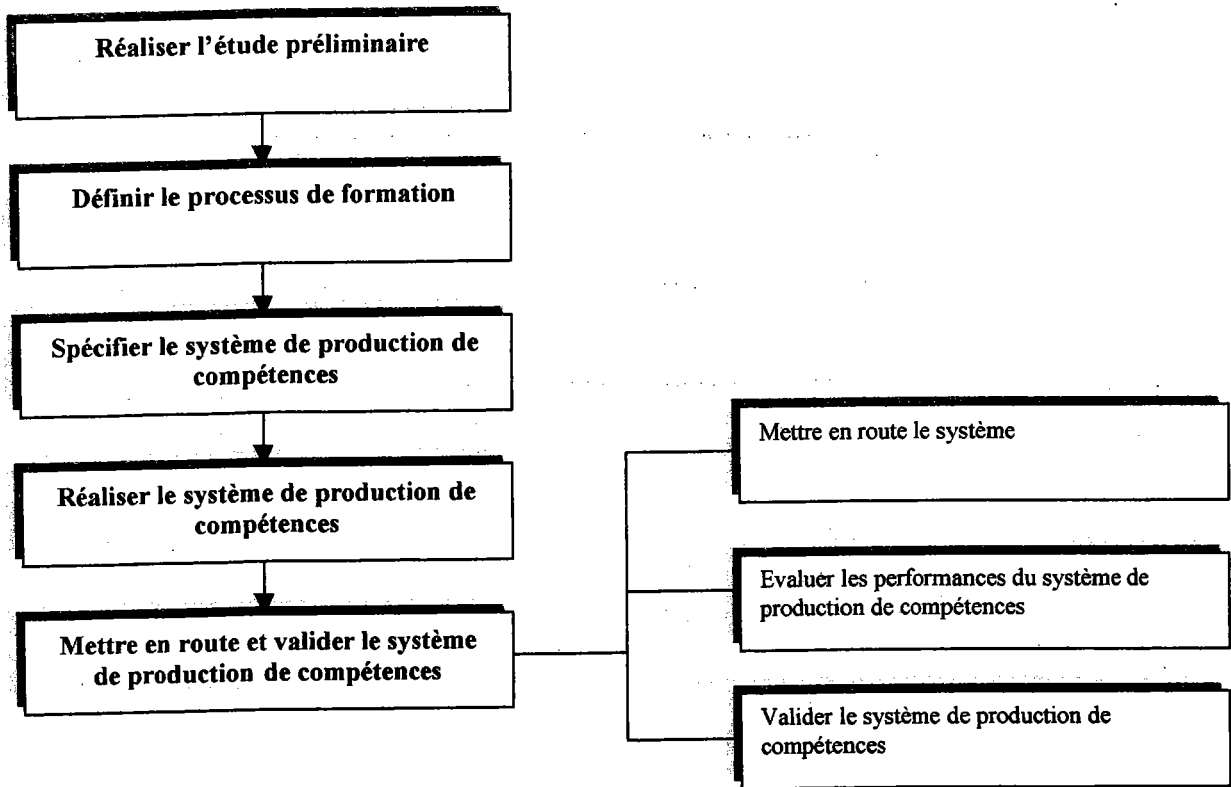


Figure 4.6 : Description de la phase E « Mettre en route et valider du système de production de compétences ».

4.1.6 Phase F : Exploiter le système de production de compétences

Cette phase nécessite que le système de production de compétences soit mis en route. Cette phase est le lieu des décisions d'exploitation.

4.1.7 Phase G : Re-concevoir le système de production de compétences

Cette phase nécessite que des mesures relatives aux indicateurs de performance retenus soient réalisées afin d'évaluer la pertinence d'une re-conception du système de production de compétences.

4.1.8 Conclusion

Nous venons de présenter une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences dans le cadre d'une tâche de formation de Génie Industriel. Elle nous permet de spécifier les tâches de formation, les acteurs et les compétences nécessaires.

Nous avons inclus la phase 2 (Décision de développement), telle que la définit la norme AFNOR, dans la phase A (Réaliser l'étude préliminaire) ; en effet, il nous semble qu'à toute fin de phase une décision de poursuite ou d'abandon est justifiée. Cette décision n'est donc pas locale dans le cycle de développement et correspond à chaque conclusion de fin de phase.

En phase C (« Spécifier le système de production de compétences ») les activités ne sont pas spécifiées car cette spécification doit s'effectuer en exploitation, après avoir choisi l'acteur ; en effet, même en formation et lors de l'exploitation, la Direction d'Études peut être amenée à modifier les conditions d'exécution des tâches pour faire face à diverses situations.

Notre démarche ne se substitue pas, ni n'économise, les démarches de conception de l'acte pédagogique, qu'il conviendrait de définir dans une approche pluridisciplinaire. Nous souhaiterions développer cet aspect qui conditionne aussi la performance d'un système de production de compétences ainsi que les décisions de conception des acteurs de formation (notamment la spécification des compétences des ressources humaines et des aptitudes des ressources technologiques et logicielles nécessaires à la réalisation de l'activité).

Nous pensons que cette approche scientifique de la conception d'un système de formation produit en outre un support de traçabilité de la formation, indispensable à l'adaptabilité des systèmes de production de compétences à leur environnement. Elle permet de capitaliser l'expérience, d'assurer le suivi, de corriger les actions et de transmettre au système de décision les données nécessaires de la formation. En ce sens, elle contribue à la mise en œuvre du système d'information.

4.2. ETUDE DE CAS N°2 : Application de la méthodologie à la conception de laboratoires de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz

Nous présentons dans cette deuxième partie une application liée à la conception d'un laboratoire de formation. Nous entendons par laboratoire de formation un espace dédié à l'accroissement de compétences dans une filière d'enseignement fortement instrumentée, nécessitant des équipements souvent différenciés et une organisation apte à fournir à l'apprenant un environnement matériel et un contexte dans lequel doit se réaliser la tâche de formation.

4.2.1. Problématique de la conception d'un laboratoire de formation

Les procédés d'enseignement sollicitant de façon incontournable un laboratoire de formation sont les Travaux Pratiques¹ et certains Travaux Autonomes.

Nous avons choisi volontairement un laboratoire de Travaux Pratiques pour cette étude de cas ; en effet, cet espace de formation est dédié au procédé d'enseignement de loin le plus coûteux. Il n'en n'est pas de même pour une salle banalisée de cours, un amphithéâtre ou un centre de documentation. De nombreux postes budgétaires supplémentaires viennent grever le budget d'équipement et de fonctionnement : coûts d'acquisition des équipements, coûts d'installation, coûts de fonctionnement (électricité, chauffage, éclairage, entretien, fongible, outillage, matière d'œuvre), coûts de maintenance (équipement, composants, main d'œuvre, personnel affecté), coûts de recyclage des équipements, des produits et des résidus. Nous rappelons ici que 5% des étudiants du supérieur consomment 56% du budget alloué à l'enseignement supérieur : ce sont évidemment ceux disposant d'un enseignement technologique (cf chapitre 1, paragraphe 1.2).

En fait, la conception d'un laboratoire de formation repose sur l'enchaînement de fonctions (pédagogique, administrative et d'exploitation) suivant quatre domaines de réflexion : les tâches d'enseignement, les filières de formation, les flux de formation et le taux de couverture de la formation.

La figure 4.7 présente la problématique de la conception d'un laboratoire de formation.

L'axe des temps positionne l'enchaînement des différents niveaux d'intervention. La fonction pédagogique est évidemment prioritaire et prédominante ; elle permet de traduire chacune des compétences visées en procédés de formation : Travaux Pratiques de ..., Travaux Dirigés de ..., Travaux Autonomes de ...

La définition fine des procédés d'enseignement est indispensable à la rédaction des cahiers des charges des équipements pédagogiques nécessaires.

¹ Nous renvoyons au chapitre 3 pour les caractéristiques de ce procédé d'enseignement.

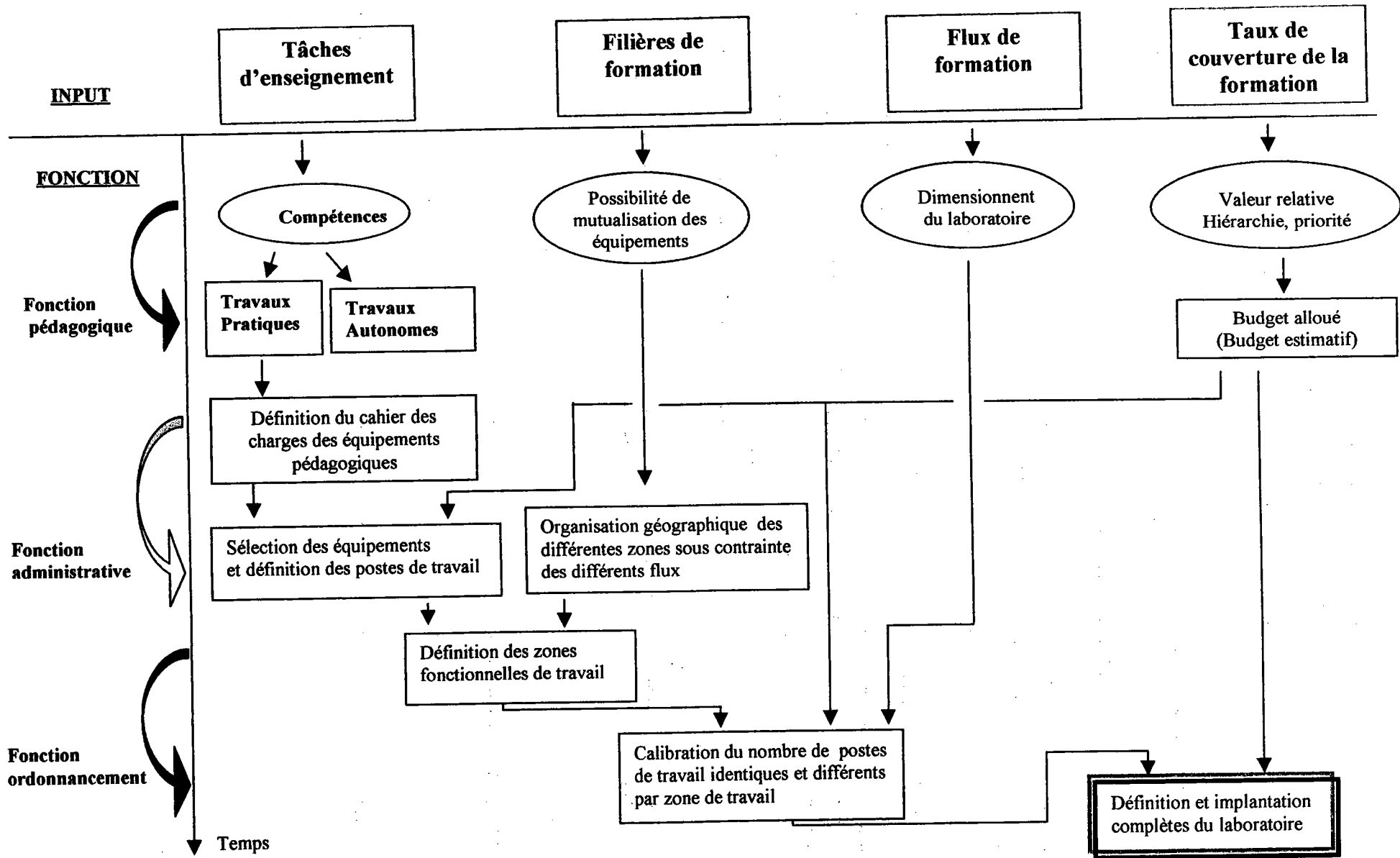


Figure 4.7 : Problématique de conception d'un laboratoire de formation.

Nous proposons, dans cette étude, de traiter la problématique suivant deux angles complémentaires. Le premier est relatif au dimensionnement d'un laboratoire à partir des contraintes budgétaires : il s'agit alors d'évaluer les besoins en ressources technologiques aptes à satisfaire le flux de formés sur une période donnée. Le deuxième est lié à l'affectation des ressources technologiques en fonction d'une « gamme » de formation à respecter pour valider l'accroissement de compétences : dans ce cas, nous chercherons quelle est la durée du traitement d'un flux d'apprenants dans un laboratoire dimensionné.

4.2.2. Étude du flux de formation dans un laboratoire à dimensionner

Critère important de conception du laboratoire lors de son dimensionnement, le flux de formation permet la détermination du nombre de postes de travail nécessaire.

Le flux maximal représente la capacité maximale de traitement de l'accroissement de compétences d'un nombre maximal d'apprenants pour un objectif de qualité constant.

L'étude des flux d'un laboratoire est l'un des éléments d'analyse privilégiés pour l'étude :

- des critères d'amélioration pédagogique des laboratoires ;
- des critères d'implantation des zones fonctionnelles, des postes de travail dans la recherche de la diminution des coûts d'équipements et de construction ;
- des éléments préalables aux études de cycle et de programmation des tâches d'enseignement ;
- des critères de conception du système de gestion de la formation.

4.2.2.1. Sources

Ces analyses supposent évidemment, au préalable, la mise en place et le suivi d'indicateurs correspondants.

On utilise essentiellement au niveau des laboratoires, de la planification et des ressources nécessaires :

- les indicateurs journaliers : les emplois du temps, les plans d'occupation des laboratoires, le planning des stages ;
- les plans de charge des stages, les effectifs par stage, les nomenclatures des stages ;
- les relevés de pannes et d'actions de maintenance ;
- les relevés de consommation (énergie, fongibles, matière d'œuvre, petites fournitures).

4.2.2.2. Méthodes

On suit le laboratoire et on mesure par stage :

- le temps de mise en œuvre et de manipulation par les élèves des matériels nécessaires au déroulement des TP (exemple d'indicateur : durée de mise en route de la broche sur une machine à commande numérique relevée sur compteur, durée de mise sous tension de la machine à commande numérique relevée sur compteur,) ;
- la durée moyenne de déroulement de chaque TP du laboratoire ;

- les temps non-productifs de formation (arrêt maintenance, défaillance technique ou « pédagogique ») ;
- le volume d'informations supplémentaires demandées par l'élève pour conduire le TP, mesuré par le temps de requête.

4.2.2.3. Lois physiques des flux

Les lois physiques qui règlent les flux des apprenants dans les laboratoires sont les mêmes que celles qui règlent les flux de pièces en production ou les débits dans tous les domaines de la physique, notamment, tableau 4.23 :

- l'écoulement de gaz parfait dans un système de tuyauterie, à température constante ;
- la circulation de véhicules sur un système routier.

On utilise la relation de base :

$$\text{Débit} = (\text{Section} \times \text{Vitesse} \times \text{densité}) \times \text{Constante de calcul}$$

$$D = (S \cdot V \cdot d) \times K$$

K est une constante de calcul ; elle dépend de la nature du flux considéré et des unités utilisées.

Flux de pièces	Flux de gaz	Flux de véhicules	Flux d'apprenants
D= cadence en pièces par heure	Débit du gaz	Débit en véhicules	Cadence du laboratoire
S= nombre de lignes de traitement	Section de la tuyauterie	Nombre de voies parallèles	Nombre de lignes de postes de travail identiques
V= nombre d'opérations par unité de temps par ligne de traitement	Vitesse du gaz	Vitesse des véhicules	Nombre de TP par unité de temps par ligne de postes
t= temps de fabrication sur temps total	Pression ou densité du gaz	Distance entre deux véhicules	Temps de mise en œuvre du TP sur temps total nécessaire

Tableau 4.23 : Similitudes des problèmes de flux, d'après [Souty, 91].

4.2.2.4. Définition

Avant de résoudre le problème de dimensionnement du laboratoire, nous définissons les paramètres permettant d'effectuer le calcul.

En flux d'apprenants par laboratoire, les données de calcul sont les suivantes :

D = débit global du stage dans un laboratoire spécialisé, cadence en Apprenants par heure par poste de travail

V = nombre de TP par unité de temps par ligne de postes de travail identiques [nombre de TP par heure (par exemple : 1/4 de TP en 1 heure) ou par séance (par exemple : 2 TP par séance de 4 heures) sur une même ligne de postes de travail]

S = nombre de lignes de TP identiques (ou nombre de laboratoires spécialisés identiques dans l'étude générale), ou nombre de lignes de postes de travail identiques

$d = \text{densité de travail} = \frac{\text{durée d'exploitation du poste de TP par un élève}}{\text{durée de la séance de TP}}$

avec :

- durée d'exploitation du poste de TP = durée de mise en fonctionnement de l'équipement associé au TP (exemple : temps enregistré sur le compteur d'activation de la broche de la machine CN)

- durée de la séance de TP = durée effective d'utilisation du matériel + durée des attérites

- temps d'attente = somme des arrêts d'utilisation dus au manque de consignes de travail et d'information, au mauvais état de l'équipement, au manque de préparation et au défaut de validation du TP, aux pannes du matériel.

On associe l'accroissement de compétence visé directement à la durée de manipulation du matériel pédagogique ; par exemple, pour une tâche d'enseignement en productique relative au réglage et à la conduite d'une machine outils à commande numérique (MOCN), dans un laboratoire de formation, l'accroissement de compétence est proportionnel au temps de mise en œuvre et de conduite de la MOCN.

On remarque que la densité de travail varie en fonction des procédés d'enseignement retenus et en fonction de l'autonomie de l'apprenant par rapport à l'équipement mis en œuvre.

4.2.2.5. Calculs de base

On raisonne sur deux états successifs (1) et (2) avec débit (ou une cadence) constant(e) :

$$(1) D = (S1 \cdot V1 \cdot d1) \times K$$

$$(2) D = (S2 \cdot V2 \cdot d2) \times K$$

$$\frac{D}{K} = S1.V1.d1 = S2.V2.d2$$

Si on passe par exemple de $S1 = 2$ à $S2 = 1$ (ce qui correspond à la fermeture d'un laboratoire ou la suppression d'une ligne de TP identiques) :

$$V2.d2 = V1.d1 \cdot \frac{S1}{S2} = 2.V1.d1$$

avec deux solutions simples à comparer pour confirmer l'accroissement de compétence visé (figure 4.8) :

- solution 1 :

si $d1 = d2$, c'est-à-dire que l'on conserve la densité de travail, alors on a $V2 = 2V1$, cela veut dire une augmentation de la vitesse de réalisation des TP par les élèves. Dans le cas présent, un TP se réalisant en 4 heures doit être réalisé en 2 heures. Ceci impose une instrumentation pédagogique affinée, une organisation (lancement d'activité, suivi des travaux, remise en état des postes, ...) sans défaillance et une validation des TP conçus.

Cette solution est logique, mais peu réaliste dans la pratique pour des raisons d'aptitudes, de performances et de disponibilité des acteurs.

- solution 2 :

si $V1 = V2$, c'est-à-dire que la vitesse de travail de l'élève est conservée, alors $d2 = 2d1$ ce qui revient à doubler la densité de travail de l'élève ; les temps d'attente doivent diminuer de manière à doubler le rapport $\frac{\text{durée d'exploitation du poste de TP par un élève}}{\text{durée de la séance de TP}}$.

Cette solution est viable, si la densité de travail est faible, par amélioration de la conception et la validation des TP, l'organisation fonctionnelle des laboratoires et la maintenance des équipements.

Ces deux cas donnent les solutions extrêmes du problème. Toutes les solutions intermédiaires sont possibles.

L'expérience montre que "traditionnellement", la résolution administrative de ce problème d'affectation limitée de ressources se traduit généralement par une mesure contraire au bon sens et à la rigueur scientifique : on double le nombre d'élèves par poste sans rien changer à la qualité de l'enseignement.

Nous venons d'aborder l'analyse des flux d'apprenants dans un laboratoire pédagogique afin d'en dégager les contraintes d'organisation et d'exploitation, notamment au niveau de l'amélioration de la densité de travail. Cette mesure a une répercussion directe sur la qualité des ressources technologiques (qu'il s'agisse des équipements ou des documents de travail), des ressources logicielles (adéquation à l'accroissement de compétences) et des ressources humaines (compétences nécessaires à la réalisation de la tâche).

Nous poursuivons notre analyse par l'étude de l'exploitation des ressources technologiques et logicielles d'un laboratoire de formation. Il s'agit précisément de l'ordonnement d'un laboratoire ; les tâches de formation étant définies, les procédés d'enseignement étant arrêtés et stabilisés, les ressources technologiques (matériels didactiques) et logicielles étant acquises, il convient de prévoir l'exploitation rationnelle de ce laboratoire avec un groupe d'apprenants.

4.2.3. Modélisation de l'ordonnement d'un laboratoire de formation

L'agencement de l'espace physique, la distribution des équipements, l'utilisation des temps et des ressources sont des exemples concrets de l'application des concepts d'optimisation et d'organisation de la formation.

A première vue l'infrastructure apparaît comme un frein et un poids. Ce frein, et son coût, montrent l'importance de l'optimisation des surfaces. La précision de sa gestion est déterminante dans la programmation des procédés d'enseignement.

L'existence de valeurs immobilisées représente une charge financière non négligeable, celle-ci peut représenter jusqu'à 20% des frais de fonctionnement (entretien, éclairage, chauffage,...).

En même temps utiles et coûteux, les locaux doivent être gérés d'une manière stricte, pour en améliorer l'usage et en diminuer les coûts de fonctionnement.

La maîtrise de l'ordonnement d'un laboratoire de production de compétences revêt un intérêt capital pour le système de formation considéré. D'une part, il s'agit de déterminer au plus juste les ressources nécessaires à la formation d'un lot d'élèves dans la période la plus courte possible, mais, d'autre part, de respecter dans le traitement de ce lot la (les) gamme(s) de production de compétences en fonction des apprenants et des ressources disponibles.

A en juger par la pratique coutumière de la « mise en TP » des laboratoires de formation, que ce soit dans le secondaire ou en université, aucune étude rigoureuse n'a été jusqu'alors conduite sur ce sujet. En effet, la pratique des « quatre TP tournants » dans le secondaire, ou l'absence de repérage des compétences développées (faute de référentiels explicites) à l'université, conduit les formateurs à affecter arbitrairement les ressources et les TP aux apprenants en formation.

Ni le contribuable, ni l'apprenant ne peuvent se satisfaire d'une résolution aussi hasardeuse des problèmes de formation dans un laboratoire de production de compétences sans prise en compte des contraintes de cohérence liées à la « gamme » d'enseignement.

Nous avons opté pour une décomposition en trois niveaux de modélisation dans le but d'éclater le travail d'ordonnement d'un laboratoire de production de compétences en tâches élémentaires caractérisées par une durée et un ensemble précis de ressources nécessaires. La figure 4.13 présente l'organisation de ces trois niveaux : le niveau macro-compétence, le niveau micro-compétence et le niveau TP.

Dès le premier niveau de description, les liens de précedence causale¹ sont apparus comme fondamentaux dans la définition de la gamme de production des compétences. Ces trois niveaux de décomposition et les nombreuses contraintes et relations de précedence rendent la résolution de ce problème très délicate.

Le parallèle fait avec l'ordonnancement d'atelier de fabrication montre qu'au-delà d'un ordonnancement de plus de deux travaux et de deux machines [Esquirol, 99] le problème ne comporte pas de résolution exacte simple.

De plus, le problème présente un haut niveau de complexité dû aux trois niveaux imbriqués de modélisation :

- le niveau des macro-compétences C_1 , C_2 et C_3 , avec C_1 et C_2 liées par une relation de dépendance (C_1 doit précéder C_2 , prérequis pédagogique) et C_3 est indépendante ;
- le niveau des micro-compétences C_{11} , C_{12} , C_{13} , C_{21} et C_{31} distribuées sur quatre ressources différentes ;
- le niveau des Travaux Pratiques, résultant de la conception pédagogique des procédés d'enseignement capables de permettre l'accroissement de compétences (TP1 à TP10).

Le problème est alors le suivant : comment assurer l'accroissement de compétence ($C_1+C_2+C_3$) d'un groupe de 6 élèves, avec trois ressources technologiques, au moindre coût et dans le temps le plus court possible. Nous considérons que le souci de qualité de cet accroissement de compétence demande le respect de la gamme d'enseignement définie sur la figure 4.13 (p 140), en l'occurrence les contraintes de précedence.

4.2.3.1. Modélisation du niveau macro-compétence

Il s'agit d'un programme de formation :

- pour développer n compétences, appelées aussi « macro-compétences »,
 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$
- pour un lot de m élèves, $E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$

L'acquisition des compétences doit respecter les relations de précedence liées aux pré-requis nécessaires. On désigne ces relations par un ensemble ;

$R \subseteq C \times C$. Si un couple $(c_i, c_j) \in R$, alors on dit c_i doit être acquis avant de développer c_j .

On peut aussi représenter les relations de précedence par un graphe orienté $G = (C, A)$ où l'ensemble des sommets C correspond à l'ensemble des compétences et l'ensemble des arcs A est tel que $(c_i, c_j) \in A$ si et seulement si la compétence c_i doit être acquise avant la compétence c_j .

Les différentes gammes possibles sont :

1. La gamme linéaire où les compétences doivent être développées en série

¹ La relation d'ordre causal est appelée « précedence » en recherche opérationnelle.

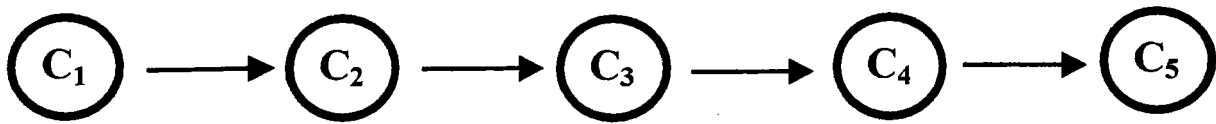


Figure 4.9 : Gamme linéaire d'enseignement.

2. La gamme sans précédence où les compétences peuvent être développées dans un ordre quelconque



Figure 4.10 : Gamme d'enseignement sans précédence.

3. La gamme générale (proche de l'application traitée)

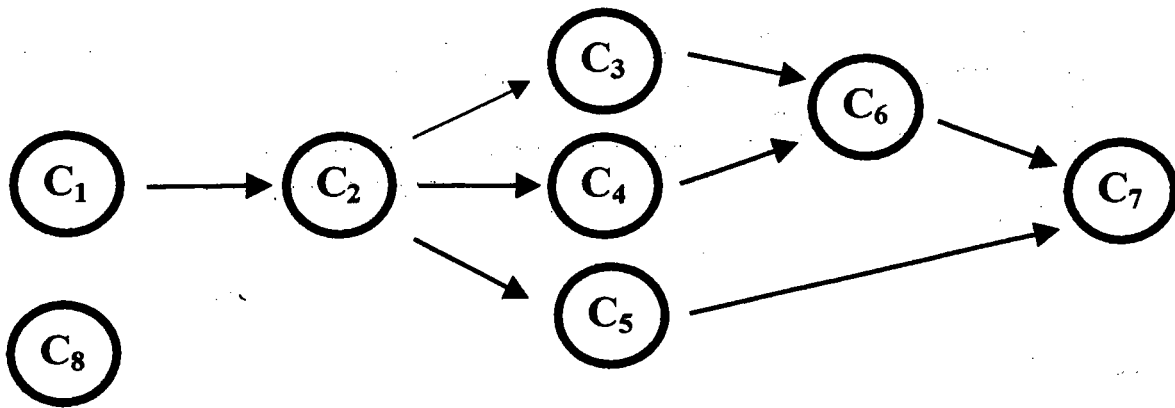


Figure 4.11 : Gamme générale d'enseignement.

Les contraintes techniques à ce niveau sont :

1. Chaque élève doit acquérir toutes les compétences de son programme de formation.
2. Chaque élève développe une compétence à la fois.
3. Chaque élève doit terminer toute compétence commencée avant de passer à une autre compétence ; ce qui ne signifie pas que la compétence soit développée sans interruption.

Hypothèse : Tous les élèves sont débutants.

4.2.3.2. Modélisation du niveau micro-compétence ou modélisation des macro-compétences

Chaque compétence C_i se décompose en plusieurs micro-compétences :

$C_i = \{ C_{i1}, C_{i2}, \dots, C_{iN_i} \}$ où N_i est le nombre de micro-compétences concernées.

Comme au niveau macro-compétence, ces micro-compétences ne sont pas indépendantes. Leur développement est soumis à des contraintes de précédence. $R_i \subseteq C_i \times C_i$ qui peuvent être représentées par un graphe orienté G_i :



Figure 4.12 : Gamme linéaire d'enseignement des micro-compétences.

Les différentes gammes des macro-compétences sont aussi possibles au niveau micro-compétences.

De même, les contraintes techniques des macro-compétences s'appliquent au niveau micro-compétences

4.2.3.3. Modélisation des micro-compétences : niveau des Travaux Pratiques

Chaque micro-compétence est acquise par une série de Travaux Pratiques (TP) noté $C_{ij} = \{TP_{ij1}, TP_{ij2}, \dots, TP_{ijK_{ij}}\}$ où K_{ij} est le nombre de TP nécessaires à l'acquisition de la micro-compétence C_{ij} .

Ces TP sont mis en œuvre de manière séquentielle les uns après les autres. Tous les TP sont développés sur la même ressource de formation appelée **poste de travail** M_{ij} .

Chaque TP_{ijk} :

- nécessite un temps t_{ijk} donné ; dans le cas général, $t_{ijk} = 2$ ou 4 heures ;
- doit être développé sans interruption dans une seule période élémentaire ; dans le cas général, cette période élémentaire dure 4 heures.

Les contraintes techniques à ce niveau sont :

Chaque élève développe au plus un TP par période élémentaire.

4.2.3.4. Modélisation des ressources de formation

Une ressource est un moyen technique ou humain destiné à être utilisé pour la réalisation d'une tâche. Elle est renouvelable si après avoir été utilisée par une ou plusieurs tâches, elle est à nouveau disponible en même quantité (hommes, machines, équipement, ...).

On dispose dans un laboratoire de formation d'un ensemble de ressources de formation appelées « machines » : $M = \{M_1, M_2, \dots, M_L\}$

Chaque ressource de formation M_i est composée de H_i postes de travail identiques.

Chaque poste de travail peut accueillir un élève à la fois (ou un binôme).

4.2.3.5. Résolution

- **Problème opérationnel** : il consiste à développer tous les TP pour tous les élèves, c'est-à-dire à déterminer une période élémentaire x_{ijk}^{E1} pour chaque TP ijk et pour chaque élève E , dans un nombre minimal de périodes élémentaires, correspondant au makespan C_{max} , tout en respectant les contraintes de précédence, les contraintes techniques et la disponibilité des ressources.
- **Problème de dimensionnement du laboratoire** : il s'agit de déterminer le nombre de postes de travail identiques H_i pour chaque ressource de formation permettant de minimiser la somme des coûts d'investissement fonction de H_i , et des coûts opérationnels fonction de C_{max} .

Exemple :

- un groupe de 6 élèves (ou 6 binômes)
- 3 macro-compétences à acquérir C1, C2, C3
- 4 ressources de formation (ou postes de travail)

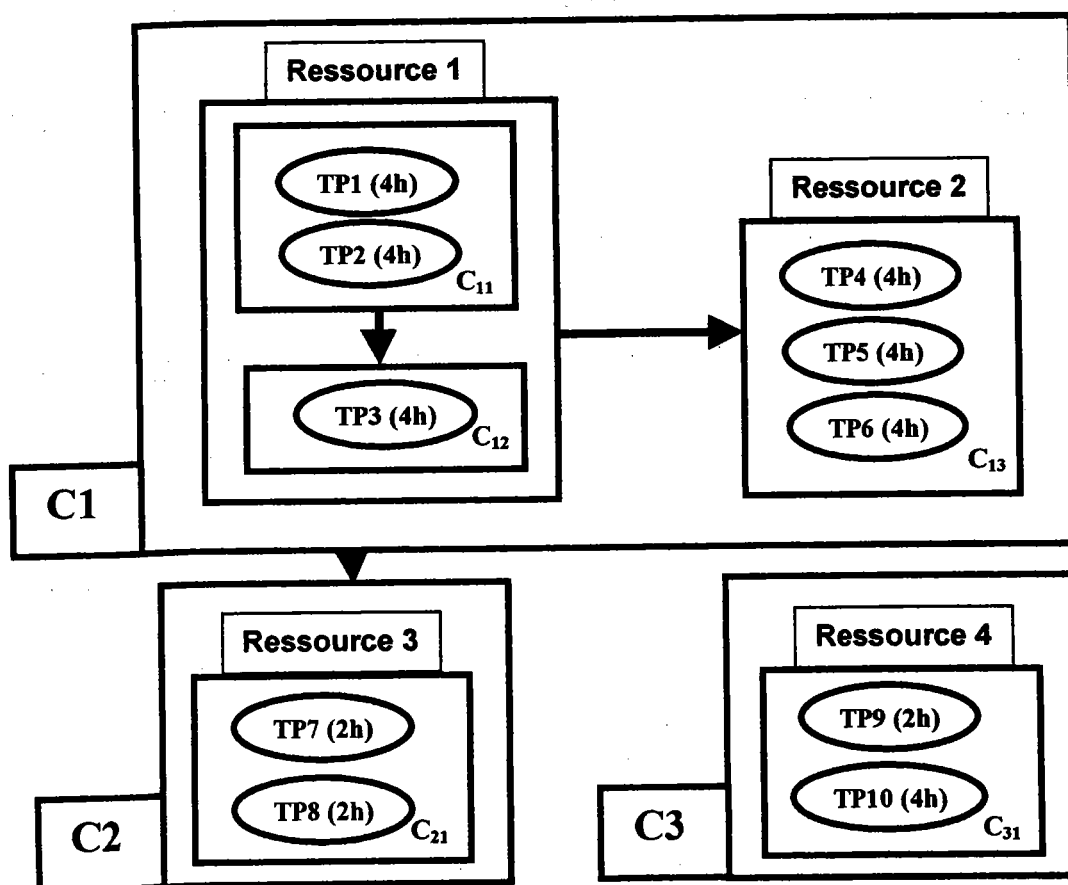


Figure 4.13 : Décomposition de la gamme d'accroissement de compétences dans un laboratoire de formation aux Travaux Pratiques.

4.2.3.6. Modélisation mathématique

- **Macro-compétence**

S_C^E : date de début d'acquisition de la compétence C de l'élève E

F_C^E : date de fin d'acquisition de la compétence C

R : ensemble des relations de précédence ($R \subseteq C \times C$)

<1> Précédence :

C doit précéder C' $\Leftrightarrow S_{C'}^E \geq F_C^E$, si $(C, C') \in R$

<2> Non chevauchement $\Leftrightarrow F_C^E \leq S_{C'}^E$ ou $F_{C'}^E \leq S_C^E$, pour tout couple de compétences (C, C')

- **Micro-compétence**

$S_{C_{ij}}^E$: date de début d'acquisition de la micro-compétence C_{ij}

$F_{C_{ij}}^E$: date de fin d'acquisition de la micro-compétence C_{ij}

<1> $S_{C_{ij}}^E \geq S_{C_i}^E$, pour toute micro-compétences C_{ij}
 $F_{C_{ij}}^E \leq F_{C_i}^E$

<2> $S_{C_{ij'}}^E \geq F_{C_{ij}}^E$, si C_{ij} précède $C_{ij'}$

<3> Non chevauchement $\Leftrightarrow F_{C_{ij'}}^E \leq S_{C_{ij}}^E$ ou $F_{C_{ij}}^E \leq S_{C_{ij'}}^E$, pour tout couple $(C_{ij}, C_{ij'})$

- **Niveau Travaux Pratiques**

$S_{TP_{ijk}}^E$: date de début du TP_{ijk} de la micro-compétence C_{ij}

$F_{TP_{ijk}}^E$: date de fin du TP_{ijk} de la micro-compétence C_{ij}

t_{ijk} : durée du TP_{ijk}

<1> $F_{TP_{ijk}}^E = S_{TP_{ijk}}^E + t_{ijk}$

<2> $S_{TP_{ijk}}^E \geq S_{C_{ij}}^E$, $\forall k$

$F_{TP_{ijk}}^E \leq F_{C_{ij}}^E$, $\forall k$

<3> $S_{TP_{ijk}}^E \geq F_{TP_{ijk'}}^E$, si TP_{ijk} précède $TP_{ijk'}$

<4> $F_{TP_{ijk}}^E \leq S_{TP_{ijk'}}^E$ ou $F_{TP_{ijk'}}^E \leq S_{TP_{ijk}}^E$, pour tout couple de TP $(TP_{ijk}, TP_{ijk'})$

- **Contrainte de ressources**

soit $M_{TP_{ijk}}$, la ressource nécessaire au TP_{ijk}
 soit L , la taille du lot d'élèves E à former
 soit H , les lignes de postes de travail identiques

$$\sum_{E=1}^L \sum_{TP_{ijk} / M_{TP_{ijk}} = M_u} \mathbf{1} \{ S_{TP_{ijk}}^E \leq t \leq F_{TP_{ijk}}^E \} \leq H_u,$$

Pour toute ressource M_u où $\mathbf{1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{si } x \text{ est vrai} \\ 0, & \text{si } x \text{ n'est pas vrai} \end{cases}$

4.2.3.7. Définition du critère

Dans le cas de cet ordonnancement, les indicateurs de performance varient essentiellement en fonction des temps d'attente que subissent les élèves, ce qui se répercute sur les dates de fin de « travaux ».

Le critère retenu cherche à minimiser le maximum de ces indicateurs sur l'ensemble des travaux. Il correspond au temps de cycle minimum, c'est-à-dire à la période minimale de traitement d'un lot d'élèves en formation dans le laboratoire de production de compétences : **min max $c F_c$** .

4.2.3.8. Traitement

- **Première méthode** : ordonnancement d'un élève à la fois
 Cette méthode, appliquée à un cas aussi complexe, ne produit pas de solution satisfaisante dans le temps imparti à l'étude de l'ordonnancement d'un laboratoire de production de compétences.
- **Deuxième méthode** : méthode dynamique avec travail par période pour un remplissage au mieux du laboratoire (ceci se rapporte à un problème d'affectation classique ou affectation à coût minimal)

- **Décomposition temporelle**

Idées de base :

- on considère le problème d'ordonnancement « période par période » à partir de la première période ;
- pour chaque période, on cherche à démarrer un nombre maximum de TP, c'est-à-dire, on cherche à utiliser au mieux les ressources.

Algorithme :

- Première étape : Initialisation
 $S = \{ (TP, E), \text{ pour tout TP et pour tout Elève } E \}$

= ensemble de TP restants à ordonner

$t = 1$, la première période (dans notre cas : 2h, puisqu'il existe des TP de 2h)

Z = ensemble de ressources disponibles au début de t

- Deuxième étape : Ordonnancement de la période t

Le problème consiste à affecter un ensemble maximum S_t de TP restants aux ressources disponibles dans Z .

- Troisième étape : Mise à jour des ressources disponibles

Enlever de S les TP de S_t et remettre à jour l'ensemble Z de ressources disponibles au début de la période suivante $t+1$, $t \leftarrow t+1$.

- Quatrième étape : Bouclage de l'algorithme

Si $S \neq \emptyset$, aller en deuxième étape, sinon, Stop.

- **Problème d'une période**

Le problème d'ordonnancement d'une période t est équivalent au problème d'affectation des élèves aux ressources pour les TP restants. Ce nouveau problème se transforme alors en un problème d'affectation simple. La transformation s'effectue de la manière suivante :

- Première étape :
Déterminer pour chaque élève E l'ensemble de ses TP restants.
- Deuxième étape :
Extraire pour chaque élève E l'ensemble S_E de TP restants pouvant démarrer à la période t . Cette étape doit tenir compte des contraintes telles que les contraintes de précedence, les contraintes de non-chevauchement des macro et micro-compétences.
- Troisième étape :
Déterminer pour chaque élève E l'ensemble $S_E^R \subseteq Z$ de ressources pouvant être affectées à E .
Une ressource $r \in Z$ est dans l'ensemble S_E^R si et seulement si il existe un TP dans S_E tel que le poste de travail du TP soit $M_{TP} = r$.
- Quatrième étape :
Le problème d'ordonnancement de la période est équivalent au problème d'affectation des élèves aux ressources dans Z avec les contraintes d'affectation décrites par S_E^R .

Soit $(E_1, r_1), (E_2, r_2), \dots, (E_k, r_k)$, l'affectation trouvée.

- Cinquième étape :
Pour chaque affectation (E_i, r_i) , l'élève E_i est affecté à la ressource r_i pour un TP $\in S_E^R$ tel que $M_{TP} = r_i$.

La résolution complète de ce cas est donnée en annexe 3. Elle fait apparaître que pour traiter un lot de six binômes en formation, dans le respect de cette gamme d'enseignement (c'est-à-dire en respectant les pré-requis nécessaires), 80 heures d'ouverture de laboratoire sont indispensables à l'acquisition des compétences C1, C2 et C3 développées en 32 heures de Travaux Pratiques (TP1 à TP10).

4.2.3.9. Conclusion

On pourrait contester cette méthode de résolution pour un problème dont les solutions peuvent être énumérées (un tableau 6x6 donne 6 ! solutions) ; on notera qu'il faudrait quatre milliards de siècles pour énumérer, à la vitesse d'une permutation par micro-seconde, les affectations possibles sur un tableau de 25x25 [Faure, 99].

En dépit de la complexité du problème, nous avons proposé un modèle et un algorithme de résolution par décomposition temporelle. In fine, il s'agit de résoudre un problème classique d'affectation tenant réellement compte de la gamme de formation des élèves.

Nous rappelons cependant que cette étude prend comme hypothèse simplificatrice la formation d'un lot d'élèves TOUS DEBUTANTS dans ce laboratoire, c'est-à-dire totalement homogène.

Cette résolution permet d'envisager des modifications profondes de la conception des laboratoires de formation et de leur exploitation.

Sur le plan pédagogique, on peut s'interroger sur la valeur des pratiques de production de compétences actuellement en vigueur, qui ne tiennent compte, ni du parcours de formation spécifique de l'élève (compétences visées, antériorités, pré-requis, ...), ni de l'ordonnancement du laboratoire de formation.

Sur le plan économique, ce changement a une conséquence fondamentale sur la nature des décisions et des rôles respectifs des décideurs, qu'ils soient pédagogiques, administratifs ou financiers ; cette étude manifeste la volonté d'un rapprochement de l'influence sur les coûts, les délais et la qualité de la formation dispensée dans l'organisation même de cette formation.

C'est ici l'occasion, si besoin était, de remettre en cause la structure et le fonctionnement de certaines institutions : organisations fondées sur la division des responsabilités et du travail, emploi du temps hebdomadaire, inertie pédagogique, absence d'indicateurs de performance, manque de réactivité, absence de lisibilité de la formation, mépris des relations « clients-fournisseurs ».

4.3. ETUDE DE CAS N°3 : Application de la méthodologie à la conception d'un laboratoire de formation à la Technologie pour la société MICRELEC

L'acquisition des ressources technologiques et logicielles, telle qu'elle est présentée dans la phase D (réaliser le système de production de compétences), pose parfois le problème de l'adéquation de ces ressources aux tâches d'enseignement.

Indispensables à l'activité d'enseignement, ces ressources conditionnent fortement la qualité de la tâche d'enseignement. Nous avons souhaité prendre un exemple original pour mieux exposer les servitudes financières d'un enseignement fortement instrumenté. L'enseignement de la technologie au collège, enseignement obligatoire de culture générale en France, se différencie des autres disciplines dans son activité d'enseignement par une démarche pédagogique impliquant l'élève dans la construction de son savoir. Cette implication se retrouve dans une importante mise en œuvre d'équipements pédagogiques, et dans une réflexion rétrospective sur cette mise en œuvre. Comparativement aux autres enseignements généraux, mathématiques, français et autres enseignements scientifiques, cette formation par la « manipulation » des concepts semble coûter cher. Il convient donc de rassurer le contribuable sur le bon usage des deniers publics en montrant précisément en quoi le matériel préconisé est indispensable, quelles compétences sont nécessaires pour sa mise en œuvre et quelles performances pédagogiques il offre par rapport à des procédés plus expositifs. Ceci revient à spécifier pour partie le paradigme tâche/compétence/acteur/activité, notamment en ce qui concerne l'acteur et l'activité.

4.3.1. Problématique de conception de laboratoires

Il n'est pas aisé pour une entreprise de concevoir un laboratoire de formation. Généralement, peu de compétences pédagogiques peuvent être réunies dans l'entreprise pour accompagner la mise en œuvre et l'exploitation d'un laboratoire de formation.

Les seules ressources formelles disponibles sont d'une part les programmes et les référentiels, d'autre part, les guides d'équipements, lorsqu'ils existent.

L'exercice consiste alors à rechercher quels sont les matériels disponibles (ou à concevoir) correspondant aux cahiers des charges techniques et à proposer un « assemblage » de solutions en espérant que l'offre corresponde bien aux besoins pédagogiques.

On est loin d'une approche rigoureuse visant à définir les matériels à partir des fonctions pédagogiques qu'ils doivent remplir. On imagine alors la difficulté des entreprises à livrer un laboratoire disposant de l'accompagnement pédagogique nécessaire à son utilisation.

Dans le logigramme présenté figure 4.11(cf. page 154), il apparaît clairement que la définition des postes de travail est tributaire de la définition des travaux pédagogiques attendus ; ceci montre que la simple lecture de l'information officielle ne permet pas de répondre au besoin d'équipement.

La présente étude de cas montre comment à partir de la spécification des compétences visées d'un enseignement on peut concevoir et caractériser un laboratoire de formation capable de développer l'accroissement de compétences exigé par le programme d'enseignement.

Nous avons développé pour la société MICRELEC¹ une méthodologie de conception des laboratoires de formation reposant sur une logique de conception des équipements à partir d'une analyse du besoin de formation.

Nous présentons en premier lieu quelques résultats de l'analyse fonctionnelle des matériels didactiques, puis nous proposons une méthode de conception du laboratoire complet.

A cette occasion, trois supports de communication ont été développés :

- un manuscrit papier présentant l'ensemble des travaux réalisés ;
- une base de données interactive pour une consultation par requête des solutions présentées ;
- une banque de données graphiques permettant d'assister la rédaction d'un plan d'implantation d'équipement.

Nous avons ainsi développé la spécification du matériel didactique, du poste de travail élève et de l'espace d'enseignement correspondant.

Chaque équipement a fait l'objet d'une définition à partir des outils de l'analyse fonctionnelle présentée ci-dessous.

4.3.2. Analyse fonctionnelle des postes de travail

Pour apporter une réponse au problème particulier du matériel didactique, nous présentons ici une réflexion permettant la définition fonctionnelle des équipements pédagogiques.

Il s'agit bien évidemment dans un projet de formation de sélectionner les matériels didactiques à partir de l'accroissement de compétences qu'ils permettent de conduire dans une activité d'enseignement.

Nous montrons dans cette première partie combien la définition d'un véritable guide d'équipement peut s'éloigner de la pratique actuelle.

4.3.2.1. But de l'étude

L'analyse fonctionnelle étudie les éléments d'un produit, d'un problème ou d'un service pour en

¹ Entreprise française de conception et production de matériels didactiques d'enseignement des sciences et de la technologie.

évaluer l'efficacité par rapport à sa finalité ou pour concevoir de nouveaux produits et services capables de satisfaire le besoin attendu.

S'agissant des équipements et postes de travail, les outils de l'analyse fonctionnelle permettent de définir fonctionnellement (des fonctions principales jusqu'aux contraintes) les matériels pédagogiques les plus aptes à satisfaire les programmes d'enseignement ; dans ce contexte, quiconque consulterait le « guide fonctionnel » d'équipement pédagogique de telle ou telle filière serait capable de déterminer les matériels nécessaires à un laboratoire de formation et d'en mesurer l'adéquation aux programmes de formation.

4.3.2.2. Méthode employée

Les étapes de cette analyse sont les suivantes :

- constitution d'un groupe de travail et définition de ses objectifs,
- recherche d'informations relatives au problème pédagogique à résoudre,
- saisie du graphe des interactions du matériel pédagogique,
- détermination des fonctions principales et contraintes,
- détermination des critères d'évaluation des fonctions,
- détermination des niveaux de critères,
- rédaction du cahier des charges fonctionnel de l'équipement pédagogique.

4.3.2.3. Application

Le graphe général des interactions de tout matériel pédagogique se résume à la forme représentée par la figure 4.9 :

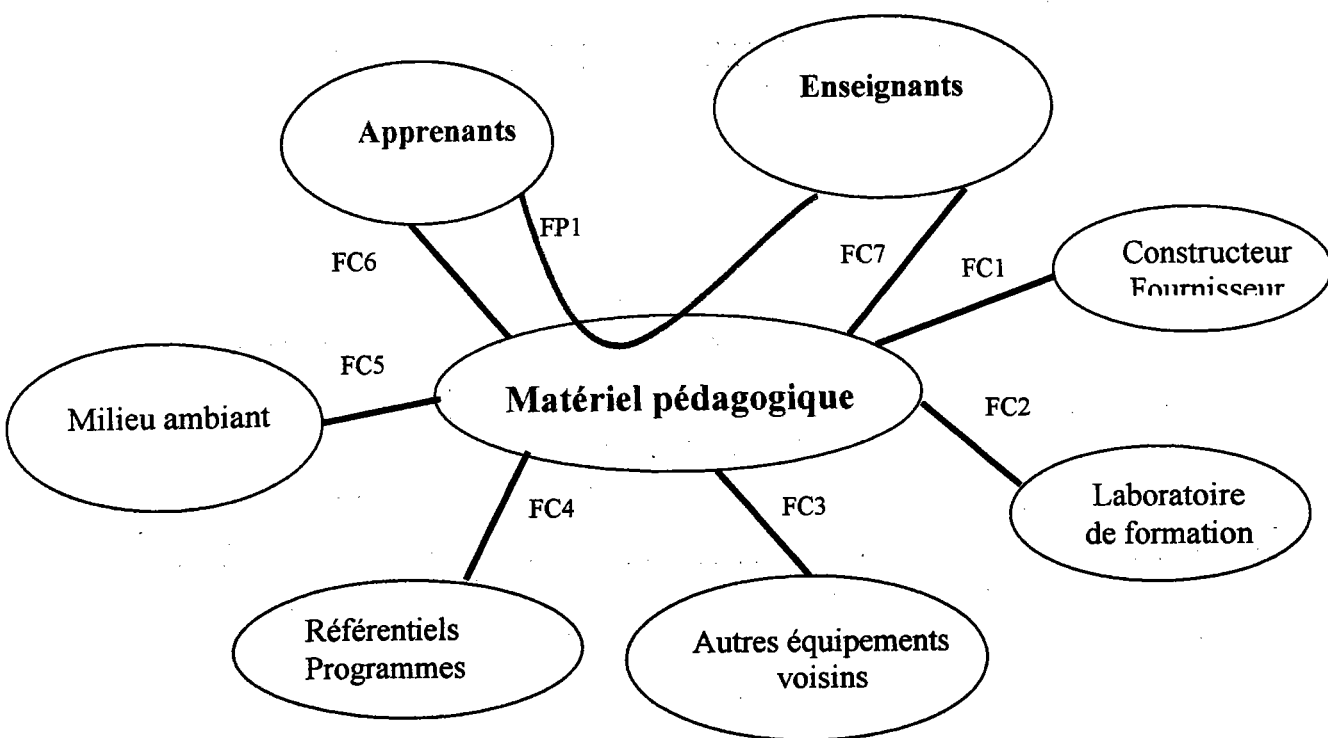


Figure 4.14 : Graphe des interactions d'un matériel pédagogique.

Il s'agit de définir l'ensemble des relations que doit entretenir le matériel pédagogique avec son environnement.

Les liaisons directes entre un milieu extérieur au matériel pédagogique et le matériel pédagogique représentent les fonctions contraintes ; elles limitent les possibilités conceptuelles en assurant que le Matériel pédagogique est compatible avec les conditions d'utilisation (FC1 à FC7).

La liaison FP1, qui relie, au travers du matériel pédagogique, les deux milieux (Apprenant et Enseignants) représente la fonction principale du Matériel pédagogique ; c'est la raison d'être de cet équipement.

Ce premier niveau d'analyse montre que tout matériel pédagogique se définit par une fonction principale et 7 fonctions contraintes.

Le tableau de synthèse 4.24 ci-dessous est issu de cette première analyse.

4.3.2.4. Tableau de synthèse des fonctions d'un matériel pédagogique

Fonction	Milieu(x) concerné(s)	Définition
FP1	Apprenants avec Enseignants	Fonction principale n°1 Le Matériel pédagogique doit permettre à l'enseignant et à l'élève de coproduire¹ l'accroissement de compétence visé.
FC1	Constructeur/Fournisseur	Fonction contrainte n°1 Le constructeur doit offrir toutes les garanties de qualité relatives à la conception, à la mise sur le marché et au suivi du matériel pédagogique.
FC2	Laboratoire de formation	Fonction contrainte n°2 Le matériel pédagogique doit s'intégrer dans la structure du laboratoire de formation auquel il est destiné.
FC3	Autres équipements voisins	Fonction contrainte n°3 La mise en œuvre du matériel pédagogique doit être compatible avec l'utilisation des matériels pédagogiques voisins du même laboratoire.
FC4	Programmes/Référentiels	Fonction contrainte n°4 La mise en œuvre du matériel pédagogique doit respecter les contraintes de programmes et de référentiels.
FC5	Milieu ambiant	Fonction contrainte n°5 Le matériel pédagogique doit être compatible avec les conditions d'utilisation ambiantes locales.
FC6	Apprenants	Fonction contrainte n°6 Le matériel pédagogique doit être adapté à l'utilisation par un élève (ou un étudiant) en formation.
FC7	Enseignants	Fonction contrainte n°7 Le matériel pédagogique doit pouvoir être mis en œuvre et exploité par les enseignants habilités.

Tableau 4.24 : Tableau des fonctions d'un matériel pédagogique.

Le deuxième niveau d'analyse consiste à définir pour chacune des fonctions du matériel pédagogique les critères et le niveau d'évaluation ; les tableaux 4.23 et 4.24 présentés ci-dessous synthétisent cette étude ; les niveaux inscrits en italique mentionnent des données quantifiées qu'il conviendrait de considérer et contextualiser pour chaque étude spécifique.

¹ Nous avons défini ce concept au chapitre 1.

4.3.2.5. Tableau de synthèse des critères et niveaux d'évaluation des fonctions d'un matériel pédagogique

Fonction	Définition	Critères	Niveau
FP1	Fonction principale n°1 Le Matériel pédagogique doit permettre à l'enseignant et à l'élève de coproduire ¹ l'accroissement de compétence visé.	Adéquation au programme ou au référentiel Adéquation aux objectifs de formation visés Conformités aux orientations pédagogiques Nature de l'évaluation requise Prérequis indispensables Conditions de travail des formés Durée totale d'utilisation par les formés Existence d'auxiliaire pédagogique Enseignant ou Elève	Savoirs ou compétences tout à fait identifiés et clairement explicités à partir du programme ou du référentiel Objectifs des TP réalisés = Explicitation à préciser à préciser <i>à préciser</i> <i>à préciser</i> <i>à préciser</i> <i>à préciser</i>
FC1	Fonction contrainte n°1 Le constructeur doit offrir toutes les garanties de qualité relative à la conception, à la mise sur le marché et au suivi du matériel pédagogique.	Matériel contrôlé unitairement Existence d'un SAV Délais d'intervention réduits Conformité aux normes CE Garantie pièces et main d'œuvre Références Education Nationale Formation assurée pour la prise en main Notice technique de maintenance Notice technique d'utilisation	Totalement indispensable et local <i>8 jours, hot line 24h/24h</i> totale 1 an sur site marchés + expérience commerciale en lycées <i>2 jours, avec regroupement possible</i> <i>complète</i> <i>complète avec exemples</i>
FC2	Fonction contrainte n°2 Le matériel pédagogique doit s'intégrer dans la structure du laboratoire de formation.	Compatibilité du matériel aux volumes et surfaces du laboratoire Mobilité Compatibilité des énergies nécessaires et disponibles Pollution	Volume maxi = Surface au sol maxi = Nulle à préciser <i>Compatible avec la « pollution » du laboratoire</i>

Tableau 4.25 : Caractérisation des fonctions d'un matériel pédagogique (première partie).

¹ Nous avons défini ce concept au chapitre 1.

FC3	Fonction contrainte n°3 La mise en œuvre du matériel pédagogique doit être compatible avec l'utilisation des matériels pédagogiques voisins.	Respect du fonctionnement des autres postes de travail du laboratoire : Bruit Projection Accès et circulation Pollution	0 risque, 0 nuisance < 30dB aucune sans perturbation de l'existant nulle
FC4	Fonction contrainte n°4 La mise en œuvre du matériel pédagogique doit respecter les contraintes de programmes et de référentiels	Conformité aux programmes Conformité aux référentiels	Extrait du programme Extrait des référentiels Orientations pédagogiques
FC5	Fonction contrainte n°5 Le matériel pédagogique doit être compatible avec les conditions d'utilisation ambiantes locales.	Respects des conditions climatiques d'utilisation : Eclairage nécessaire Hygrométrie Température Salinité Poussières	< x lux $10g/m^3 < > 30g/m^3$ $30^\circ \pm 10^\circ$ 0 0
FC6	Fonction contrainte n°6 Le matériel pédagogique doit être adapté à l'utilisation par un apprenant en formation.	Respect des normes et réglementations en matière de sécurité Accessibilité aux énergies Interventions sur les organes de commande Interventions sur les réglages effectués en usine. Intervention sur les organes de sécurité	Normes CE, <i>normes ...</i> Réglementation en vigueur relative à la sécurité des personnes et des biens <i>à définir</i> <i>à définir</i> <i>à définir</i> <i>aucune</i>
FC7	Fonction contrainte n°7 Le matériel pédagogique doit pouvoir être mis en œuvre par les enseignants habilités.	Adéquation aux compétences et performances des enseignants Temps de prise en main Temps de mise en œuvre Accessoires de mise en œuvre Auxiliaires pédagogiques	Totale, sinon formation assurée < 2h <30 min sans (<i>ou définis précisément</i>) <i>cédérom de présentation</i> <i>exemples déjà traités</i> <i>TP fournis, vidéos si nécessaire</i>

Tableau 4.26 : Caractérisation des fonctions d'un matériel pédagogique (deuxième partie).

4.3.2.6. Développement de la méthode

Ainsi défini, le matériel pédagogique répond avant tout aux tâches de formation. Il devient plus aisé (et moins coûteux) pour toute entreprise du didactique compétente de développer un matériel attendu dont les fonctions pédagogiques sont clairement exprimées. Cette étude conduit naturellement à la définition du cahier des charges fonctionnel du matériel pédagogique.

La pratique institutionnelle des « Guides d'équipement¹ » est tout autre : une commission pédagogique définit les finalités des laboratoires, les contraintes architecturales et les équipements nécessaires par « comparaison » aux équipements ciblés existants.

Par exemple, dans le Guide d'équipement pour les ateliers Productique Mécanique, édition avril 1995, on fait part du besoin d'un « tour à commande assistée* » pour lequel il est précisé dans le glossaire « Machine à commande assistée : Machine outil numérisée avec assistance pour la réalisation de macro tâches et commande possible en mode manuel par manivelles ».

On comprend l'embarras des constructeurs sur leur capacité à répondre à une telle définition « pédagogique » sans prendre le risque de « copier » la solution préexistante ou de se tromper de produit ...

Il est clair que l'analyse fonctionnelle, telle qu'elle est proposée ici, représente une façon de libérer les entreprises du didactique de la dépendance des auteurs de « Guides d'équipement nationaux ».

4.3.3. Méthodologie de conception de laboratoire de formation

Tout projet de formation engendre un projet d'équipement. Une réflexion pédagogique initiale et permanente est donc nécessaire et la connaissance fine des programmes institutionnels indispensable.

Une méthode de travail stricte doit garantir une bonne efficacité. Ainsi, pour optimiser la conception d'un laboratoire, il faut :

- définir les fonctions pédagogiques du laboratoire ;
- détailler les pratiques pédagogiques en terme de procédés d'enseignement, de réalisations souhaitées, et d'évaluation à partir d'un accroissement de compétences visé ;
- déterminer les fonctionnalités pédagogiques des équipements ;
- actualiser les matériels conformément aux objectifs et au niveau de formation requis.

¹ Les exemples sont nombreux. Sur ce sujet, il suffit de consulter la généreuse littérature consacrée aux recommandations d'équipements publiée par le Ministère de l'Education Nationale (Guide d'équipements).

Optimiser le fonctionnement d'un laboratoire, c'est aussi :

- lier les besoins d'équipement strictement aux nécessités de formation,
- actualiser les compétences des enseignants,
- maintenir et compléter l'existant,
- réduire les temps non productifs de formation,
- définir rationnellement les postes de formation.

Ce qui coûte beaucoup, c'est :

- du matériel correspondant peu aux finalités et orientations pédagogiques,
- un équipement en mauvais état,
- une organisation défailante.

En conclusion, un projet d'équipement c'est :

- d'abord un projet pédagogique de formation
- l'œuvre d'une équipe
- l'optimisation de l'existant
- l'actualisation des équipements
- un projet de financement pour valoriser la formation dispensée.

Chaque fois que nous avons appliqué ces quelques règles sur le terrain, nous avons rentabilisé les investissements humains et financiers et abouti à une dotation d'équipements mis en œuvre par les enseignants et correspondant aux besoins d'accroissement de compétence.

Nous proposons dans ce paragraphe de présenter la méthodologie de conception de laboratoire (figure 4.10) que nous avons utilisée dans le cadre de l'expertise d'une cinquantaine de projets d'équipements des collèges de l'Académie de Versailles.

Elle a fait l'objet d'une généralisation appliquée à la conception d'un laboratoire de Technologie au collège pour le compte de la société Micrelec¹ qui le commercialise actuellement. La simplification de la méthodologie originale, notamment en ce qui concerne l'implantation des locaux et la validation des coûts de fonctionnement, tient au fait que nous n'avons pas rencontré, d'une part, d'établissement susceptible d'être suffisamment transformé dans son architecture et, d'autre part, de contrainte de financement portant sur le budget de fonctionnement.

Une publication a fait suite à l'application de la méthode ; elle a été financée par la société Micrelec. L'ensemble du manuscrit, dont nous sommes auteurs, étant volumineux, nous reproduisons, avec l'autorisation de la société, quelques pages afin d'illustrer l'aide à la spécification des acteurs d'enseignement à travers la caractérisation des équipements.

¹ La société MICRELEC est une sociétés fondatrice du Centre d'Etudes et de Recherche des Entreprises du Didactique (CET DIDACT).

Sont notamment présentées et commentées :

- une fiche descriptive d'une ressource technologique constituée par un matériel didactique, figures 4.11 et 4.12 ;
- une fiche descriptive d'une ressource logicielle constituée par un logiciel pédagogique, figures 4.13 et 4.14 ;
- une fiche descriptive d'un poste de formation, constitué d'une ressource technologique et d'une ressource logicielle associée, figure 4.15 ;
- une implantation de zones fonctionnelles de formation, figures 4.16 et 4.17.

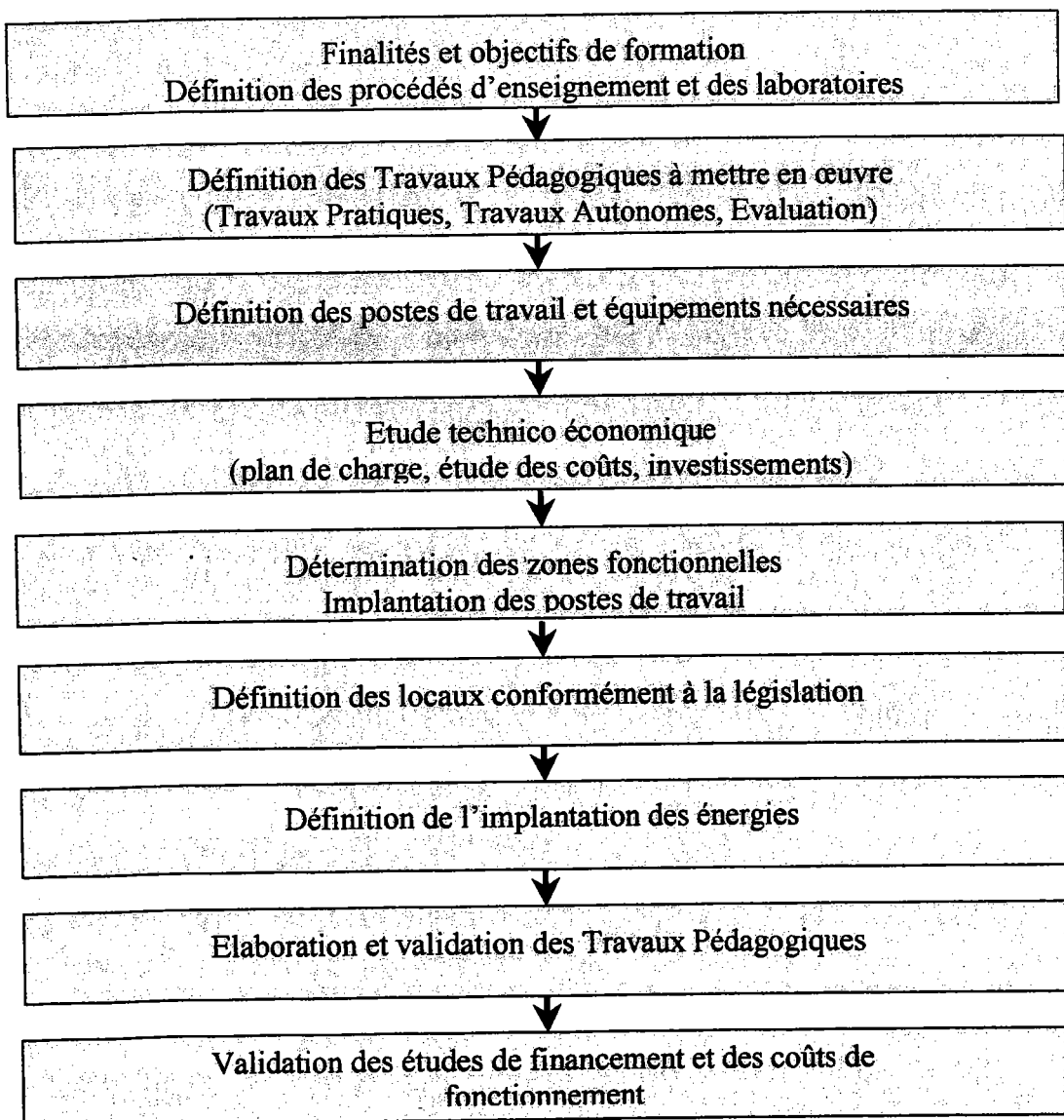


Figure 4.15 : Méthodologie de conception de laboratoire.

Ce logigramme suivant montre qu'il y a lieu de constituer le projet d'équipement à partir du besoin pédagogique et de définir avant tout les procédés d'enseignement tels que les travaux pratiques, les travaux autonomes et les évaluations. En l'occurrence, ces travaux sont définis par l'accroissement de compétences souhaité et présentés dans les programmes ou référentiels, ou bien découlent de la spécification des tâches d'enseignement, comme nous l'avons montré au paragraphe 4.1 de ce chapitre.

Ils conditionnent la définition des cahiers des charges des équipements et la qualité de leurs conceptions traduisant la performance pédagogique attendue.

Les documents suivants (figures 4.11 et 4.12) ont été conçus afin de spécifier, pour chaque équipement didactique, les ressources technologiques en fonction de l'accroissement de compétences visé et aux activités d'enseignement. Ils facilitent l'acquisition des ressources technologiques présentée au paragraphe 4.1 (phase E de la méthodologie de conception d'un système de production de compétences.

En fin de manuscrit, un tarif est fourni à partir d'une nomenclature des références des équipements permettant à l'utilisateur d'évaluer ses acquisitions en fonction du budget alloué.

Une base de données relationnelles permet un accès selon le niveau d'enseignement et les compétences recherchés, la nature des ressources (technologiques ou logicielles) et la nature des zones d'enseignement (espace polyvalent de formation, espace à moyens partagés, espace de communication). Elle constitue une aide à la décision d'investissement tout en garantissant la fidélité aux orientations pédagogiques préconisées.

De la même manière, le document présenté dans les figures 4.13 et 4.14 spécifie les caractéristiques des ressources logicielles en fonction des compétences attendues et des activités d'enseignement recommandées.

TECHNOLOGIE AU COLLEGE : ESPACE POLYVALENT

Unité de Perçage et de fraisage Automatisée

Réf. : M16T101

Annexe 15

Description du produit

Intérêts pédagogiques :

Conforme au Guide d'Equipements conseillés pour la Technologie, ce périphérique de production piloté par ordinateur permet la réalisation *en toute sécurité* de toute pièce mécanique de forme prismatique et de circuits imprimés.

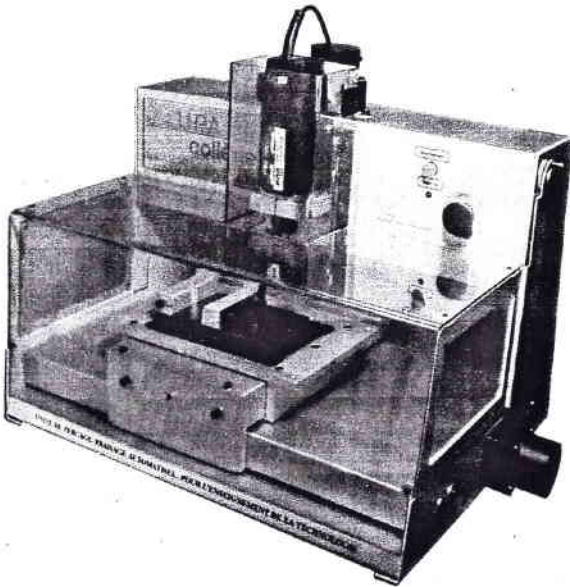
Il permet à l'élève d'élargir sa pratique de l'informatique aux applications industrielles.

Objectifs pédagogiques associés :

En dehors du programme de 4e, où ce matériel est indispensable au développement des compétences décrites dans l'unité de "Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur", ce produit est mis en œuvre, de la 5e à la 3e, chaque fois qu'il s'agit de produire des pièces mécaniques ou des cartes électroniques.

Performances particulières :

- Gravure de texte et dessin ;
- Programmation par bloc 3D ;
- Perçage et gravure de Circuits Imprimés ;
- Programmation par apprentissage 3D ;
- Machine silencieuse



Matériel conforme à la note de service "SECURITE" DLC/IGEN STI

Données techniques :

Encombrements (mm) :	700 x 550 x 520
Poids (kg) :	27 Kg
Energies nécessaires :	230 V,
Moteur broche :	150 à 750 W
Fréquence de rotation :	8000 à 24000 tr/min
Niveau acoustique :	<85 dB
Course axe X :	290 mm
Course axe Y :	190 mm
Course axe Z :	100 mm

Caractéristiques et avantages :

- Très grande facilité de prise en main (moins de 5 minutes pour graver un texte)
- Sécurité Active (coup de poing arrêt d'urgence, bouton de réarmement, capot avec détection d'ouverture)
- Prise d'origine très facile en Z grâce à l'origine flottante
- Visualisation de la pièce en 3D sous tous les angles
- Compatibilité avec les fichiers HPGL, EXCELLON, GERBER
- Simulation d'usinage de la pièce en 3D sous tous les angles
- Correction d'outil

Figure 4.16 : Spécification d'une ressource technologique, page 64 extraite du manuscrit Micrelec.

Spécifications techniques et service offert

Matériel conforme aux normes CE.

Fabriqué en France.

1 journée de formation gratuite dans les locaux de Micrelec.

Garantie 1 an retour à Micrelec.

Applications pédagogiques

La mise en œuvre de ce matériel pour l'usinage de circuits imprimés ou de pièces prismatiques leur permet de développer les **compétences** suivantes :

- Repérer les conditions d'antériorité entre les opérations (Production sérielle à partir d'un prototype 5e) ;
- Utiliser une machine en respectant les règles de sécurité (Production sérielle à partir d'un prototype 5e) ;
- Proposer une modification du produit respectant les normes de fabrication (Essai et amélioration d'un produit 5e) ;
- Mettre en fonctionnement un ordinateur interfacé à une machine-outil numérisée après en avoir vérifié l'état des sécurités (4e) ;
- Construire et produire le fichier nécessaire aux usinages à réaliser (4e) ;
- Réaliser des usinages après avoir vérifié les outils, les mises en position et les conditions de coupe (4e) ;
- Choisir et mettre en œuvre des solutions techniques (Extension d'une gamme de produits 4e) ;
- Les données et les résultats étant précisés, définir l'enchaînement de quelques fonctions d'un logiciel de FAO, mettre en œuvre les fonctions logicielles requises, sélectionner les paramètres de coupe adaptés (3e) ;
- Mettre en œuvre en autonomie un moyen à commande numérique pour réaliser une opération définie sur une pièce donnée (3e)

et de conduire les **activités** suivantes :

- Réalisation de prototypes (Etude et réalisation de prototypes 5e) ;
- Réalisation de maquettes ou d'avant projet pour validation des solutions retenues (Etude et réalisation de prototypes 5e) ;
- Mise en œuvre d'un plan de production,
- Prise en main d'un poste de travail, prise en compte des zones dangereuses et des organes de sécurité (Production sérielle à partir d'un prototype 5e) ;
- Recherche des solutions d'amélioration du produit ou de sa production (Production sérielle à partir d'un prototype 5e) ;
- Fabrication de prototypes (Extension d'une gamme de produits 4e) ;
- Recherche et choix des fonctions et des solutions techniques dans le respect de contraintes techniques et économiques (Extension d'une gamme de produits 4e) ;
- Mise en œuvre d'un poste de fabrication numérisée pour conduire une réalisation (3e) ;
- Modification d'une famille de pièces (3e) ;
- Réalisation de prototypes (Recherche et détermination de solutions 3e) ;
- Fabrication des pièces en respectant les règles de sécurité (Production 3e) ;

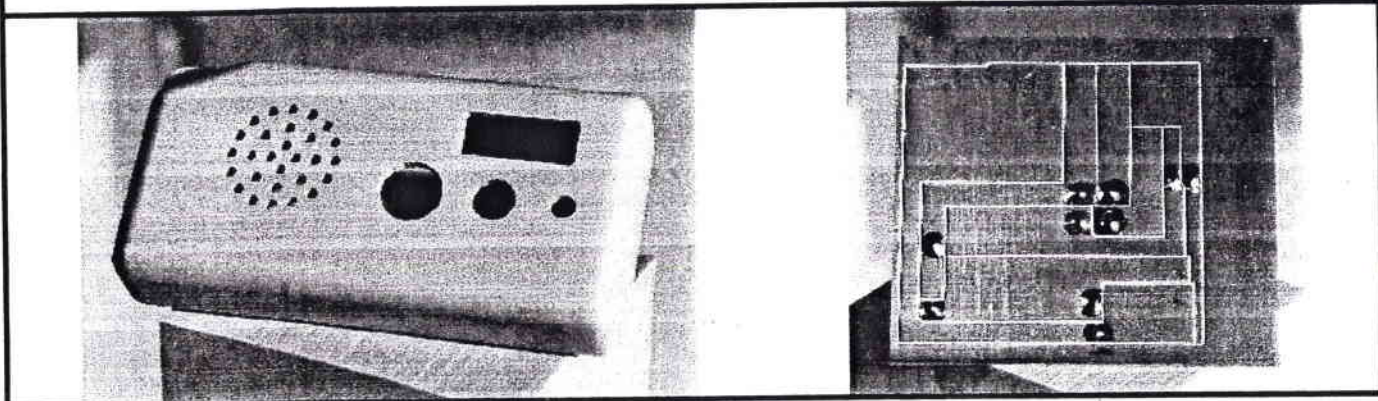


Figure 4.17 : Spécification d'une ressource technologique,
page 65 extraite du manuscrit Micrelec.

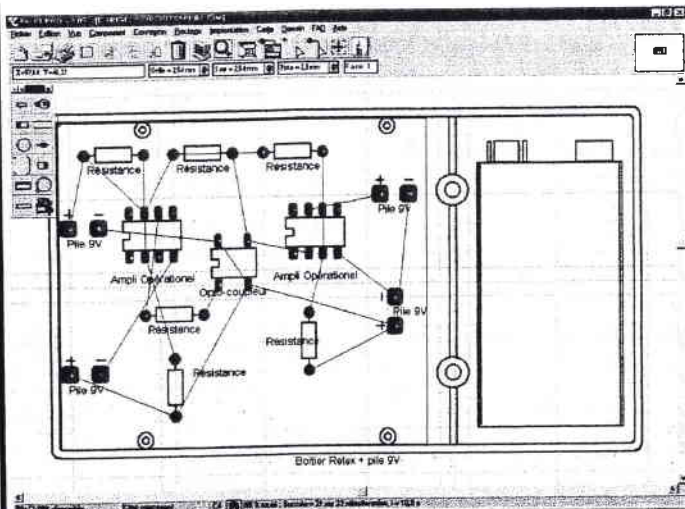
TECHNOLOGIE AU COLLEGE : ESPACE POLYVALENT (et communication)

Logiciel de conception électronique :
BIG-CI

Réf. : M0314T01

Annexe 17

Description du produit



Intérêts pédagogiques :

Associé aux logiciels Schéma et Grave-CI, ce produit permet de montrer à l'élève comment est traitée l'information du schéma à la gravure d'une carte électronique tout en développant les savoirs technologiques spécifiques.

Objectifs pédagogiques associés :

En plus du programme de 4^e, où ce logiciel associé aux logiciels Schéma et Grave-CI permet à l'élève de développer toutes les compétences décrites dans l'unité de "Conception et fabrication assistée par ordinateur" pour la partie « Electronique », ce produit est mis en œuvre en tant qu'interface entre la conception des circuits et leur fabrication sur des périphériques numérisés de production (tels que UPA).

Données techniques :

Ce logiciel permet la réalisation et l'usinage des cartes de circuits imprimés.

Il peut être mis en liaison avec le logiciel Schéma (logiciel de CFAO de circuits imprimés) et UPA.

Format de fichier aux standards : Exellon, Gerber,

...

Performances particulières :

- Routage automatique jusqu'à 10000 composants,
- Base de données composants ouverte,
- Optimisation des dimensions de la carte électronique
- Base de données "boîtier" intégrée,
- Possibilité d'impression du plan de câblage côté composants et côté cuivre,
- Déplacements des composants,
- Transfert automatique des liaisons électriques provenant de Schéma.

Caractéristiques et avantages :

Dans la version Win, les fichiers sont exportables et compatibles avec les passerelles de FAO de l'ensemble des périphériques de production du collège.

Possibilité de définir les contraintes d'implantation des composants.

Figure 4.18 : Spécification d'une ressource logicielle, page 68 extraite du manuscrit Microlec.

Spécifications techniques et service offert

Support téléphonique permanent à Microlec
Mise à jour gratuite pendant 1 an
Formation gratuite dans les locaux Microlec

Applications pédagogiques

La mise en œuvre de cet équipement par les élèves pour la fabrication de pièces et de circuits imprimés leur permet de développer les **compétences** suivantes :

- Mettre en fonctionnement un ordinateur interfacé à une machine-outil numérisée après en avoir vérifié l'état des sécurités (4e) ;
- Optimiser un typon en fonction des contraintes (utilisation de l'objet, taille des composants, encombrement) (4e) ;
- Construire et produire le fichier nécessaire aux usinages à réaliser (4e) ;
- Enrichir une base de données pour capitaliser l'information (composants, plans de perçage, trajectoires d'outils) (4e) ;
- Exprimer sa pensée à l'aide de croquis et de schémas (Etude et réalisation d'un prototype (5e) ;
- Consulter une base de données pour en extraire une représentation utilisable pour la réalisation d'un objet (4e) ;
- Associer les composants électroniques et leurs symboles (4e).

et de conduire les **activités** suivantes :

- Choix dans une base de données des composants correspondant aux symboles (4e) ;
- Réalisation ou modification du placement des composants en tenant compte des contraintes mécaniques et électriques (4e) ;
- Réalisation de prototypes (Etude et réalisation d'un prototype (5e) ;
- Réalisation du typon et perçage du circuit imprimé à partir du fichier d'implantation (4e) ;
- Essai et comparaison des différentes solutions (Etude et réalisation d'un prototype (5e) ;
- Réalisation et tests de prototypes (Recherche et détermination des solutions 3e).

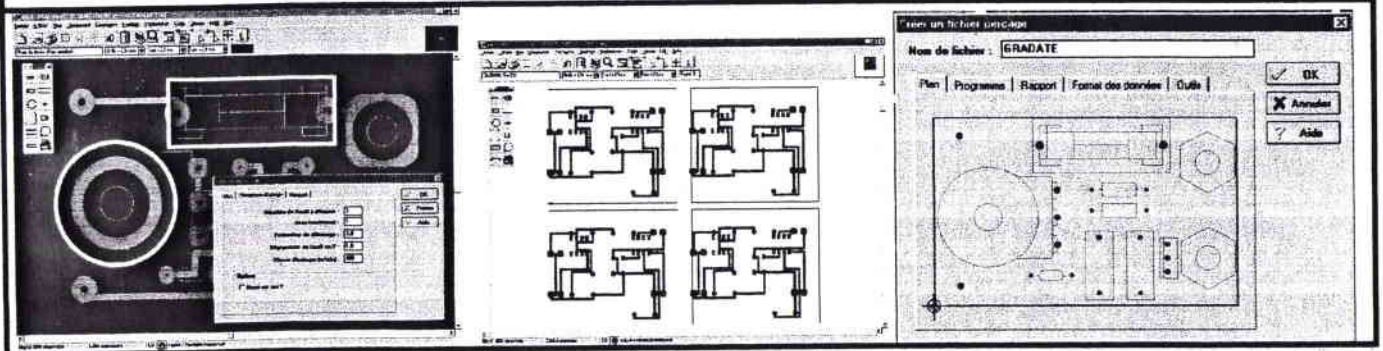


Figure 4.19 : Spécification d'une ressource logicielle, page 69 extraite du manuscrit Microlec.

La notion de poste est définie (figure 4.15) par la spécification des équipements qui lui sont associés (présentés chacun individuellement dans la première partie du manuscrit), les énergies nécessaires, le nombre d'élèves admis à travailler ensemble sur le poste et les fournitures documentaires indispensables à la conduite de l'activité d'enseignement.

L'implantation complète est proposée sur les figures 4.17 et 4.18. Elle prend en compte les zones fonctionnelles définies par les regroupements pédagogiques des procédés d'enseignement ; en l'occurrence, pour cet enseignement, il s'agit de trois zones correspondant à une zone de communication, une zone d'études et une zone de réalisation.

Cette implantation permet d'évaluer et de préparer les travaux de mise en conformité, d'aménagement de locaux et d'entretien.

Pour conclure, nous avons montré aux enseignants en charge de cette spécialité, combien il était important de définir les acteurs d'enseignement à partir de l'accroissement souhaité des compétences de l'apprenant et des activités d'enseignement à conduire. Nous les avons mis en garde sur certaines pratiques « hasardeuses », parfois même recommandées par l'institution, et sur le danger d'acquérir un équipement non conforme à sa vocation pédagogique.

Dans chaque établissement, nous les avons aidés à mutualiser leurs matériels et à dimensionner leurs laboratoires en fonction des différents niveaux d'enseignement et des caractéristiques des filières de formation pourvues, à faire des choix judicieux en fonction d'un budget et de priorités pédagogiques et à concevoir un plan de maintenance (voire d'acquisition) de leurs propres compétences en relation avec les systèmes de formation des maîtres existants.

Du côté de l'entreprise, un programme plus vaste s'est mis en chantier avec la constitution d'un groupe de travail chargé de la conception, selon le même modèle, d'un laboratoire de physique-chimie et d'un laboratoire de Sciences de la Vie et de la Terre.

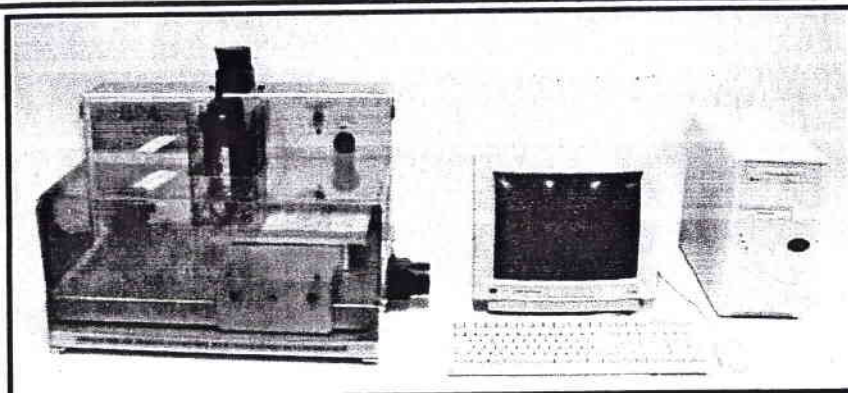
Tout d'abord, documentation interne à l'usage des commerciaux de l'entreprise, le manuscrit a ensuite été diffusé plus largement auprès des collectivités territoriales, des corps d'inspection et des professeurs en cours de réorganisation de leurs systèmes de production de compétences.

Ce manuscrit¹ est aujourd'hui traduit en anglais et en espagnol et est utilisé comme support d'échange et de communication pour les activités commerciales d'exportation de la formation de l'entreprise Micrelec. Il est maintenant accompagné des ouvrages pédagogiques proposant des recueils d'activités d'enseignement sur les thèmes des programmes de technologie. Nous sommes ainsi passés, localement et avec le concours de l'entreprise, d'un taylorisme pédagogique à une ingénierie de conception des ressources.

¹ « Laboratoire de Technologie au collège » édité par la société MICRELEC

ESPACE POLYVALENT

Poste numérique de perçage et fraisage numérique



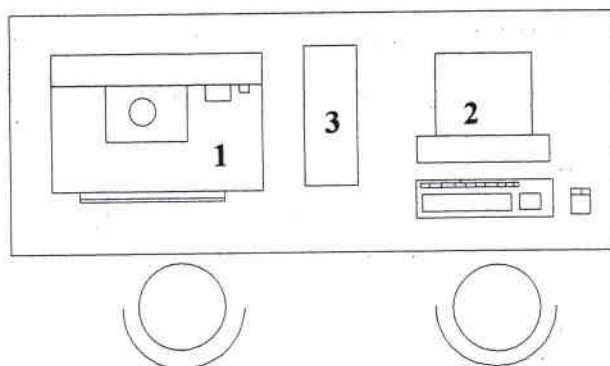
Composition du poste :

Un plan de travail
1- Une UPA

2- Un ordinateur

3- Logiciel BIG CI

Implantation type :



Energies nécessaires :

Symbole	Type	Caractéristiques
E	Electrique	3 prises 220V Alternatif
P	Pneumatique	Néant
H	Hydraulique	Néant

Consommation :

Type	Dimension	Valeur
Electrique	Puissance	1000 W + 200W (ordinateur)
Pneumatique	Débit / Pression	0
Hydraulique	Débit / Pression	0

Nombre optimal d'élèves sur le poste : Deux élèves

Auxiliaires pédagogiques : Ensemble des TP associés, vidéo de mise en œuvre, dossiers techniques

Figure 4.20 : Spécification d'un poste de travail, page 95 extraite du manuscrit Microlec.

Implantation type :

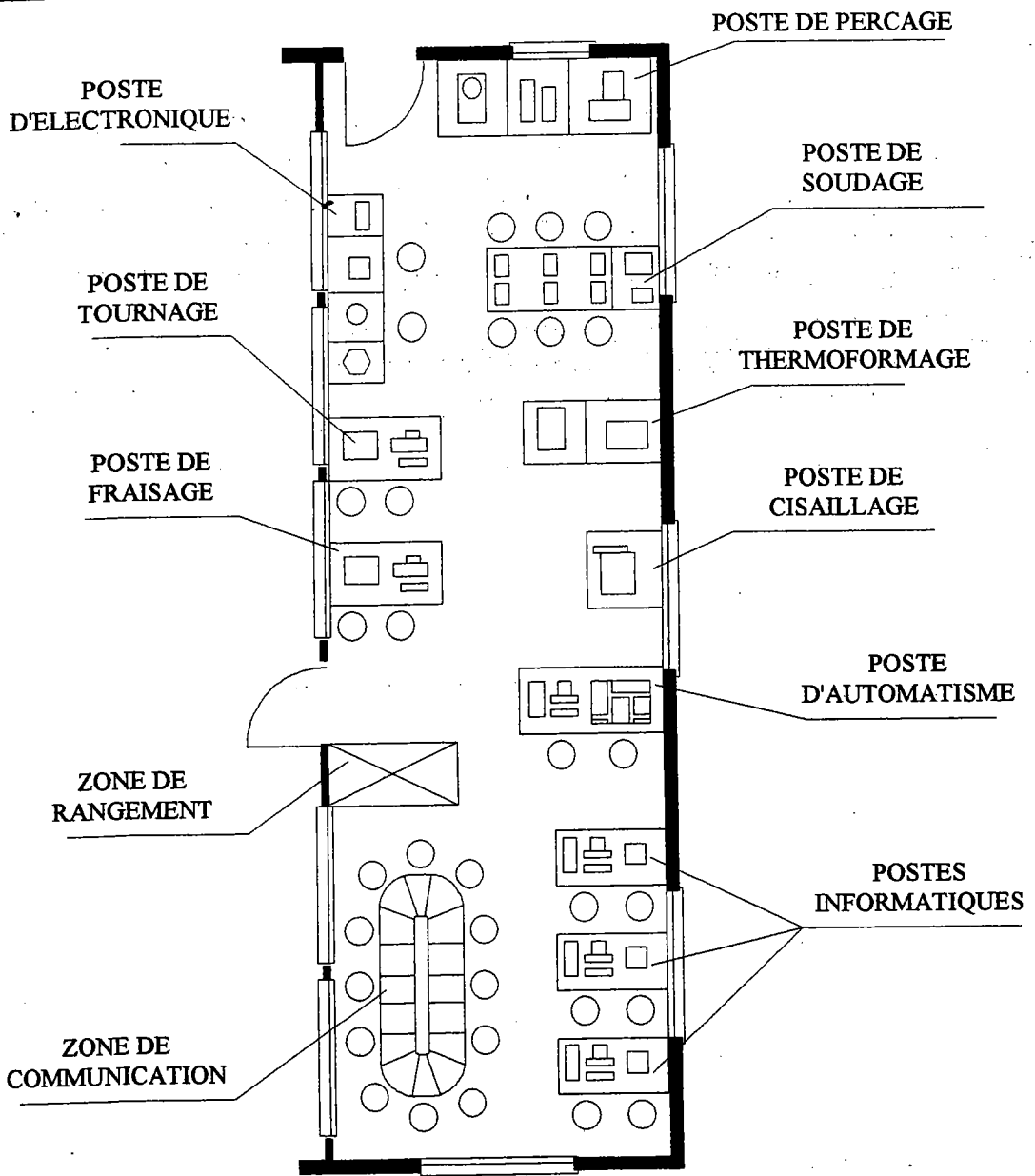


Figure 4.21 : Définition de l'implantation de l'espace polyvalent, page 33 extraite du manuscrit Mirelec.

Implantation des énergies :

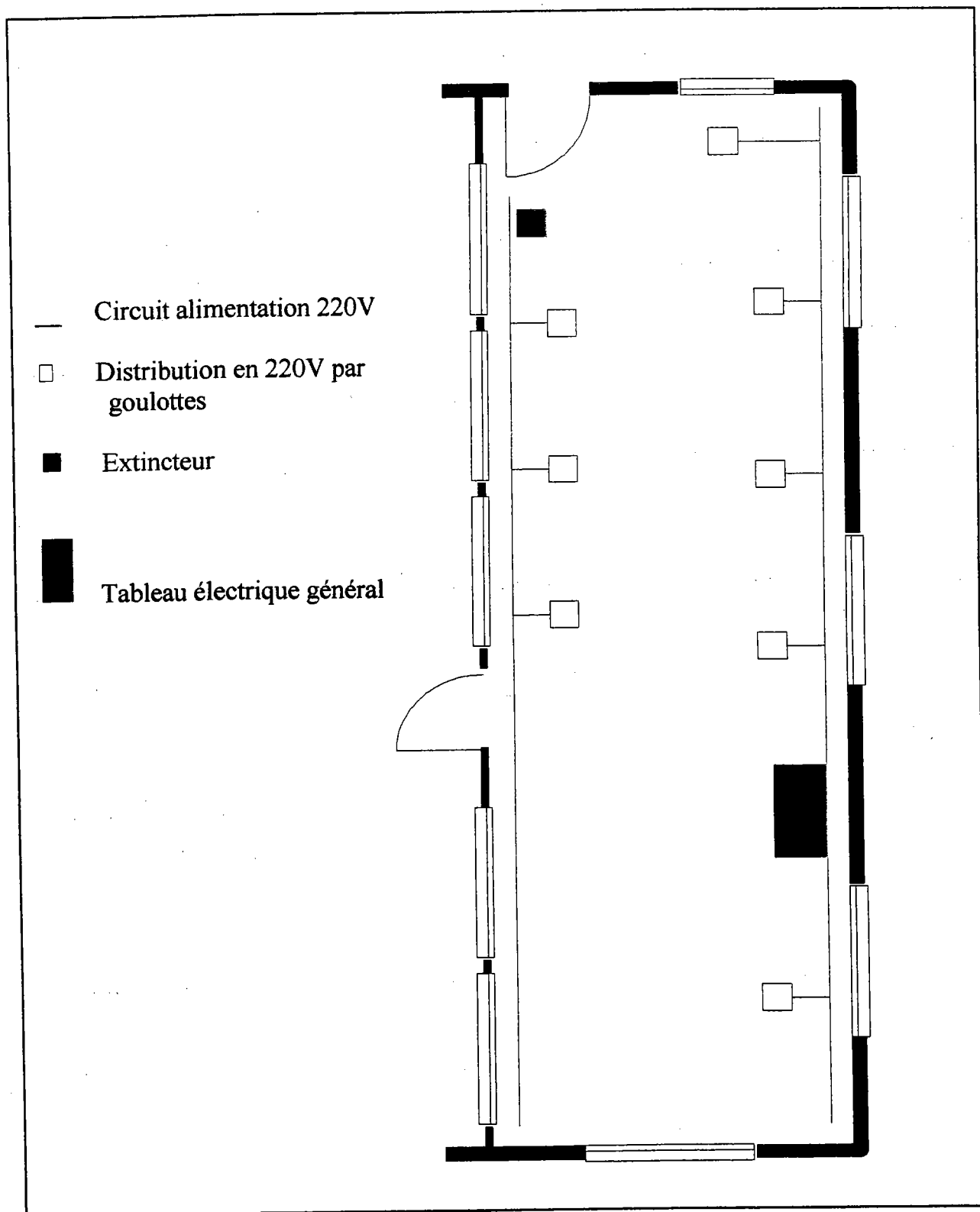


Figure 4.22 : Définition de l'implantation des énergies de l'espace polyvalent, page 34 extraite du manuscrit Mirelec.

4.4. ETUDE DE CAS N°4 : Détermination d'une méthode d'identification des objectifs et des indicateurs de performance associés aux procédés d'enseignement de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz.

Les processus de formation sont des processus complexes tant ils agrègent de procédés d'enseignement différents dans le traitement des flux d'apprenants, dans la diversité des compétences et aptitudes des acteurs, dans la consommation de ressources et dans les délais et les caractéristiques de transformation des apprenants.

Nous souhaitons montrer dans cette application comment, de l'étude des activités d'enseignement et des relations de flux qui les lient, peuvent se dégager les objectifs de performance d'un système de production de compétences. En d'autres termes, comment l'analyse des processus opérants de formation, chargés de la réalisation de plusieurs tâches d'enseignement, révèle le processus de décision, chargé du pilotage de ces processus. Si nous reprenons le modèle conceptuel OID (figure 1.14, chapitre 1), de quelles informations sur l'état des processus opérants d'enseignement le système de décision a-t-il besoin pour assurer le pilotage des procédés d'enseignement ?

Nous reprenons pour cette étude :

- la modélisation d'une activité, telle qu'elle était au chapitre 3 ;
- les travaux de Berrah [97] sur les indicateurs de performances.

L'activité représente la fonctionnalité de l'entreprise ; le processus en représente le comportement [Vernadat, 99 ; Pourcel, 98].

Une activité se définit comme une contribution à la réalisation d'une tâche en transformant un intrant en extrant et en consommant des ressources et du temps (figure 4.22).

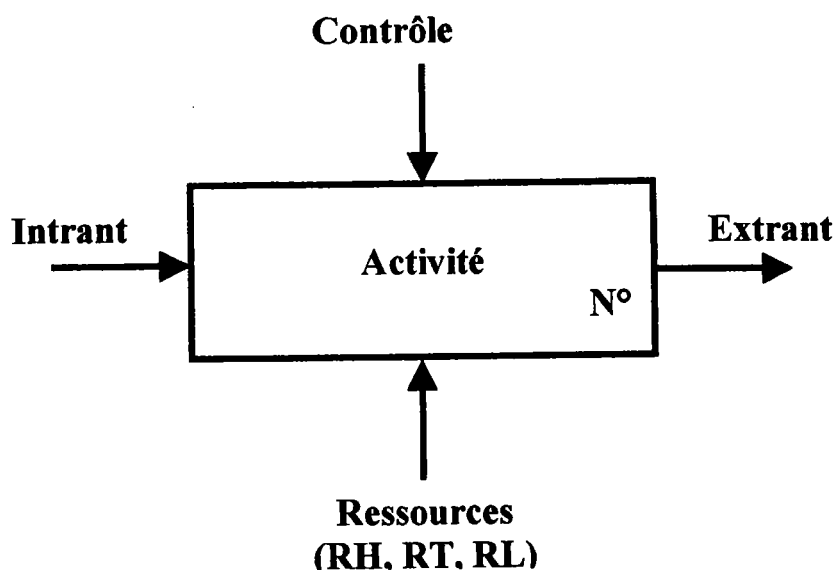


Figure 4.23 : Modélisation de l'activité selon SADT.

Un processus d'enseignement est une collection d'activités d'enseignement dont l'exécution a pour but de contribuer à la réalisation d'un des objectifs du système de production de compétences, par exemple former des ingénieurs trouvant un emploi dans la grande entreprise, ou former des ingénieurs occupant un poste dans la fonction étude-recherche de l'entreprise ou encore, comme le demandait récemment D. de Calan¹, former des ingénieurs en dix-huit mois.

Chacun de ces objectifs doit engager une réflexion sur les processus à concevoir et à mettre en œuvre ainsi que sur la définition des indicateurs nécessaires au pilotage de ces processus.

Nous distinguons les indicateurs de résultat des indicateurs de processus comme nous l'avons défini au chapitre 3 ; par exemple le nombre d'ingénieurs sortant de l'ENIM trouvant un emploi dans une fonction étude-recherche de l'entreprise est un indicateur de résultat donnant une mesure sur le résultat final du processus de formation, sans possibilité d'inflexion sur le processus ; par contre, le nombre d'élèves ingénieurs ne satisfaisant pas aux examens et contrôles et risquant d'être réorientés en quatrième année constitue bien un indicateur de performance de processus, capable de contribuer à une anticipation des mesures correctives.

Nous proposons d'analyser trois procédés d'enseignement² (Cours, Travaux Dirigés, Travaux Pratiques) dont la combinaison à d'autres procédés (Stage Industriel, Projet de Fin d'Études) peut représenter autant de processus de formation différents ; tous ces procédés sont mis en œuvre à l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz.

Chacun de ces procédés a été défini isolément, en s'attachant à respecter les contraintes de précedence, déjà définies au chapitre 3. Pour chaque procédé, l'objectif est l'accroissement de compétence de l'apprenant, qu'il s'agisse de savoir, de savoir-faire ou de savoir-être selon les procédés considérés.

La gamme générale d'enseignement en formation initiale à l'ENIM est représentée par la figure 4.23 :

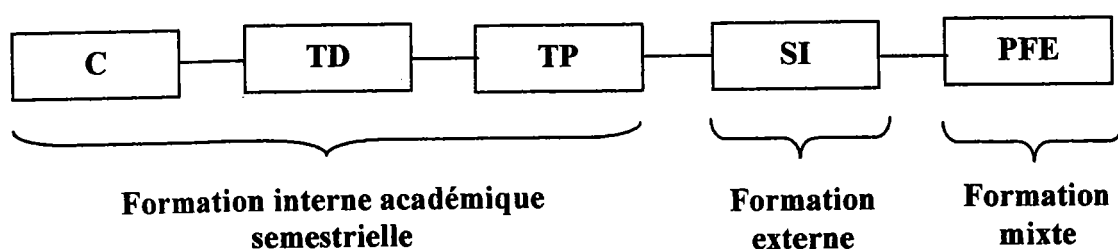


Figure 4.24 : Processus de formation en école d'ingénieurs.

Elle correspond à un processus classique d'accroissement de compétences théoriques en horaire encadré (C+TD+TP), qui se poursuit par une mobilisation de ces compétences en immersion en entreprise pour développer des savoir-faire et les savoir-être spécifiques de l'ingénieur en

¹ Intervention du 09 novembre 2000, à la Sorbonne, lors du colloque de la Commission des Titres d'Ingénieurs, de D. de Calan, président du comité enseignement supérieur du MEDEF.

² La commission des Titres d'Ingénieur définit ce processus comme étant la formation académique, par opposition aux stages et projets [CTI, 00].

situation (SI) et se conclut par une mise en œuvre de façon plus autonome des compétences (faiblement encadrée) très contextualisée (PFE).

A quelques variations près de durée et de discipline, la formation des ingénieurs en France reste conforme à cette gamme générale.

Piloter c'est veiller à l'optimisation ; optimiser un processus c'est minimiser la consommation de ressources et le délai de transformation de l'intrant en extrant pour l'obtention du même résultat. Il convient alors d'évaluer l'affectation de ressources aux tâches à accomplir, de contrôler le niveau d'activité et de suivre l'évolution des performances.

Vernadat [99] recense huit catégories principales d'optimisation des processus opérationnels industriels :

- élimination d'activités,
- concentration d'activités,
- ajout d'activités,
- mise en parallèle d'activités,
- élimination de cycles dans le processus,
- augmentation des aptitudes liées aux processus,
- amélioration de l'efficacité de certaines activités,
- réduction de la durée des activités.

Nous convenons d'envisager ces catégories dans la mesure où leur pertinence a un sens par rapport à l'optimisation d'un système de production de compétences.

Nous proposons de travailler sur la gamme d'optimisation définie sur la figure 4.24 :

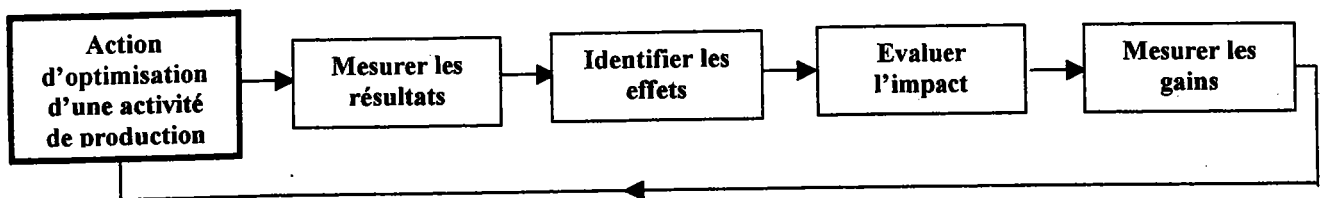


Figure 4.25 : Gamme d'optimisation d'une activité de production.

Cette démarche est classique dans l'optimisation des systèmes de production ; elle est employée par exemple pour la mise en œuvre de méthodes d'organisation telles que le SMED (Single Minute Exchange Die ou changement d'outil en moins de dix minutes). Sans décrire les cinq phases de cette méthode qui a permis de fractionner les lots de fabrication par diminution des temps de changement de séries, nous commentons cette application au regard de la gamme d'optimisation proposée figure 4.24.

Ainsi, l'action d'optimisation consiste à implanter le SMED sur une ligne de production. Le résultat obtenu, SMED implanté, produit des effets. Ces effets sont la réduction des temps de changements de séries par la réduction des temps de changement d'outillage et la réduction des coûts de production qui lui est associée. L'évaluation de l'impact se fait au travers de l'évolution de l'organisation de la production (capacité à produire en lots fractionnés, amélioration de la

circulation des flux, réduction du temps de production), de l'évolution de la technologie (changeur d'outils automatique sur la machines à commande numérique, systèmes de programmation hors site pour la préparation des programmes pièces, bancs de simulation et de préreglage des outils) et du changement des orientations des investissements. Quant aux gains, ils sont mesurés par l'accroissement de productivité, la standardisation des outillages, l'accroissement de réactivité au marché.

En ce qui nous concerne, l'action d'optimisation d'un processus d'enseignement, c'est-à-dire la première phase de la gamme de la figure 4.24, impose que chacun des procédés d'enseignement soit décomposé afin de distinguer les objectifs et les indicateurs de performance.

Nous proposons de mettre en œuvre la méthode suivante pour chacun des procédés d'enseignement :

- décrire, selon la méthode SADT, chaque processus d'enseignement ;
- isoler, pour chaque procédé d'enseignement identifié, les ressources affectées (RH, RT, RL) ;
- identifier les paramètres de coûts, de délais et de qualité des activités d'enseignement (durée, délais, aptitudes et compétences des ressources, inducteurs de performance, satisfaction du besoin) ;
- définir les objectifs et les indicateurs de performance des processus.

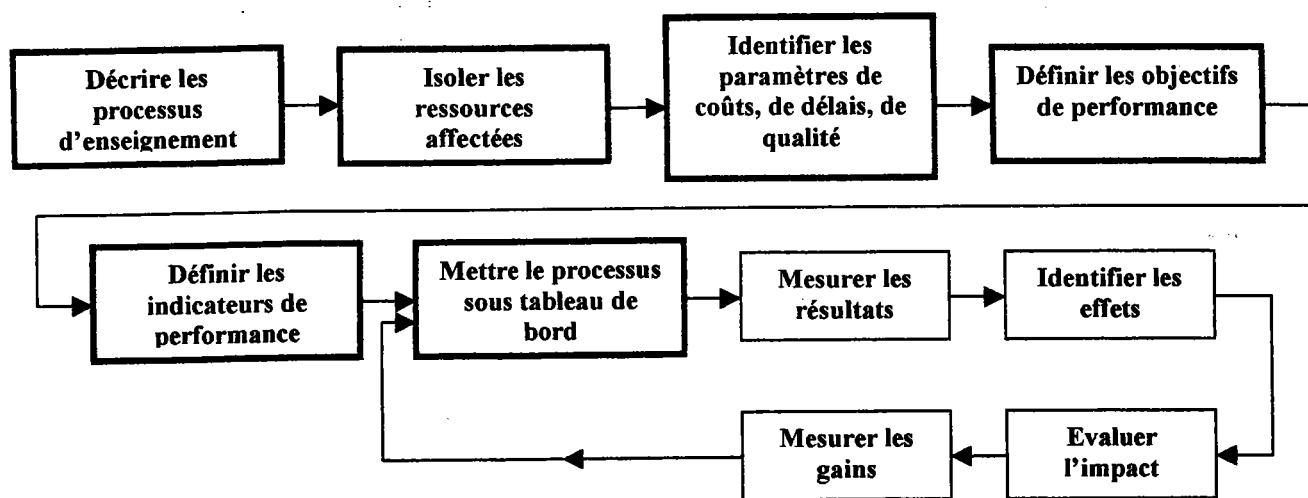


Figure 4.26 : Gamme d'optimisation d'un processus de production de compétences.

Nous avons décomposé selon cette méthode les trois premiers procédés d'enseignement dans les pages qui suivent. Chaque « procédé » est décomposé en activités et flux associés :

- figure 4.26, le cours (page 176),
- figure 4.27, les TD (page 177),
- figure 4.28, les TP (page 178).

Nous constatons que :

- chaque diagramme de plus haut niveau exprime la fonction globale du procédé en terme d'accroissement de compétences, tant en ce qui concerne les savoirs avec le cours et les Travaux Dirigés que les savoir-faire avec les Travaux Dirigés et les Travaux Pratiques ; ce premier niveau est représentatif de la tâche d'enseignement et permet de préciser les objectifs stratégiques de performance de cette tâche¹ ;
- chaque diagramme de niveau inférieur modélise les activités d'enseignement du procédé d'enseignement et renseigne sur les flux de ressources et d'informations affectées à chaque activité ; systématiquement deux types de ressources sont toujours allouées : les ressources humaines (généralement sous le vocable « enseignants », mais aussi « agent de laboratoire ») et les ressources technologiques (en terme de locaux d'enseignement, de matériel pédagogique, de documents de travail) ; nous définirons les objectifs tactiques de performance à partir de la composition de ces ressources ;
- enfin, les objectifs opérationnels de performance se distinguent à partir de l'identification de la nature et de la quantité de ressources nécessaires à l'activité d'enseignement.

Les données chiffrées qui suivent sont extraites du projet de contrat de développement 2001-2004 de l'ENIM [PCD, 00] ; elles concernent la définition des objectifs de performance et la valeur des indicateurs de performance visée.

4.4.1. Objectifs et indicateurs de performance internes du processus d'enseignement académique

Quel que soit le cycle suivi, environ la moitié de la formation des élèves ingénieurs de l'ENIM correspond au processus d'enseignement académique (figure 4.23).

Les objectifs de résultats de ce processus sont classés en deux catégories : les objectifs conjoncturels et les objectifs structurels.

4.4.1.1. Objectifs et indicateurs internes de la tâche de formation :

Nous avons distingué six objectifs conjoncturels de performance capables d'aider au pilotage de la qualité de la formation (tableau 4.27).

¹ Nous nous référons à la décomposition réalisée au chapitre 3, figure 3.4, concernant la distribution des indicateurs de performance.

<u>Objectifs conjoncturels de performance de la tâche</u>	<u>Indicateurs de performance associés</u>	<u>Mesure ENIM 2000</u>	<u>Objectif de score/date</u>
Mieux favoriser la poursuite d'études après le diplôme d'ingénieur en 3 ^e cycle ou mastère	Taux de poursuite d'études Partenariat avec les laboratoires universitaires	9	
Plus investir la grande entreprise dans le placement des nouveaux diplômés	Taux de pénétration de la grande entreprise		
Mieux exporter le savoir-faire français	Pourcentage d'élèves diplômés en postes à l'étranger Nombre de conventions de coopérations avec les établissements d'enseignement supérieur étranger Nombre d'élèves étrangers en formation à l'ENIM	39 1%	3%/2004
Mailler les relations avec l'environnement industriel	Taux de participation ou d'intervention des personnels des entreprises dans la formation	1.12%	2.3%/2004
Être plus réactif sur les marchés de la formation	Temps de conception d'une nouvelle formation (du besoin à la prestation)	8 ans	3 mois
Améliorer le positionnement de l'école dans la classification nationale	Place de l'école		

Tableau 4.27 : Objectifs et indicateurs conjoncturels de performance de la tâche de formation.

De même, nous avons retenu quatre objectifs structurels de performance de la tâche de formation (tableau 4.28). Ils portent essentiellement sur la réduction des coûts de formation.

<u>Objectifs structurels de performance de tâche</u>	<u>Indicateurs de performance</u>	<u>Mesure ENIM 2000</u>	<u>Objectif de score/date</u>
Réduire les coûts de fonctionnement de l'école	Coûts de fonctionnement de l'école par chapitre : 60 (fonctionnement pédagogique) 61 (maintenance mobilier et immobilier) 62 (frais de déplacements)	3.10 MF 1. MF 2.80 MF	
Réduire les coûts de formation (pour un effectif de 774 élèves-ingénieurs dans l'année)	Coûts de formation par élève : Sans rémunération principale ¹ et sans investissements Sans rémunération principale et avec investissements Avec rémunération principale et sans investissements Avec rémunération principale et investissement	19 700 F 26 500 F 56 200 F 63 000 F	
Développer les ressources financières extérieures	Taux de participation financière des entreprises par rapport à la « subvention état » Taxe d'apprentissage Vente de produits de formation continue Vente contrats de recherche (PFE)	101 % 2 MF 2 MF 3.9 MF	
Mailler les relations avec l'environnement industriel	Taux de participation ou d'intervention des entreprises dans la formation de l'école		25 %

Tableau 4.28 : Objectifs et indicateurs structurels de performance de la tâche de formation

4.4.1.2. Objectifs et indicateurs internes de l'acteur d'enseignement :

Pour chacun des procédés d'enseignement, nous présentons l'analyse de la composition des acteurs² de formation. Les tableaux 4.30, 4.31 et 4.32 présentent une synthèse des combinaisons

¹ Nous entendons par « rémunération principale » les salaires de base des enseignants, c'est-à-dire sans la rémunération des heures supplémentaires (comptées dans le budget de l'ENIM).

² Nous rappelons la définition de l'acteur proposée au chapitre 3 : « L'acteur est l'association effective d'une ou plusieurs ressources humaines à une ou plusieurs ressources technologiques ou logicielles, pour la réalisation effective d'une ou plusieurs tâches »

de ressources caractérisant les acteurs respectifs des cours, des travaux dirigés et des travaux pratiques.

Nous définissons les ressources affectées aux différents procédés comme suit :

• support de cours, de TD, de TP	Toute construction pédagogique (« papier » ou « fichier ») structurée et formalisée permettant de guider l'apprenant au cours de l'accroissement de compétences qu'il réalise (polycopié, sujet de TD, sujet de TP et documents ressources).
• support d'évaluation	Toute construction pédagogique (« papier » ou « fichier ») structurée et formalisée permettant d'évaluer la progression de l'apprenant.
• salle de cours	Tout local banalisé d'enseignement permettant d'accueillir un nombre important d'apprenants (ex : amphi, salle de conférences).
• salle de TD	Tout local d'enseignement pouvant accueillir des effectifs réduits (12 à 20 apprenants); certaines salles de TD peuvent être fortement équipées en matériels informatiques polyvalents non dédiés (ex : TD de calcul formel, TD de CAO, ...).
• salle d'évaluation	Tout local pédagogique permettant d'évaluer la progression de l'apprenant. Ce local peut être le local d'enseignement pour évaluation en cours de formation par l'enseignant.
• salle de travail personnel de l'élève	Tout local pédagogique permettant de s'approprier les contenus des cours (centre de documentation, salle banalisée, salle polyvalente, ...).
• centre de documentation et de ressources	Tout centre de documentation et d'information (« papier » ou « fichier ») disciplinairement orienté (ressources en Génie Industriel, ressources en mathématiques, ...).
• technologie pour l'enseignement	Technologie de l'information et de la communication au service de l'enseignement.
• technologie pour l'évaluation	Technologie de l'information et de la communication au service de l'évaluation.
• laboratoire pédagogique	Tout laboratoire pédagogique de formation fortement instrumenté et équipé (ex : voir paragraphe 4.3 de ce chapitre).
• équipement pédagogique	Tout matériel didactique propre à l'activité d'enseignement.
• auxiliaires pédagogiques	Tout équipement, toute documentation complémentaire au support de cours, de TD ou de TP facilitant l'activité d'enseignement (vidéos de démonstration, CDROM d'autoformation, sites Web disciplinaires, ...).

Tableau 4.29 : Description des ressources pédagogiques des procédés de formation.

Chacune de ces ressources appartient à la description des procédés d'enseignement.

	Ressources Humaines		
	Enseignant	Élève ¹	Surveillant
Ressource Technologique	<ul style="list-style-type: none"> • support de cours • support d'évaluation • salle de cours • salle d'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • support de cours • support d'évaluation • salle de cours • salle d'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • salle d'évaluation • support d'évaluation
Ressource logicielle	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie d'évaluation

Tableau 4.30 : Combinaisons de ressources caractérisant les acteurs de cours.

	Ressources Humaines		
	Enseignant	Élève	Assistant
Ressource Technologique	<ul style="list-style-type: none"> • support de TD • support d'évaluation • salle de TD • salle d'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • support de TD • support d'évaluation • salle de TD • salle d'évaluation • salle de travail • centre de ressources 	<ul style="list-style-type: none"> • salle de TD
Ressource logicielle	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement

Tableau 4.31 : Combinaisons de ressources caractérisant les acteurs des travaux dirigés.

¹ Nous avons défini au chapitre 2 la participation de l'élève au processus de formation en tant que co-producteur de l'accroissement de compétences ; par ailleurs sa situation dans les procédés d'enseignement comme « mécanisme » montre que la modification de cette ressource affecte directement la réalisation de la tâche d'enseignement.

	Ressources Humaines		
	Enseignant	Élève	Agent de laboratoire
Ressources Technologiques	<ul style="list-style-type: none"> • support de TP • support d'évaluation • laboratoire pédagogique • équipement pédagogique • auxiliaires pédagogiques 	<ul style="list-style-type: none"> • support de TP • support d'évaluation • laboratoire pédagogique • équipement pédagogique • auxiliaires pédagogiques 	<ul style="list-style-type: none"> • laboratoire de TP • matériels pédagogiques
Ressources logicielles	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement • technologie pour l'évaluation 	<ul style="list-style-type: none"> • technologie pour l'enseignement

Tableau 4.32 : Combinaisons de ressources caractérisant les acteurs des travaux pratiques.

Les objectifs et indicateurs de performance concernant les acteurs de formation sont :

<u>Objectifs de performance</u>	<u>Indicateurs de performance associé</u>	<u>Mesure ENIM 2000</u>	<u>Objectif de score/date</u>
Améliorer l'adéquation acteur/activité d'enseignement	Taux de maintien des ressources humaines (heures de formation par an) Taux de maintien des ressources technologiques (heures de maintenance par an) Durée de renouvellement du parc informatique	5.8 ans	
Améliorer la culture d'évaluation	Durée d'évaluation/durée du procédé : <ul style="list-style-type: none"> • cours • TD • TP Coûts d'évaluation/coûts du procédé : <ul style="list-style-type: none"> • Cours • TD • TP 		

Augmenter l'implication des élèves dans la conception des procédés d'enseignement	% élèves/enseignants au comité de formation % élèves/enseignants participant au recrutement % élèves/enseignants participant à l'évaluation des procédés		
Optimiser l'utilisation des laboratoires pédagogiques	Taux d'occupation par semaine		
Maximiser la disponibilité des équipements pédagogiques	Taux de panne Taux d'accident		
Optimiser la disponibilité des ressources humaines	Taux d'absentéisme : • Enseignants • Agents • Elèves Moyenne hebdomadaire de la charge horaire d'enseignement (enseignant) Moyenne horaire hebdomadaire de formation encadrée (élève) Moyenne effectifs/enseignant		15h /s 30h/s
Maîtriser la qualité d'enseignement (constance des flux d'apprenants dans l'ensemble des processus d'enseignement)	Taux de redoublement Taux de réorientation		0 0
Optimiser la combinaison des ressources humaines d'enseignement	Rapports Prag/Sup	200%	50%

Tableau 4.33 : Objectifs et indicateurs de performance de l'acteur d'enseignement.

4.4.1.3. Objectifs et indicateurs internes de l'activité d'enseignement :

Ce dernier niveau d'indicateurs concerne plus particulièrement la consommation de ressources affectées à l'exécution d'une tâche. Le coût de l'activité d'enseignement est directement fonction de la quantité de ressources consommées et du temps de réalisation de l'activité. Il correspond au niveau opérationnel et opère sur les mesures physiques des procédés. Nous avons retenu des objectifs et indicateurs en rapport avec la nécessité de réduire les coûts d'enseignement

Le tableau 4.34 indique les objectifs et les indicateurs de performance retenus.

<u>Objectifs de performance</u>	<u>Indicateurs de performance associé</u>	<u>Mesure ENIM 2000</u>	<u>Objectif de score/date</u>
Minimiser la consommation de ressources humaines	Rapport heures encadrées /heures de travaux autonomes		1
	Heures d'enseignement effectivement réalisées/heures d'enseignement à assurer		1
Minimiser la consommation de ressources technologiques	Surface totale de laboratoire/surface pédagogique totale		
	Quantité de photocopiés/enseignant/élève		
	Variation du stock matière d'œuvre par mois (moyenne)		
	Etat ¹ et disponibilité ² des locaux pédagogiques		
	Etat et disponibilité des équipements pédagogiques (hors informatique)		
	Etat et disponibilité des équipements pédagogiques informatiques		
Augmenter l'aptitude des ressources logicielles	Nombre de contrats de maintenance des ressources logicielles/nombre de produits installés		
	Adéquation fonctionnalités par rapport au procédé de formation		
Réduire la durée des activités	nombre de cycles de retraitement		0
	temps de travail personnel par rapport à la durée de la formation académique		1
	rapport flux intrants/flux extrants		1

Tableau 4.34 : Objectifs et indicateurs de performance de l'activité d'enseignement.

¹ L'état peut être qualifié dans une première approche par l'année d'acquisition de l'équipement.

² La disponibilité est renseignée par le taux d'occupation des locaux

Processus d'enseignement académique (Cours + Travaux Dirigés + Travaux Pratiques)

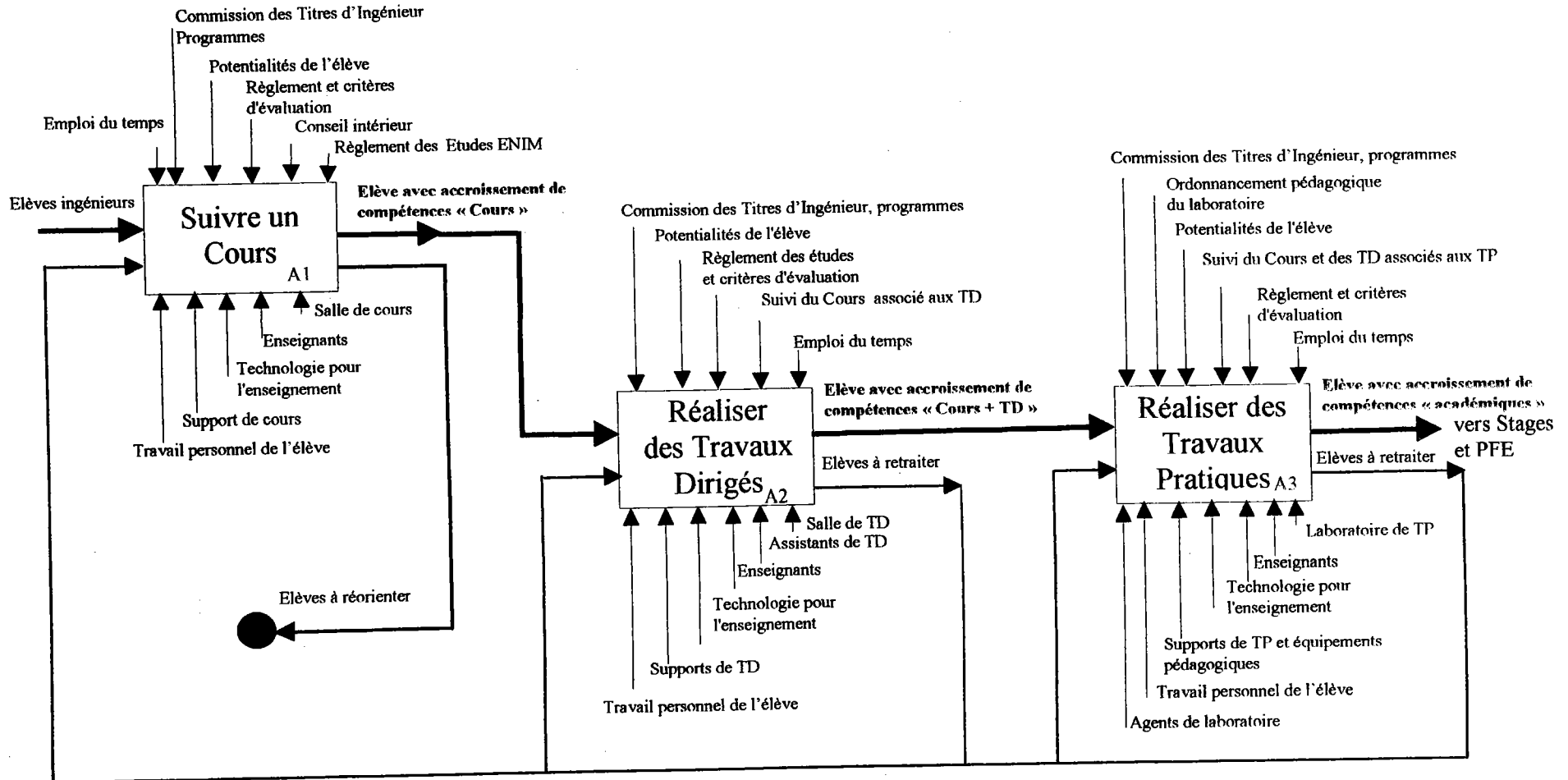


Figure 4.27 : Processus d'enseignement académique.

Procédé d'enseignement : le Cours

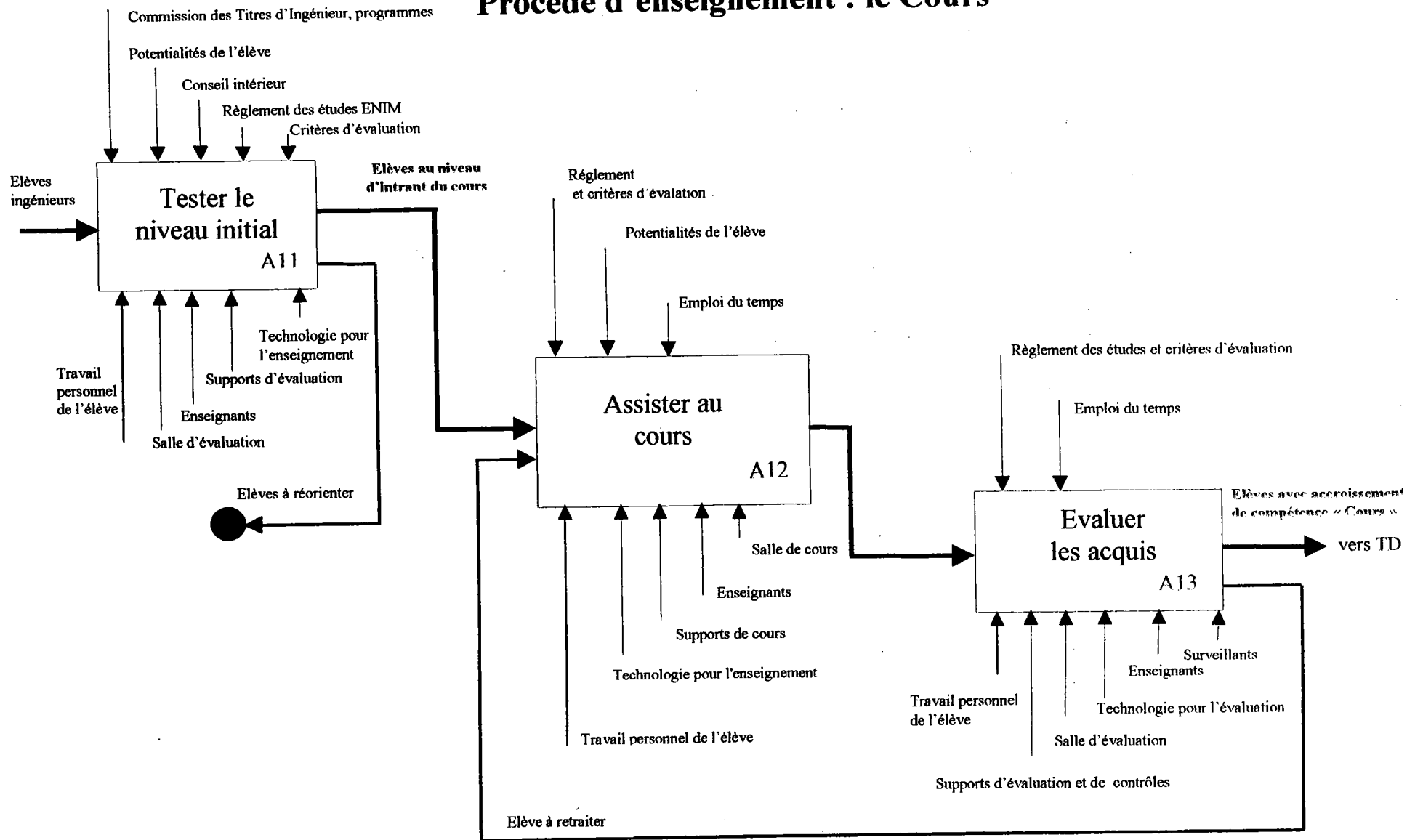


Figure 4.28 : Décomposition du procédé d'enseignement « Cours ».

Procédé d'enseignement : les Travaux Dirigés

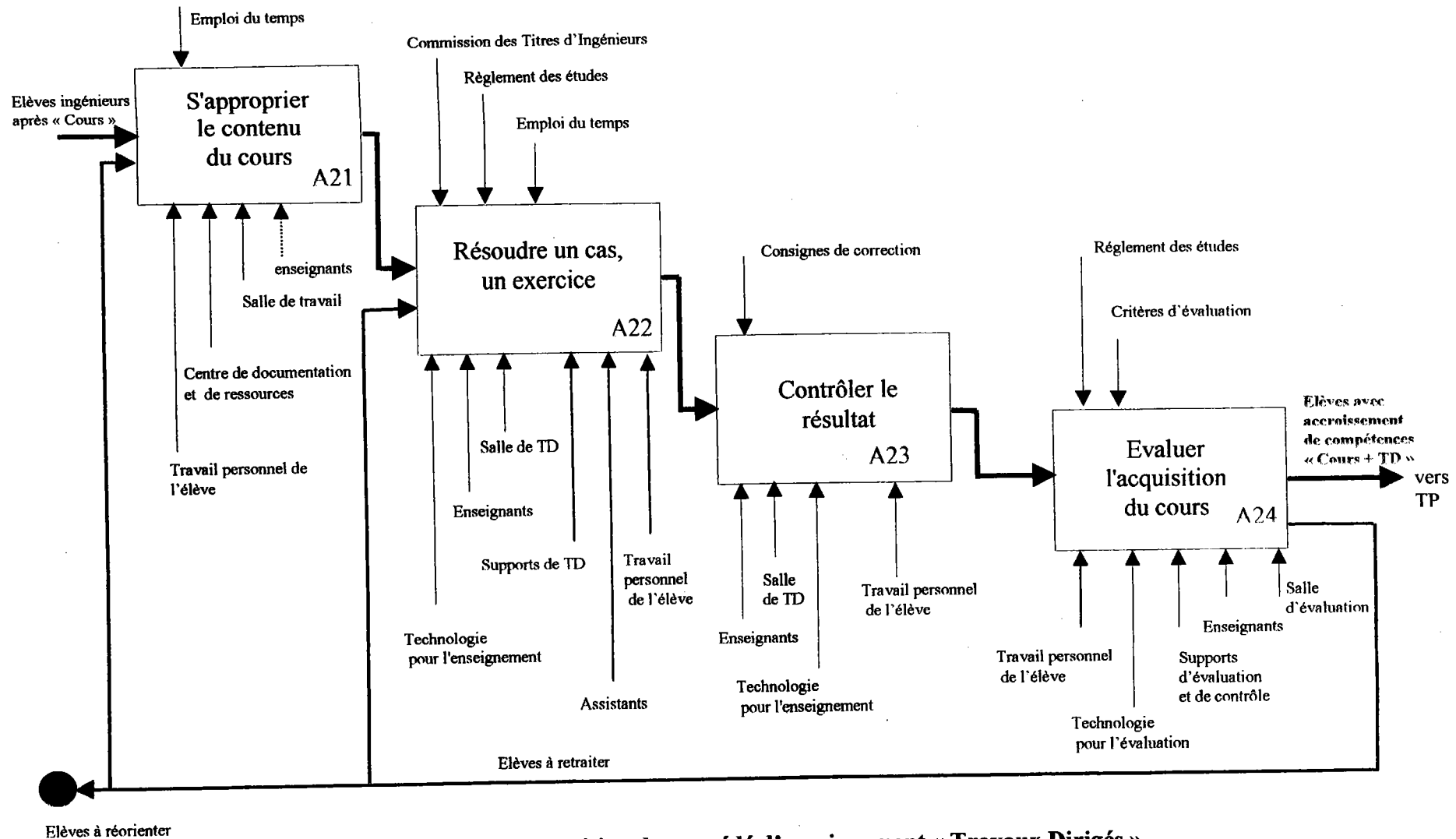


Figure 4.29 : Décomposition du procédé d'enseignement « Travaux Dirigés ».

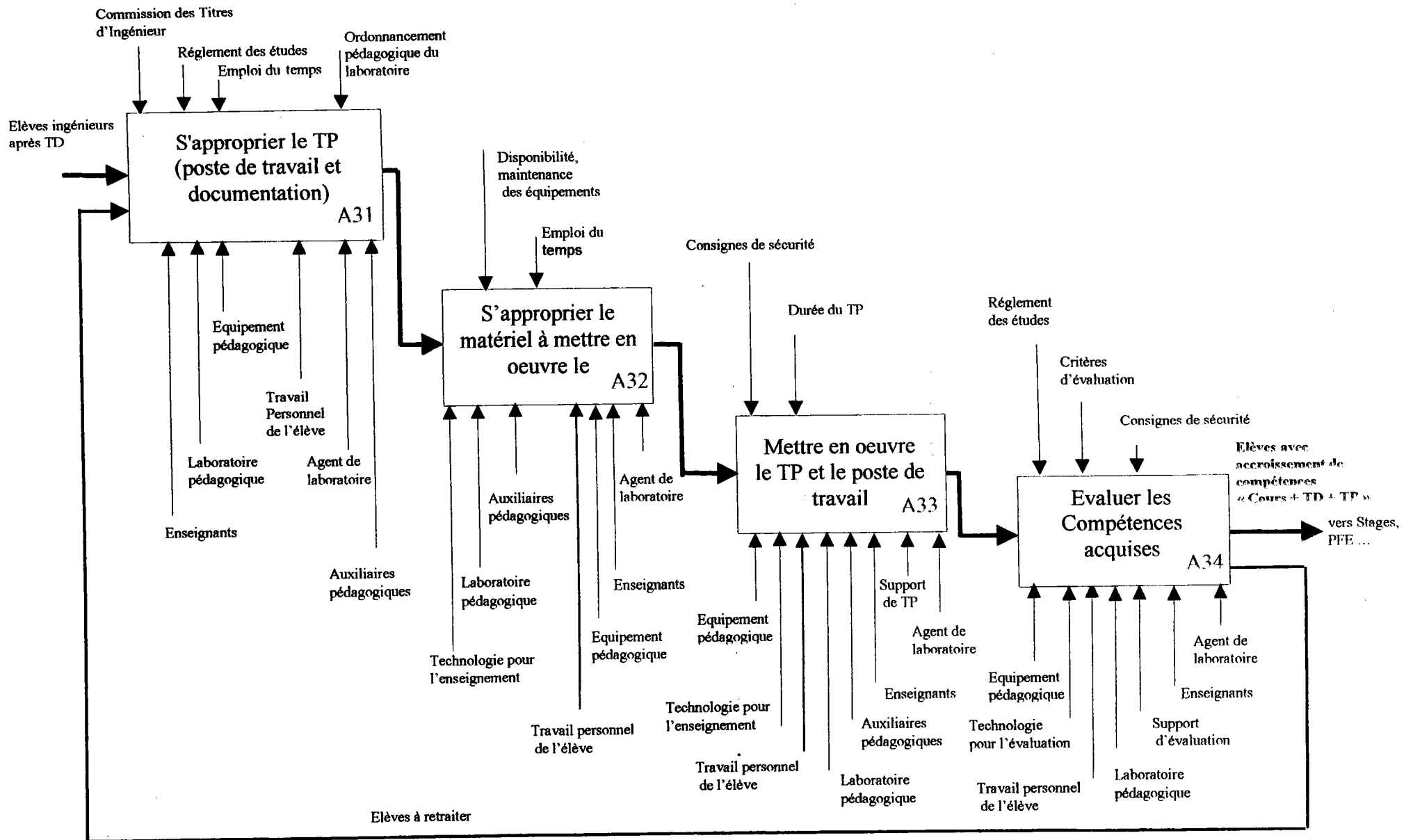


Figure 4.30 : Décomposition du procédé d'enseignement « Travaux Pratiques ».

4.4.2. Synthèse et conclusion

Ce chapitre présente les principaux résultats obtenus en appliquant les modèles et méthodologies à l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz, à l'École d'Ingénieurs de Tours et à un industriel du didactique. Quatre applications ont été présentées afin de valider notre réflexion concernant particulièrement les enseignements technologiques, quel qu'en soit le niveau (les cas ont été traités indifféremment au collège, au lycée ou dans le supérieur).

Nous nous exposons à la critique de ne pas avoir traité le problème général de tous les enseignements dispensés dans un établissement. Un travail pluridisciplinaire était alors nécessaire pour mener à bien une telle étude. Faute de temps, nous n'avons pas pu le conduire. Notre ambition demeure liée à l'amélioration des systèmes de production de compétences, nous avons considéré prioritairement les situations les plus consommatrices de ressources, les plus coûteuses et les plus complexes à mettre en œuvre.

Nous évoquions dès l'introduction notre souci de mettre à disposition des établissements de formation des outils capables d'améliorer la conception des systèmes de formation. Nous avons ainsi proposé :

- une méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences conforme à la définition de l'ingénierie de formation que nous donnions au chapitre 3 ;
- une méthode de résolution de l'affectation des ressources technologiques de formation à un groupe d'élèves (application 2) ;
- une méthode de spécification des acteurs d'enseignement à destination de l'entreprise et des enseignants (application 3) ;
- une méthode d'analyse des procédés d'enseignement et de caractérisation des objectifs et indicateurs de performance.

La figure 4.30 rappelle ces quatre études de cas.

Le chapitre 5 est consacré à une discussion générale sur les apports de notre travail, sur ses faiblesses et sur ses perspectives.

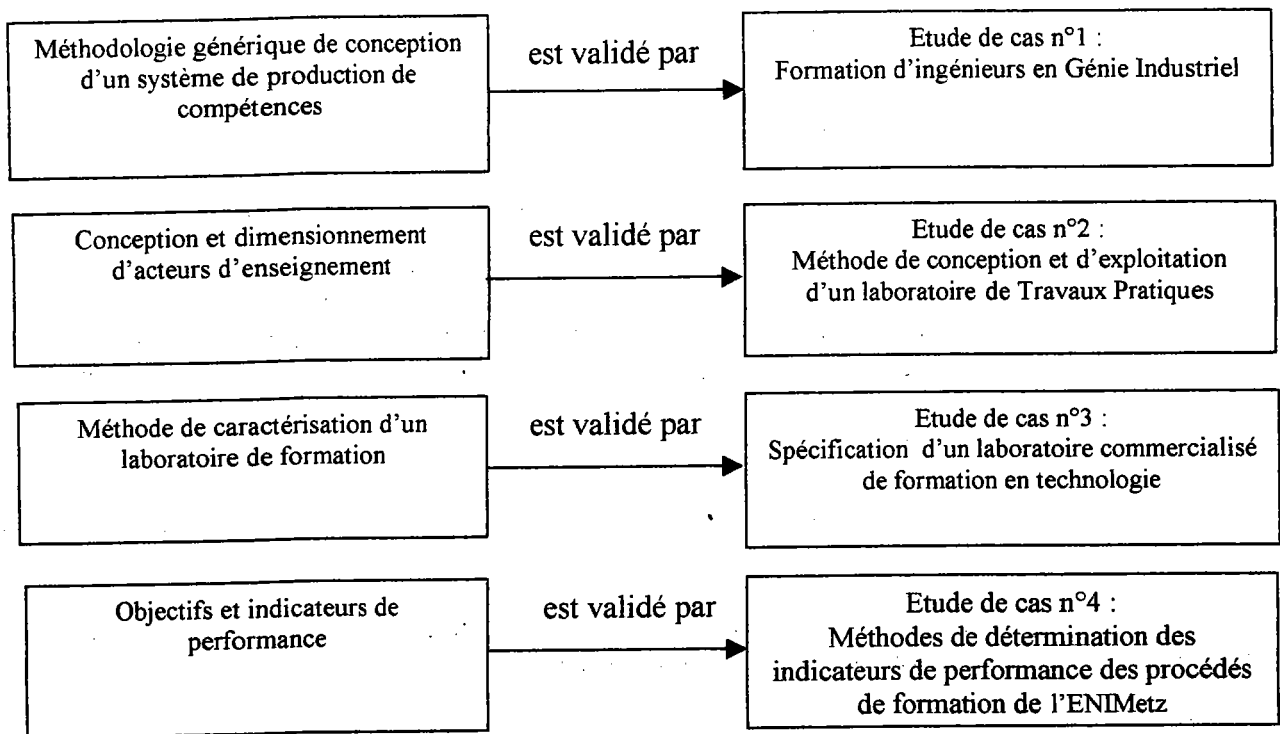


Figure 4.31 : Synthèse du chapitre

CHAPITRE 5

DISCUSSION DES APPORTS, LIMITES ET PERSPECTIVES

Résumé : Le chapitre 5 présente les apports de notre travail, ses limites et les perspectives de recherche. Il situe notre contribution par rapport à l'existant, propose de nouvelles orientations et suggère quelques pistes de recherche.

5.1. LES APPORTS DU TRAVAIL

- 5.1.1. Au niveau conceptuel
- 5.1.2. Au niveau méthodologique
- 5.1.3. Au niveau opérationnel

5.2. LES LIMITES

- 5.2.1. La prise en compte du phénomène humain
- 5.2.2. La formation pluridisciplinaire
- 5.2.3. Les limites imposées par les modèles utilisés

5.3. LES PERSPECTIVES

- 5.3.1. une méthodologie de conception pluridisciplinaire des systèmes de production de compétences
- 5.3.2. le développement d'une méthodologie de conception des systèmes d'information des systèmes de formation
- 5.3.3. la modélisation des systèmes de décision des systèmes de formation

5.4. CONCLUSION

Nous avons présenté dans les chapitres précédents des éléments de solution à la problématique de formation, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre d'une ingénierie de conception des systèmes de production de compétences dans une approche d'amélioration de leurs performances.

Ce chapitre est composé de trois paragraphes.

Le paragraphe 1 discute des apports de notre travail pour lequel nous développons les points de vues conceptuel, méthodologique et opérationnel de notre contribution.

Le paragraphe 2 présente les limites de notre étude. Nous discutons notamment le rapport aux approches scientifiques et humanistes des solutions proposées. Nous présentons ensuite les limites conceptuelles et opérationnelles du travail qui, faute de temps, n'a pas été abordé dans une perspective pluridisciplinaire.

Le paragraphe 3 met l'accent sur les perspectives de recherche. Nous envisageons trois orientations de recherche : le développement d'une méthodologie de conception pluridisciplinaire des systèmes de production de compétences, le développement d'une méthodologie de conception des systèmes d'information des systèmes de formation et la modélisation des systèmes de décision des systèmes de formation.

5.1. LES APPORTS DU TRAVAIL

Cette première partie est consacrée à la discussion des apports au niveau conceptuel, méthodologique et opérationnel.

5.1.1. Au niveau conceptuel

Nous sommes conscients que ce travail constitue un premier niveau de « débroussaillage » de la modélisation des systèmes de formation, tant ce domaine a peu été exploré sous cet angle. A notre connaissance, aucune étude¹ n'a été publiée sur l'ingénierie globale des systèmes de formation.

L'entrée par la compétence, notamment par une tâche d'accroissement de compétences, nous a permis de structurer notre étude selon une approche scientifique, voire industrielle, de la conception des systèmes de formation. En effet, elle nous permet d'emprunter les modèles similaires et les outils développés dans le cadre de la ré-ingénierie des systèmes de production, de la gestion des compétences et des ressources humaines et de l'évaluation de la performance industrielle.

Dans notre étude, nous avons associé le modèle d'activité au modèle de compétence en définissant le paradigme Tâche/Compétence/Acteur/Activité. La projection de cette association nous a permis de définir des méthodologies et outils capables d'améliorer les performances des systèmes de production de compétences.

¹ Une récente publication présente les principes des systèmes d'ingénierie en éducation, dans une approche d'ingénierie de la connaissance en tant qu'ingénierie de processus, mais n'aborde pas la conception globale d'un système de formation (ingénierie des systèmes de formation) – *IEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics* [Sage, 00].

5.1.2. Au niveau méthodologique

D'un point de vue technique, le modèle d'activité repose sur l'existence d'un système opérant (qui réalise les transformations souhaitées), d'un système d'information (qui rend compte de l'état du système opérant et transmet les commandes) et d'un système de décision (qui oriente la conduite du système). L'application de ce modèle OID au système de production de compétences nous a permis de mesurer à quel point les systèmes de formation étaient démunis de systèmes d'information. Sans information sur la performance en cours, sans traçabilité des processus de formation, sans gestion des compétences et aptitudes des acteurs de formation, tels sont jusqu'à maintenant conçus les systèmes de formation.

Le principal apport est le modèle d'organisation d'un système de production de compétences qui permet de caractériser le système de conduite et le système opérant. Nous avons notamment décomposé le système de conduite en quatre sous-systèmes (module de conception des apprenants produits, module de conception et de réalisation du système de production de compétences, module d'exploitation des ressources du système de production de compétences, module stratégique du système de production de compétences) et montré que le système opérant de formation comportait une unité de recrutement et une unité de formation liées.

Nous avons souhaité proposer en premier lieu une méthodologie de conception des systèmes de production de compétences intégrant largement la nécessité de traçabilité de la formation. Notre méthodologie permet ainsi de concevoir (ou reconcevoir) tout ou partie d'un système en capitalisant la connaissance de ce système.

5.1.3. Au niveau opérationnel

Les apports portent sur les outils opérationnels d'aide à l'amélioration des performances des systèmes de formation. Notre constat s'est porté sur les difficultés de définition des ressources, sur leurs affectations et sur leurs incidences sur les coûts de formation.

Nous avons ainsi proposé :

- Une aide à la définition des cahiers des charges des équipements pédagogiques ;
- Une méthode de conception des laboratoires pédagogiques ;
- Une méthode de dimensionnement des laboratoires pédagogiques ;
- Une méthode d'ordonancement des Travaux Pratiques dans un laboratoire ;
- Une méthode de détermination des objectifs et indicateurs de performance des processus de formation.

5.2. LES LIMITES

Nous pensons que l'approche « scientifique » développée dans la conception des systèmes de production de compétences, telle qu'elle est définie dans cette étude, trouve ses limites fondamentales dans la spécificité de la formation : c'est un phénomène humain de formation pluridisciplinaire.

Par ailleurs, les modèles utilisés pour résoudre la problématique de formation produisent eux-mêmes leurs limites.

5.2.1. La prise en compte du phénomène humain

Nous le signalions au chapitre 1, la formation est un phénomène humain de coproduction de compétences. Les figures de décomposition des processus d'enseignement (figures 4.26, 4.27, 4.28 et 4.29) font apparaître l'élève comme une ressource humaine avec laquelle il faut composer. Cette coproduction de la compétence montre qu'aussi admirable soit-il, aucun système de formation ne peut produire d'accroissement de compétence sans la collaboration active de l'apprenant. Ni notre méthodologie, ni nos modèles, ni nos outils ne peuvent pallier cette difficulté. Tout au plus, nous pouvons favoriser l'émergence, ou l'entretien, d'une motivation de l'apprenant par une conception, ou reconception, plus performante des systèmes de formation, mais cette conception ne peut économiser l'implication personnelle de l'élève.

Ainsi, ces travaux ne résolvent rien concernant le refus ou l'impossibilité d'apprendre.

5.2.2. La formation pluridisciplinaire

La deuxième limite fondamentale de cette étude est liée à son manque de considération pluridisciplinaire. Un travail plus ambitieux nécessiterait de s'adjoindre les compétences d'une équipe pluridisciplinaire constituée de cognitivistes, de pédagogues, de scientifiques, d'ergonomes, d'économistes, de gestionnaires et de producticiens.

Nous pensons qu'un tel travail peut s'accomplir dans l'enrichissement mutuel des idéologies et des pratiques. Nous proposons ce développement dans le cadre des perspectives de recherche liées à ces travaux.

5.2.3. Les limites imposées par les modèles utilisés

On peut certainement regretter de ne pas trouver dans cette étude quelque chose de suffisamment « carré », incontestable, directement applicable. Ce serait sans doute valoriser le caractère « scientifique » des investigations dans le domaine de la formation, que d'autres pourraient par ailleurs regretter à leur tour. Cependant, nous ne cherchons pas une vérité objective sur le fonctionnement des processus de formation, ce qui semblerait illusoire et dangereux, mais plutôt un éclairage, une représentation des différentes perceptions qu'en ont les acteurs sur son fonctionnement.

Les processus de formation sont des processus non structurés¹ par « nature », en ce sens qu'ils sont constitués d'activités elles-mêmes non structurées, c'est-à-dire que leurs pilotages s'opèrent à partir de décisions sur les choix d'opérations et d'ordonnancement prises de façon prépondérante par l'homme. Ces processus ne sont pas automatisables et notre objectif n'était pas de conduire le passage d'un processus non structuré à un processus structuré ; il s'agit plutôt d'éclairer les décisions de conduite qui sont prises dans les processus non structurés d'enseignement et de développer la perception que le système éducatif peut avoir de son propre fonctionnement.

¹ Le projet ACNOS (Activités Non Structurées) conduit par El Mhamédi pour le Ministère de l'Éducation Nationale de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche présente une réflexion sur la conduite des processus industriels non structurés [El Mhamédi, 97].

Le deuxième aspect limitant notre étude est lié aux limites propres des modèles employés pour SADT. En effet, SADT présente une modélisation fonctionnelle statique des activités sans prise en compte des processus. SADT modélise les activités en tant qu'entités transformant l'intrant en extrant à partir d'une consommation de ressources affectées mais ne modélise pas les flux de contrôle. Pour autant, le poids de la tradition pédagogique institutionnelle confirme encore aujourd'hui, dans tous les systèmes de formation en place, la durée d'une séquence pédagogique comme l'événement de l'activité ; le processus de formation n'est pas « tiré » par l'acquisition de compétence, événement suffisant pour permettre le contrôle de l'activité, mais par l'horaire, c'est-à-dire la durée de l'activité. Dans ces conditions, tout autre modèle aurait produit les mêmes effets avec peut-être moins de lisibilité.

5.3. LES PERSPECTIVES

5.3.1. Une méthodologie de conception pluridisciplinaire des systèmes de production de compétences

La performance de la méthodologie générique de conception d'un système de production de compétences exige qu'une démarche commune de réflexion pluridisciplinaire soit mise en œuvre dans les systèmes de formation. Nous pensons que des ajustements de cette méthodologie sont nécessaires pour proposer une approche consensuelle.

L'axe de recherche que nous pouvons proposer englobe à la fois la spécification des processus disciplinaires d'enseignement dans la recherche de gammes de formation efficaces et l'exploration de nouvelles perspectives d'amélioration des processus rendues possibles par l'utilisation de la communication et la formation à distance.

5.3.2. Le développement d'une méthodologie de conception des systèmes d'information des systèmes de formation

Il est illusoire de penser mettre en œuvre une véritable démarche d'optimisation des systèmes de production de compétences dans un contexte où un véritable système d'information n'existe pas. Tout au plus, quelques règles et principes sont susceptibles d'améliorer la performance de quelques processus.

Imaginons une personne aveugle prenant le métro à Pantin pour se rendre, après un changement à la Bastille, à la station Nation. Elle descend les escaliers à Pantin, longe le quai, monte dans la rame de métro, en ressort, opère son changement et ressort à la Nation. Privée de son système d'information et de mémorisation, cette même personne sait toujours se déplacer, monter et descendre les escaliers du métro, mais elle ne peut plus, une fois entrée à Pantin, ressortir à la Nation. Nous avons conçu de nombreux systèmes de formation ainsi constitués d'un système opérant parfois pertinent mais sans système d'information et de mémorisation performant. Autrement dit, comment peut-on piloter sans système d'information ?

Nous proposons, à partir de la poursuite des travaux relatifs à l'étude des processus non structurés, de développer une méthodologie de conception des systèmes d'information

des systèmes de formation. Le problème de l'évaluation des compétences y trouve naturellement toute sa place.

5.3.3. La modélisation des systèmes de décision des systèmes de formation

Nous avons porté l'attention sur la relative faiblesse des modèles utilisés dans ce travail pour rendre compte des processus de formation. Nous avons insisté sur le caractère statique des modèles ne pouvant réagir aux événements. Nous souhaitons développer une modélisation d'un système de décision en prise avec l'accroissement de compétences piloté par la tâche d'enseignement. Notre ambition est de rompre avec un pilotage de la tâche par la durée de l'activité (2 heures de cours, 4 de TP) au profit du pilotage de l'activité par l'acquisition de l'accroissement de compétence visé. Cette orientation est probablement très novatrice et nos travaux resteront dans leurs applications toujours limités tant que les améliorations envisageables ne solliciteront pas plus les processus de formation.

Les enjeux sont ici aussi l'évaluation de compétences, l'individualisation de la formation et la pertinence des formations « électroniques ».

5.4. CONCLUSION

Nous avons analysé dans ce chapitre les points forts et les faiblesses de notre étude qui consistait à proposer des solutions à la problématique de formation.

Nous avons proposé des axes de recherche susceptibles de faire progresser notre réflexion sur les systèmes de production de compétences.

Nous restons convaincus que cette contribution ne constitue qu'une partie des réponses que pose le problème, non pas de la formation, mais de la conception des systèmes de formation dans une perspective plus réactive de l'offre de formation.

CONCLUSION GENERALE

Cette thèse propose d'apporter quelques éléments de réponse aux problématiques de formation contraintes d'évoluer rapidement d'une logique de l'offre vers une logique de la demande de formation.

Nous tenons cependant à rappeler trois principes qui ont présidés aux orientations de notre réflexion :

- Aussi proches que soient les systèmes de production de compétences des systèmes de production industrielle, la formation demeure un processus de coproduction d'une transformation qui lie l'apprenant à sa formation. Ainsi, sans la volonté (ou la faculté¹) de l'apprenant de réaliser un accroissement de compétence, aucun système de production de compétences, aussi bien conçu soit-il, ne peut « transformer » l'élève ; cette différence est fondamentale quant au pilotage des processus opérants d'enseignement puisqu'elle contraint à « composer » avec l'apprenant considéré comme acteur de sa propre formation ;
- Par analogie aux systèmes de production industrielle, nous avons parfois « confondu » les extrants des systèmes de production de compétences en considérant l'apprenant comme un « produit ». Aucune conception péjorative n'est à l'origine de cette simplification sémantique ; il s'agissait plutôt de considérer la relation « client-fournisseur » en portant une attention particulière au mobile de cette relation : la formation, en tant que produit fourni et consommé ;
- Nous nous sommes volontairement écartés des problématiques d'éducation, très intéressantes au demeurant mais n'entrant pas dans le cadre théorique de cette étude. Cette disposition est motivée essentiellement par l'intérêt de comparer des systèmes principalement fédérés par des processus de production stabilisés. Il nous paraît en effet plus incertain de penser la conduite d'un phénomène continu, récurrent et récursif, tel que l'éducation, où contribuent en même temps de nombreux et divers acteurs aux objectifs multiples et parfois cloisonnés. Cette réflexion ne concerne cette étude.

Nous avons ainsi considéré le système de formation comme un **système de production** en prise avec son environnement institutionnel, économique, industriel et social. Nous pensons que ces travaux peuvent autant intéresser les établissements de formation que les entreprises soucieuses de répondre le plus rapidement possible aux évolutions de compétences nécessaires au maintien de leur compétitivité dans un environnement économique de plus en plus instable et concurrentiel. De plus, pour autant que soit défini l'accroissement de compétences souhaité par la formation, les méthodologies et les outils développés permettent

¹ La faculté exprime ici une disposition physique ou psychologique indispensable à la poursuite d'une formation.

alors de concevoir (ou reconcevoir) tout ou partie du système de formation en individualisant les processus opérants aux apprenants. Cependant, nos travaux n'ont pas pour objectif l'aide à la définition d'un référentiel de compétences qu'il conviendrait de développer pour chaque profil de formation souhaité.

Il nous semble que l'originalité de notre travail consiste en une vision plus globale et systémique des systèmes de formation.

Nous avons proposé dans ce mémoire une démarche méthodologique permettant de modéliser et de concevoir un système de production de compétences dans le cadre d'un processus d'ingénierie de formation.

Cette démarche s'appuie sur trois préoccupations principales :

- l'application du paradigme tâche/compétence/acteur/activité, qui nous a permis de proposer une définition de l'ingénierie de formation et une méthodologie de conception des systèmes de production de compétences en nous attachant à définir les tâches de formation et les compétences nécessaires aux acteurs pour la réalisation des activités d'enseignement ;
- la description des processus d'enseignement en tant que combinaison de procédés d'accroissement de compétences définissant une gamme de formation ;
- l'amélioration des performances des procédés d'enseignement par la détermination d'objectifs et d'indicateurs de performance.

Nous avons montré sur un cas industriel et sur trois situations de formation que la démarche et les méthodologies permettaient d'améliorer et de concevoir les systèmes de formation dans une logique de besoin de formation.

Ce mémoire est un premier « débroussaillage » de l'approche de la formation en tant que système global, complexe, organisé et capable d'évoluer. Il expose un certain nombre de mesures pouvant être prises sur le parcours, sur l'exploration de domaines nouveaux dont les savoirs ne sont pas encore constitués, pour former des intelligences autrement qu'à partir de la répétition du construit.

TABLE DES FIGURES

Figure 1	Représentation de l'objectif du mémoire	p 6
Figure 1.1	Évolution de l'accès au BAC d'une classe d'âge	p 11
Figure 1.2	Actigramme de la formation du point de vue du macro-système	p 16
Figure 1.3	Décomposition fonctionnelle des missions de formation d'un système de formation	p 18
Figure 1.4	Décomposition de l'activité Instruire	p 19
Figure 1.5	Modèle explicatif et global de la compétence selon Harzallah	p 24
Figure 1.6	Exemple de modèle conceptuel de production	p 25
Figure 1.7	Profil à dominante professionnelle	p 26
Figure 1.8	Profil à dominante technique	p 27
Figure 1.9	Profil à dominante généraliste	p 28
Figure 1.10	Représentation polaire d'une formation généraliste de type scientifique (Baccalauréat S, option Sciences de la Vie et de la Terre)	p 29
Figure 1.11	Représentation polaire d'une formation de type technique (Baccalauréat Technologique F)	p 30
Figure 1.12	Représentation polaire d'une formation de type professionnel (Certificat d'Aptitude Professionnel en Tournage)	p 31
Figure 1.13	Représentation des quatre profils d'ingénieurs	p 32
Figure 1.14	Approche systémique de l'entreprise	p 33
Figure 1.15	Représentation du système opérant du système de production de compétences	p 34
Figure 1.16	Représentation du système de décision du système de production de compétences	p 34
Figure 1.17	Exemple de décomposition d'une entreprise, inspiré de [Roboam, 88]	p 39

Figure 1.18	Exemple de décomposition fonctionnelle d'une activité de production, inspiré de [Vernadat, 99]	p 41
Figure 1.19	Pyramide CIM	p 46
Figure 1.20	Le CIM de l'ingénierie de formation	p 48
Figure 1.21	Synthèse du chapitre 1, première partie	p 49
Figure 1.22	Synthèse du chapitre 1, deuxième partie	p 50
Figure 2.1	Le pilotage formatif	p 55
Figure 2.2	Les principes du modèle fonctionnel de CIMOSA	p 64
Figure 2.3	Exemple de grille GRAI (d'après [Roboam, 93])	p 65
Figure 2.4	Synthèse du chapitre 2	p 70
Figure 3.1	Modèle Entité/Relation étendu au formalisme Tâche/Compétence/Acteur/Activité	p 74
Figure 3.2	Application du modèle descriptif d'un système de production de compétences à la formation d'ingénieurs de l'École d'Ingénieurs de Tours	p 89
Figure 3.3	Caractérisation des indicateurs de performance d'une école d'ingénieurs, inspiré de Berrah	p 94
Figure 3.4	Exemple type « Enseignement des mathématiques »	p 98
Figure 3.5	Exemple type « Enseignement de la physique »	p 99
Figure 3.6	Exemple type « Enseignement de l'automatique en école d'ingénieurs »	p 99
Figure 3.7	Exemple type « Enseignement des systèmes automatisés en lycée »	p 99
Figure 3.8	Exemple type « Enseignement professionnel CAP »	p 100
Figure 3.9	Exemple type « Doctorat de 3 ème cycle »	p 100
Figure 3.10	Exemple type « Remédiation du français en seconde de lycée »	p 100
Figure 3.11	Modèle général d'une unité d'enseignement	p 101

Figure 3.12	Méthodologie de conception du système de production de compétences	p 103
Figure 3.13	Synthèse du chapitre 3	p 109
Figure 4.1	Les phases du cycle de vie du produit	p 113
Figure 4.2	Description de la phase A « Réaliser l'étude préliminaire »	p 115
Figure 4.3	Description de la phase B « Définir le processus de formation »	p 119
Figure 4.4	Description de la phase C « Spécifier le processus de formation »	p 124
Figure 4.5	Description de la phase D « Réaliser le système de production de compétences »	p 127
Figure 4.6	Description de la phase E « Mettre en route et valider les systèmes de production de compétences »	p 128
Figure 4.7	Problématique de conception d'un laboratoire de formation	p 131
Figure 4.8	Décomposition de la gamme d'accroissement de compétences dans un laboratoire de formation aux Travaux Pratiques	p 140
Figure 4.9	Gamme linéaire d'enseignement	p 138
Figure 4.10	Gamme d'enseignement sans précedence	p 138
Figure 4.11	Gamme générale d'enseignement	p 138
Figure 4.12	Gamme linéaire d'enseignement des micro-compétences	p 139
Figure 4.13	Décomposition de la gamme d'accroissement de compétences dans un laboratoire de formation aux Travaux Pratiques	p 140
Figure 4.14	Graphe des interactions d'un matériel pédagogique	p 148
Figure 4.15	Méthodologie de conception de laboratoire	p 154
Figure 4.16	Spécification d'une ressource technologique, page 64 du manuscrit Mirelec	p 156
Figure 4.17	Spécification d'une ressource technologique, page 65 du manuscrit Mirelec	p 157
Figure 4.18	Spécification d'une ressource logicielle, page 68 du manuscrit Mirelec	p 158

Figure 4.19	Spécification d'une ressource logicielle, page 68 du manuscrit Micrelec	p 159
Figure 4.20	Spécification d'un poste de travail, page 95 du manuscrit Micrelec	p 161
Figure 4.21	Définition de l'implantation de l'espace polyvalent, page 33 du manuscrit Micrelec	p 162
Figure 4.22	Définition de l'implantation des énergies de l'espace polyvalent, page 34 du manuscrit Micrelec	p 163
Figure 4.23	Modélisation de l'activité selon SADT	p 164
Figure 4.24	Processus de formation en école d'ingénieurs	p 165
Figure 4.25	Gamme d'optimisation d'une activité de production	p 166
Figure 4.26	Gamme d'optimisation d'un processus de production de compétences	p 167
Figure 4.27	Processus d'enseignement académique	p 176
Figure 4.28	Décomposition du procédé d'enseignement « Cours »	p 177
Figure 4.29	Décomposition du procédé d'enseignement « Travaux Dirigés »	p 178
Figure 4.30	Décomposition du procédé d'enseignement « Travaux Pratiques »	p 179
Figure 4.31	Synthèse du chapitre 4	p 181

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Relevé de données d'après Desjardin [99] et Joutard [99]	p 12
Tableau 1.2	Exemples de compétences	p 22
Tableau 1.3	Tableau de comparaison Industrie/École	p 42
Tableau 2.1	Comparaison du modèle technologique et du modèle humaniste	p 57
Tableau 2.2	Évolution des techniques structurées	p 61
Tableau 3.1	Liste des procédés d'enseignement en vigueur (BOEN, publications internes, presse syndicale)	p 98
Tableau 4.1	Spécification de la Phase A « Réaliser l'étude préliminaire ».	p 115
Tableau 4.2	Tâche « Étudier le besoin »	p 115
Tableau 4.3	Tâche « Définir les objectifs du système de production de compétences »	p 116
Tableau 4.4	Tâche « Caractériser les compétences à acquérir »	p 116
Tableau 4.5	Liste des savoirs à acquérir – cas de l'ingénieur en Génie Industriel	p 117
Tableau 4.6	Liste des savoir-faire à acquérir – cas de l'ingénieur en Génie Industriel	p 117
Tableau 4.7	Tâche « Spécifier le projet de conception »	p 118
Tableau 4.8	Tâche « Décider de la suite à donner »	p 118
Tableau 4.9	Phase « Définir le processus de formation »	p 119
Tableau 4.10	Tâche « Définir les tâches d'enseignement »	p 120
Tableau 4.11	Exemple de tâches d'enseignement – cas de l'ingénieur en Génie Industriel	p 120
Tableau 4.12	Tâches d'enseignement concernant les Automatismes industriels	p 121
Tableau 4.13	Définition des processus élémentaires de formation	p 121
Tableau 4.14	Processus élémentaire « Enseignement de l'automatique et de l'informatique »	p 122
Tableau 4.15	Détermination des charges d'enseignement	p 122

Tableau 4.16	Charge d'enseignement par discipline	p 123
Tableau 4.17	Rédiger le dossier de fin de phase B	p 123
Tableau 4.18	Tâche « Décider de la suite à donner au projet »	p 123
Tableau 4.19	Spécification d'une tâche de formateur	p 125
Tableau 4.20	Spécification des compétences requises pour la réalisation d'une tâche	p 125
Tableau 4.21	Spécification des acteurs pour la tâche « Conception d'un système de production »	p 126
Tableau 4.22	Liste des processus opérants d'un système de production de compétences	p 126
Tableau 4.23	Similitude des problèmes de flux, d'après [Souty, 91]	P 134
Tableau 4.24	Tableau des fonctions d'un matériel pédagogique	p 149
Tableau 4.25	Caractérisation des fonctions d'un matériel pédagogique (première partie)	p 150
Tableau 4.26	Caractérisation des fonctions d'un matériel pédagogique (deuxième partie)	p 151
Tableau 4.27	Objectifs et indicateurs conjoncturels de performance de la tâche de formation	p 169
Tableau 4.28	Objectifs et indicateurs structurels de performance de la tâche de formation	p 170
Tableau 4.29	Description des ressources pédagogiques des procédés de formation	p 171
Tableau 4.30	Combinaison de ressources caractérisant les acteurs du cours	p 172
Tableau 4.31	Combinaison de ressources caractérisant les acteurs des travaux dirigés	p 172
Tableau 4.32	Combinaison de ressources caractérisant les acteurs des travaux pratiques	p 173
Tableau 4.33	Objectifs et indicateurs de performance de l'acteur d'enseignement	p 173-174
Tableau 4.34	Objectifs et indicateurs de performance de l'activité d'enseignement	p 175

GLOSSAIRE

AFNOR	Association Française de Normalisation
BAC	Baccalauréat
BAC PRO	Baccalauréat Professionnel
CAP	Certificat d'Aptitude Professionnelle
CCI	Chambre du Commerce et de l'Industrie
CET DIDACT	Centre d'Etudes et de Recherche des Entreprises du Didactique
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CN	Commande Numérique
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
EC	Etude de cas
EIT	École d'Ingénieurs de Tours
ENIM	École Nationale d'Ingénieurs de Metz
ENSAM	École Nationale Supérieure des Arts et Métiers
FCS	Facteurs clés de succès
LGIPM	Laboratoire de Génie Industriel et Production Mécanique
MEDEF	Mouvement des Entreprises de France
MEN	Ministère de l'Éducation Nationale
MOCN	Machine Outil à Commande Numérique
OID	Forme canonique du système selon J.L. Le Moigne : Opérant / Information / Décision
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SPC	Système de production de compétences
TD (ED)	Travaux Dirigés (ou Exercices Dirigés)
TP	Travaux Pratiques

BIBLIOGRAPHIE

[AFNOR, 99] Extraits des Normes AFNOR X 50-750 et X 50-751, 1999.

[AFPA, 90] AFPA, *Formation professionnelle : nouveaux enjeux, nouvelles méthodes*, Education permanente, 1990.

[AFPA, 91] AFPA, *Évolution des emplois : formation aux nouvelles compétences*, Education permanente, 1991.

Annuaire de la culture scientifique, technique et industrielle en France, Z'Édition, 1995.

[Berrah, 97] L. Berrah, Une approche d'évaluation de la performance industrielle – Modèle d'indicateur et techniques floues pour le pilotage réactif, Thèse soutenue à l'Université de Savoie, 1997.

[Besançon, 94] J. Besançon, P. Maubant, C. Ouzilou, *L'individualisation de la formation en questions*, La documentation française, 1994.

[Bireaud, 90] A. Bireaud, *Les méthodes pédagogiques dans l'enseignement supérieur*, Les Editions d'Organisation, 1990.

[Boucher, 99] X. Boucher, Propositions méthodologiques pour la gestion de Filières-Métiers dans un contexte d'ingénierie concourante, thèse soutenue à l'Université d'Aix-Marseille III, 1999.

[Brenier, 92] H. Brenier, *CIM et temps réel*, Dunod, 1992.

[Bruneau, 92] J.M. Bruneau et J.F. Pujos, *Le management des connaissances dans l'entreprise : ressources humaines et systèmes d'information*, Edition d'Organisation, 1992.

Bulletin, Hebdomadaire du Syndicat National de l'Enseignement Supérieur-FSU, n° 420 du 12 décembre 2000.

[Chen, 76] P.P.S. Chen *The entity-relationship model : toward a unified view of data*. ACM Transactions on Database Systems Vol. 1, No.1, 9-36, 1976.

[Clémentz, 98] C. Clémentz, P. Padilla, *Ingénierie de Formation Appliquée : conception de laboratoires au LGIPM de l'ENI de Metz*, Revue Internationale d'Ingénierie des Systèmes de Production Mécanique, n° 1, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz, novembre 1998.

[Clémentz, 99] C. Clémentz, *Le Centre d'Etudes et de Recherches des Industries du Didactique (CET DIDACT)*, Revue Internationale d'Ingénierie des Systèmes de Production Mécanique, n° 3, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz, décembre 1999.

[CRDP, 00] Centre Régional de Documentation Pédagogique de Toulouse, Réseau du Centre National de Documentation Pédagogique, 2000.

[CTI, 00] Commission des Titres de l'Ingénieur, *Références et orientations*, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie, Bureau des Écoles d'Ingénieurs, 2000.

[Dardy, 95] F. Dardy, C. Texido, *La compétitivité industrielle*, Foucher, 1995.

[Desjardins, 99] T. Desjardins, *Le scandale de l'éducation nationale*, Robert Laffont, 1999.

[Dic, 1987] Dictionnaire de la langue française, Succès du livre, 1987.

[Doumeingts, 83] G. Doumeingts, D. Breuil, L. Pun, *La gestion de production assistée par ordinateur*, Hermès, 1983.

[Doumeingts, 94] G. Doumeingts, B. Vallespir, *Gestion de production : Principes, Techniques de l'Ingénieur, traité Généralités*, AG3, A 8 265.

[Esquirol, 99] P. Esquirol, P. Lopez, *L'ordonnancement*, Economica, 1999.

Education et formations, *Projection du système éducatif à dix ans*, Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie, Direction de la Programmation, n° 54, décembre 1998.

[Faure, 99] R. Faure, *Précis de recherche opérationnelle*, DUNOD, 1999.

Former des maîtres, Bi-mensuel du Syndicat National de l'Enseignement Supérieur-FSU, 08 septembre 2000.

[Franchini, 00] L. Franchini, *Aide à la décision pour la gestion des opérateurs en production : Modélisation, Planification et Évaluation*, Thèse soutenue à l'Université de Toulouse, 2000.

[Gourc, 97a] D. Gourc et C. Pourcel – « AICOSCOP : principe, démarche, pratique et perspective de développement » Second Congrès International franco-québécois de Génie Industriel – Albi – 1997.

[Gourc, 97b] D. Gourc, *Contribution à l'ingénierie des systèmes de production*, Thèse soutenue à l'Université de Tours, 1997.

[Hameline, 79] D. Hameline ; *Les objectifs pédagogiques*, ESF, 1979.

[Hadji, 92] C. Hadji, *Penser et agir l'éducation*, ESF Editeur, 1992.

[Harzallah, 00] M. Harzallah, *Modélisation des aspects organisationnels pour la réorganisation d'entreprises industrielles*, Thèse soutenue à l'Université de Metz, 2000.

[Irion, 90] B. Irion, *L'usine du futur* (Commissariat Général du Plan), La Documentation Française, 1990.

- [Jaffro, 99] L. Jaffro, J.B. Rauzy, *L'école désœuvrée*, Flammarion, 1999.
- [Jia, 98] T. Jia, Vers une meilleure gestion des ressources d'un groupe autonome de fabrication, thèse soutenue à l'Université de Tours, 1998.
- [Jolis, 98] N. Jolis, *Compétences et compétitivité : la juste alliance*, Les Editions d'Organisation, 1998.
- [Joutard, 99] P. Joutard, C. Thélot, *Réussir l'école*, Editions du Seuil, 1999.
- [Kaplan, 88] R.S. Kaplan, « One cost system isn't enough », Harvard Business Review, janvier-février 1988.
- [Kaplan, 98] R.S. Kaplan, D. P. Norton, *Le tableau de bord prospectif*, Les Editions d'Organisation, 1998.
- [Kosanke et al, 97] K. Kosanke, F. Vernadat, B. Williams, Manufacturing enterprise modelling with PERA and CIMOSA. Proc. IFAC Workshop on Manufacturing Systems: Modelling, Management and Control (MIM'97), Vienna, Austria, February 3-5, 1997. pp. 295-300.
- [Kuperholc, 93] Kuperholc, Mor, *Développer de nouvelles formes de formation (les systèmes flexibles)*, Editons Liaison, 1993.
- [La documentation, 93] n° 262, *Gestion des ressources humaines*, La documentation française, 1993.
- [Landsheere, 94] G. Landsheere, *Le pilotage des systèmes d'éducation*, De Boeck Université, 1994.
- [Langouet, 81] G. Langouet, J.C. Porlier, *Mesure et statistique en milieu éducatif*, Les éditions ESF, 1981.
- [Larousse, 94]] Dictionnaire Petit Larousse Illustré, 1994.
- [Lebas, 93] C. Lebas, A. Clerc, *La P.M.E. face au défi productique (pour une autre rationalité d'automatiser)*. Presses Universitaires de Lyon, 1993.
- [Le Boterf, 98] G. Le Boterf, *L'ingénierie des compétences*, Les Éditions d'Organisation, 1998.
- [Le Moigne, 87] J. L. Le Moigne, *Théorie du système général*, Presses Universitaires de France, 1987.
- [Le Moigne, 99] J. L. Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1999.
- Le monde de l'éducation n° 210, Le Monde, 1993.
- [Lesourne, 94] J. Lesourne, *Vérités et mensonges sur le chômage*, Editions Odile Jacob, 1994.

- Le système éducatif français*, Les cahiers français, La documentation Française, n° 249, 1991.
- L'état de l'école*, Ministère de l'Education Nationale, 1994.
- [Lissandre, 90] M. Lissandre, *Maîtriser SADT*, Armand Colin, Paris, 1990.
- [Lorino, 97] P. Lorino, *Méthodes et pratiques de la performance*, Les Editions d'Organisation, 1997.
- [Mager, 75] R. Mager, *Comment définir des objectifs pédagogiques*, Bordas, 1975.
- [Marcotte, 95] F. Marcotte, Contribution à la modélisation des systèmes de production, extension du modèle GRAI, thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 1995.
- [Maury, 95] J.M. Maury, P. Cornet, M. Flageul, S. Pintiaux, A. Ricci, M. Scaramuzza, *Gestion des entreprises industrielles*, Foucher, 1995.
- [MEDEF, 00] Mouvement des Entreprises de France, Réseau « Objectif compétences » - charte de partenariat, 2000.
- [Meirieu, 92] P. Meirieu, *L'école mode d'emploi*, ESF Editeur, 1992.
- [Michel, 97] S. Michel, Le savoir est-il une compétence ? Actes de la conférence Compétences et Contextes Professionnels, Metz, 1997.
- [Minc, 94] A. Minc, *La France de l'an 2000*, La Documentation française, 1994.
- [Monde de l'Education, 00] Monde de l'Education, L'inspection, cette hypocrisie, mars 2000.
- [Morin, 77] E. Morin, *La nature de la nature*, Editions Seuil, 1977.
- [Not, 84] L. Not, *Une science spécifique pour l'éducation*, Université de Toulouse - Le Mirail, 1984.
- [OFCE, 97] OFCE, *L'économie française 1997*, Repères, 1997.
- [Padilla, 94] P. Padilla, Les PME-PMI et les transferts technologiques, Collection DIDATEC, 1994.
- [Palmade, 98] G. Palmade, *Les méthodes en pédagogie*, Presses Universitaires de France, 1998.
- [Pastiaux, 99] G. et J. Pastiaux, *Précis de pédagogie*, Nathan, 1999.
- [Pateyron, 98] E. Pateyron, *La veille stratégique*, Economica, 98.
- [Petitdemange, 95] C. Petitdemange, Analyse de la valeur et ingénierie simultanée, AFNOR, Collection A Savoir, 1995.

- [PCD, 00] Projet de Contrat de Développement, consultable à Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz, 2000.
- [Peretti, 87] J.M. Peretti, *Gestion des ressources humaines*, Vuibert Entreprise, 1987.
- [Pomian, 97] J.L. Pomian, T. Pradère, I. Gaillard, *Ingénierie et ergonomie*, Cépaduès-Editions, 1997.
- [Poucel, 87] C. Poucel, *Systèmes automatisés de production*, Cépaduès Editions, 1987.
- [Pourcel, 94] C. Pourcel, « La méthode AICOSCOP : démarche et pratique », Document rédigé dans le cadre d'une demande d'habilitation à diriger des recherches, Université de Tours, 1994.
- [Reynaud, 99] C. Reynaud, G. Groz, P. Poncelet, Actes des journées du PRC-13 et du GRACQ, Ingénierie des Systèmes d'Information et Ingénierie des Connaissances, Paris, 02 et 03 décembre 1999.
- [Rosnay, 75] J. de Rosnay, *Le macroscopie : vers une vision globale*, Seuil, 1975.
- [Ross, 77] D.T. Ross *Structured analysis (SA) : a language for communicating ideas*, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol.SE3, 16-24, 1977.
- [Sage, 00] A.P. Sage, System Engineering Education, IEEE Transactions on systems, Man, and cybernetics – Part C: Applications and reviews, Vol. 30, N° 2, May 2000.
- [Schärlig, 99] A. Schärlig, *Décider sur plusieurs critères – Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1999.
- [Souty, 91] J. Souty, *L'ingénierie de production*, Masson, 1991.
- [Soyer, 00a] J. Soyer, *La fonction formation*, Les Editions d'Organisation, 2000.
- [Soyer, 00b] J. Soyer, *L'achat de formation*, Les Editions d'Organisation, 2000.
- Tableau de l'économie française*, INSEE, 1994.
- [Tanguy, 91] L. Tanguy, *Quelle formation pour les ouvriers et employés en France ?*, La documentation française, 1991.
- [Tardieu, 85] H. Tardieu, A. Rochfeld, R. Coletti, G. Panet, G. Vahée, *La méthode MERISE*, Les Editions d'Organisation, 1985.
- [Tarondeau, 88] J.C. Tarondeau, *Nouvelles logiques de production*, Le nouvel économiste, 1988.
- [Thélot, 90 à 96] C. Thélot, Directeur de Publication, *L'état de l'école*, Ministère de l'Education Nationale, 1990-1996.

- [Toffler, 93] A. Toffler, *Les nouveaux pouvoirs*, Librairie générale française, 1993.
- [Trégouet, 00] C. Trégouet, La formulation des compétences – Les étapes de la formulation, vers un référentiel de compétences, société EVOLIANCE groupe QUATERNAIRE, 2000.
- [Vernadat, 99] F. Vernadat, *Techniques de Modélisation en Entreprise : Applications aux Processus Opérationnels*, Economica, 1999.
- [Waldner, 90] J.B. Waldner, *CIM, Les nouvelles approches de la production*, Dunod, 1990.
- [Williams, 94] T.J. Williams, The Purdue Entreprise Reference Architecture, *Computeurs in Industry*, Vol. 24, 1994.
- [Williams et coll., 96] T.J. Williams, G. Rathwell, H. Li, A handboock on master and implémentation for entreprise integration programs, Purdue laboratory for applied industrial control, West Lafayette, 1996.
- [Yourdon, 78] E. Yourdon, L.L. Constantine, *Structured Design*, Yourdon Press, 1978.

ANNEXE

- « L'Ecole désœuvrée », résumé, Laurent JAFFRO et Jean Batiste RAUSY
- La méthode SADT
- Exemple d'affectation des ressources d'un laboratoire

L'ECOLE DESOEUVREE

Laurent JAFFRO

Jean-baptiste RAUZY

L'ouvrage s'intéresse particulièrement à la politique éducative et à l'ignorance des responsables du monde de l'école. Il rejette l'alternative entre conservatisme et modernisme et dénonce une politique « complice d'un renoncement à l'exigence de la transmission du savoir... ». Il tente de montrer les absurdités du système qui cherche des solutions auprès d'experts en didactique alors que la crise réside dans la mauvaise transmission du savoir.

La querelle « anciens et des modernes » dans laquelle se situe ce débat démontre que la démocratie d'opinion s'appuie sur des croyances imparfaites selon lesquelles par exemple l'échec scolaire vient des enfants eux-mêmes (handicap socio-culturel) ; on considère le plus souvent que les enfants sont défavorisés mais on s'interroge rarement sur le fait de savoir s'ils sont bien enseignés c'est comme si l'école était dispensée de toute obligation de résultat.

Les auteurs expliquent un certain nombre d'erreurs par le développement croissant, depuis les années 70, des sciences de l'éducation au détriment du développement des compétences disciplinaires et que les « recherches-actions » entreprises, se rapprochent davantage d'un projet de transformation du système éducatif (substitution d'une pédagogie de masse à une pédagogie élitiste) qu'à une évaluation des procédés pédagogiques en place.

La démonstration est faite que le niveau d'exigence, tant en ce qui concerne les élèves que la formation des enseignants, a considérablement « pâli » depuis quelques années. En effet d'une part on adapte les exigences aux capacités des élèves les plus faibles, ce qui conduit à un échec collectif et à des mesures prises encore plus catastrophiques parce que la situation n'est jamais analysée, d'autre part, on n'a pas conscience que la paupérisation du milieu enseignant dû à la massification a engendré un niveau scientifique de recrutement plus faible. Par ailleurs la compétence des IUFM en matière de formation des futurs maîtres est sérieusement remise en cause surtout dans le sens où ils attribuent un rôle exagéré aux pédagogues. « La politique éducative a déserté le terrain du savoir ».

Sous couvert de démocratisation, l'auteur s'interroge sur la nature des réformes du système éducatif et soupçonne les responsables de s'être plus attachés à appliquer des théories toutes faites qu'à améliorer le système lui-même. Qu'a t on fait exactement ? Dans une société où l'école a perdu le monopole du savoir légitime, on a voulu unifier le système scolaire, allonger la scolarité, réduire les inégalités en atténuant le facteur social. En fait, on a adapté le savoir enseigné au nouveau public de l'école en privant le plus grand nombre d'un savoir qui est d'autant plus requis qu'on s'élève sur l'échelle sociale.

Dans le même temps la notion de mérite axée sur la transmission des savoirs a été largement décriée alors que l'analyse montre que la distribution des distinctions et des fonctions sociales selon le mérite est gage de justice et d'efficacité car elle s'appuie sur les résultats scolaires obtenus dans l'ignorance des conditions extra scolaires. Pour l'instant l'école d'hier est détruite sans qu'on sache exactement par quoi la remplacer si on s'obstine de plus en plus à séparer le souci de justice et l'obligation d'efficacité. Ce rejet de l'exigence à la fois par les sociologues et les pédagogues s'exerce au plan didactique dans la mesure où il convient de ne rien transmettre qui puisse être discriminant pour les enfants. L'analyse des résultats sous forme de courbe de Gauss (quelques bons élèves, beaucoup de moyens, quelques cancre) est

rejetée par les « modernes » car ils considèrent qu'elle met en évidence les différences. La mode consiste à désigner la zone proximale de l'apprenant, invention prescrite par les IUFM et qui désigne l'ensemble incertain de tout ce qu'un enfant ne sait pas mais qu'il est susceptible de savoir.

Cette attitude négative du système éducatif face au mérite apparaît comme une vaste escroquerie dans la mesure où la société y fait constamment référence : on obtient rarement un emploi rémunéré sans mérite ! Cependant conséquence plus inattendue, on enregistre de vives réactions dans le comportement des jeunes qui vivent mal les contraintes imposées puisqu'elles ne sont plus présentées comme des règles.

Après guerre le rapport Langevin Wallon prônait l'unification du système scolaire associé à la démocratisation de l'enseignement dans le but d'améliorer la culture générale des élèves par le savoir dispensé par les enseignants ; on s'aperçoit aujourd'hui que « la culture commune » assurée par la vie en groupe s'est substituée à la culture générale. Quel est dans ces conditions le vrai rôle de l'enseignant ?

Démocratisation, hétérogénéité, et pourtant échec scolaire pourquoi ? Il faut se rendre à l'évidence : le temps consacré aux apprentissages fondamentaux où le temps fondé sur la répétition est incompressible a été considérablement réduit au fur et à mesure que l'on a introduit les activités parascolaires dans lesquelles la mémoire intervient peu.

En conséquence dans l'école d'aujourd'hui, la plupart des apprentissages qui passent essentiellement par la répétition des mêmes exercices ou qui reposent sur la mémoire ne sont plus assurés. Le conflit actuel porte sur la réalité de l'enseignement dans les classes où les méthodes ne sont jamais remises en cause. Que doit-on enseigner ? Que peut-on espérer transmettre ?

Pour répondre à la question de la nature des savoirs à transmettre l'auteur s'intéresse à ce qu'il appelle la transposition didactique c'est à dire la transformation que doivent subir les savoirs tels qu'ils existent dans les universités pour pouvoir être enseignés dans les écoles. S'il reconnaît la nécessité d'une différence entre ce qui est enseigné à l'université et à l'école il estime que cela doit se faire par l'actualisation des contenus mais pas par la transposition dont on parle actuellement. On reproche beaucoup aux IUFM d'avoir accordé le statut « d'enseignants chercheurs » à des formateurs dont le profil se limite à la pédagogie et à la didactique alors que pour être prises au sérieux l'une et l'autre supposent une connaissance approfondie des contenus. Ceux qui revendiquent cette spécialité ne sont en fait spécialistes de rien si ce n'est de la généralité.

La pédagogie prétend dépasser les disciplines, donc elles les annule en s'intéressant aux conditions des apprentissages dans la classe indépendamment des contenus. La didactique les rend plus absolues en donnant à chacune le contenu qui lui revient.

Comment passe-t-on du savoir à l'information ? La didactique propose une mutation qualitative du savoir enseigné dans la mesure où nous passons insensiblement de la discipline à la culture de la discipline donc du savoir à l'information. Cependant apprendre n'est pas seulement disposer d'informations c'est agir selon les règles d'un savoir. L'information et l'instruction se distinguent par les règles.

Il faut bien cependant délimiter tout à la fois ce qui peut être appris et doit être enseigné à l'école. Si on se réfère à la loi d'orientation de 1989 le programme se définit comme la délimitation des connaissances et des méthodes qui doivent être acquises et assimilées à tel niveau d'étude.

Les auteurs déplorent ce qui se passe en réalité c'est à dire un constat de transformation des connaissances en compétences et des méthodes en savoir-faire. Ils déplorent également la substitution d'un référentiel de capacités à un programme de contenus. La didactique assimile le savoir au sens de la connaissance qu'il convient d'exercer et de transmettre à un potentiel comportemental.

En effet, le discours pédagogue est devenu discours officiel, la pédagogie n'est plus simplement une réflexion dans la pratique de l'enseignement mais devient un instrument de transformation de l'école. Les auteurs démontrent ainsi qu'il y a opposition entre une pédagogie de l'émancipation fondée sur le savoir et une pédagogie du développement, devenue politique du Ministère, fondée sur un postulat d'auto-éducation qui s'intéresse essentiellement à la psychologie du développement et aux procédures d'apprentissage.

Dans ces conditions comment définir la fonction enseignante ? S'agit-il de transmettre sa mémoire et contribuer à la formation des générations montantes ou de répondre à des besoins divers et mobiles de la société ? C'est cette deuxième dimension qui est actuellement privilégiée dans notre système éducatif et qui conduit inévitablement à un appauvrissement du sens du métier dans la mesure où le maître devient animateur, adulte de référence au même titre que l'aide éducateur, l'intervenant extérieur ou les parents d'élèves.

Tout se passe comme si, le déplorent les auteurs, le projet d'un professeur de mathématiques ne pouvait plus être de faire des mathématiques, il faut avant tout motiver les élèves, les rendre citoyens parce que l'urgence est dans la gestion des comportements, il ne s'agit pas d'instruire cela ne se fait plus ! D'ailleurs on présente l'apprentissage de la citoyenneté comme un apprentissage de dialogue universel ce qui conduit à réduire le civisme à la civilité.

En conclusion les auteurs considèrent que « les politiques » qui se sont succédés au pouvoir ont contribué à faire perdre au système ses grands équilibres entre la reconnaissance du mérite et le soutien de tous, entre l'idéal de justice dans la transmission du savoir et l'exigence qu'enveloppe nécessairement cette transmission. Ils suggèrent également quelques réformes dans la formation des maîtres notamment une diminution du jargon et des dogmes pédagogistes au bénéfice de la science et de l'initiation aux oeuvres.

LA METHODE S.A.D.T.

Le sigle de cet outil de l'analyse fonctionnelle signifie *Structured Analysis and Design Technique*. Il s'appuie sur un modèle graphique et procède par analyse descendante du système.

Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but. Il s'agit donc d'un ensemble identifiable assurant une fonction globale et doté d'une structure qui évolue dans le temps et dans un environnement pour une finalité déterminée.

Dans notre cas nous avons identifié comme système d'étude soit un établissement de formation, soit un processus de formation.

Un processus a pour objectif de donner au produit ou à la personne en formation, dans le cas d'un processus de formation, les caractéristiques de l'état final à partir des caractéristiques de l'état initial. C'est un ensemble d'activités, d'opérations ou de procédés agissant sur un milieu extérieur (information, éléments physiques...) pour en changer les caractéristiques.

La recherche des procédés permettant d'acquérir l'état final, les caractéristiques ou les états stables, permet de mettre en place l'architecture du processus.

La spécificité de la méthode S.A.D.T. repose sur la définition :

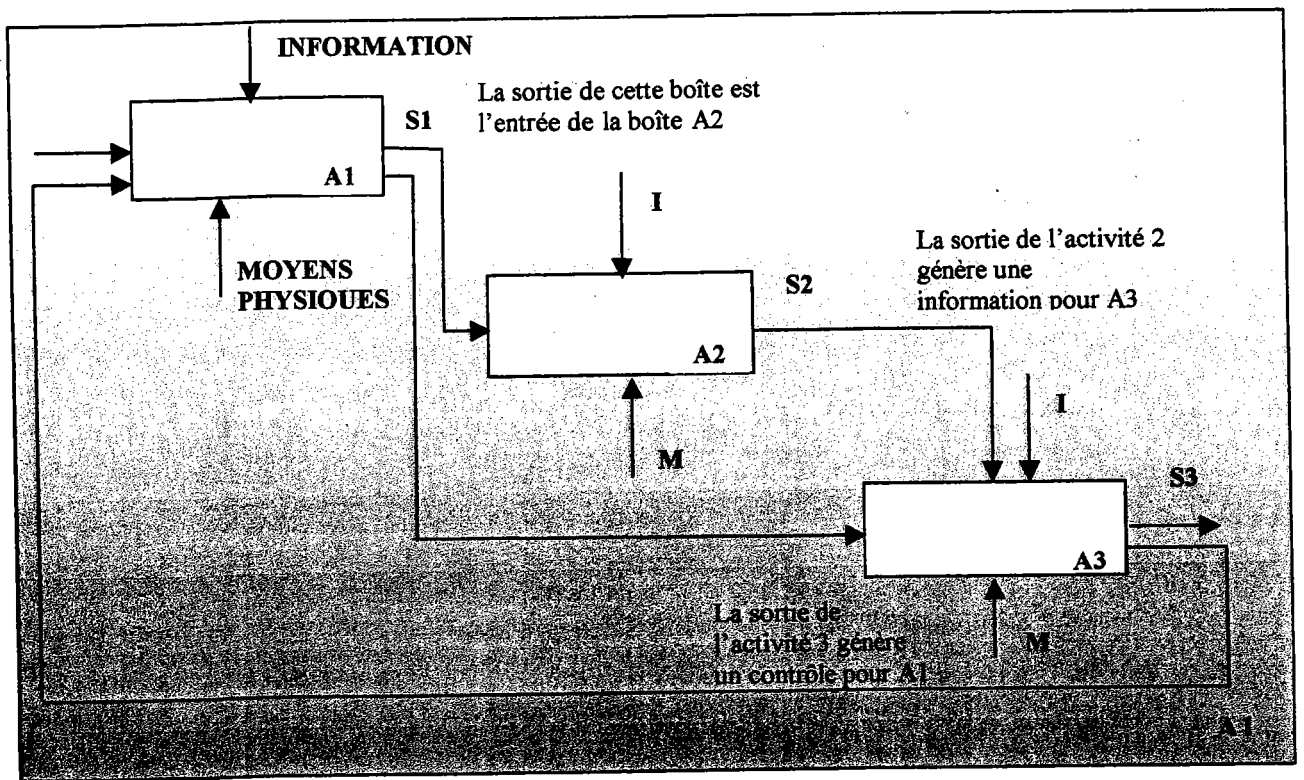
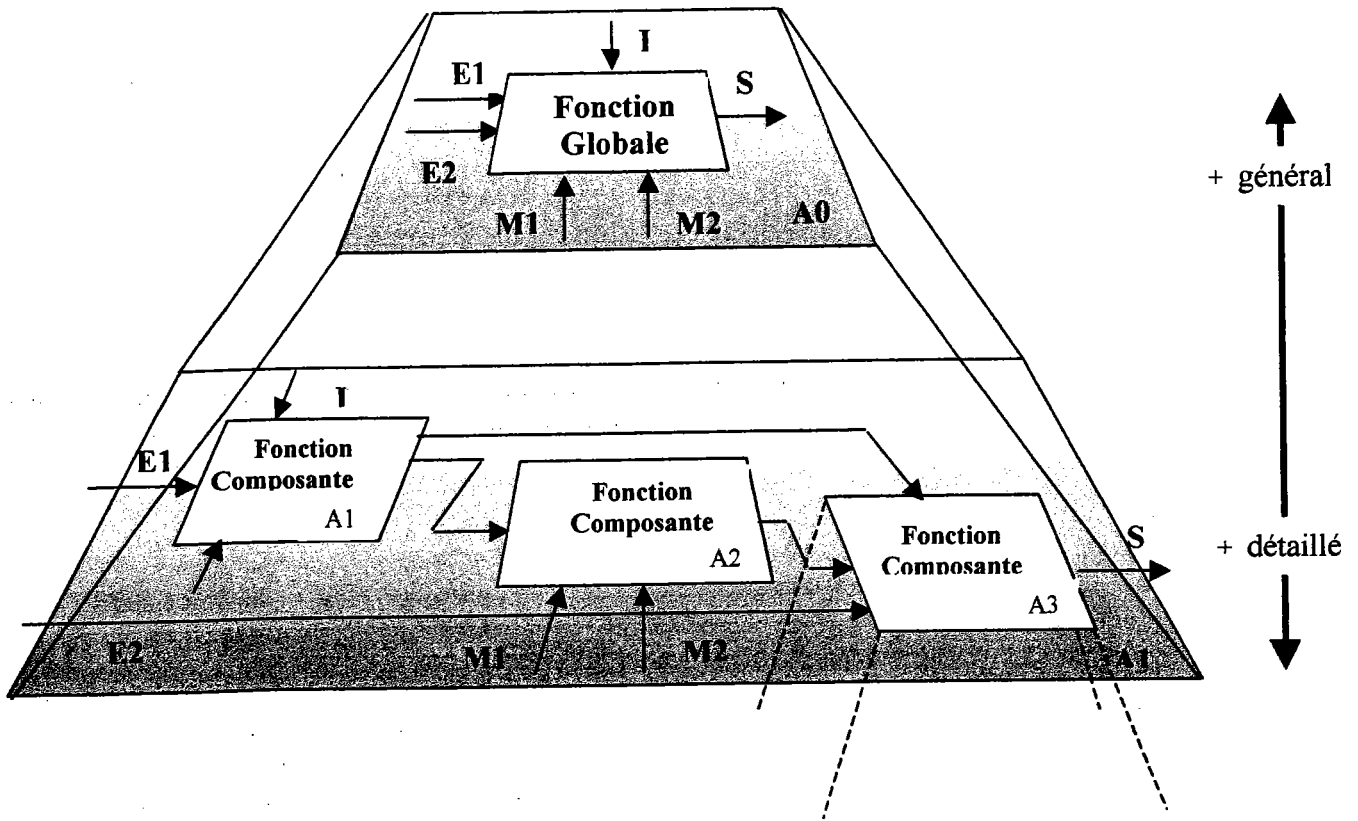
- des fonctions ou activités que le système remplit (les « boîtes ») ;
- des informations qu'il échange, notamment avec son environnement (les flux) ;
- des moyens ou éléments physiques qui permettent de réaliser les activités (les énergies et les processeurs).

Le modèle est ainsi constitué d'une décomposition logique et cohérente d'un système en diagrammes. Le diagramme de plus haut niveau représente la fonction globale du système. Il est lui-même décomposable en une succession de diagrammes de niveaux immédiatement inférieurs.

Chaque « boîte » est définie par :

- les données d'entrées - matières d'œuvre, énergies ou informations- (E1, E2, ...) ;
- les données de sorties - données d'entrées + valeur ajoutée, les compte-rendus et les déchets - (S1, S2, ...) ;
- les contraintes de pilotage ;
- les processeurs ou mécanismes (M1, M2, ...).

Cette modélisation est idéale pour montrer l'organisation logique des étapes et des activités d'un système.



EXEMPLE D'AFFECTATION DES RESSOURCES D'UN LABORATOIRE DE FORMATION

L'affectation des ressources d'un laboratoire de formation permet de respecter la gamme de formation d'un lot d'élèves en fonction des ressources disponibles.

L'exemple de gamme de formation est celui défini au chapitre 4.2, figure 4.13 de la page 140. L'accroissement de compétences C1 + C2 + C3 est réalisé avec quatre ressources R1, R2, R3 et R4. Dix Travaux Pratiques sont nécessaires pour réaliser cette tâche d'enseignement : TP1 à TP 10. La période élémentaire est de 2 heures ; elle est déterminée par la durée des TP 7, TP8 et TP 9.

Pour réaliser l'affectation des TP à chacun des six groupes d'élèves on applique à chaque période de deux heures la méthode suivante (tableau 1) :

- chaque TP affecté à une ressource disponible pour chaque groupe est noté « O » ;
- la colonne d'une ressource ne peut posséder qu'un seul « O » (ce qui correspond à marquer son indisponibilité pour d'autres groupes et d'autres TP) ;
- chaque ligne de groupe ne peut comporter qu'un seul « O » (chaque TP affecté doit être terminé avant l'affectation du prochain) ;
- on affecte ainsi le maximum possible de TP au plus grand nombre possible de groupes simultanément.

Période	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x			
Gpe 2		x			
Gpe 3		x			
Gpe 4		x			
Gpe 5		x			
Gpe 6	x	O	x	x	TP 6/2

Tableau 1 : Exemple d'affectation.

Dans l'exemple du tableau 1, le groupe 6 doit réaliser le TP 6/2 sur le poste de travail R2. R2 n'est pas disponible pour une autre affectation et aucun autre TP ne peut être réalisé par le groupe 6 simultanément (aucune autre ressource ne peut donc être affectée au groupe 6 pendant cette même période). Nous convenons d'appeler « TP 6/2 » la première période de deux heures du TP 6 et « TP 6/2 Fin » la deuxième période de deux heures du TP 6, d'où

$$\text{TP6} = \text{TP 6/2} + \text{TP 6/2 Fin}$$

L'ensemble des 44 tableaux qui suivent correspond à la résolution du problème posé par la gamme de formation C1 + C2 + C3 dans un laboratoire à quatre ressources R1, R2, R3 R4, pour un lot d'élèves de six groupes Gpe 1, Gpe 2, Gpe 3, Gpe 4, Gpe 5, Gpe 6.

Période 1	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x	O	TP 9
Gpe 2	O	x	x	x	TP 1/2
Gpe 3	x			x	
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 2	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x	O	TP 10/2
Gpe 2	O	x	x	x	TP 1/2 Fin
Gpe 3	x			x	
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 3	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x	O	TP 10/2 Fin
Gpe 2	O	x	x	x	TP 2/2
Gpe 3	x			x	
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 4	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x			x	
Gpe 2	O	x	x	x	TP 2/2 Fin
Gpe 3	x	x	x	O	TP 9
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 5	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x			x	
Gpe 2	O	x	x	x	TP 3/2
Gpe 3	x	x	x	O	TP 10/2
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 6	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x			x	
Gpe 2	O	x	x	x	TP 3/2 Fin
Gpe 3	x	x	x	O	TP 10/2 Fin
Gpe 4	x			x	
Gpe 5	x			x	
Gpe 6	x			x	

Période 7	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 1/2
Gpe 2	x	O	x	x	TP 4/2
Gpe 3	x	x		x	
Gpe 4	x	x	x	O	TP 9
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x		x	

Période 8	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 1/2 Fin
Gpe 2	x	O	x	x	TP 4/2 Fin
Gpe 3	x	x		x	
Gpe 4	x	x	x	O	TP 10/2
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x		x	

Période 9	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 2/2
Gpe 2	x	O	x	x	TP 5/2
Gpe 3	x	x		x	
Gpe 4	x	x	x	O	TP 10/2 Fin
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x		x	

Période 10	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 2/2 Fin
Gpe 2	x	O	x	x	TP 5/2 Fin
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	x			
Gpe 5	x	x			
Gpe 6	x	x			

Période 11	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 3/2
Gpe 2	x	O	x	x	TP 6/2
Gpe 3	x	x		x	
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x	x	O	TP9
Gpe 6	x	x		x	

Période 12	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	O	x	x	x	TP 3/2 Fin
Gpe 2	x	O	x	x	TP 6/2 Fin
Gpe 3	x	x		x	
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x	x	O	TP 10/2
Gpe 6	x	x		x	

Période 13	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 4/2
Gpe 2	x	x	O	x	TP 7
Gpe 3	O	x	x	x	TP 1/2
Gpe 4	x	x	x	x	
Gpe 5	x	x	x	O	TP 10/2 Fin
Gpe 6	x	x	x	x	

Période 14	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 4/2 Fin
Gpe 2	x	x	O	x	TP 8
Gpe 3	O	x	x	x	TP 1/2 Fin
Gpe 4	x	x	x	x	
Gpe 5	x	x	x	x	
Gpe 6	x	x	x	O	TP 9

Période 15	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 5/2
Gpe 2	x	x		x	
Gpe 3	O	x	x	x	TP 2/2
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x	x	O	TP 10/2

Période 16	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 5/2 Fin
Gpe 2	x	x		x	
Gpe 3	O	x	x	x	TP 2/2 Fin
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x	x	O	TP 10/2 Fin

Période 17	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 6/2
Gpe 2	x	x	x	O	TP 9
Gpe 3	O	x	x	x	TP 3/2
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x		x	

Période 18	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	O	x	x	TP 6/2 Fin
Gpe 2	x	x	x	O	TP 10/2
Gpe 3	O	x	x	x	TP 3/2 Fin
Gpe 4	x	x		x	
Gpe 5	x	x		x	
Gpe 6	x	x		x	

Période 19	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	O	x	TP 7
Gpe 2	x	x	x	O	TP 10/2 Fin
Gpe 3	x	O	x	x	TP 4/2
Gpe 4	O	x	x	x	TP 1/2
Gpe 5	x	x	x	x	
Gpe 6	x	x	x	x	

Période 20	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	O	x	TP 8
Gpe 2	x	x	x		
Gpe 3	x	O	x	x	TP 4/2 Fin
Gpe 4	O	x	x	x	TP 1/2 Fin
Gpe 5	x	x	x		
Gpe 6	x	x	x		

Période 21	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	O	x	x	TP 5/2
Gpe 4	O	x	x	x	TP 2/2
Gpe 5	x	x			
Gpe 6	x	x			

Période 22	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	O	x	x	TP 5/2 Fin
Gpe 4	O	x	x	x	TP 2/2 Fin
Gpe 5	x	x			
Gpe 6	x	x			

Période 23	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	O	x	x	TP 6/2
Gpe 4	O	x	x	x	TP 3/2
Gpe 5	x	x			
Gpe 6	x	x			

Période 24	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	O	x	x	TP 6/2 Fin
Gpe 4	O	x	x	x	TP 3/2 Fin
Gpe 5	x	x			
Gpe 6	x	x			

Période 25	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x		
Gpe 2	x	x	x		
Gpe 3	x	x	O	x	TP 7
Gpe 4	x	O	x	x	TP 4/2
Gpe 5	O	x	x	x	TP 1/2
Gpe 6	x	x	x		

Période 26	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x		
Gpe 2	x	x	x		
Gpe 3	x	x	O	x	TP 8
Gpe 4	x	O	x	x	TP 4/2 Fin
Gpe 5	O	x	x	x	TP 1/2 Fin
Gpe 6	x	x	x		

Période 27	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	O	x	x	TP 5/2
Gpe 5	O	x	x	x	TP 2/2
Gpe 6	x	x			

Période 28	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	O	x	x	TP 5/2 Fin
Gpe 5	O	x	x	x	TP 2/2 Fin
Gpe 6	x	x			

Période 29	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	O	x	x	TP 6/2
Gpe 5	O	x	x	x	TP 3/2
Gpe 6	x	x			

Période 30	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	O	x	x	TP 6/2 Fin
Gpe 5	O	x	x	x	TP 3/2 Fin
Gpe 6	x	x			

Période 31	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x		
Gpe 2	x	x	x		
Gpe 3	x	x	x		
Gpe 4	x	x	O	x	TP 7
Gpe 5	x	O	x	x	TP 4/2
Gpe 6	O	x	x	x	TP 1/2

Période 32	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x	x		
Gpe 2	x	x	x		
Gpe 3	x	x	x		
Gpe 4	x	x	O	x	TP 8
Gpe 5	x	O	x	x	TP 4/2 Fin
Gpe 6	O	x	x	x	TP 1/2 Fin

Période 33	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	x			
Gpe 5	x	O	x	x	TP 5/2
Gpe 6	O	x	x	x	TP 2/2

Période 34	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	x			
Gpe 5	x	O	x	x	TP 5/2 Fin
Gpe 6	O	x	x	x	TP 2/2 Fin

Période 35	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	x			
Gpe 5	x	O	x	x	TP 6/2
Gpe 6	O	x	x	x	TP 3/2

Période 36	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1	x	x			
Gpe 2	x	x			
Gpe 3	x	x			
Gpe 4	x	x			
Gpe 5	x	O	x	x	TP 6/2 Fin
Gpe 6	O	x	x	x	TP 3/2 Fin

Période 37	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x	x		
Gpe 2		x	x		
Gpe 3		x	x		
Gpe 4		x	x		
Gpe 5	x	x	O	x	TP 7
Gpe 6	x	O	x	x	TP 4/2

Période 38	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x	x		
Gpe 2		x	x		
Gpe 3		x	x		
Gpe 4		x	x		
Gpe 5	x	x	O	x	TP 8
Gpe 6	x	O	x	x	TP 4/2 Fin

Période 39	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x			
Gpe 2		x			
Gpe 3		x			
Gpe 4		x			
Gpe 5		x			
Gpe 6	x	O	x	x	TP 5/2

Période 40	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x			
Gpe 2		x			
Gpe 3		x			
Gpe 4		x			
Gpe 5		x			
Gpe 6	x	O	x	x	TP 5/2 Fin

Période 41	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x			
Gpe 2		x			
Gpe 3		x			
Gpe 4		x			
Gpe 5		x			
Gpe 6	x	O	x	x	TP 6/2

Période 42	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1		x			
Gpe 2		x			
Gpe 3		x			
Gpe 4		x			
Gpe 5		x			
Gpe 6	x	O	x	x	TP 6/2 Fin

Période 43	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1			X		
Gpe 2			X		
Gpe 3			X		
Gpe 4			X		
Gpe 5			X		
Gpe 6	X	X	O	X	TP 7

Période 44	R1	R2	R3	R4	TP ?
Gpe 1			X		
Gpe 2			X		
Gpe 3			X		
Gpe 4			X		
Gpe 5			X		
Gpe 6	X	X	O	X	TP 8

En conclusion, pour une formation d'une durée totale de 34 heures de six groupes d'élèves en TP, la disponibilité du laboratoire doit être de 88 heures.

Les périodes 19, 20, 26, 32, 38 et 44 correspondent aux dates de fin de formation des six groupes :

- période 19 : fin de formation du groupe Gpe 2
- période 20 : fin de formation du groupe Gpe 1
- période 26 : fin de formation du groupe Gpe 3
- période 32 : fin de formation du groupe Gpe 4
- période 38 : fin de formation du groupe Gpe 5
- période 44 : fin de formation du groupe Gpe 6

On remarque que dès la fin de la période 20 la ressource R4 est totalement libérée. Elle peut alors être soit "mutualisée" pour d'autres activités de formation sans perturber l'en-cours de formation, soit être retenue pour l'évaluation des compétences développées. La même réflexion peut être conduite pour les ressources qui se libèrent progressivement.