HAL
open science

Contribution à l'étude des curriculums.Le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'enseignement général et technologique

Bernard Calmettes

To cite this version:

Bernard Calmettes. Contribution à l'étude des curriculums.Le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'enseignement général et technologique. Education. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 1996. Français. NNT : . tel-00278552

HAL Id: tel-00278552

https://theses.hal.science/tel-00278552v1

Submitted on 13 May 2008

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.

Bernard CALMETTES

Contribution à l'étude des curriculums.
Le cas de l'enseignement de l'électrotechnique dans les classes du second degré des Lycées d'enseignement général et technologique

Thèse de doctorat nouveau régime en Didactique des Sciences.

19 janvier 1996

Direction LEFÈVRE, R., Professeur des Universités.

Université de TOULOUSE 3, LEMME.

Jury :

- Jean-Louis MARTINAND, Professeur des Universités, ENS de CACHAN, Président
- Jean BRAS, Professeur des Universités, IUFM de Midi-Pyrénées. TOULOUSE
- Jean GRÉA, Professeur des Universités, LYON I, Rapporteur
- Richard LEFÈVRE, Professeur des Universités, TOULOUSE 3, LEMME, Directeur de thèse
- Bernard TRANNOY, Professeur des Universités, ENSEEIH, Institut National Polytechnique, TOULOUSE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.

1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.

Les dernières décennies ont été marquées par des changements qui ont fortement modifié les structures et les organisations sociales. Les enjeux économiques et sociaux autour des domaines industriels sont ainsi, dans la conjoncture de marché actuelle, extrêmement importants. Il s'agit de concurrencer à la fois des pays développés et des pays à main d'oeuvre abondante non assistée socialement. Cela aboutit à une évolution ou à un renouvellement continuel des produits finis, en faisant largement appel à toutes les technologies actuelles.

Dans son rapport, J. Lesourne (1988, p. 90) discute ce point et selon lui, les évolutions matérielles impliquent des modifications en termes de formation en nécessitant :

- une formation professionnelle pour faciliter l'accès au premier emploi, mais plus cette formation professionnelle sera spécialisée, plus elle sera fragile ;
- une formation continuée, c'est à dire reprise au cours de sa vie, qui accompagne l'individu dans son développement professionnel et personnel.»

G.-G. Granger (1993, pp. 37/39) aborde également le problème de l'évolution des machines en relation avec l'évolution des rôles des personnels travaillant autour ou avec ces machines. Il rend alors compte des évolutions induites dans les professions de technicien notamment par les évolutions des machines : «Il résulte de cette nouvelle technicité une tension présente dans la société actuelle entre une exigence de spécialisation technique due au raffinement toujours plus poussé des machines, et une exigence apparemment contraire de polyvalence, de compétence généralisée, ou plutôt de capacité d'adaptation des exécutants techniciens, conséquence de la rapidité d'évolution des techniques existantes et de la création de techniques nouvelles.»
Ces changements doivent amener des réflexions et des modifications au niveau des systèmes d'enseignement et de formation. Pour G.-G. Granger, la solution réside dans le développement d'une "culture" : «Au niveau d'exécution, même fort élevé dans la hiérarchie technicienne, l'esprit scientifique risque de s'estomper devant un esprit strictement technique, qui ferait passer le succès avant l'explication. Aussi bien, pour contre-balancer cet effet négatif, convient-il sans doute de répondre au problème de formation […] en acceptant de faire une large place

dans l'enseignement à une culture scientifique générale, apparemment désintéressée et non directement efficace, et même sans doute à une culture humaniste, à la culture tout court.»

Pour G. Malglaive (1990, p. 35, p. 62), les transformations économiques et sociales agissent sur le destin d'innombrables salariés qui voient . D'une façon plus générale, «avec les machines automatisées disparaît l'intimité avec la matière, la possibilité de réguler à chaque instant le processus de transformation au seul moyen de la perception de l'objet en train de se transformer et des signes concrètement lisibles, tirant leurs sens de l'expérience accumulée sur les péripéties de sa transformation […] L'objet et ses caractéristiques, la machine et ses actes perdent la richesse de leur variété concrète : ils deviennent abstraits, et doivent être manipulés dans le monde symbolique avant d'acquérir leur réalité matérielle. La différence est énorme pour ceux dont la pensée n'est jamais séparée de l'action matérielle, pour ceux chez qui, penser, parler, réfléchir est toujours peu ou prou synonyme de ne rien faire».

Vers un projet de recherche.

Les transformations souhaitées par J. Lesourne, G.-G. Granger et G. Malglaive se rapportent au système de formation initiale et continue. Il peut alors sembler pertinent pour un chercheur de prendre comme objet d'étude les évolutions d'un système de formation. Ce projet vaste demande, dans le cadre d'une recherche doctorale en didactique, à être précisé.

Pour J. P. Astolfi et M. Develay (1989, pp. 9/10),
- d'une part, en amont de la réflexion pédagogique […] en prenant en compte les contenus d'enseignement comme objets d'étude […] Elle s'intéresse à leur histoire, leurs rectifications respectives, les modalités de leur introduction dans l'enseignement […]
- et, d'autre part, en aval, en approfondissant l'analyse des situations de classe pour mieux comprendre de l'intérieur comment cela fonctionne et ce qui s'y joue.»

Évolutions matérielles dans l'industrie, transformations des systèmes de formation, contenus d'enseignement et contenus enseignés constituent des germes autour desquels nous allons construire notre exposé. Il convient maintenant de choisir un concept intégrateur de ces différents éléments, au niveau de la didactique.

Nous avons opté pour la notion de "curriculum".

2 - Curriculum. Un état de la recherche.

De nombreux auteurs ont proposé, dans le cadre de l'enseignement, des définitions pour la notion de "curriculum" lui donnant des ouvertures diverses.

2 - 1 - Quelques propositions.

- L'évaluation :

De Corte (1976, 1990, pp. 137/138) considère le curriculum comme un ensemble comportant les objectifs à réaliser, les moyens permettant d'examiner les situations, les directives concernant les formes du travail didactique et les médias, les contenus et les moyens permettant l'évaluation. Ce besoin d'évaluation se trouve ici au premier plan d'autant que les auteurs considèrent que le curriculum permet alors d'établir des diagnostics au niveau des besoins éducatifs, des choix et de l'organisation des contenus.

- les référentiels et les compétences :

Les chercheurs du Cépec (1992, p. 45) définissent le curriculum dans la lignée des référentiels de diplôme, comme sa suite logique en rapport avec les compétences à faire acquérir aux élèves. Il est ainsi .

- la formation des enseignants,

G. De Landsheere (1979, p. 65) donne comme définition : «Un curriculum est un ensemble d'actions planifiées pour susciter l'instruction : il comprend la définition des objectifs de l'enseignement, les contenus, les méthodes (y compris d'évaluation), les matériels (y compris manuels scolaires) et les dispositions relatives à la formation adéquate des enseignants.»

2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.

P. Perrenoud (1993) propose une distinction entre un "curriculum formel/prescrit" et un "curriculum réel" qui semble particulièrement intéressante dans le cadre d'une recherche en didactique qui désire porter son attention, comme M. Develay et J.-P. Astolfi le précisaient, sur les contenus d'enseignement et sur les situations de classe.

Le curriculum "formel / prescrit" est la base structurante d'origine institutionnelle, constitué par le descriptif des programmes et des moyens, méthodes et outils permettant la construction des activités de classe. Il est "formel" :

- «au sens de la sociologie des organisations, qui apporte la réalité des pratiques aux structures formelles d'une administration : organigramme, règles de fonctionnement, lignes hiérarchiques et fonctionnelles, principes de répartition des tâches, procédures de consultation ou de décision, de transmission de l'information».
- puisque le monde de textes et de représentations (lois de l'instruction publique, programmes, méthodes, etc.) qui permettent de le définir est élaboré, adopté à partir d' «un élève *abstrait* , cousin du sujet épistémique de Piaget : l'élève de la classe de CM1 ou de seconde, placé en face de professeurs non moins abstraits, définis par le programme qu'ils ont la charge d'enseigner dans tel degré et tel type d'établissement.»

Le curriculum formel apparaît comme base structurante pour les expériences formatrices en classe.

Les textes permettent d'investiguer :
- la transposition didactique externe à caractère formel : redéfinition permanente des savoirs et savoir-faire à enseigner en fonction des évolutions (savoirs, culture, éthique, etc.)
- la transposition didactique interne à caractère prescrit : commentaires de programmes, moyens d'enseignement, grilles d'évaluation, guides didactiques.

Le curriculum "réel" est celui des expériences que vit l'apprenant et qui le transforment. Les écarts avec le précédent sont dus aux interprétations que les enseignants en font, aux conditions de mise en oeuvre dans les classes, aux connaissances antérieures des élèves, etc.

P. Perrenoud parle aussi d'un curriculum "caché" que nous n'aborderons pas dans le cadre de cette recherche. Il s'agit de la part des apprentissages qui n'apparaît pas programmée par l'institution : les effets involontaires des actions et des institutions humaines, des apprentissages. Il lui correspond un ensemble des valeurs et des normes transmises implicitement en même temps que les savoirs eux-mêmes : règles de conduite, habitudes intellectuelles, etc.. Ce curriculum est caché car complexe, caché car flou et plus ou moins fonctionnel, caché car plus ou moins implicite, caché car fonction de la durée…

2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.

2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.

E. Becchi (1994) fait état d'un ensemble d'articles parus en 1991 dans deux numéros de la revue internationale *Revista de Educacion* sur le thème du curriculum. L'auteur rappelle les propositions du secrétaire de la revue insistant notamment sur l'**importance des contextes sociaux, économiques et politiques** dans l'analyse des curriculums. Pour Becchi, il convient d'étudier également l'interdépendance éventuelle du curriculum et du système scolaire (les contenus à enseigner par exemple ne sont pas dans tous les pays déterminés aux niveaux nationaux), le rôle des itinéraires d'instruction - apprentissage et il fixe comme objectif possible à ces études l'aide à la décision des institutionnels.

2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités.

V. Isambert-Jamati (1990) met en évidence dans ses recherches à caractère historique les valeurs transmises par les curriculums. Elle les décline suivant différentes catégories : participation aux valeurs suprêmes, intégration à une classe sociale, raffinement individuel, exercice des mécanismes opératoires, moyens pour transformer le monde extérieur.

Les caractéristiques des périodes historiques déterminées sont étudiées à travers des productions textuelles (discours de rentrée, remise des prix, …) sur une durée totale d'un siècle environ.

Elle appelle "**restructuration**" un changement qui se produit d'une période à une autre, et qui dure d'assez longues années une fois qu'il est opéré et "**crise**" une série de changements successifs, sans fixation sur une structure.

Les **variations de finalités** observées sont interprétées :

- de façon **externe** au système éducatif : tendances idéologiques, événements nationaux, rapports macro-sociaux.
- de façon **interne** à ce même système : prise en compte également de données du système éducatif : population (nombre, origines sociales), structure des établissements, des cursus, programmes d'enseignement.

2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.

A. Chervel (1988) met en évidence, à partir d'un cas particulier qu'il généralise rapidement, celui de la discipline "grammaire", **une certaine autonomie des savoirs scolaires**, remettant en cause une transposition systématique de savoirs savants ou de référence et laissant place à des créations . Sa recherche s'intéresse alors à la genèse (la production), à la fonction (Pourquoi cette autonomie ? À quoi les disciplines servent-elles ?) et au fonctionnement des disciplines, insistant ici sur les <enseignements_rÈels>.

Le rôle du système scolaire n'est pas, selon Chervel, seulement de transmettre un savoir existant mais aussi d'interférer de façon créative par rapport à la société : «Le système scolaire joue dans la société un double rôle : il forme en effet non seulement des individus mais aussi une culture qui vient à son tour pénétrer, modifier, modeler la culture de la société globale […]. Si on les considère en elles-mêmes, [les disciplines] deviennent des entités culturelles comme les autres, qui franchissent les murs de l'école, pénètrent dans la société, et s'inscrivent alors dans des dynamiques d'une autre nature.»

Des réflexions du même type sont apportées par Demonque, C. (1994, p. 11) : «Garant de la fonction la moins contestée de l'institution scolaire qu'est la transmission des savoirs, la construction des programmes officiels apparaît donc, à la lumière des analyses qui suivent, et de façon moins attendue, comme participant largement à une autre fonction de l'école, **la production de savoirs**.»

On retrouve dans ces faits certaines des propositions de G. Arsac (1989, p. 19) qui parle de **créativité didactique** pour désigner les cas où les objets d'enseignement ne figurent pas dans le savoir savant, ou le savoir de référence pour généraliser.

2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.

Enfin, nous rapporterons les propos de E. Chatel (1994) qui s'est intéressé au devenir du curriculum formel et au rôle de l'enseignant, mettant en évidence l'existence possible d'**écarts curriculum réel / curriculum prescrit** : «Accepter qu'à l'évidence tout programme doit s'interpréter, qu'il ne peut y avoir d'enseignement absolument conforme à un programme ou plutôt qu'un programme ne peut dicter absolument un processus d'enseignement, c'est aussi considérer qu'enseigner est une activité relationnelle et intellectuelle proprement dite suscitant en retour une relation et une activité intellectuelle d'apprentissage.»

2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.

Autonomie des disciplines pour A. Chervel, autonomie des acteurs pour E. Chatel… : L'autonomie est-elle compatible avec l'institution ?

Oui, selon F. Bourricaud (1992). Celui-ci caractérise l'institution par trois mots : légitimité, contrainte et solidarité :

- L'institution est légitime. Elle est issue de lois.
- La contrainte suppose la légitimité mais aussi, ce qui peut paraître paradoxal, l'autonomie. Il n'y a pas autonomie au sens habituel du terme ; les individus ne déterminent pas la loi, elle leur préexiste et leur survit. Mais «L'acteur peut pourtant être dit autonome en ce sens qu'il a assimilé (intériorisé et introjeté) ces contraintes, où il a reconnu les conditions de son épanouissement, et même, de sa propre expression. L'autonomie est la marge d'appréciation à l'intérieur de laquelle les exécutants peuvent exercer leurs responsabilités.»
- La solidarité se traduit par l'existence de tâches ou d'activités qui demandent le concours des contributions coordonnées de chaque partenaire de l'institution.

2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".

Ce bref exposé sur des recherches curriculaires met en évidence différents points que nous synthétisons et complétons ainsi :

- Il existe un dispositif institutionnel, au sein de l'Éducation Nationale, chargé de créer des programmes et diverses instructions devant aider à leur mise en place dans les classes : le curriculum formel (P. Perrenoud). Ce dispositif est structuré autour de diverses commissions et groupes de travail (cf. partie 1. Ch. 3). Leur production peut être déchiffrée comme conséquence d'événements, de faits, de décisions externes au système éducatif mais aussi par des données internes à celui-ci (V. Isambert-Jamati, E. Becchi).

- Les personnels divers, les producteurs du curriculum prescrit comme les enseignants, ne sont pas des agents, mais semblent pouvoir être de véritables acteurs voire des auteurs[1] dans ce dispositif :

- par création de contenus originaux (A. Chervel, C. Demonque, G. Arsac),
- par interprétation des textes institutionnels, le curriculum réel (P. Perrenoud) s'écartant alors du curriculum formel (E. Chatel).

Dès lors, l'ensemble sur lequel nous allons porter notre intérêt apparaît comme le produit d'une "organisation", au sens sociologique, ne niant pas les idées de structure et de système, y intégrant une approche stratégique d'acteur (Bernoux, 1990, pp. 34/35).

3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.

3 - 1 - Hypothèse.

Deux éléments importants marquent notre approche des curriculums suite à l'état de la question que nous avons exposé :
- Les curriculums sont des créations sociales, placées sous des influences diverses ;
- Le jeu des acteurs impliqués par les curriculums n'est pas négligeable.

Ces résultats peuvent nous servir à formuler une hypothèse pour notre recherche.

Hypothèse.

Les modifications curriculaires peuvent être interprétées à partir de changements survenant à l'intérieur ou à l'extérieur du système éducatif strict.

L'aspect décisionnel de ces modifications apparaît dans la définition adoptée par M. Postic et J.-M. De Ketele (1988, p. 215) pour aborder le "changement" : **.**

Les modifications dues à des changements internes et à des stratégies d'acteurs peuvent être perçues à travers l'approche de M. Crozier et E. Friedberg (1977, p. 35) : «Le changement n'est ni le déroulement majestueux de l'histoire dont il suffirait de connaître les lois, ni la conception et la mise en œuvre d'un modèle plus <rationnel> d'organisation sociale. Il ne peut se comprendre que comme un processus de création collective à travers lequel les membres d'une collectivité donnée *apprennent* ensemble, c'est à dire *inventent* et *fixent* de nouvelles façons de jouer le jeu social de la coopération et du conflit, bref, une

[1] Pour J. Ardoino (1993), la différenciation de l'agent, essentiellement agi, vers l'acteur, co-producteur de sens, et l'auteur, celui qui s'autorise, marque un glissement entre deux ordres de représentations :
- celui du système, modélisé de façon mécanique, déterminé, finalisé ;
- à celui de la situation sociale dans laquelle il peut y avoir des développements de stratégies.

La distinction peut s'avérer moins nette, dans le temps et dans les espaces : «On ne se libère pas de la condition d'agent en devenant acteur, par la grâce d'une conscientisation, d'une sensibilisation ou d'une formation. On est, et on demeure, l'un et l'autre, tout en se retrouvant alors moins réduit que par l'effet de la première définition quand elle s'affirmait seule.»

nouvelle praxis sociale, et acquièrent les capacités cognitives, relationnelles et organisationnelles correspondantes. C'est un *processus d'apprentissage collectif* permettant d'instituer de nouveaux construits d'action collective qui créent et expriment à la fois une nouvelle structuration du ou des champs.»

3 - 2 - Les orientations de la recherche.

L'hypothèse ainsi formulée ouvre des perspectives importantes pour des recherches variées. Il convient de fixer l'étude que nous menons :
- Dans un domaine délimité : l'électrotechnique.
- Dans un cadre déterminé par la didactique : les curriculums en électrotechnique.

Nous nous intéressons plus spécifiquement :
- aux évolutions matérielles et méthodologiques de l'électrotechnique,
- à la fabrication des programmes et référentiels,
- aux contenus à enseigner tels qu'ils apparaissent dans les textes produits par l'institution et à certains moyens d'enseignement,
- aux situations de classes, aux contenus enseignés.

4 - Limites de la recherche.

1 - Il s'agit d'une recherche essentiellement descriptive. En reprenant la définition de J.-P. Astolfi (1993), on peut donc préciser qu'elle «a pour objet de décrire des faits, des objets, des événements, des comportements, en utilisant différentes stratégies d'observation (analyse de cas, analyse de contenu, enquête, étude comparative…). Elle a en outre souvent une visée complémentaire de comprendre et d'expliquer.»

2 - Nous avons déjà signalé que notre recherche n'aborde pas le "curriculum caché" (P. Perrenoud).

3 - Les curriculums sont des productions d'organisation. D'un point de vue méthodologique, il est alors possible de les aborder selon deux approches complémentaires :
- par le système, en s'attachant à montrer les influences de son environnement et ses mouvements internes ;
- par la stratégie des acteurs.

S'agissant d'une recherche d'initiation sur un sujet qui n'a jamais été abordé, nous n'avons pas systématiquement approfondi les observations par ces deux approches. Des études visant à améliorer la connaissance sur les rôles des groupes de pression[1], sur les jeux des acteurs et

[1] On pourra lire une étude de ce type dans le mémoire de DEA de J. Lambert, dir. A. Terrisse (1992). Ce texte a également fait l'objet d'un article (Lambert, 1994).

sur leurs représentations des contenus d'enseignement paraîtront *a posteriori* intéressantes à mener.

5 - Structure de l'exposé de la recherche.

Première partie : L'électrotechnique dans l'industrie, la recherche et l'enseignement.

Il s'agit essentiellement dans cette première partie de poser des éléments permettant de construire les analyses futures en caractérisant les évolutions dans le domaine de l'électrotechnique (recherche et industrie), dans l'enseignement technique en général et en particulier au niveau de la formation des techniciens supérieurs en électrotechnique.

Deuxième partie : Étude générale des curriculums formels/prescrits.

Il est question dans cette deuxième partie de décrire les curriculums passés et actuels des disciplines d'enseignement liées à l'Électrotechnique en classe de Terminale : contenus à enseigner, finalités et objectifs généraux de la filière scolaire Électrotechnique en Lycée d'Enseignement Général et Technologique tels qu'ils apparaissent dans les textes institutionnels.

Il s'agit ensuite d'expliquer, c'est à dire repérer, analyser, rendre compte des modifications des curriculums en tentant de mettre en relation leurs développements temporels à des faits sociaux, des connaissances nouvelles, des contraintes institutionnelles et enfin de préciser le statut actuel de l'enseignement de l'électrotechnique en classe de Terminale.

Troisième partie : Étude de cas.

La troisième partie porte sur l'étude de deux dispositifs matériels et intellectuels utilisés dans les classes.

Quatrième partie : Curriculums réels : observations de situations de classe.

Les résultats d'observation de situations de classe sont confrontés aux précédents. Nous discutons alors les écarts entre curriculum prescrit et curriculum réel. Nous nous interrogeons sur des difficultés et des propos d'élèves.

Les schémas suivants synthétisent les objets de recherche dans chaque partie et les méthodologies employées, en renvoyant pour de plus amples informations aux documents annexés.

PLAN GÉNÉRAL DE L’EXPOSÉ DE LA RECHERCHE

ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES - SUPPORTS DE LA RECHERCHE

PREMIÈRE PARTIE :
L'ÉLECTROTECHNIQUE DANS L'INDUSTRIE, LA RECHERCHE ET L'ENSEIGNEMENT

l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.

Bruno Latour.
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…"

INTRODUCTION

1 - Présentation.

Si l'introduction générale avait pour objectif d'expliciter les orientations de la recherche et les options méthodologiques choisies, il appartient à cette première partie de dessiner les contours de l'étude et de donner du sens aux questions que nous poserons.

S'agissant d'une recherche portant sur l'enseignement de l'électrotechnique, son évolution et son statut actuel, dans les Lycées d'Enseignement Général et Technologique, il nous semblait judicieux d'apporter dans cette première partie des éléments sur :

- L'évolution de l'électrotechnique et ses problématiques actuelles au niveau des mondes sociaux dans lesquels il est objet de recherche et/ou d'applications (Chapitre 1).
Nous soulignons le sens de l'évolution matérielle et le rôle des modèles dans la recherche appliquée et dans la conception des ensembles électrotechnique dans les entreprises.

- L'histoire de l'Enseignement Technique et le devenir des élèves auxquels est destiné l'enseignement de l'électrotechnique, objet de notre recherche (Chapitre 2).
Nous relatons quelques faits mettant en évidence les variations dans les rapports entre différentes institutions, l'Éducation Nationale et l'Industrie et au sein de l'Éducation Nationale entre différentes filières, celles d'enseignement général, d'enseignement technologique et d'enseignement professionnel.

- La mise en relation opérée institutionnellement entre la pratique professionnelle de technicien supérieur, dans le milieu du travail, et le référentiel du diplôme, au sein de l'Éducation Nationale (Chapitre 3).
Nous caractérisons le travail social effectué par les commissions professionnelles consultatives.

Une deuxième idée, la notion de "pratique sociale de référence" nous permet d'éclairer les rapports entre les activités professionnelles et les activités des élèves en classe.

2 - "Pratique sociale de référence".

À la suite de propositions de D'Hainaut (1980, pp. 151/154), J.-L. Martinand (1981) avance l'idée de "pratique sociale de référence". Cette notion née d'un travail portant sur une initiation aux activités technologiques au Collège s'est révélée particulièrement féconde dans les approches curriculaires des formations professionnelles et pré-professionnelles.
Reprise dans l'ouvrage "*Connaître et transformer la matière"* (J.-L. Martinand, 1986, pp. 137/140), on peut aujourd'hui la caractériser ainsi :

Il s'agit de mettre en relation dans les activités en classe les buts, les contenus pédagogiques et didactiques avec les situations, tâches et qualifications d'une pratique donnée qui devient la **pratique sociale de référence** :
- "**pratique**" car ce sont des activités objectives réelles de transformation d'un donné naturel ou humain, prises dans tous leurs aspects et pas seulement de savoir et de savoir-faire ;
- "**sociale**" car ces situations, tâches et qualifications concernent l'ensemble d'un secteur social et non des rôles individuels ;
- "**référence**" car la relation n'est pas d'identité, il y a seulement terme de comparaison.

J.-L. Martinand propose de généraliser l'utilisation de la notion pour toutes les formations technologiques ou relatives à l'éducation scientifique.

Trois points nous paraissent particulièrement importants à souligner :

1 - L'idée de pratique sociale de référence apporte, selon J.-L. Martinand (1989), des élargissements importants à la notion de **transposition didactique** :
- **La transposition n'est pas limitée au passage recherche-enseignement**[1], d'autres pratiques de référence sont possibles. Il semble que si, dans les formations professionnelles, la référence aux pratiques sociales de la profession soit un fait acquis ; ailleurs, la référence "savante" peut jouer un rôle plus important. Mais la pratique sociale peut relever *a priori* de différents domaines : l'enseignement, les pratiques domestiques, la production artisanale ou industrielle, etc.
- **La transposition n'est pas limitée au savoir** mais à l'ensemble des éléments d'une pratique, y compris les rôles sociaux.
- **Les contenus d'une science sont (ou devraient être) transposés différemment dans les actes d'enseignement suivant les pratiques qui font référence** pour la transposition didactique (cf. Lefèvre, R., 1988).
S. Johsua et J.-J. Dupin (1993, p. 203) résument ce premier point en écrivant : «Martinand conteste une focalisation excessive sur le texte du savoir et une sous-estimation des pratiques effectives qui donnent sens à ces textes. Ceci concerne à la fois la base empirique de ces pratiques et l'espace problématique où elles prennent corps».

[1] Transposition correspondant au passage "savoir savant" --> "savoir enseigné" décrite par Y. Chevallard (1985, 2ème éd. 1991).

2 - Choisir une pratique de référence permet :

- d'expliciter et de discuter les raisons des choix des contenus enseignés, du matériel, des documents, l'organisation et la planification du travail, la préparation et l'évaluation de la production, les activités fabricatrices.
- d'analyser et de critiquer les situations à l'école en repérant ses concordances et ses différences, ses écarts avec la pratique (en rapport avec l'industrie, par exemple), objet de l'enseignement, sachant bien que le choix de référence donné ne détermine pas entièrement les activités scolaires construites. Il convient de poser les problèmes de la référence et parmi ceux-ci **les écarts entre pratiques de référence et activités scolaires** : problèmes, outils, savoirs, rôles, produits ne peuvent être identiques. (Martinand, 1989a). Le choix d'une pratique sociale de référence amène à privilégier, au sein des activités de classe les éléments qui lui sont essentiels ou spécifiques.

3 - Malgré l'existence d'écarts entre pratique sociale de référence et **situations de classe**, celles-ci doivent garder une **cohérence** interne au niveau didactique et externe avec la pratique de référence.

Cette cohérence se traduit dans les activités au niveau des problèmes posés, des instruments matériels et intellectuels utilisés, des relations entre les acteurs dans les situations, des savoirs et des attitudes mis en jeu.

CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.

Ce chapitre nous permet d'aborder deux éléments importants des pratiques sociales en relation avec l'électrotechnique : les matériels et l'utilisation de modèles.

1 - Généralités.

1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?

L'électrotechnique concerne :

- la production, le stockage, la mesure, le transport et la distribution de l'énergie électrique ;
- le "traitement" de cette énergie par des dispositifs transformateurs, redresseurs, par les convertisseurs statiques : hacheurs, onduleurs, gradateurs) alimentant des moteurs électriques ;
- les machines elles-mêmes : machines à courant continu, machines sous tensions alternatives ;
- les ensembles techniques dans lesquels les machines et leurs alimentations sont intégrés.

On distinguera l'électrotechnique de l'électronique (traitement du signal) et de l'informatique (traitement de l'information).

1 - 2 - Quelques données macro-économiques[1].

Lorsqu'on s'intéresse aux exportations électriques mondiales, on note une nette domination du Japon (26,7 %) et des USA (25,1 %). Cependant, les 12 pays de la communauté économique européenne totalisent ensemble près de 40 % du marché.

Ces données doivent cependant être modulées en fonction du secteur de production auquel on s'intéresse plus particulièrement (électrotechnique, électronique, informatique). D'une façon générale, l'électrotechnique est un point fort de l'industrie européenne, l'informatique est plutôt américaine et l'électronique plutôt japonaise.

Sur le tableau des exportations mondiales, l'Allemagne (13,7 %), la Grande-Bretagne (6,9 %), l'Italie (4,6 %), les Pays-Bas (3,4 %) et l'Union Économique Belgique-Luxembourg (1,7 %) sont bien placés.

---

[1] Un article de synthèse (Marty, M., 1992) nous permet de décrire la place de l'électrotechnique dans un contexte macro-économique. Il a été repris lors d'une intervention au congres national EEA (électronique, électrotechnique, automatisme) de Toulouse devant un public qui comprenait une bonne proportion d'enseignants.

En France, en 1987, le domaine de l'électricité (6,7 % du marché mondial, 1 500 entreprises environ) concernait 540 000 personnes dont 130 000 à EDF.

L'électrotechnique est un secteur compétitif avec une balance commerciale excédentaire qui le situe au sein de la hiérarchie française régulièrement au sixième rang[1].

1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.

D'une façon générale, en 1991, les différentes études publiées par le Ministère de l'Éducation Nationale (MEN) relatives au premier emploi stable, en fonction des diplômes, permettent des croisements entre domaines et embauche. Dans chacun des domaines, on vérifie une hiérarchie des diplômes par rapport à l'embauche et à la stabilité du premier emploi. Le domaine électrotechnique, mécanique, électronique est l'un des mieux situés, pour tous les diplômés, ingénieurs, techniciens supérieurs : Diplôme Universitaire de Technologie - DUT - ou Brevet de Technicien Supérieur - BTS -, bacheliers dans les spécialités mécanique et électrotechnique.

Dans le secteur de l'électrotechnique, en 1990, on est surpris du faible nombre d'ingénieurs (580 électrotechniciens sur 15 000 ingénieurs toutes catégories) formés au vu de l'importance du domaine sur le plan industriel et différents rapports remis au MEN ou aux organismes professionnels relèvent que le système éducatif d'une façon générale n'accorde pas au domaine électrique l'importance qui lui revient en matière de compétitivité. Le même phénomène est observé en Allemagne[2].

La situation globale de l'emploi ne s'est pas améliorée depuis 1990 ; on n'observe cependant pas des taux de chômage importants et contrairement à ce qui se passe dans de nombreux autres secteurs tels que ceux de l'informatique ou de l'aéronautique, il n'y a pas eu, et il n'est actuellement pas question qu'il y ait, de plan social dans le domaine du génie électrique du secteur industriel.

Dans un récent document de l'INSEE[3], on peut relever à propos du secteur des matériels électriques et électroniques :

---

[1] Par exemple, en 1989 :
1) agroalimentaire (+ 50 milliards F) ; 2) armement (+ 40 milliards F) ; 3) aéronautique (+ 20 milliards F) ; 4) transports terrestres (+ 15 milliards F) ; 5) construction mécanique (+ 14 milliards F) ; 6) électromécanique (+ 10 milliards F).

[2] Certains responsables universitaires ont montré l'importance économique de recherches et de travaux en électrotechnique, des rapports ont été transmis au Ministère de l'Éducation Nationale, à la Fédération des Industries électriques, au Ministère de la Recherche afin de relancer de façon plus efficace la recherche et les investissements. Monsieur Hubert Curien, alors Ministre de la Recherche a nommé une commission "Génie Électrique". Le rapport de cette commission date de décembre 1991. Il relève certains paradoxes dont celui-ci : et Hubert Curien souligne que
En Allemagne, Le VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker) fait les mêmes remarques.

[3] La conjoncture dans les différents secteurs. Document de l'INSEE, janvier 1994.

Un ralentissement des activités industrielles entraînant du chômage peut arriver mais l'indispensable au niveau des pays est toujours nécessaire, et l'indispensable, c'est l'énergie, et plus spécialement l'énergie électrique.

S'il n'y a pas, ou peu, de licenciements dans le secteur de l'électrotechnique, on relève cependant une certaine stagnation de l'emploi. Ce fait récent implique des difficultés dans la recherche du premier emploi.

Les ingénieurs demandent de plus en plus souvent à poursuivre en DEA (environ 20% des effectifs des ingénieurs de l'ENSEEIHT (ou N7 : École Nationale Supérieure en Électrotechnique, Électronique, Informatique et Hydraulique de Toulouse) en 92/93 puis en thèse et les étudiants titulaires d'un BTS ou d'un DUT poursuivent en licence (EEA - Électronique, Électrotechnique, Automatisme - ou génie électrique) voire en école d'ingénieurs. On peut également relever l'idée, développée apparemment à différents niveaux par les personnels engagés dans la formation et par les entreprises, puisque nos entretiens formels ou informels l'ont souvent soulevée, de faire passer institutionnellement à trois ans la formation en Institut Universitaire de Technologie (IUT) ou en section de Technicien Supérieur (STS) et à six ans celle en école d'ingénieurs[1]. Il existe actuellement au sein de certains Lycées une année complémentaire de spécialisation post - STS.

Ces faits peuvent certes être mis en concordance avec les difficultés d'embauche pour les diplômés, mais aussi avec :

- les développements technologiques des systèmes ;
- la volonté d'agrandir les champs de connaissances des formés afin de leur permettre de résoudre l'apparent paradoxe de la formation générale garante de certaines mobilités demandées par les industriels *vs* la formation spécialisée garante d'un emploi dans l'immédiat.

2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.

2 - 1 - Objectifs de l'étude.

Il ne peut être question dans le cadre de cette recherche de décrire de manière exhaustive l'ensemble des préoccupations en électrotechnique dans les domaines de la recherche sur les machines et les ensembles techniques. Nous avons donc fait un choix. Les objectifs de l'étude développée dans ce paragraphe (§ 2) sont les suivants :

[1] Lors d'un récent colloque, J.-L. Kirsch du Céreq (1993) dissertait sur ce sujet, sur le ton de l'humour : «Pour caricaturer la situation, les professions expriment des besoins de formation pour des jeunes qu'elles ne recrutent pas, l'appareil éducatif en déduit que ces formations ne sont pas adaptées et ne pourront l'être que par l'ajout d'années d'études sur le contenu desquelles les professions sont consultées et expriment des besoins pour des jeunes qu'elles ne recrutent pas…»

- mettre en évidence et expliciter les raisons matérielles et intellectuelles des évolutions de l'électrotechnique, ce qui nous amène à insister plus spécialement sur le rôle des modèles et des simulations ;
- caractériser des ensembles électrotechniques actuels.

2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.

2 - 2 - 1 - Méthodologie.

Deux types de contenus ont été utilisés ici (§ 2.2 et § 2.3) :
- Des entretiens avec des chercheurs, maîtres de conférence ou professeurs de l'N7 effectués pendant les mois de décembre 1992 et de janvier 1993 (A2, entretiens 2 à 8).
- Des articles de la Revue Générale de l'Électricité (RGE) et les actes des congrès “Électronique, Électrotechnique, Automatisme” (EEA) de 1985 à 1993.

Remarques :

1 - Les entretiens ont montré une certaine difficulté, voire une rétention (qui n'a rien à voir avec le "secret industriel" !) dans l'explicitation des recherches et des évolutions actuelles, difficulté due à deux phénomènes allant dans le même sens :
- les chercheurs les plus impliqués hésitent à écrire dans ce type de revue ou à participer aux congrès EEA, réservant leur temps et leur énergie à produire des écrits dans les revues plus prestigieuses, internationales par exemple, ce qui leur procure une notoriété, un crédit plus importants dans le cadre de la gestion de leur carrière[1].
- expliquer, présenter les recherches actuelles et les nouveaux objets produits demande des travaux de transposition (au sens didactique du terme) impliquant une connaissance du "terrain" (aussi bien des contenus enseignés actuellement que des enseignants et des élèves), une recherche de faisabilité, voire d'utilité qu'il est long et délicat de faire, un investissement social que peu de chercheurs ont envie de produire, au moins dans l'instant.

2 - La RGE, organe de la Société des Électriciens et des Électroniciens (SEE) est publiée mensuellement. Les auteurs d'articles sont essentiellement des enseignants-chercheurs des Écoles d'ingénieurs et des ingénieurs impliqués dans les recherches dans les secteurs industriels privés et publics (SNCF, EDF).

Le contenu de la revue est souvent peu formalisé au sens mathématique du terme ; il y a peu de démonstrations de lois ou de calculs approfondis sur les modèles utilisés. Les articles présentent une actualité dans les secteurs concernés et exposent les nouveautés sous formes de textes agrémentés de relevés de mesures, courbes, données géométriques, schémas fonctionnels, etc. C'est une revue qui est d'usage courant dans les écoles d'ingénieurs, d'usage un peu

[1] Sur un ton polémique et humoristique, un professeur de l'N7 (A9) précisait :

moins habituel dans les Lycées Techniques, plus utilisé cependant par les enseignants des classes supérieures de Lycées que par ceux des classes du second degré.

Les congrès EEA sont souvent animés par les mêmes personnes que celles qui écrivent dans la RGE. Les congressistes sont en grande majorité des enseignants impliqués dans la formation en électrotechnique et en électronique en Lycée Technique : professeurs de physique appliquée ou de génie électrique. Les articles sont plus approfondis sur les aspects théoriques des matériels : on y trouve souvent des essais de synthèse se présentant sous forme de "cours écrit" magistral avec dessins, schémas, courbes et démonstrations, équations, etc.

3 - Le nombre important de documents et la quantité élevée des recoupements faits impliqueraient, avec les règles habituelles relatives aux citations une écriture hachée et une lecture peu aisée. Sauf exception tenant à la nature de l'extrait (schéma), nous avons préféré donner dans la bibliographie les principales références ayant servies de support à cette étude.

2 - 2 - 2 - Approche historique.

L'intégration de l'électricité dans les ateliers des entreprises a amené un bouleversement dans la gestion de l'énergie nécessaire aux processus industriels, en permettant de la décentraliser au plus près des ensembles utilisateurs de cette énergie.

De 1900 à 1939, l'électrotechnique s'est développée autour des théories des champs tournants et des machines à courant alternatif : moteur asynchrone (MAS) et machine synchrone.

Après guerre, les études ont d'abord porté sur la régulation de tension et de vitesse. On se tournait vers des moyens de conversion électromécaniques lourds puis vers des servomécanismes. Tous les électrotechniciens se recyclaient en automaticiens et constituaient des laboratoires importants à travers la France. Ce changement coïncidait avec la montée générale de l'électronique. Mais l'électronique de puissance était peu développée car on ne maîtrisait pas l'informatique et l'automatisme.

De 1945 à 1960/65, il y a eu une reconstitution des laboratoires démantelés pendant la guerre d'où un développement important pour l'enseignement et la recherche dans toutes les disciplines. Il a fallu 15 ans pour reconstituer les projets et les compétences.

1966 fut l'"année noire" en électrotechnique. On y considérait que plus rien ne pouvait y être fait. La branche industrielle semblait vouée à la stagnation, voire au déclin. Les composants du secteur du génie électrique, objet de notre étude, étaient différenciés et en interaction relativement faible :

- l'électrotechnique se limitait à l'étude des machines électriques ; en fait il n'y avait pratiquement plus de recherche,

- l'électronique de puissance s'occupait des courants forts et ses préoccupations étaient essentiellement liées à la distribution. Les recherches sur les commutations électroniques débutaient.
- les courants faibles s'appliquaient uniquement en communication.

En 1971, la filière électrotechnique, arrêtée en 1967 au niveau de la recherche universitaire, est reconstituée à Grenoble, Nancy et Toulouse. Les déséquilibres durent cependant puisqu'en 1976, il n'y avait que 34 chercheurs en France et que les industriels investissaient moins de 2% de leurs bénéfices dans la recherche et le développement.

2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions.

Au début des années 70, les différents chocs pétroliers et les crises économiques qui les ont suivis ont profondément modifié la structure des dispositifs matériels et l'organisation même des entreprises :
- des recherches sur les ensembles électrotechniques ont commencé, touchant dans un premier temps les modules de commande et de récupération de l'énergie puis les machines elles-mêmes ;
- des modifications au sein même de l'organisation globale des établissements industriels ont été entreprises : réduction des prix de revient, accroissement de la productivité, minimisation du coût global d'investissements, modernisation et gestion difficile d'ensembles plus riches en matériel, nécessitant de nouvelles approches sociales, politiques et stratégiques.

Dans une situation énergétique difficile, il devient en effet fondamental de posséder des ensembles de haut rendement. De telles visées ont servi de catalyse à l'ensemble des recherches en "génie électrique" qui ont débordé les objectifs initiaux.

De façon concrète, si l'on compare deux machines, à trente ans d'intervalle, on note un gain important des puissances admissibles (de l'ordre de 10) à encombrement égal !

Les développements ont porté sur :
- les propriétés mécaniques des rotors et des conducteurs : augmentation des limites de rupture et de la résistance à la corrosion. Les progrès dans les logiciels de calcul de contraintes ont apporté des connaissances plus fines sur les contraintes locales des parties sensibles des rotors : base des dents, frettes, cales d'encoches.
- les propriétés magnétiques : augmentation de la perméabilité magnétique par affinement des domaines et par amélioration du degré d'orientation, réduction des pertes.
- les propriétés conductrices des matériaux : accroissement de la densité de courant et de la charge linéique, amélioration des procédés de refroidissement (air, hydrogène, eau) et de la tenue en température.

- l'augmentation des bandes passantes et des performances globales des composants de l'électronique de puissance et l'optimisation de leur intégration dans les convertisseurs : cas de la commande "douce"[1].
- la commande rapprochée des convertisseurs par contrôle direct des signaux de commande des semi-conducteurs permettant en imposant des profils de tension et de courant d'optimiser le fonctionnement de la machine, en éliminant les harmoniques de rang faible préjudiciables car provoquant des oscillations de couple et/ou de vitesse.
- les techniques numériques, l'augmentation des capacités des mémoires et des vitesses de transmission de données, le développement des microprocesseurs embarqués permettant la mise en oeuvre de commandes en temps réel [2].
- la détermination des conditions optimales d'association des composants d'un ensemble comprenant la source, le convertisseur, la machine, la charge, la commande et le dispositif de contrôle.
- le développement de systèmes d'assistance et d'analyse en temps réel par informatique réalisant des fonctions de dessin graphique, de diagnostic, de maintenance, etc.

Relevons également la création de moteurs électriques originaux basé sur des principes connus mais dont le fonctionnement ne pût être effectivement assuré que par les performances obtenues par l'électronique de puissance, par l'automatisme et l'informatique.

Toutes ces connaissances ont été acquises par la conjugaison d'une expérimentation sophistiquée, d'une modélisation mathématique poussée, et par l'articulation des travaux, études et progrès des uns et des autres, de différentes disciplines-mères et de différents horizons : recherche universitaire, recherche industrielle, utilisateurs.
Comme le note B. Walliser (1977, p. 157), la connaissance scientifique évolue **:**

- par confrontation de modèles multiples existant à un moment donné afin de les coordonner et de résoudre leurs contradictions ;
- par mise au point de nouveaux corpus mathématiques qui permettent de reformuler des anciens modèles et de les synthétiser […]»

---

[1] En électronique de puissance, les évolutions ont également été importantes. Les années 70 ont été marquées par des progrès dans les techniques d'analyse et *in fine* de compréhension des circuits de base. Dans les années 80, le développement de composants a permis l'augmentation des tenues en puissance et en fréquence. Les années 90 se distinguent par la recherche de l'environnement optimal pour les composants en commutation. La structure du convertisseur découle alors des mécanismes de commutation des interrupteurs ; jusque-là, l'interrupteur subissait les contraintes imposées par le circuit.

[2] Ainsi, le contrôle par les méthodes des variables d'état, l'identification paramétrique en temps réel (nécessité de traitement des données et d'exécution dans un intervalle d'une milliseconde), l'utilisation d'observateurs d'état pour l'estimation de variables non, ou difficilement mesurables se développent et permettent d'obtenir des variateurs de vitesse ou de position, dans des domaines de puissance et de vitesse étendus, permettant la confection de processus pensés bien auparavant mais non réalisables en technologie analogique tant il y a notamment de multiplications, de divisions de traitement d'équations à exécuter.

Parler d'électrotechnique n'a donc du sens aujourd'hui que si on lui associe l'électronique de puissance qui s'intéresse aux semi-conducteurs de puissance, à la structure des convertisseurs et l'automatisme / informatique industrielle qui permet la commande et la régulation des ensembles par des techniques numériques. Il est incontestable que cet état de faits résulte de la conjonction des progrès importants réalisés dans chacun des domaines concernés.

On peut aujourd'hui représenter le convertisseur électromécanique suivant le schéma suivant proposé par J.-P. Hautier et M. Grandpierre (1991) :

Sur deux plans donc, ceux des niveaux et des domaines de recherche, la définition de frontières s'avère difficile et devient arbitraire devant les liens étroits qui se constituent :

- l'ensemble des évolutions matérielles aboutit à un chevauchement des différents niveaux de la recherche, posés un peu artificiellement (recherche fondamentale, recherche appliquée, applications) et donc à l'abandon du caractère séquentiel du processus "recherche et développement".
- la forme et l'intensité des relations interdisciplinaires sont loin d'être figées.

Les disciplines dominantes de la productique qui ont longtemps été l'électronique et l'automatique, dans un cadre d'opérationnalité immédiat, sont plutôt maintenant l'informatique et les mathématiques très sollicitées au fur et à mesure de la complication des problèmes théoriques à résoudre. Les relations entre les domaines disciplinaires de recherche se multiplient.

Ce qui a permis le développement des objets de l'électrotechnique est donc un phénomène inverse à celui qui avait présidé à la différenciation, à la spécialisation et au cloisonnement disciplinaires ; c'est un mouvement d'aspiration à la conjugaison de données et

de savoirs d'origines variées[1]… Mais si les spécialisations et les cloisonnements n'avaient pas existé, le développement de l'électrotechnique n'aurait certainement pas eu lieu…

[1] Ceci est un bon exemple de ce que notait R. Blanché, il y a presque déjà 20 ans (1977, p. 60) : «Aujourd'hui, les disciplines mixtes deviendraient presque la règle. Elles se multiplient, se chevauchent entre elles, rendent mouvantes les frontières, réunissent les disciplines les plus éloignées et apparemment les plus disparates […] Chaque science sort ainsi de son isolement, et l'unité s'obtient par l'établissement de liens de plus en plus nombreux tissés entre toutes les parties du savoir.»

2 - 2 - 4 - Les moteurs.

- Jusqu'en 1980 environ, l'usage des moteurs industriels de puissance supérieure à 10 kW suit grossièrement la classification suivante : machine à courant continu (MCC) pour la vitesse variable (alimentation par des convertisseurs statiques à thyristors depuis 1960), machine synchrone (MS) pour les très grandes puissances (de l'ordre du MW) et moteur asynchrone (MAS), considéré comme moteur à tout faire, pour le reste.

- Vers la moitié des années 80, la classification a changé : s'il n'y a pas de variation de vitesse, on utilise le MAS et le MS ; s'il y a variation de vitesse, on utilise de plus en plus les MS (équipement du TGV Atlantique). Le moteur électrique se substitue parfois à d'autres dispositifs tels que les moteurs hydrauliques. Le MCC a tendance à disparaître.

- À l'heure actuelle, le développement des composants rend compétitif les ensembles sur MAS qui peuvent de plus fonctionner sous des puissances élevées. Le MAS représente, toutes puissances confondues, 85% du marché dont plus de la moitié est équipée en vitesse variable. Les MS fonctionnent de plus en plus avec des aimants permanents plutôt qu'avec des électroaimants (problèmes de commutation réduits) mais le prix des aimants est élevé et ils restent encore fragiles. Les machines synchrones gardent un créneau dans les très grandes puissances et à petites vitesses : alternateurs des centrales de production électrique.

Le marché des machines électriques représente en France environ 15 milliards de F annuels. On peut le décomposer suivant les applications suivantes : pompage (25%), ventilation (15 %), traitement de l’air (10 %), mécanique (15 %), machines-outils (2,5 %), marine (2,5 %), divers (30 %).

2 - 3 - L’évolution des machines…

2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.

Le développement de l'électrotechnique et des disciplines associées est porté par, et implique, des recherches théoriques en modélisation, en simulation numériques des phénomènes électromagnétiques et des recherches plus appliquées sur les matériaux (propriétés mécaniques, magnétiques et électriques), les structures des machines, les convertisseurs, les capteurs, les actionneurs, les dispositifs de commande.

La recherche est réalisée de façon complémentaire :
- dans les laboratoires universitaires où sont développées des études sur les champs, les matériaux, l'observation de variables physiques sans capteur (flux, couple, vitesse), l'influence des

harmoniques, la commande en temps réel, les modélisations (CAO), les méthodes de résolution, les calculs de structures, les pertes dans les circuits, les morphologies des machines notamment à aimant permanent, les nouvelles machines à réluctance, à rotors discoïdes, à rotors massifs, cryogéniques, etc.

Les financements sont assurés pour 2/3 environ par des contrats avec les industriels dans le cas d'une recherche finalisée à court terme de type doctorale, avec des contraintes en terme de rentabilité, et pour 1/3 par des contrats avec le Ministère de la Recherche ou le CNRS dans le cas de projets plus imposants, de durées plus importantes[1].

La multiplicité des sujets de recherche amène à une spécialisation des laboratoires mais les relations socio-économiques et l'organisation mixte État - Industrie entretiennent une cohésion assez forte pour permettre de concurrencer les pays étrangers, par exemple le Japon.

- dans les laboratoires industriels qui possèdent notamment des dispositifs permettant la réalisation d'essais "lourds" : usure, tenue, environnement. Pour les chercheurs impliqués, il s'agit d'améliorer, d'essayer, de tester, de valider, de qualifier des machines ou des ensembles.

On retrouve ici une des caractéristiques des évolutions des objets techniques et ses conséquences. M. Combarnous (1984, pp. 97 et 104) écrit : «L'association de dispositifs est une méthode générale de création d'engins. Cette méthode n'a été explicitée que rarement ; en effet, lorsque les solutions étaient totalement mécaniques, les frottements, les encombrements cinématiques, les difficultés de transmission créaient une limite à leur réunion […] L'utilisation des moteurs électriques et de leurs équipements ont déplacé ces limites ; actuellement, l'emploi des transistors et de l'informatique donne une nouvelle ampleur et de nouveaux caractères aux associations de dispositifs […] Aujourd'hui, la complexité des équipements, l'importance des liaisons que leurs fonctionnements exigent, l'étendue de leurs systèmes de soutien, font que les réalisations sont de plus en plus interdépendantes ; en fait l'existence des engins et des équipements accroît la socialisation des groupes.»

2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.

Nous avons choisi de présenter quelques-uns des travaux en cours que nous jugeons caractéristiques de certaines pratiques et de préoccupations en recherche et développement sur les machines et les systèmes électrotechniques.

2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.

[1] Les recherches à long terme sont porteuses d'évolutions dans les systèmes matériels mais plus difficiles à financer car la prise de risque est plus importante. Relevons que l'observation des variables d'état a mis longtemps à se développer alors que c'est la base du système de variation de vitesse pour les ensembles à MAS d'aujourd'hui.

L'utilisation des modèles nécessite au préalable une analyse de la réalité par l'intermédiaire de données empiriques et le choix d'éléments pertinents dans le cadre du problème posé, puis la construction du modèle et le traitement du problème par le modèle, enfin l'application des résultats à la réalité.

Les modèles des machines ont été, avant le début des années 80, construits de façon plus ou moins indépendante au sein de chaque entreprise. Ces modèles permettaient d'avoir une approche globale très correcte des performances des machines et des grandeurs flux, énergie et couples, mais ils ne pouvaient donner aucun résultat sur les données locales telles que la saturation, l'échauffement, les courants induits, empêchant toute extrapolation réaliste.

Le développement des méthodes numériques de résolution des équations de la physique a permis l'étude locale des champs et le calcul des contraintes mécaniques, thermiques, et électriques. La modélisation permet, de plus en plus, la représentation globale des comportements des ensembles sans les découper de façon arbitraire.

En contrepartie, il faut toutefois noter une diminution peut-être trop importante des surdimensionnements de sécurité. Il est absolument nécessaire de prendre en compte dans les contraintes les phénomènes exceptionnels, les parasites dont les conséquences étaient autrefois noyées dans l'imprécision des marges de précaution.

2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.

La modélisation électromagnétique globale des machines permet la prédétermination des paramètres des schémas équivalents (réactances, impédances) et la prévision des points qui risquent de provoquer des perturbations en fonctionnement (échauffements, vibrations, etc.). Elle permet d'évaluer, avec une bonne approximation, le comportement de la machine plongée dans un environnement de travail simple.

Les machines sont des convertisseurs à champ électromagnétique que l'on peut analyser par les équations de Maxwell. Celles-ci permettent d'avoir des informations locales mais pour l'électrotechnique, ce sont des données macroscopiques qui sont nécessaires. Le calcul des champs est une préoccupation depuis 20 ans et le travail porte sur le développement des outils. Il est nécessaire de prendre en compte de nombreux phénomènes magnétiques et électriques, la perméabilité, la permittivité, la conductivité.

Les méthodes actuelles (analytique - type séries de Fourier - ou numériques) reposent toujours à un certain degré sur des approximations, des simplifications. On néglige par exemple les phénomènes de propagation[1], les contraintes dimensionnelles, et la modélisation est en 2D[2]. Parmi les champs et les potentiels à calculer (champs et potentiels électriques et

---

[1] Phénomènes que l'on ne peut négliger dans les fonctionnements à THF. Il faut alors étudier les capacités parasites, et les phénomènes eux-mêmes. Ceci implique des difficultés dans les définitions des maillages de la matière…

[2] Contrairement à ce qui se fait en mécanique ou en thermique, le 3D n'est pas opérationnel encore en calcul de champ électromagnétisme. L'étape suivante sera la résolution de problèmes couplés : thermique, mécanique,

magnétiques, excitation magnétique), on oriente la résolution vers celui qui est le plus facilement calculable et on essaie d'en déduire les autres. Là aussi, on peut être amené à négliger certains phénomènes tel que la saturation par exemple.

Les résultats permettent d'obtenir une connaissance des champs sous forme de tracés de lignes de champ et des grandeurs localisées caractéristiques de la machine : couples, flux, grandeurs électriques. Certaines d'entre elles peuvent correspondre à des éléments d'un schéma équivalent. Celui-ci reste à utiliser avec précaution, les grandeurs correspondantes étant susceptibles de varier avec les conditions d'utilisation et l'environnement.

D'autres approches sont faites sans que l'on sache vraiment quel est le meilleur modèle, ni même s'il y en a un. L'objectif principal semble être l'atteinte d'un modèle et d'une méthode, c'est à dire d'un outil qui fonctionne correctement dans le maximum de cas.

La modélisation doit aller de pair avec la validation. C'est pourquoi, souvent des bancs d'essais, de mesures de couples sont utilisés pour vérifier expérimentalement ce que donnent les outils testés. Toutefois, les machines ne sont fabriquées que dans les cas où les simulations ont donné des résultats intéressants. Les logiciels de modélisation et de simulation permettent de réduire, voire d'éliminer les phases de prototypage. Ceci est particulièrement intéressant dans le cas de machines de grandes puissances ou des gros systèmes.

D'une façon générale, la conception d'une machine ne peut être faite dans les meilleures conditions que si l'on connaît son environnement, en particulier le système de commande auquel elle va être associée. À chaque type de convertisseur, à chaque type d'alimentation peut correspondre, à l'intérieur d'un même type de machines : MS, MCC, MAS, une machine particulière. Autrement dit, il peut y avoir inversion des processus de conceptions habituels jusqu'à aujourd'hui. En effet, avant, un convertisseur était créé pour une machine ; maintenant, on peut créer une machine à associer à un convertisseur.

2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.

L'étude des pertes énergétiques dans une machine peut être envisagée sous deux approches :

- pour le concepteur, il s'agit d'obtenir un rendement, pour l'ensemble qu'il crée, le plus élevé possible ;
- pour l'utilisateur, il s'agit de localiser et de caractériser les pertes afin de déterminer les moyens appropriés d'évacuation et de minimisation de l'énergie dégradée.

Les machines électriques sont des systèmes de structure complexe englobant au sein d'un même appareil différents aspects, chacun à l'origine de pertes, qu'il convient de préciser et de connaître à chaque instant, ainsi que les échauffements associés : électromagnétiques (pertes fer), électriques (pertes Joule), mécaniques (pertes par glissements et frottements). Les coefficients d'échange sont établis par des essais systématiques sur la machine de série.

électromagnétisme débouchant sur les meilleures conditions d'optimisation des matériels.

Exemple : le cas des pertes fer.

Les tendances actuelles dans le domaine des moteurs électriques associés à des convertisseurs statiques conduisent à considérer les pertes dans les tôles magnétiques non plus comme un problème secondaire mais comme un phénomène qu'il est nécessaire d'estimer afin de ne pas dégrader les performances des moteurs. Parmi les causes actuelles des pertes magnétiques, on peut citer une conséquence de l'utilisation systématique de l'électronique de puissance : les matériaux magnétiques travaillent à des fréquences élevées et avec des ondes d'induction non sinusoïdales, ce qui augmente les effets dégradants pour l'énergie[1].

L'analyse de ces pertes s'avère extrêmement délicate. Elles correspondent à l'énergie qu'il faut fournir au matériau pour faire varier son aimantation.

- Dans un premier temps, au début des années 80, l'estimation est réalisée par des formules empiriques ou par extrapolation de résultats théoriques obtenus sur des circuits de formes simples pris dans des conditions très limitées : tôles rectangulaires supposées de longueurs infinies, induction et excitation magnétiques ne possédant qu'une seule composante, matériau magnétique homogène, etc.. L'écart entre la réalité et les prédéterminations est variable.

- Dans la deuxième moitié de la décennie 80, une étude microscopique des phénomènes magnétiques est réalisée[2], des modèles sont créés, testés et mis au point : modèles linéaires, non linéaires, avec ou sans hystérésis. Des méthodes de résolution des systèmes d'équations obtenus sont produites : méthodes de différences finies, méthodes des éléments finis, méthode des équations intégrales, couplage de méthodes.

La difficulté essentielle réside dans la manipulation d'un nombre considérable de données et par la quantité importante de résultats numériques que sa mise en oeuvre oblige à traiter. Les tôles sont pourtant toujours placées par ces modèles dans des conditions normalisées ne correspondant pas à la réalité. On néglige en particulier les contraintes mécaniques, sources de dégradation du matériau. Les résultats peuvent être fort éloignés des relevés expérimentaux et nécessite souvent l'introduction de coefficients correcteurs de sources empiriques plus ou moins faciles à évaluer. Ces modèles restent des outils de recherche non utilisables par les constructeurs.

---

[1] Les pertes fer sont proportionnelles au carré de la fréquence.

[2] A l'échelle microscopique, le matériau est subdivisé en domaines élémentaires séparés par une frontière. Sous l'action d'un champ, les moments magnétiques ont tendance à s'aligner. La paroi se déplace entraînant localement une variation d'aimantation qui induit des courants de Foucault. Ces courants s'opposent au déplacement et entraînent par effet Joule un échauffement local. Les pertes ont leur origine dans les déplacements de parois et dépendent de la nature de ces déplacements. Leur prédétermination est rendue difficile d'une part par l'intégration à l'échelle macroscopique des phénomènes microscopiques, et d'autre part par la complexité des mécanismes concourant à la subdivision en domaines et aux déplacements des parois : les domaines sont irréguliers, les parois non rigides et les déplacements peuvent ou non être réversibles. Le passage de la discontinuité des phénomènes à l'échelle microscopique à la continuité à l'échelle macroscopique reste à l'état de recherche.

- À l'heure actuelle, de nouvelles méthodes sont testées : méthode analytique, méthode numérique, utilisation de modèles en 2D. Mais l'estimation des pertes dans les tôles ne peut encore être envisagée de manière quantitative par des modèles, car les hypothèses simplificatrices qu'on est amené à prendre sont encore trop éloignées de la réalité physique ; la connaissance des mécanismes d'aimantation est très difficile à traduire en termes de modèle exploitable.

De nombreuses recherches sont en cours afin d'obtenir de nouvelles qualités de tôles par l'amélioration des matériaux, de mesurer les pertes dans les matériaux dans les conditions réelles de fonctionnement, de trouver des modèles permettant de calculer ces pertes, d'avoir une meilleure connaissance des répartitions des pertes, d'optimiser les structures afin d'utiliser au mieux les matériaux magnétiques.

2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.

La simulation est une méthode d'étude qui consiste, afin de prévoir les conséquences en termes de fonctionnement, pour une machine ou pour un ensemble technique complet :
- à substituer à la situation réelle un modèle répondant aux paramètres d'entrée de la même façon qu'elle,
- à faire des expériences, par système informatique, sur cette représentation du réel.

L'étude par voie analytique directe des systèmes comprenant des convertisseurs statiques est difficile et ne peut être menée à bien que grâce à des hypothèses très simplificatrices. C'est pourquoi la simulation analogique puis numérique est rapidement apparue comme un moyen privilégié d'étude de ces ensembles. Deux difficultés surgissent immédiatement et se retrouvent aux différents moments de l'étude lors de la mise en équations, de leurs résolutions ou de la confrontation avec la réalité :
- les problèmes de non-linéarités dues à la nature même des matériaux employés ;
- la forte interdépendance des organes de l’ensemble (source, convertisseur, charge, commande) rend la simulation de l'ensemble comme somme de simulations partielles de chacun des composants totalement déplacée et impossible.

D'un point de vue pratique, on modélise le fonctionnement de chaque composant en un instant donné par un groupe d'équations, une matrice. De même, on détermine des relations mathématiques traduisant les interactions entre les composants le constituant et on prend en compte également les interactions avec l'environnement. Il est ensuite nécessaire de traiter globalement tous les événements et de résoudre l'ensemble de toutes les équations qui régissent l'évolution de toutes les variables.

Les modèles les plus courants consistent à représenter la machine par un modèle électrique équivalent, composé d'un réseau d'inductances et de résistances calculées par les modèles statiques et d'introduire ce schéma à l'intérieur d'un modèle d'analyse des convertisseurs.

Une approche récente consiste à coupler étroitement, au cours d'un cycle de fonctionnement du convertisseur, les équations électriques de ce dernier avec les équations de répartition du champ à l'intérieur de la machine en tenant compte de la vitesse du rotor de cette dernière.

La simulation permet de confronter de façon globale et dans un esprit prospectif les différents concepts des ensembles permettant d'atteindre telle ou telle capacité opérationnelle. Dans les simulations ainsi développées, on peut voir apparaître les solutions technologiques et les performances techniques dont l'amélioration serait fructueuse.

L'interprétation des résultats de simulation doit toujours se faire en gardant présentes à la mémoire les hypothèses initiales entrées dans le programme de simulation, car les résultats en dépendent très fortement. Elle est limitée par la complexité des systèmes techniques à étudier, par la difficulté de modéliser les événements environnementaux. Les concepteurs cherchent les moyens permettant d'intégrer et de faire fonctionner des éléments de la réalité, plus ou moins prévisibles, avec des éléments modélisés. Dans ce domaine, on en est encore à un stade d'exploration : simulations interactives, aide à la décision.

La simulation est un outil intéressant pour :
- suivre et contrôler l'avancement des avant-projets développés ;
- permettre une comparaison détaillée et objective dans différentes conditions d'environnement ;
- rechercher les sous-ensembles techniques critiques ;
- évaluer des performances dans différentes conditions de travail du système ;
- faciliter la définition des spécifications techniques.

La simulation nourrit la réflexion et le dialogue entre concepteurs et utilisateurs. Elle complète l'expérimentation sur matériels, maquettes, prototypes en utilisant ses résultats.

2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.

La conception d'une machine correspond à une suite d'approximations, chaque élément s'élaborant au fil du calcul. La méthode utilisée, qui nécessite l'application des lois de l'électrotechnique, mais aussi des données pratiques résultant de l'accumulation des expériences dépend du type de machine à réaliser :
- pour les petites machines : on travaille par interpolation ou sur des prototypes…

- pour les machines de grande puissance, il n'est pas possible, pour des raisons essentiellement de coûts, de procéder ainsi. On utilise les méthodes de simulation par ordinateur.

Lorsqu'on manque de référence pour servir de point de départ pour un premier calcul, on utilise encore parfois des formules empiriques et la méthodologie peut relever d'interactions multiples entre calculs et réalité. Certaines grandeurs utilisées dans les modèles sont exprimées par des formules basées sur des mesures et des essais.

Le développement spectaculaire de l'informatique a cependant permis de concevoir des programmes de calcul très performants qui donnent presque instantanément, et dans la plupart des cas :

- le dimensionnement électromagnétique optimisé des parties actives avec tous les calculs annexes (réactances magnétiques, échauffements, pertes) ;
- le tracé automatique des courbes caractéristiques de fonctionnement ;
- le dimensionnement mécanique très complet ;
- les fichiers de données pour le tracé automatique par conception assistée sur ordinateur ;
- le calcul du prix de revient.

Armées de ces outils, le travail des équipes de conception des machines ou des ensembles électrotechniques consiste alors à déterminer l'ensemble qui satisfait au mieux à toutes les garanties et les contraintes techniques, le plus performant en terme de rendement énergétique, le plus économique, le mieux placé dans son environnement, etc.

2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électrotechniques.

2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles industriels.

L'entreprise confrontée à la réalisation d'ensembles techniques doit simultanément :

- réaliser le besoin d'un client qui est également le financeur du projet ;
- respecter les délais et les coûts impartis sur la base d'un contrat ;
- satisfaire des critères de qualité : fiabilité, robustesse, maintenabilité…

Elle dispose pour cela d'une diversité étendue en termes de constituants techniques : circuits et composants électroniques, numériques, analogiques, informatiques, machines, variateurs, mais également en termes de méthodes de travail. Ces multiplicités alliées aux complications de plus en plus importantes des demandes impliquent une gestion du projet, des ressources humaines, et une organisation du travail en équipe.

Schématiquement, la démarche la plus courante procède en trois phases :

- définition ou **spécification** du cahier des charges. Il s'agit de recenser et de caractériser les objectifs auxquels doit répondre le projet et de donner une description détaillée du comportement externe de l'ensemble projeté en termes de fonctions et de contraintes : dimensions, durées, performances attendues, design, analyse de la valeur, etc.. En théorie, au niveau de la

spécification, aucun détail sur un composant précis n'est fourni, aucun choix de matériel n'est réalisé.

- **conception**. C'est une étape intermédiaire dans laquelle les documents, les moyens techniques matériels et les matériaux nécessaires à la réalisation sont conçus ou choisis.
- **réalisation**. Elle doit aboutir à un ensemble en état de fonctionnement mais encore prototypique. Celui-ci est évalué, expérimenté. Certains éléments peuvent être corrigés.

On passe ensuite à la phase de production puis à celle d'exploitation.

La spécification et la conception prennent dans ce cadre une importance fondamentale, tout projet mal analysé au départ entraîne des coûts parfois exorbitants en re-conception et en maintenance, voire à des échecs notoires[1]. Il ne faudrait pas pour autant en déduire que les phases sont nettement identifiées et séparées et que l'ensemble procède d'un enchaînement très linéaire. Il convient de ne pas négliger les interactions possibles : il est possible que les choix de réalisation influent sur la conception. La conception peut également commencer avant que la spécification soit totalement terminée ; la réalisation du prototype peut commencer avant la conception entière… Un avantage de ces chevauchements réside dans le fait que d'éventuels problèmes peuvent ainsi être détectés plus tôt.

Plusieurs modèles, dits de "cycle de vie" ont été proposés pour rendre compte de la structuration possible du travail et notamment de la place des sous-étapes de certification du cahier des charges, de validation des produits de la conception, de vérifications du prototype et de l'ensemble réalisés.

À chacune des étapes de spécification et de conception, des documents sont produits afin de faciliter la communication entre les différents acteurs. Ils déterminent généralement des niveaux de simplifications / réductions et s'accompagnent de combinaisons de descriptions (une seule description ne suffit pas toujours à un niveau donné). La procédure aboutissant à la réalisation est dite “descendante”, celle procédant du sens inverse - du matériel vers les niveaux plus éloignés de la réalité matérielle - est ascendante.

Pour J.-P. Calvez (1990, p. 43), «Spécifier, concevoir, c'est déduire une description à partir d'une précédente plus succincte et d'informations complémentaires comme contraintes. Le résultat en sortie doit être conforme au modèle de description pour le niveau […] Une ou des méthodes sont associées à chaque étape, tandis que l'enchaînement des étapes définit le schéma global de la méthodologie.»

Nous insistons, avec l'auteur, sur deux aspects :

- d'abord, la part de création qui est la marque de l'activité humaine dans tout projet.

---

[1] Bell (1994) relate ainsi les "dessous des échecs technologiques américains". Il cite comme causes de ces échecs la corruption, les conflits d'intérêts mais aussi une surestimation des réalisables, une course à la rentabilité amenant la suppression des étapes de prototypage, le développement simultané des composants et du produit fini sans passer par des essais, la suppression générale des systèmes de contrôle aussi bien techniques qu'économiques…

Dans le cadre d'une activité visant un objet technique, cette créativité doit s'exprimer en tenant compte des contraintes imposées à l'ensemble projeté. Il semble que cette créativité procède souvent, dans un cadre technologique, de types de solutions, appelés "génériques" qui sont construits par le concepteur au fur et à mesure qu'il acquiert de l'expérience dans son travail.

- ensuite, sur le fait que l'aboutissement d'une étape nécessite inévitablement des modèles de solutions comme aide au concepteur (C'est nous qui soulignons).

2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.

De nombreuses méthodologies autour de nombreux modèles ont été créées afin de tenter de permettre la construction la plus rationnelle et la plus économique possible des ensembles techniques.

J. P. Calvez (1990, pp. 97/157) propose, dans le cas de réalisations en automatisme et informatique industrielle, sous forme synthétique :

- un aperçu des principales méthodologies,
- leur cadre d'application relativement aux étapes de la démarche et
- leur limites temporelles d'utilisation.

Il n'est pas question ici de décrire les méthodologies mais simplement de relever les points suivants :

- à toute époque, il y a coexistence de différentes méthodologies.
- les méthodologies ont évolué vers plus d'intégration, de globalité.

Dans les premiers temps, les méthodologies étaient dédiées à une étape de la démarche précédemment décrite (réalisation puis conception) ; les méthodologies actuelles peuvent être appliquées à toutes les étapes de la démarche.

- on relève ici comme dans le cadre des objets techniques en général des phénomènes d'**abandon** (SADT, JSD), de **filiation** (simple : JSP - JSD ou multiples : Encapsulation - ADA1, avec Structured Design et Analysis - ADA2 par exemple), de **dichotomie** (Encapsulation - ADA1 et SMALLTALK), de **création** (STATEMATE, SREM-SYSTEM).

Un ensemble technique peut être observé, en s'en tenant à la réponse au "comment ?", suivant des points de vue :

- fonctionnel : description des fonctions internes ;
- temporel : évolution des fonctions internes, indépendamment les unes des autres, au cours du temps ;
- matériel : description par les composants, architecture des solutions.

Des modèles peuvent être associés à ces points de vue. Ils précisent les relations internes et externes, les interrelations.

On distingue habituellement :

- le modèle fonctionnel qui exprime, dans le temps, les relations entre les fonctions,
- le modèle comportemental qui indique la relation entre chacune des fonctions et son environnement,
- le modèle exécutif qui spécifie la partie matérielle : rôle et relations entre les composants.

Les méthodologies sont généralement différenciées :

- par les points de vue et les modèles qu'éventuellement elles privilégient ou qu'elles permettent d'atteindre ;
- par les "concepts techniques” autour desquelles elles sont construites : activité, algorithme, flot de données, contrôle, etc. ;
- par les dispositifs de représentation de la méthodologie : diagramme, schéma, liste, réseau.

2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.

Le point de départ de cette phase est donné par la structure fonctionnelle fournie par la conception et les documents de spécifications technologiques. Il s’agit alors, en utilisant si possible les composants du marché, et sous les contraintes parfois contradictoires de qualité et de coûts à minimiser, de déterminer de façon détaillée, en spécifiant leurs constituants, les structures matérielles.

Suivant le type de réalisation et le type de production (série, unité), les solutions peuvent être différentes et s'éloigner en partie de la structure fonctionnelle. Si pour une grande série, la réalisation est généralement effectivement guidée par la structure fonctionnelle ; pour une petite série, la définition de la réalisation est orientée en partie vers l'utilisation de produits existants dont on cherche par exemple à étendre la fonctionnalité et la cohérence de façon à pouvoir les intégrer au mieux dans l'ensemble projeté.

Les environnements de l'ensemble et de chacune de ses parties doivent être particulièrement étudiés : interfaces de communication dans l'ensemble matériel et avec l'extérieur de celui-ci (interface homme/machine ou capteurs), contraintes temporelles, liaisons énergétiques, éléments de sécurité, de tests et de maintenance. Cette étude peut amener à modifier ou à compléter la structure fonctionnelle. La réalisation relève donc de choix, de stratégies qui peuvent être variés, dépendant de nombreux facteurs, mariant spécifications, facteurs économiques, techniques de mise en œuvre, outils et méthodes divers. Comme dans le cas de la spécification et de la conception, l'efficacité recherchée dans l'étape de réalisation n'est pas sans poser des problèmes.

À propos de la réalisation d'automatismes, Calvez (1990, p. 437) note dans ce sens : «L'idéal serait de disposer d'un outil de production automatique, et bien entendu générant sans erreur tout produit de la classe des systèmes électroniques, en mettant en œuvre une grande variété de techniques de réalisation et ceci en plus, à partir de spécifications particulièrement abstraites de manière à réduire en amont le travail à partir du cahier des charges. Il est toujours plaisant de rêver, nous sommes très loin de cet idéal.»

La réalisation aboutit à la description :

- de la structure d'exécution ;
- des schémas d'implantations de tous les éléments,
- et à la fabrication d'un ou de plusieurs prototypes. L'objet est matérialisé, devient réel.

Son opérationnalité doit ensuite être vérifiée, testée. L'objet est alors validé puis certifié.

3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.

Nous avons abordé sous deux plans les problématiques auxquelles se confrontent aujourd'hui les acteurs travaillant dans le secteur de l'électrotechnique :

- Sur le plan de la recherche en électrotechnique (§ 2.3), les modèles ont pour objectifs de traduire, de comprendre les phénomènes physiques sous-jacents aux matériels (machines notamment) afin d'optimiser les ensembles moto-variateurs. Les modèles utilisés sont les conséquences d'interactions fortes existant entre les recherches sur les matériaux et les recherches applicatives. La modélisation permet ainsi d'associer et de confronter des théories et des

données empiriques afin de favoriser l'organisation, la conduite et le contrôle de l'action amenant à une amélioration des ensembles matériels.

- Sur le plan de la spécification, de la conception et de la réalisation d'ensembles industriels (§ 2.4), les modèles ont pour objectifs de formaliser les méthodes et les démarches afin de favoriser et d'optimiser l'action.

Dans les deux cas, on a observé une certaine variété de modèles possibles et des tâtonnements multiples dans la recherche de la description d'une réalité[1]. Tout se passe en fait comme si la connaissance exacte du phénomène physique et la connaissance exacte de ce qui serait “la meilleure” méthodologie (*the best way* - Taylor -) échappaient, si elles existent, à la recherche…

[1] F. Russo (1986, pp. 401/414) insiste sur ce fait et écrit : «L'histoire de l'électrotechnique ne saurait se contenter d'enregistrer les résultats positifs et vraiment satisfaisants sans se soucier de faire état des tâtonnements, des erreurs, des hésitations qui les ont précédés. On pourrait, usant du langage de Bachelard, parler des obstacles épistémologiques qui ont dû être surmontés par ceux qui œuvraient dans le domaine de l'électrotechnique.»

CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE - L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.

1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.

1 - 1 - Généralités.

1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.

On peut rapidement exposer l'évolution et les enjeux de l'Enseignement Technique en France grâce à une synthèse présentée par P. Pelpel et V. Troger (1993).

Ils notent, en ce qui concerne cet enseignement au XIXème siècle et au début du XXème, que «La construction de l'Enseignement Technique et Professionnel en France est à mettre en relation aussi bien avec l'évolution des techniques, du travail et des qualifications qu'avec le développement de la scolarisation qui se réalise en même temps. Progressivement, […] l'État se substitue à la diversité des initiatives privées et à l'apprentissage traditionnel, pour constituer un ensemble d'établissements d'enseignement qui, peu à peu, se structure par niveaux.»

Entre les deux guerres, l'Enseignement Technique est constitué en un ensemble diversifié, hiérarchisé présentant une certaine autonomie par rapport à l'Enseignement Secondaire classique.

Un peu plus tard, «Les grandes réformes des années soixante vont tendre à l'intégrer au système éducatif tout en l'éloignant des milieux productifs. En fin de période s'amorce, à l'inverse, un rapprochement avec le monde des entreprises. L'un et l'autre processus réaménagent profondément l'identité de l'Enseignement Technique.»

1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.

Ainsi, l'histoire de l'Enseignement Technique est marquée par des conflits plus ou moins explicités, avec des glissements dans les sites de rencontre, relevant essentiellement des relations entre :

- Enseignement Technique, Professionnel et Enseignement Général ;
- Enseignement Professionnel et milieux professionnels ;
- enseignements scientifiques et enseignements de techniques ;

certains de ces points pouvant être eux-mêmes en relation.

On peut relier ces difficultés aux interrogations suivantes :

- Le Système Éducatif doit-il être un système fermé ? Et si non, quelles relations entretient-il avec son environnement ?
- Peut-on décomposer le Système Éducatif en sous-systèmes ? Et si oui, comment ? Quels sont les degrés d'autonomie des sous-systèmes ?
- Le Système Éducatif doit-il être le seul lieu de formation professionnelle ?
- Qu'est-ce que la culture ? Qu'est-ce qu'une culture technique ? Qu'est-ce qu'une culture scientifique ?

Des réponses à ces questions permanentes ont été et sont fournies dans le temps. Elles mettent en évidence la complexité des problèmes de formation et de décision en terme d'enseignement et de formation professionnelle.

Relevons que si les questions sont permanentes, les réponses n'ont pas une durée de vie éternelle et sont soumises à de nombreux paramètres, notamment socio-économiques fluctuant sans cesse. Les questions doivent donc être reposées…

1 - 2 - Quelques faits.

Pour Y. Deforge (1993, pp. 39/48), au fur et à mesure de son évolution, l'Enseignement Technique peut être mis en relation avec différentes idéologies. Nous y ajouterons les influences des conditions sociales et économiques et sûrement aussi celles de quelques "personnalités fortes" comme le mettent en évidence, dans le passage qui suit, les écrits en premier retrait. Nous y avons ajouté, en deuxième retrait, de façon non exhaustive, les références de quelques événements.

- À la fin du XIXème, il y a une <magnification_de_la_technique> soutenue par une . L'enseignement technique forme des "enfants du peuple" pour en faire des "ouvriers", cette situation est associée à une promotion sociale.

P. Pelpel et V. Troger (1993, pp. 47/49) notent dans le même sens sur cette période : et ils citent F. Buisson, directeur de l'enseignement primaire de 1879 à 1896, titulaire de la chaire de Science de l'Éducation à La Sorbonne : «Une école professionnelle n'est pas avant tout un établissement industriel, c'est avant tout un établissement d'éducation et d'instruction […] La meilleure école d'apprentissage, c'est une école primaire supérieure où l'apprentissage est comme encadré dans la culture générale.»

1886 : 3 - 10, inauguration de la première École Nationale Professionnelle (ENP), celle de Voiron dans l'Isère ; considérée comme date de naissance de l'enseignement technique.

1892 : Les écoles professionnelles supérieures sous contrôle du ministère du commerce deviennent des écoles professionnelles de commerce et de l'industrie.

Création de la direction de l'enseignement technique au ministère du commerce.

1902 : Création de l'Afdet [1] (Association française pour le développement de l'enseignement technique).

1912 : Création de l'école normale de l'enseignement technique, pour former des professeurs d'écoles pratiques.

- Après la première guerre mondiale, on développe une croyance dans le pouvoir de la science, source de "progrès", de compréhension du monde et de ses propres actions : <idÈologie_scien tiste>, formant des individus "modernes". La connaissance passe par la méthode scientifique fondée sur l'observation et l'expérience.

C'est à cette période qu'a été promulguée la loi Astier. Celui-ci définissait l'enseignement technique comme (Cité par P. Pelpel et V. Troger (1993, p.61)).

1919 : Loi Astier relative à l'organisation de l'enseignement technique industriel et commercial, rendant obligatoires les cours professionnels.

1920 : Contrôle de l'enseignement technique par le ministère de l'instruction publique.

1939 : Création des centres de formation professionnelle accélérée.

1941 : Transformation des Écoles pratiques de commerce et d'industrie (EPCI) en collèges techniques.

- Après la seconde guerre mondiale, l'enseignement doit être conçu en fonction des exigences de la société industrielle : <idÈologie_socialisante>.

C'est le temps d'une (P. Pelpel et V. Troger (1993, p.98)) [2].

1945 : Créations des écoles normales nationales d'apprentissage (ENNA) pour former les professeurs des centres d'apprentissage et de l'inspection de l'Enseignement Technique.

1946 : Création du baccalauréat mathématique et technique.

1948 : Organisation des commissions paritaires consultatives.

1952 : Création du Brevet de Technicien.

1959 : Les centres d'apprentissage deviennent collèges d'enseignement techniques (CET) et les collèges techniques, les ENP ; les écoles professionnelles, lycées techniques.

---

[1] P. Pelpel et V. Troger (1993, p. 55) : Cette association s'est construite autour d'une identité de la technique autour de trois composantes : politique (enseignement technique conçu pour servir l'économie libérale est autonome, décentralisé et élitiste), professionnelle (enseignement technique au service de l'économie nationale), culturelle (formations théoriques centrées vers le dessin industriel et la trigonométrie, formations manuelles privilégiant la pratique mais aussi le sens de la précision et des normes).

[2] Cette forte "cohérence" entre formation et profils industriels est vivement critiquée par la suite. M. Domenc et J.-P. Gilly (1977, p.78) relèvent à ce propos que le développement des systèmes de production a eu des conséquences dans le système économique et social notamment la spécialisation outrancière des profils professionnels. Ceci a entraîné à son tour une division croissante des contenus de qualifications des ouvriers et des techniciens d'où un barrage de fait entre les catégories sociales.
Parallèlement à l'évolution de la structure des emplois, se développent de nouveaux cycles de formation professionnelle et technique.

1962 : Création des brevets de techniciens supérieurs.

1965 : Création des centres de formation des professeurs techniques adjoints pour la formation des professeurs d'atelier des lycées techniques.

1966 : 3 - 12, loi d'orientation sur l'enseignement technique.

Création des IUT [1] et des baccalauréats de technicien.

1967 : Créations des brevets d'enseignement professionnels (BEP).

1971 : 16 - 7, loi d'orientation sur l'enseignement technologique.

1976 : Les CET deviennent des Lycées d'enseignement professionnel (LEP).

- À partir du milieu des années 80, suite à différentes recommandations (Conseil de l'Europe, rapport Copret (1986) et propositions L. Legrand, A. Prost (1984)) se met en place un enseignement technologique dans la filière d'enseignement général. Cet enseignement a pour objectif principal de développer à travers la compréhension des systèmes techniques . Ceci concourt à travers des processus d'analyse et de maîtrise de la complexité, des références à l'organisation de la production, au développement d'un raisonnement technique devant développer une maîtrise de la connaissance de la nouveauté.

L'enseignement technologique en collège «a pour but principal d'introduire l'approche technologique dans la formation générale de tous les élèves, et de contribuer à l'introduction de la technologie dans la culture. Plus concrètement, il se propose aussi d'améliorer l'information des élèves dans la perspective de leur orientation future, de manière à ce que le secteur de l'enseignement technologique ne soit plus pour eux une zone d'ombre et/ou d'appréhension.» (P. Pelpel et V. Troger (1993, p.116).

B. Decomps rappellera en 1990, qu'un [2]

1985 : Loi programme sur l'enseignement technologique et professionnel. Les LEP deviennent des Lycées professionnels (LP) et les lycées techniques, lycées d'enseignement général et technologique. Création des baccalauréats professionnels.

Création des secondes option techniques des systèmes automatisés (TSA) et productique.

1992 : Mise en place de la réforme des lycées en seconde.

Y. Deforge discute des interactions entre les systèmes de production (les entreprises) et les systèmes d'acquisition (l'école) dans un article (1987, 1991). Il observe trois phases :

---

[1] Pour M. Domenc et J.-P. Gilly (1977, p.50, p.83), il s'agissait de faire un enseignement supérieur court à finalité professionnelle : «Les professions ont parfaitement compris la nécessité de former un beaucoup plus grand nombre de techniciens supérieurs possédant les bases générales suffisantes pour faciliter les reconversions et adaptations rendues de plus en plus fréquentes dans l'évolution rapide des techniques […] Il s'agit d'assurer des débouchés professionnels à un grand nombre d'étudiants n'envisageant pas nécessairement de suivre un enseignement supérieur de 5 ou 6 ans.» La formation plus théorique que celle des STS devait former des techniciens supérieurs "plus proches de l'ingénieur".

[2] B. Decomps. Intervention au compte rendu national de la consultation sur les contenus de l'enseignement. Paris, le 25/01/90. Cité par L. Tanguy (1994, p. 27)

- À la fin des années soixante, il y a un dysfonctionnement du système de production dont la cause est attribuée à une carence du système éducatif qui ne préparerait plus à la mobilité professionnelle (savoirs et attitudes). On définit alors une formation professionnelle de base large non attachée à une activité déterminée.
- Peu de temps après, les dysfonctionnements sont rapprochés de problèmes structurels internes aux entreprises (difficultés dans la mobilité ascensionnelle). On met alors en place des formations par unités capitalisables, des programmes de formation continuée, des classes passerelles.
- Le chômage touche de plus en plus de jeunes, formés ou non formés. La société, pour <protÈger> les jeunes, met en place des structures d'accueil de plus longue durée, des formules de stages, etc.

L'auteur propose alors face aux modifications importantes des grands systèmes de production industriels de faire acquérir une culture scientifique et technique polyvalente non directement professionnalisée. Dans les programmes, quelques points forts sont à développer : Il relève que ceci peut entraîner une "déspécialisation" jusqu'au niveau baccalauréat.

D. Morali (1987, 1991) soulève également le problème des relations :
- entre l'enseignement et le milieu professionnel : influence des industriels et du patronat,
- entre les diverses grandes filières d'enseignement : générale, technique et professionnelle,
- et entre, à l'intérieur de la filière professionnelle, enseignement général et enseignement professionnel.

Cet état de fait plus ou moins marqué dans le temps amène par exemple :
- l'enseignement technique et professionnel court à "osciller" entre les tutelles du Ministère du Commerce, du Ministère de l'Industrie et du Ministère de l'Éducation Nationale finalement,
- des débats tendus, notamment en 64/65 quand il a été décidé d'intégrer dans les cursus d'IUT des formations générales[1] et en 1986 d'inclure un enseignement de technologie en Collège.

2 - Enseignement de l'électrotechnique.

2 - 1 - Structure générale.

L'électrotechnique est enseignée en France à différents niveaux scolaires dans :

[1] M. Domenc et J.-P. Gilly (1977, p. 52) rappelle les propos du recteur Capelle (responsable de formations techniques) qui, en 1973, fait part, dans un article paru dans *Le Monde* , de son désenchantement vis à vis des IUT : «[ces derniers] devraient être placés entre les mains d'hommes qui pratiquent le commerce et la production industrielle dans la réalité de l'action quotidienne […] Au lieu de cela, on en a fait des institutions bavardes, des sous-facultés confiées à un surplus de diplômés de troisième cycle ou à des chaires de facultés.»

- des filières qui conduisent à terme directement à des diplômes à caractère professionnel : Brevet d'Enseignement Professionnel - BEP - (en Lycée d'Enseignement Professionnel, LEP), Bac Professionnel (en LEP), BTS (en STS), DUT (en IUT), diplôme d'ingénieur ;
- des voies pour lesquelles une professionnalisation complémentaire doit être assurée et qui donc n'amènent pas forcément à des métiers en rapport direct avec l'électrotechnique. Ce sont :

  * les licences et maîtrises universitaires EEA et Génie Électrique qui peuvent conduire via l'IUFM à l'enseignement (Capes ou Capet) ou à une entrée dans une école d'ingénieur ;
  * le baccalauréat technologique STI (Sciences et Technologie Industrielles) option électrotechnique (anciennement baccalauréat F3) qui offre la possibilité de poursuivre des études dans l'enseignement supérieur.

Quelques remarques à propos du schéma ci-dessus :

- Les entrées en école d'ingénieur sont évidemment possibles à partir d'autres cursus, notamment à partir des classes préparatoires aux grandes écoles (CPGE) ; de même, celles en licence universitaire peuvent être obtenues à partir d'un DEUG scientifique.
- Les traits transversaux en arrière plan correspondent à des années d'étude, ceux en avant-plan représentent des paliers que l'on peut associer à des diplômes.
- Les flèches indiquent des possibilités de nouvelles orientations d'un cycle vers un autre, par examen de dossier scolaire. Si les classes passerelles du type classes de première d'adaptation sont très courantes pour les élèves titulaires de BEP, le passage d'un élève titulaire d'un bac

professionnel en STS est rare, le bac professionnel ayant été déclaré diplôme terminal lors de sa création.

Un document des Commissions Professionnelles Consultatives (1991) précise sur ce point :

<On_distingue_souvent_le_baccalaurÈat_technologique_du_baccalaurÈat_professionnel_‡_travers_une_image_:>

- 80% des bacheliers "technologiques" devraient poursuivre leurs études (85 à 90% pour les F actuellement),
- 80% des bacheliers "professionnels" devraient entrer sur le marché du travail.»

Et on peut relever, à propos des baccalauréats professionnels :

«Ce diplôme a été créé en grande partie à cause de la faiblesse en nombre des sorties au niveau bac (les F continuaient leurs études) et à cause de la nécessité de trouver des jeunes assurant des emplois de niveau IV. Un rapport du Céreq montre que dans un certain nombre de secteurs, de nouvelles catégories professionnelles émergent. Elles ne correspondent plus aux capacités identifiables à travers le CAP et le BEP et ne peuvent non plus être confondues avec les fonctions de techniciens de type BTS-DUT.»

2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.

Les élèves titulaires du baccalauréat F3 (67,5 % de réussite, environ 10 000 élèves reçus en 1992) continuent leurs études de façon très largement majoritaire dans des IUT ou des STS, mais aussi à l'Université ou dans les Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE) où ils suivent un enseignement leur permettant de préparer les concours d'entrée dans des écoles d'ingénieurs.

D'après des documents de la Direction de l'Évaluation et de la Prospective
du Ministère de l'Éducation Nationale. (1992)

Les données concernent la France entière. En ce qui concerne les STS, le nombre donné n'est pas spécifique des F3 car il n'était pas disponible. Il correspond à l'ensemble des poursuites d'études post-bac F en STS.

Au niveau des STS, les élèves de F3 ayant été reçus au baccalauréat sont répartis dans les différentes sections disponibles dans les académies mais de façon majoritaire en STS électrotechnique.

D'après des documents du Rectorat de l'Académie de Toulouse (mission stat'études) et du Service Académique d'Information et d'Orientation de Toulouse. (1992)

CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE"

1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.

Lorsque nous prenons acte des données précédentes, mettant en évidence une certaine multiplicité dans les orientations offertes à plus ou moins long terme aux élèves, nous sommes amenés à faire un premier choix parmi les références possibles suivantes : technicien supérieur, ingénieur et enseignant. Relevons cependant déjà qu'il y a un point commun à ces différentes pratiques : l'"Électrotechnique".

Compte tenu :

- que la majorité des élèves poursuivent leurs études, au moins dans un premier temps, dans le cadre des IUT ou des STS, surtout en électrotechnique,
- que les emplois occupés par les titulaires du baccalauréat F3 sont majoritairement encore des emplois de techniciens en relation avec l'électricité,

nous nous intéresserons dans ce chapitre à la pratique du technicien supérieur en électrotechnique.

2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes : Vers le "technicien d'école".

L'étude qui suit a été réalisée grâce à une série de documents[1], édités par le MEN, se rapportant au travail des Commissions Professionnelles Consultatives[2] (CPC).

2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.

Il existe vingt CPC au sein desquelles émergent et sont étudiées les demandes de créations de diplômes. Ces demandes émanent des milieux professionnels ou/et du système éducatif. Les CPC concourent à la définition de la politique des diplômes du Ministère de

---

[1] L'étude qui suit a été réalisée grâce aux documents suivants, dont nous extrayons certaines citations :
Ministère de l'Éducation Nationale. (1991). Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Documents méthodologiques. Le référentiel des activités professionnelles. Paris : MEN.
Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Documents méthodologiques. Dossier d'opportunité. Paris : MEN.
Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Les diplômes technologiques et professionnels. Modalités d'élaboration et d'actualisation. Paris : MEN.

[2] Les CPC sont un lieu de consultation obligatoire des partenaires sociaux pour tous les diplômes de l'enseignement technologique et professionnel. Chaque CPC est composée de quatre collèges comprenant des employeurs, des salariés, des représentants du Ministère, du Céreq et de la formation professionnelle des adultes (AFPA), des représentants d'enseignants, des parents d'élèves, des CCI (chambre de commerce et d'industrie), des CM (chambre des métiers), des conseillers de l'enseignement technologique, …

l'Éducation Nationale et œuvrent pour leur mise en place. Leurs travaux se développent en interaction avec les travaux conduits sur les contenus de formation, les modes de certification : programme, référentiel, validation, les conditions de mise en oeuvre : formation des enseignants, équipements, etc. La création de diplômes nécessite une connaissance poussée des systèmes économiques, du marché du travail, de la formation, des partenaires impliqués.

L'analyse accompagnant la demande est présentée à travers un "dossier d'opportunité". La création d'un diplôme se déroule en cinq phases ; le cycle complet se déroulant en moyenne sur une année :

- phase préparatoire "d'opportunité" : instruction du dossier, consultation, décision.
- phase d'élaboration du contenu technique et réglementaire : référentiels des activités professionnelles, auparavant référentiel de l'emploi. Rôle affirmé des professionnels.
- phase d'élaboration des programmes. Rôle des pédagogues.
- phase de mise en oeuvre des formations. Rôle de certains enseignants.
- phase d'évaluation se rapportant aux aspects pédagogique et sociologique : flux de formés, devenir des diplômés.

2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.

C'est un dossier de "cadrage" devant aborder les thèmes économiques, les qualifications, les évolutions des contenus de travail, la gestion des entreprises. On y trouve des données sur la main d'oeuvre : nombre d'actifs, répartitions par sexe, par âge, niveau du diplôme, des éléments sur la structure des emplois dans l'entreprise sous forme d'organigrammes relationnels et des données sur les diplômes existants : diplômes voisins, nombre de formés, résultats aux examens, ….

2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.

Il convient d'éviter deux écueils :

- celui d'une vision trop pédagogique qui tend à éluder la phase d'analyse des activités ;
- celui d'une lourdeur excessive dans l'élaboration des référentiels.»

Plusieurs difficultés apparaissent à ce niveau en raison des diversités des situations liées :

- à la nature de l'entreprise, à sa taille ;
- au nombre et au type des activités assumées par le technicien dans les entreprises ;
- à la politique de formation dans les entreprises. Le référentiel ne sera pas le même selon que l'on considère que le technicien pour lequel on le définit aura ou n'aura pas de formation continuée, aura ou n'aura pas de possibilités de promotion.

Le référentiel décrit les activités professionnelles que sera appelé à exercer le titulaire du diplôme. Il s'agit d'identifier une cible professionnelle large prenant en compte des processus d'adaptation à l'emploi et d'insertion professionnelle.

Comme le nom l'indique, ce sont des activités professionnelles qui y sont décrites à partir d'un ensemble d'indicateurs dont les fonctions, les tâches et les conditions d'exercice [1] .

Selon A. d'Iribarne (1989), il conviendrait d'aller plus loin qu'une simple étude de besoins. Il est nécessaire de porter un intérêt aux apports des formations aux professions : «Il est impossible de poser les problèmes de formation en des termes purement techniques de réponses à des besoins qui s'imposeraient. Certes, ces formations répondent plus ou moins à des besoins professionnels, mais elles contribuent non moins à structurer ces activités professionnelles et à déterminer la place de ceux qui les occupent dans la société.»

2 - 4 - Le référentiel du diplôme.

Les phases suivantes aboutissent à l'élaboration du référentiel du diplôme et aux contenus de formation dans le cas des STS. C'est le rôle de l'inspection générale et d'un groupe d'enseignants associés. Il est nécessaire à ce niveau de prendre conscience de l'existence de l'actuel et du possible avant de procéder à une création ou à d'éventuelles modifications, s'il y a déjà existence du produit. Seront pris en considération la formation des enseignants, les financements, la concordance avec les prérequis des élèves, etc..

Les processus de constitution du dossier d'opportunité et du référentiel des activités professionnelles mettent en évidence les interactions entre les domaines de définition des compétences, des capacités et des savoirs et les pratiques professionnelles, les politiques scolaires et les voeux des différentes institutions engagées dans les décisions.

2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".

Deux conversions successives sont mises en oeuvre pour passer des pratiques du technicien dans l'entreprise au référentiel du diplôme de technicien supérieur :
- la première conduit à l'élaboration du référentiel des activités professionnelles ;
- la deuxième à l'édification du référentiel de diplôme.

---

[1] "fonction" et "tâche" sont définies de la façon suivante :
Fonction : Ensemble d'activités dans l'entreprise orientées vers une même finalité. La fonction finalise l'activité individuelle. Elle peut se subdiviser en sous-fonctions.
Tâche : Description d'un élément de l'activité correspondant à une prestation attendue, à partir des ressources dont dispose la personne et en fonction des exigences qui lui sont fixées.
Les conditions d'exercice comportent trois séries d'indicateurs : moyens et ressources, résultats attendus, autonomie et responsabilité.

Nous avons appelé "technicien d'école" le modèle construit à partir de la représentation du technicien dans l'entreprise actuelle et de celle que l'on peut avoir de son évolution. C'est la pratique dans son entreprise qui fera passer le technicien d'école au technicien d'entreprise, qui lui permettra de s'adapter aux postes de travail en particulier.

Le "technicien d'école" ne constitue pas une référence sociale mais il peut présenter un intérêt en tant que terme de comparaison :

- d'une part en relation avec certaines des activités menées dans le cadre de l'enseignement en classe de Terminale,
- d'autre part en rapport au type d'éléments qui permettent de le définir : compétences, connaissances, capacités.

Nous prenons comme définition de “culture d’entreprise” celle que propose M. Thévenet (1993, pp. 45/50) :

Cette grille permet de définir un ensemble de références (par appréciation de la réalité, recherche de réactions appropriées, d'actions et de contrôles) partagées dans l'organisation (mais pas forcément exprimées), construites au long de son histoire en réponse aux problèmes rencontrés.

3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique

Cf. (BO 24 du 18 06 87, pp. 1356/1363 - A1, S18, 1987, pp. 17/29).

Le "technicien d'école" est relativement facile à définir puisqu'il reste confiné dans des cadres aux contours bien définis (IUT ou STS).

Le référentiel du diplôme de Technicien Supérieur en électrotechnique :

- **définit** d'abord le domaine **des connaissances générales** sur lequel doit s'appuyer la formation, il s'agit de «l'énergie électrique, sa conversion et ses utilisations […] Le technicien supérieur en électrotechnique intervient sur des systèmes pluritechnologiques associant les courants forts des convertisseurs d'énergie (électronique de puissance) et des récepteurs (moteurs, appareils de chauffage, etc.) aux courants faibles des différents niveaux de commande.»

- **spécifie les compétences** et **les fonctions** du technicien :

- **inventorie** l'ensemble **des capacités** requises du technicien supérieur en électrotechnique, en relation avec le référentiel de l'emploi. Pour cela, un tableau donne la correspondance entre les capacités et les tâches identifiées dans le référentiel de l'emploi comme étant celles du technicien supérieur. Pour chacune des capacités, il est ensuite précisé :

- sa définition en relation avec les tâches ;
- les éléments donnés à l'étudiant (<On_donne>) ;
- les indications pour l'évaluation (<On_exige>) ;
- les contenus d'enseignement liés aux tâches.

Exemples de capacités :

justifier, évaluer, définir, choisir, adapter, concevoir, rédiger, décoder, coordonner, contrôler, animer, informer, diagnostiquer, classer.

Exemples de tâches :

Pré-étude, étude et développement, documentation, organisation, réalisation et mise au point, installation et mise en exploitation, maintenance.
Les tâches peuvent être observées à travers des indicateurs : le but, les opérations techniques, le matériel, les documents, l'organisation de la production.

Exemple de mises en relation :

La capacité "adapter" est mise en relation avec "étude développement" (convertisseurs, pilotage, distribution).
La capacité "définir" avec les tâches :
- "étude développement" (récepteurs, convertisseurs, commande, pilotage, distribution) ;
- "organisation, réalisation et mise au point" (sous-ensemble, ensemble) ;
- "maintenance" (organisation).

Exemple de descriptif d'une capacité : "adapter" :

La présentation est exprimée suivant les règles de la pédagogie par objectifs (PPO) :
Dans telles conditions, on donne, on exige avec tels critères…

ADAPTER	
- aux contraintes et conditions spécifiques d'exploitation : un convertisseur standard (produit catalogue), un système de distribution d'énergie existant ; - aux contraintes et conditions spécifiques de comptabilité des signaux un système standard d'interfaçage (produit catalogue).	
ON DONNE	ON EXIGE

- les caractéristiques spécifiques imposées par le cahier des charges, - les caractéristiques concernant les matériels standards (convertisseurs et interfaces de communication et d'échange), le système de distribution d'énergie existant.	- de choisir les matériels standards les plus compatibles, - de définir les adaptations nécessaires pour satisfaire les conditions du cahier des charges en se limitant pour les convertisseurs à la commande et à la protection, pour le système de distribution de l'énergie à la partie B.T..
CONTENUS D'ENSEIGNEMENT LIES AUX TACHES	
- Distribution, appareillage et protection. - Électronique de puissance, convertisseurs. - Automatisme et informatique industrielle.	

Dans cet exemple, on retrouve, afin de spécifier la tâche :

- le but : adapter aux contraintes […].
- le matériel : les objets sont déterminés. Il s'agit d'un convertisseur standard.
- les opérations techniques : choisir les matériels […], définir des adaptations.
- les documents à utiliser : catalogue, caractéristiques techniques, cahier des charges.

4 - Les “compétences”.

4 - 1 - De la “qualification” à la “compétence”

Nous prenons pour définition de “pratique professionnelle” celle que donne J.-F. Blin (1994). «Les pratiques professionnelles sont des systèmes complexes d’actions et de communication socialement investis et soumis simultanément à des enjeux socialement et historiquement déterminés et à l’incertitude propres aux interactions entre des individus participant aux activités d’un même contexte (organisation et institution) professionnel.»

Plusieurs approches ont été conduites afin de caractériser la pratique professionnelle dans les entreprises, l’objectif initial étant de la décrire afin d’améliorer l’organisation et de définir au mieux les formations.

- L'approche par les "**qualifications**” a longtemps été choisie pour définir les référentiels professionnels.

P. Zarifian (1986) rapporte , elle semble alors reliée au procès de travail.

Pour l'auteur, il existe cependant un paradoxe car on fait comme si les qualifications . En fait, il existe, pour lui, un écartèlement entre une "qualification-procès-travail" et une "qualification-histoire individuelle" - formellement reconstruit dans la "rencontre" - qui est peut-être l'indice d'un éclatement de la notion même de qualification, en tant qu'elle renverrait à plusieurs ordres de phénomènes.

- L'approche par les "**fonctions**" n'est pas plus facile à utiliser. Ainsi, D. Faïta (1986) parle même d'une variation des caractères des fonctions entre ce que les concepteurs attendent des personnels et ce qui peut être réalisé in situ : «Les concepteurs des outils ou des unités de production réfléchissent à leur définition à partir de leur propre vision de l'activité productive, qui peut être assez éloignée de la réalité ; […] dans leur fonctionnement, les activités concrètes ne s'affranchissent que très rarement de variations potentielles qui échappent à la vision théorique du procès».

- L'approche par les "**compétences**" permet d'élargir le champ de réflexions. Selon B. Hillau (1987), Il fait à ce propos allusion à tous les problèmes de méthodes et met en avant la nécessité d'une réflexion sur l'action. Il poursuit en précisant que la compétence ne doit pas être saisie comme une entité isolée mais comme liée à la situation d'action (tâche) ou à l'individu (outillage cognitif).

Retenons de ces quelques citations une certaine difficulté pour caractériser une pratique professionnelle :
- Faut-il se focaliser sur les relations matérielles de l'individu avec l'objet ?
- Comment tenir compte des rôles de l'individu (place des connaissances, rôle social dans l'entreprise) ?

4 - 2 - La "compétence".

4 - 2 - 1 - La "compétence" comme notion commune à deux mondes sociaux ?

La notion de "compétence" est utilisée par différentes catégories d'acteurs sociaux : on la trouve mise en œuvre aussi bien dans les programmes scolaires et les grilles de définition des référentiels de diplôme du MEN que dans le milieu des "ressources humaines" des entreprises.

Du côté de l'Éducation Nationale, c'est dans la Charte des programmes (BO 8 du 20 02 92, pp. 487/492 - A1, S23, 1992, pp. 17/20) que l'on trouve institutionnalisé le passage aux "compétences". L. Tanguy (1994, p. 33) indique que l'«On ne saurait sous-estimer le déplacement ainsi opéré par cette Charte qui organise et légitime le passage d'un

enseignement centré sur les savoirs disciplinaires à un enseignement défini par et visant à produire des compétences vérifiables dans des situations et des tâches spécifiques.»

Pour autant, dans ces applications institutionnelles, au sein de l'Éducation Nationale, au niveau de la définition des référentiels, il semble que l'utilisation de la notion ne signifie pas accord sur son sens et sur ce point L. Tanguy (1994, p. 34) ajoute : «Les présupposés sous-jacents aux notions en passe de devenir fondatrices d'une nouvelle pédagogie font problème mais tout porte à croire que les débats ont été évacués d'autant plus aisément que les contraintes de temps, celles de la conjoncture politique, ne les autorisaient pas.»

Au niveau des entreprises, G. de Bonnafos (1987) s'interroge sur l'origine de l'acquisition possible d'une compétence :

4 - 2 - 2 - Pourquoi une "compétence" ?

Il semble qu'à travers la notion de "compétence", les institutions poursuivent d'autres objectifs qu'une simple définition de pratiques professionnelles.

4 - 2 - 2 - 1 - Dans l'Éducation Nationale.

Il paraît indéniable que ce que l'on cherche aussi à travers la notion de "compétence" est la possibilité d'évaluer les élèves de manière voulue plus efficace et plus juste. Pour cela, les référentiels ont été structurés et se présentent tous de la même façon comme une suite d'emboîtement donnant des compétences, des capacités et des savoirs et présentant des tâches permettant leur mise en œuvre.

4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises.

L'approche par les compétences peut remettre en cause la relation existant entre la qualification liée au diplôme et la rémunération. C'est du moins le sens de la remarque de F. Ropé et L. Tanguy (1994) :

4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?

Le paradoxe de l'utilisation de la même notion dans les deux sphères sociales vient du fait que dans l'Éducation Nationale, on construit un diplôme sur une liste de compétences. Ce diplôme est ensuite associé à une qualification. Celle-ci dans l'entreprise est dévalorisée… car non relative à des compétences…

Le paradoxe est levé si on prend en compte les différences entre les deux approches : les compétences dans l'enseignement sont relatives à une formation initiale ; les compétences dans l'entreprise se rapportent à un poste de travail spécifique dans une entreprise particulière.

On peut alors rattacher ces différences au sujet abordé précédemment : d'un côté, on travaille avec le "technicien d'école", de l'autre avec un technicien dans l'entreprise.

4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d'un construit social.

Les référentiels de diplôme et par conséquence la définition des compétences sont les résultats de l'observation et de l'interprétation des pratiques professionnelles dans un cadre prédéfini.

Devant finalement conduire à des activités menées dans des situations de classe, il est nécessaire d'objectiver ces pratiques, au sens psychosocial du terme[1], c'est à dire de simplifier les situations, de les résumer, de limiter leur variété, de réduire leurs disparités économiques, de sélectionner ce qui va être pertinent par rapport aux contraintes d'enseignement, par exemple, ce qui va pouvoir être évalué.

Ce sont des représentations professionnelles[2], des constructions sociales qui permettent l'élaboration des référentiels et les rendent cohérents autour de l'énumération de compétences et de leur décomposition en termes de capacités et de contenus d'enseignement.

Au passage, reprenons alors avec F. Ropé et L. Tanguy (1994) la remarque faite précédemment à propos de la notion de "fonction" en relevant que les compétences référées dépendent aussi de la manière de les voir.

4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.

Nous adoptons ici une définition de "compétence" plus opérationnelle que les précédentes. Elle est donnée par l'équipe du Cépec (1991, pp. 68/69) en la situant dans le droit fil des référentiels de l'enseignement technique : «Une compétence se définit comme un système de connaissances, conceptuelles et procédurales, organisées en schémas opératoires et qui permettent, à l'intérieur d'une famille de situations, l'identification d'une tâche-problème et sa résolution par une action efficace.»

Le référentiel, comme son nom l'indique, a une fonction instrumentale de "référence" et s'il ne donne pas, en lui-même, des prescriptions pour l'action de l'enseignant, il peut l'orienter ou la structurer.

---

[1] Nous prendrons pour l'"objectivation" la définition proposée par Guimelli, C. (1992) : «Ce processus simplifie les éléments d'information et les résume à grand trait à partir d'une logique qui reste interne au groupe (d'où le consensus et la communication possibles). Moscovici appelle "noyau figuratif" l'information sélectionnée en dehors de son contexte et schématisée : quelques éléments formant cependant un ensemble cohérent et imagé, qui rendent concret ce qui est abstrait.»

[2] Blin, J.-F. (1994) : «Les représentations professionnelles, toujours spécifiques à un contexte professionnel, sont définies comme des ensembles de cognitions descriptives, prescriptives et évaluatives portant sur des objets significatifs et utiles à l'activité professionnelle et organisés en un champ structuré présentant une signification globale.»

L'enseignant doit permettre aux élèves la construction des compétences prescrites. Celles-ci ne peuvent prendre un sens que si l'élève se trouve dans des situations proches de celles correspondant à la pratique professionnelle associée au référentiel de diplôme.
On retrouve ici la notion de pratique sociale de référence. C'est en élaborant des séquences ayant pour référence cette pratique que les compétences vont trouver du sens et pouvoir être acquises par les élèves. Les règles décrites à partir de la notion de pratique de référence permettent une contextualisation des compétences.

5 - À propos du référentiel.

Le référentiel du diplôme apparaît donc à la fois comme un produit social, un moyen de production de séquences de classe et un but de formation :
- Il est le produit d'actions collectives d'objectivation de pratiques professionnelles ;
- Il est un moyen de production parmi d'autres (matériels, manuels, éléments de pratiques sociales de référence) ; outils de l'enseignant lorsqu'il construit des séquences de classe ;
- Il est aussi un descriptif d'objectifs à viser, un but de formation pour les élèves, un guide pour leur évaluation.

Mais, le référentiel de diplôme n'aborde pas la construction des connaissances, capacités et compétences chez les élèves.

Nota.

Il existe actuellement au niveau de la fabrication des programmes et des instructions d'accompagnement relatifs aux classes du second cycle des Lycées un dispositif équivalent à celui que nous avons décrit ci-dessus. Les institutionnels sont regroupés autour d'instances à fonctions différentes : le Conseil National des Programmes donne des indications générales, formule des vœux ; les Groupes de Travail Disciplinaire fabriquent les textes.

CONCLUSIONS

Nous avons décrit les éléments matériels et intellectuels (théories, méthodes et modèles) qui prévalent aujourd'hui dans les activités liées à la recherche sur les engins de l'électrotechnique et leurs utilisations.
Nous avons mis en évidence un dynamisme incontestable, inhérent à des rapprochements entre les secteurs de la recherche appliquée et de l'industrie et à l'intégration de travaux et d'études effectuées dans différents domaines : mathématiques, électronique, informatique, science des matériaux.
Il en résulte :
- une grande diversité de produits,
- un glissement vers la complication d'ensembles combinant des techniques diverses,
- une certaine variété dans les modèles utilisés par les acteurs. Ces modèles ont pour objectif de formaliser, soit les phénomènes physiques liés au fonctionnement des machines, soit les méthodes favorisant et optimisant l'action, la construction et la programmation d'ensembles lourds.

L'étude sur l'enseignement technique a permis de mettre en évidence sur une longue période les changements ou les perturbations quasi permanents qui opèrent sur lui conduisant à des redéfinitions, à des réorientations et à des oscillations sous diverses influences culturelles, sociales et politiques.
Nous avons placé sur la structure des cursus d'enseignement lié à l'électrotechnique les classes auxquelles nous nous intéressons dans les parties suivantes de cette thèse. Nous avons relevé la forte probabilité de poursuite d'études dans l'enseignement supérieur pour les élèves concernés, notamment dans les sections de technicien supérieur.

À ce propos, nous avons montré, sur le cas de la fabrication des référentiels des diplômes, les travaux institutionnels effectués par les commissions professionnelles consultatives. Ces travaux transforment des pratiques professionnelles en représentations professionnelles, associées à des énumérations de compétences.
Pour autant, rien ou peu n'est dit sur les démarches de l'enseignant qui devra chercher à développer ces compétences chez les élèves. Nous avons alors précisé que la notion de "pratique sociale de référence" nous paraissait pouvoir être un appui et un guide dans la construction des séquences de classe.

L’ensemble formé par ces acquis nous permet de dessiner les contours de la recherche que nous allons développer dans les trois parties suivantes.

Notre intérêt va se porter sur l’enseignement de l’électrotechnique en classes de Première et surtout de Terminale de Lycée d’Enseignement Général et Technologique, section Génie Électrotechnique.

Nous nous plaçons donc à un niveau d’étude inférieur à celui que nous avons décrit dans le présent chapitre 3 (STS).

Que deviennent au niveau des classes de première et de terminale les différents objets que nous avons jusqu’ici abordés ?

- D’une façon générale, comment évoluent les textes institutionnels définissant les finalités et les contenus de l’enseignement ? Sont-ils en relation avec les référentiels de l’emploi ou avec les référentiels de diplôme de TS ?
- Les contenus à enseigner sont-ils soumis aux évolutions matérielles ?
- Plus précisément, quels dispositifs matériels et intellectuels sont utilisés en classe, quels écarts avec les pratiques de référence peut-on repérer ?
- Comment ces dispositifs sont-ils utilisés en classe ?
- Quelles difficultés peut-on repérer chez les élèves en rapport avec ces dispositifs ?

DEUXIÈME PARTIE :
ÉTUDE GÉNÉRALE DES CURRICULUMS FORMELS/PRESCRITS

Dans ce monde-là, un bateau à l'intérieur d'une bouteille est un objet physique, et comme il n'existe aucun moyen d'inverser le processus, il n'est pas facile d'accepter l'idée que ce bateau ait pu n'être rien d'autre qu'un tas de baguettes.»

Harry M. Collins .
Les sept sexes : étude sociologique de la détection des ondes gravitationnelles.

INTRODUCTION

1 - Objectifs généraux.

Nous abordons dans cette deuxième partie l'étude des évolutions des curriculums d'enseignement de l'électrotechnique et leur caractérisation aujourd'hui dans les classes de Lycées d'Enseignement Général et Technologique, section Génie électrotechnique.

Deux procédés sont mis en œuvre séparément. Ils sont présentés dans l'ordre chronologique de leurs réalisations.

Dans le premier chapitre, la description de certains textes curriculaires relatifs aux enseignements en classe de terminale est faite de façon systématique. Elle prend corps autour de différents items.
Nous présentons une analyse des résultats obtenus. Elle s'appuie sur la reconnaissance de divers événements touchant au système éducatif et sur des entretiens menés avec différents acteurs de l'Éducation Nationale.

Les textes des programmes et instructions des classes de première et terminale font l'objet d'une étude grâce à un logiciel d'analyse lexicale. La méthodologie, les résultats et leurs interprétations, la limite de ce procédé sont présentés dans le deuxième chapitre.

2 - Généralités.

2 - 1 - Présentation.

L'électrotechnique aujourd'hui est enseignée *via* deux disciplines ou groupement de disciplines : la Physique Appliquée et les Sciences et Techniques Industrielles que nous noterons respectivement PA et STI.

2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.

Une lecture rapide des programmes présentant les contenus à enseigner permet de synthétiser les objectifs en termes de contenus en PA et en STI. (BO HS 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 43/111) et (A1, S1, pp. 13/14 et pp. 19/25).

2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.

Le programme de la classe de **Première** peut être considéré comme un programme devant donner aux élèves des **bases relatives** :

- à des concepts de l'électromagnétisme : tension, courant, puissance, champ magnétique, flux magnétique, énergie électrique.
- à des notions et des lois de l'électricité : circuits électriques, lois des noeuds, des mailles, lois de Joule, de Laplace.
- à des composants : transistors, amplificateurs différentiels, diodes.

Le programme de la classe de **Terminale** est axé sur l'**utilisation** des notions, concepts et composants étudiés dans le cadre de la classe de première.
Ces utilisations traitent des machines électriques et des convertisseurs statiques. Les ensembles motovariateurs sont également abordés : variations de vitesse des machines, notion de système commandé.

L'enseignement de la Physique Appliquée au niveau des classes de Terminale prend pour objets d'étude des produits industriels simples : les moteurs et leurs alimentations. Cet enseignement utilise des outils provenant des mathématiques et de la physique : lois des circuits électriques et de l'électromagnétisme.

2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.

L'enseignement des Sciences et Techniques Industrielles est divisé en trois modules :

- Étude des Systèmes Techniques Industriels (ESTI). Les systèmes techniques industriels sont abordés suivant différentes approches avec pour objectifs généraux la **spécification** d'un cahier des charges par l'emploi de modèles formels structurés, la **mise en œuvre** des constituants et la **validation** des propriétés des modèles par mesurage.
  - L'**approche fonctionnelle** vise la modélisation des activités du système. L'**analyse** menée est **descendante**, dérivée de la SADT (cf. partie 1, Ch. 1). Il y a décomposition de l'ensemble technique étudié par des emboîtements et des reconnaissances de fonctions. Cette approche sera précisée dans la partie 3 de cette thèse.
  - L'**approche matérielle** est utilisée dans le cas de certains constituants.
  - L'**approche séquentielle** a pour objectif la modélisation de l'évolution temporelle de l'activité du système (utilisation du Grafcet).

- Automatisme et Informatique Industrielle (AII). Privilégiant l'**aspect <systËme>**, l'enseignement proposé permet de décrire les relations entre le système et le milieu extérieur et entre les constituants du système. Il s'intéresse aux modèles qui décrivent l'évolution temporelle du fonctionnement.

- L’étude des systèmes de conversion de l’énergie électrique appelée dans certains documents “électrotechnique”. Elle concerne essentiellement la **production**, la **distribution** et l’**utilisation de l’énergie électrique** en mettant l’accent sur les puissances en jeu et la sécurité.

2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.

Les élèves de la section électrotechnique des Lycées d’Enseignement Général et Technologique ont fait l'objet de recherches au cours de l'année scolaire 91/92, dans le cadre d'un mémoire de Diplôme d'Études Approfondies de Didactique des Sciences (Calmettes, B., 1992).

Les élèves de Première sont issus de deux formations différentes :

- Les uns proviennent de Lycées Professionnels. C’est le cas d’environ un tiers de la promotion dans l'Académie de Toulouse. Titulaire d’un BEP, généralement en électrotechnique, ils sont placés dans une classe de Première d’adaptation. Ils reçoivent un enseignement dans des conditions aménagées avec effectifs réduits, approfondi dans certaines disciplines : français et mathématiques.
- Les autres viennent de la classe de Seconde option Techniques des Systèmes Automatisés des Lycées Techniques.

Ces groupes non distincts administrativement au niveau de la terminale (il n'y a pas de Terminale d'adaptation) sont en fait séparés, mis généralement dans des classes différentes par les chefs d'établissement afin d'obtenir une meilleure homogénéité en âges et en connaissances.

CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.

1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.

L'analyse de contenu est, selon Grawitz, M. (1993, p. 535), . L'analyse de contenu doit procéder selon des règles et des consignes qui permettent une reproductibilité, l'échange entre chercheurs et donc une "quasi" objectivité.

L'analyse de contenu se distingue d'une analyse documentaire simple par ses objectifs : manipulation de messages pour mettre à jour des indicateurs permettant de relever des éléments d'une réalité autre que celle portée par le message pour l'une, représentation condensée d'information pour stockage et information pour l'autre (Bardin, 1991, pp. 50/51).

L'analyse que nous proposons dans ce chapitre est qualitative, elle ne procède à aucune mesure.

Bardin, L. (1991, pp. 125/133) précise les trois pôles chronologiques définissant les différentes phases de l'analyse de contenu ; nous les présentons ici en relation avec notre recherche :

- La préanalyse (§ 2) comprend le choix des documents et l'élaboration d'indicateurs en fonction des hypothèses ;
- L'exploitation du matériel correspond à une description du corpus en fonction des indicateurs retenus (§ 3 : description ; § 4 : synthèse) ;
- Le traitement des résultats, par inférence (déduction en liaison avec d'autres propositions) et interprétation (recherche de signification) doit les rendre "parlants" (§ 5).

C'est autour de ces trois phases que nous construisons notre exposé.

Nous y ajoutons un quatrième élément. Il s'agit par l'étude de deux exemples particuliers de vérifier ou de moduler éventuellement les résultats précédemment obtenus (§6).

2 - Préanalyse.

2 - 1 - Les documents utilisés.

Nous nous intéressons au savoir institutionnel, c'est à dire au savoir à enseigner, aux méthodes d'enseignement et aux directives diverses qui apparaissent dans les documents que nous avons utilisés :

- programmes, référentiels, instructions et commentaires, circulaires relatives au recrutement des enseignants fournis par le Centre National de Documentation Pédagogique (CNDP) et le Ministère de l'Éducation Nationale (MEN) ;
- certaines circulaires de l'Inspection Pédagogique Régionale (IPR).

Nous avons recueilli l'ensemble des documents sur la période considérée. Les textes de référence sont ceux de 1967 à 1994. Nous y avons ajouté deux documents de 1961 afin d'expliciter la situation des enseignants avant 1967. Ils sont rassemblés en Annexe 1.

Des documents, relatifs aux seuls contenus à enseigner, portant sur les périodes 67/70 et 90/92 ont servi d'échantillon. Nous avons repéré un certain nombre d'items autour desquels il est possible de structurer l'exposé, en relation avec notre problématique.

Pourquoi 1967 ?

C'est en 1967 que les brevets de technicien (BT) qui sanctionnaient jusque là les études techniques secondaires sont transformés en **baccalauréat de technicien** (BTn) et s'ajoutent ainsi aux deux bacs "mathématiques et techniques" et "économie".
Mais 1967 est d'une façon générale importante pour l'enseignement. P. Pelpel et V. Troger (1993, pp. 174/177) relèvent son <symbolisme>.
Cette année-là, en effet, on peut noter un certain nombre de modifications importantes au sein du système d'enseignement technique et professionnel :
- Il y a
-
- Parallèlement, est décrétée la création des IUT, prévus initialement pour accueillir prioritairement les bacheliers techniques.
- C'est aussi l'année où, en raison de la prolongation effective de la scolarité à 16 ans, les concours d'entrée au CET sont supprimés.

La première session du baccalauréat de technicien se passe en 1969.
En 1969 encore, est institué un brevet professionnel (BP) de l'électrotechnique destiné aux titulaires de CAP ou de BEP pouvant justifier de 2 ou 3 années de pratiques professionnelles et de cours de perfectionnement (BO 45 du 27 11 69, pp. 3463/3465 - A1, S5, 1969, p. 2/6).
Toujours la même année, le principe de la mise en place des classes d'adaptation est adopté[1].

2 - 2 - Les indicateurs retenus.

[1] Circulaire du 5 mars 1969 : Dès maintenant, le principe a été retenu de la création d'une classe d'adaptation, dont les modalités sont déjà à l'étude, offrant la possibilité aux meilleurs élèves des sections préparant aux brevets d'études professionnelles de rejoindre le second cycle technique long après l'obtention de leur examen à la fin du second cycle court.

Nous avons repéré :

- des évolutions dans les dénominations des groupements disciplinaires, de la section, des disciplines ;
- des modifications dans les horaires dédiées aux disciplines ;
- des changements de finalités globales pour la section ;
- des évolutions dans les finalités et les contenus des disciplines : rôle de l'expérimental, place des modèles, savoirs, matériels utilisés ;
- des nuances dans la répartition des tâches et des contenus : qui s'occupe de quoi ?
- des variations dans les rapports avec les disciplines voisines : mathématique, mécanique, philosophie ;
- des créations de nouvelles procédures de recrutement des enseignants ;
- l'existence de nouveaux outils didactiques.

Nota :

Les extraits de textes nécessaires à l'argumentation sont référencés d'une part suivant leur source officielle, d'autre part suivant leur place dans l'annexe 1.

Afin de faciliter la lecture de l'exposé, ces extraits sont présentés en retrait et en simple interligne. Les passages ou les mots qui nous semblent particulièrement importants sont en **caractères gras**.

3 - Description systématique des textes institutionnels.

J. L. Loubet Del Bayle, 1989, p. 122

3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.

3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires".

En 1968 (MEN, arrêté du 31 07 67 - A1, S3, 1967, p. 3), les disciplines sont groupées en :

- "Enseignements littéraires": français, histoire - géographie, langues vivantes, éducation artistique,
- "Enseignements scientifiques" : mathématiques, mécanique, électricité - électronique, mesures - essais, chimie - optique, métallurgie,
- "Enseignements de Techniques Industrielles" : Dessin de construction, Technologie de construction, Technologie d'électricité et schémas - automatismes, TP de construction électrique.

En 1992 (BO 32 du 06 08 92, pp. 2226/2241 - A1, S23, 1992, p. 24), les disciplines sont groupées en :
- “matières dominantes de la spécialité” : Étude de constructions, Étude des STI, sciences physiques et physique appliquée ;
- “matières complémentaires de formation générale” : mathématiques, philosophie, langue vivante, EPS.

3 - 1 - 2 - de la section.

En 1969, elle se nommait "Électrotechnique" (BO du 11 12 69, pp. 3590, 3594 - A1, S5, 1969, p. 5) puis “F3, électrotechnique” en 1986 (MEN, Décret de création du baccalauréat technologique, p. 65 - A1, S17, 1986, p. 15) et "Sciences et Technologies Industrielles, spécialité Génie Électrotechnique " en 1992 (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, p. 28).

3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale.

On passe du baccalauréat de technicien électrotechnique en 1969 (BO 45 du 27 11 69, pp. 3463/3465 - A1, S5, 1969, p. 5) au baccalauréat technologique à partir de 1986 (MEN, Décret de création du baccalauréat technologique, p. 9 - A1, S17, 1986, p.2).

3 - 1 - 4 - des disciplines

Les enseignements correspondant à "Électricité et électronique" en 1968 (MEN arrêté du 31 07 67 - A1, S3, 1967, p. 3) deviennent "Sciences Physiques" en 1980 (MEN brochure 6363, p. 1 - A1, S11, 1980, p. 2) puis "Sciences Physiques et Physique Appliquée" en 1992 (BO 32 du 06 08 92, p. 2236 - A1, S23, 1992, p. 24)

Les enseignements de "Technologie d'électricité et Schémas - Automatismes ; TP de construction électrique" en 1968 (MEN arrêté du 31 07 67 - A1, S3, 1967, p. 3) deviennent "Études des systèmes techniques industriels : Automatique et informatique industrielle, Électrotechnique" en 1988 (Sup BO 18 du 12 05 88, p. 110 - A1, S19, 1988, p. 2).

3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.

3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.

Jusqu'en 1993/1994, en Terminale, les horaires/élève étaient de 5 h (cours) + 4 h (mesures et essais) par semaine (par exemple MEN, baccalauréat de technicien, 1982 - A1, S13, 1982, p. 13)
À partir de l'année scolaire 1994/1995, ils deviennent 3 h (cours) + 3 h (TP de mesures physiques) par semaine (BO spé 4 du 23 09 93, p. 17 - A1, S24, 1993, p. 19).
Remarque :
Pour l'enseignant qui bénéficie alors de la totalité des travaux par groupes, la présence en classe reste de 9 h.

3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.

En STI, on passe en horaire élève hebdomadaire de Technologie d'électricité et Schémas - Automatismes (4 h) et TP de construction électrique (8 h) en 1968 à Études des systèmes techniques industriels : Automatique et informatique industrielle (3 h TP) et Électrotechnique (2 h+ 7 h en groupe d'atelier). (Mêmes références que ci-dessus)

3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.

De 1967 à 1995, le diplôme à vocation de formation d'un technicien devient un diplôme à double finalité : technicien et passeport pour l'enseignement supérieur. Cette deuxième possibilité est de plus en plus affirmée.

(MEN, décret du 20 11 68 - A1, S4, 1968, p.2)

La loi d'orientation sur l'enseignement technologique en 1971 rappelle cette double finalité (BO 31 du 26 08 71, pp. 1987/1990 - A1, S7, 1971, pp. 2/4)

Les objectifs de formation professionnelle sont particulièrement décrits dans un texte de 1982. Ils donnent en même temps une idée de ce que représente le secteur de l'électrotechnique à cette époque-là. Ils orientent la formation vers non seulement la production mais aussi l'utilisation des matériels, abordant l'installation, la maintenance, la modification, etc.

> «Objectifs de formation […] Pour définir les orientations relatives à la formation professionnelle du bachelier F3, il convient de s'intéresser aux différents secteurs de l'activité économique concernés par l'électrotechnique sous ses différents aspects. L'industrie de l'électrotechnique recouvre, en particulier, cinq secteurs d'activités :
> - Une industrie de biens de consommation […] l'électroménager […]

- Une industrie de biens intermédiaires (composants électrotechniques) […]
- Une industrie de biens d'équipement […] Elle concerne des matériels et équipements de complexité diverses à caractère industriel ne faisant généralement pas l'objet de grandes séries […]
- Une industrie de montage et d'installation de biens d'équipements et de consommation […]
- Une industrie de maintenance et de dépannage des systèmes électriques […]

Faire référence aux différents secteurs de l'industrie électrique, c'est en fait évoquer *la production* mais aussi *l'utilisation* des différents biens avec ce que cela entraîne : installation, maintenance, dépannage, modification, amélioration, transformation…

L'aspect très important de l'utilisation doit occuper une large place dans l'enseignement au niveau du baccalauréat F3.

Le bachelier F3 doit être capable […] :

- De traduire en actions les décisions prises par l'ingénieur et le technicien supérieur […]
- D'étudier les dossiers techniques […] et les modifier si nécessaire
- De mettre en œuvre […]
- D'élaborer des plans d'exécution de travaux […]
- De réaliser des mesures et essais sur les machines et matériels électriques […]

» (MEN, baccalauréat de technicien, 1982 - A1, S13, 1982, pp. 11/12)

En 1986, le baccalauréat de technicien disparaît. Le baccalauréat technologique est mis en place.

«Le baccalauréat technologique est un diplôme national qui sanctionne une formation technologique du second degré. La possession du baccalauréat technologique confère le grade de bachelier. Elle atteste que ses titulaires sont aptes à exercer une activité de technicien.»

<Double_finalitÈ_du_baccalaurÈat_technologique_F3.>

La possession du baccalauréat […] confère à son titulaire :

- le grade de bachelier technique qui l'autorise à poursuivre des études supérieures généralement technologiques (BTS, DUT) ;
- la qualité de technicien ou toute autre appellation définissant un niveau équivalent, qui le situe dans la hiérarchie professionnelle lorsqu'il occupe un emploi.

Cette double finalité impose de réaliser un équilibre entre les enseignements des disciplines technologiques et ceux des disciplines générales.» (MEN, baccalauréat technologique, 1986 - A1, S17, 1986, pp. 2/15)

Les textes récents (1990, 1993) mettent l'accent sur la poursuite d'études.

<Les_ÈlËves_des_sections__F_peuvent_poursuivre_leurs_Ètudes_dans_leur_grande_majoritÈ_vers_:>

- un enseignement à finalité professionnelle (STS ou IUT) ;
- un enseignement supérieur long à finalité professionnelle différée en universités ou en grandes écoles.» (BO 10 du 09 03 90, p. 670 - A1, S21, 1990, p. 3)

«La voie technologique amène la plupart des diplômés à poursuivre leurs études au-delà du baccalauréat dans une formation supérieure courte (BTS ou DUT) menant directement à l'insertion professionnelle ; ce qui n'interdit pas une poursuite d'études dans des classes préparatoires spécifiques ainsi qu'à l'université où les DEUG ne sont

qu'une étape avant les études plus longues.» (BO 11 du 18 03 93, p. 1148 - A1, S24, 1993, p. 5)

«Mises à part les classes préparatoires qui leur sont réservées, les IUT constituent, pour les étudiants titulaires d'un baccalauréat technologique, la première étape de la voie la mieux adaptée pour poursuivre des études longues dans l'enseignement supérieur.» (BO 11 du 18 03 93, p. 1169 - A1, S24, 1993, p. 15)

3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.

3 - 4 - 1 - Finalités.

* En 1980, une double finalité est affirmée :

- une contribution à la formation scientifique de base,
- le développement de connaissances en électricité appliquée qui permettent aux élèves d'établir une relation étroite entre l'enseignement scientifique et l'enseignement technologique.

Le professeur doit mettre les élèves en contact avec un matériel de type industriel. L'aspect théorique est abordé avant l'aspect utilisation du matériel.

<Cet_enseignement_[Ö]_a_une_double_finalitÈ_:>
- d'une part, comme contribution à la **formation scientifique de base**.
- d'autre part, dans un domaine particulier qui est celui de l'électrotechnique, il veut développer des connaissances en électricité appliquée qui permettent aux élèves d'**établir une relation étroite entre l'enseignement scientifique et l'enseignement technologique**. Une coordination indispensable est assurée entre les enseignements scientifiques et les autres enseignements. Lorsqu'une question figure dans le programme d'"électricité-électronique" et dans le programme de technologie, l'aspect théorique est toujours présenté par le professeur de sciences physiques et abordé, en général, préalablement, en accord avec le professeur des enseignements technologiques.» (MEN, arrêté du 09 07 80 - A1, S11, 1980, p.3)

* Un texte de 1982 limite l'approche en "physique fondamentale"…

«Certaines questions de physique fondamentale comme la physique des semi-conducteurs, celle du rayonnement, […] sont d'un niveau trop élevé pour faire partie du programme d'examen […] Ces questions suscitent toutefois une curiosité légitime de la part des élèves, d'autant plus qu'elles sont couramment mises en œuvre dans nombre de réalisations technologiques […]. Dans ce cas, à la demande, le professeur de sciences physiques traite ces questions selon une pédagogie de vulgarisation rigoureuse et sobre.» (MEN, baccalauréat de technicien, 1982 - pp. 28/29 - A1, S13, 1982, p. 14)

* En 1986, un descriptif de méthode scientifique est donné, relativement à l'épreuve du baccalauréat. L'utilisation de modèles est affirmée.

«[L']épreuve permettra de vérifier que le candidat sait **appliquer les lois de la physique à l'analyse d'un problème pratique**, que les hypothèses et les diverses

données sont bien prises en compte pour l'établissement du raisonnement et l'utilisation éventuelle de modèles équivalents.» (MEN, baccalauréat technologique, 1986 - A1, S17, 1986, p. 13)

* En 1990, l'enseignement scientifique dans les sections F doit permettre aux élèves de développer des éléments de savoir leur permettant d'établir une relation étroite entre la Science, la réalité professionnelle et la vie courante.

«L'enseignement des sciences physiques dans les classes F […] se propose de donner aux élèves une formation scientifique leur permettant d'aborder dans les meilleures conditions des études supérieures à finalité professionnelle sans exclure un accès immédiat à la vie active[…]
L'enseignement scientifique dans les sections F doit donc donner aux élèves de ces sections des savoirs et le savoir-faire permettant d'établir une **relation étroite entre la Science, la réalité professionnelle et la vie courante**. Cet enseignement en outre met à profit la motivation professionnelle des élèves pour leur faire acquérir les notions scientifiques fondamentales garantes de la poursuite éventuelle d'études supérieures fécondes.» (BO 10 du 09 03 90, pp. 670/671 - A1, S21, 1990, p. 3)

3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental.

De toute époque, le rôle de l'expérimental est souvent affirmé comme fondamental pour les apprentissages des notions par les élèves.

* 1970 :

Une méthodologie est décrite à propos de l'épreuve de mesures et essais.

- principe de la manipulation et formules à utiliser,
- appareils et matériels utilisés,
- schéma de montage et de filerie à utiliser suivant le matériel proposé,
- conduite de l'essai et précautions,
- relevé des mesures et interprétation des résultats,
- dans certains cas, établissement d'une feuille de calcul,
- établissement d'un compte-rendu d'essai et conclusions.» (MEN, baccalauréat de technicien électrotechnique, arrêté du 13 02 69 - A1, S6, 1970, p.7)

* 1980 :

(MEN, arrêté du 09 07 80 - A1, S11, 1980).

* 1990 :

(MEN, arrêté du 09 07 80 - A1, S11, 1980, p.3)
«L'enseignement des sciences physiques : physique, chimie, physique appliquée et chimie appliquée, constitue un tout indissociable qui est dispensé de manière résolument expérimentale, tant à l'occasion d'expériences de cours, réalisées par le professeur devant sa classe, que de travaux pratiques réalisés individuellement par les élèves.» (BO 10 du 09 03 90, pp. 670/671 - A1, S21, 1990, p. 3)

* Mais c'est en 1992, dans un document de travail (IPR) que le rôle de l'expérimental est le plus précisément présenté (Circulaire IPR du 10 01 92 - A1, S23, 1992, pp. 4/8).
Les TP de PA viennent grâce à une approche du produit en complément aux approches système des STI.

> En développant les TP, les professeurs préparent rationnellement leurs élèves :
> - pour le long terme, à leur vie professionnelle,
> - pour le moyen terme, à leur examen final.»

Les avantages de l'expérimental en termes d'apprentissage pour les élèves sont examinés : mémorisation, motivation, compréhension, concrétisations.

> Toutes les analyses attestent de l'excellente mémorisation sur dix à vingt ans de ce que l'on a fait de ses propres mains, alors que l'oubli recouvre très vite les très provisoires "connaissances" délivrées par le seul discours. Cela condamne absolument la méthode qui consiste à faire travailler plus de deux élèves sur le même montage de TP […]
> Un enseignement pauvre sur le plan expérimental conduit à la formation d'ingénieurs peu attirés par les réalisations effectives […]
> La compréhension des élèves est améliorée par la manipulation réelle des objets et des appareils. Les exercices et problèmes deviennent des réalités concrètes et la mémorisation immédiate économise les fastidieuses répétitions. **Il n'existe pas de meilleure méthode pour acquérir en si peu de temps tant de connaissances pratiques, durables et utiles** […]»

Des pistes de travail proposées, remettant en cause les TP de type vérification de cours :

> - Rendre les TP dynamiques en réduisant la répétitivité des mesures (démarche collective, utilisation de l'ordinateur) ;
> - Éviter les TP vérifications démotivants et souvent décevants car on trouve au mieux ce que l'on attend.
> - Construire des TP à partir des sujets d'annales.
> - Amplifier l'intégration des TP à la progression annuelle en les faisant précéder de recherches, en les faisant suivre d'un travail, en proposant un exercice sur le thème traité.
> - Donner une part d'autonomie à l'élève qui manipule (choix de matériels, à réaliser un travail dont le thème est imposé, ou qui se trouve décrit dans un livre)
> - Demander aux élèves d'inventer des expériences pour illustrer telle ou telle loi.
> - Demander de commenter les expériences réussies, rien de tel que de commenter à autrui le fonctionnement dans ses moindres détails pour l'assimiler.»

Mais, dans le même document, la relation des TP avec l'évaluation est affirmée.

Introduits par des considérations motivantes, **les TP doivent déboucher sur des contrôles** […] Quelle que soit la forme retenue, elle doit permettre l'évaluation des capacités et des savoir-faire qu'on se propose de développer […]»

L'exigence de l'évaluation semble impliquer que deux protocoles seulement retiennent finalement l'attention :

- Un protocole avec des étapes ordonnées très strictement.

«**Les différentes séquences se déroulent selon un ordre chronologique immuable qui constitue un bel exemple de problème à tiroirs**. Pour l'élève, la réussite est nécessaire à chaque étape pour pouvoir être évalué équitablement sur ses différentes aptitudes. Comment peut-on évaluer l'aptitude d'un élève :

- à exploiter des résultats s'il n'a pas effectué des relevés ?
- à câbler un montage s'il ne part pas d'un schéma de montage avec appareils corrects ?
- à faire fonctionner correctement un montage s'il y a des fautes de câblage ?

(la recherche d'une panne est un exercice certes intéressant mais qui ne relève pas de savoir-faire expérimentaux, mais plutôt de la capacité C[1]) […]

- Un protocole où les mêmes étapes sont conçues comme des exercices indépendants. Des précisions sont données sur l'évaluation associée à une formulation du type "On donne", "On exige" rappelant les référentiels de TS.

Au lieu de progresser linéairement, on peut imaginer **trois exercices indépendants**. Pour évaluer un savoir-faire bien identifié, on a ainsi découpé une séance traditionnelle en trois parties :

- avant l'expérimentation : élaboration d'un protocole expérimental :

* Nature de l'activité : écrit. Savoir-faire expérimental A2a[1].

*** On donne :**

- un schéma de principe et un cahier des charges.

*** On exige :**

- de représenter le schéma de montage,
- de décrire la méthode de mesure à effectuer.

- pendant l'expérimentation : réalisation d'un travail en laboratoire :

* Nature de l'activité : manipulation de matériels, traduction des résultats par écrit. A2a[1].

* On donne :

- le schéma de montage avec les appareils.

* On exige :

- de câbler ce montage,
- de faire fonctionner ce montage, effectuer les réglages,

---

[1] La classification des capacités est la même en Sciences Physiques et en Physique Appliquée :

- Capacité A : Posséder des connaissances spécifiques aux sciences physiques.
  A1 : Connaissances scientifiques
  A2 : Connaissances de savoir-faire dans le domaine expérimental (A2a), dans le domaine théorique (A2b)
- Capacité B : Utiliser des connaissances et des savoir-faire non spécifiques aux sciences physiques.
- Capacité C : Pratiquer une démarche scientifique dans une situation voisine d'une situation connue (C1), dans une situation inconnue (C2), dans le domaine expérimental (Ca) ou dans le domaine théorique (Cb).

- de produire des résultats (mesures, oscillogrammes, caractéristiques).
- après l'expérimentation : exploitation de résultats expérimentaux :

* Nature de l'activité : écrit. Capacité Ca[1].
* On donne :
- un compte-rendu complet d'une manipulation.
* On exige :
- d'exploiter ces résultats expérimentaux, c'est à dire interpréter ces résultats pour expliquer un fonctionnement, proposer un modèle, confronter les résultats expérimentaux avec un modèle préalablement proposé ;
- critiquer les méthodes de mesure.»

Des informations sur les modes d'apprentissage sous-jacents aux propositions sont données.

3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner.

3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus.

Les comparaisons des programmes de 1968 et de 1995 permettent d'évaluer les changements dans les contenus à enseigner.

- Les évolutions les plus importantes ont eu lieu en électronique où une partie du programme a disparu : tubes à vide notamment. Les semi-conducteurs ne sont plus étudiés du point de vue de la physique. Une partie de ce qui était traité en classe de Terminale l'est maintenant en classe de Première. C'est le cas du transistor, des circuits logiques, de l'amplification.

- Remarquons aussi que, d'une étude de composants discrets, on est passé en partie, c'est le cas en micro-électronique seulement, à une étude de "boîtes noires" : portes logiques, amplificateurs intégrés. Ces "boîtes noires" éventuellement mises en place avec d'autres composants dans des circuits s'accommodent en fonctions : "oui", "non", "intégration", "amplification ", etc..

- Ont disparu des programmes l'étude des ponts de mesures.

- L'étude de certains éléments "techniques" des machines n'est plus effectuée : type d'enroulements, composition détaillée des machines, etc.

- Sont apparues les études des principes des convertisseurs continu - continu et continu - alternatif : hacheur et onduleur.

- Les mêmes machines sont étudiées mais de façons sensiblement différentes, envisagées dans le cadre de la variation de vitesse, couplées aux convertisseurs.

- Le concept de système commandé en chaîne fermée apparaît.

- Une partie de l'étude et des utilisations du triphasé est reportée dans les sections de technicien supérieur.

- Les transformations énergétiques (programme de 1990) ne sont plus étudiées en tant qu'entité indépendante ; certains chapitres en rapport avec l'énergie ont même disparu des programmes : c'est le cas de l'effet thermique et de l'effet photoélectrique.
Les phénomènes énergétiques apparaissent à travers les notions de rendement et de puissances (sur les machines). L'approche par l'"énergie" est souvent remplacée par celle relative à la "puissance", *a priori* parce qu'il s'agit d'une grandeur facilement accessible par la mesure[1].

- La partie se rapportant à l'étude globale de l'énergie électrique (production, distribution, conversion) est maintenant enseignée dans le cadre de l'"électrotechnique" dans les STI, en relation directe avec l'étude des systèmes techniques d'une façon générale et l'automatisation de ceux-ci plus précisément.

> «L'utilisation de l'énergie électrique dans les systèmes industriels de production et dans le domaine domestique prend une place de plus en plus grande. Les systèmes utilisés sont le plus souvent automatisés : c'est cette approche qui sera privilégiée. Le programme d'étude des systèmes de conversion de l'énergie électrique concerne essentiellement la production, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique […]
> L'étude des systèmes automatisés, en général, est faite dans le module . Le point de vue qui sera développé dans le programme suivant est celui de la gestion de l'énergie dans le système, caractéristique du champ technologique de l'électrotechnicien […]
> Tout système de conversion d'énergie est organisé pour agir sur les processeurs (moyens techniques qui réalisent les fonctions) caractéristiques des tâches dont l'enchaînement constitue le processus de réalisation.» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 54/55)

- l'utilisation plus importante de "modèles" : modèles électriques en général (Thévenin, Norton) et modèles électriques appliqués à des composants (bobines, générateurs) ou des machines (modèle de Kapp, modèle de Behn-Eschenburg) ; avec à noter cependant la disparition dans les programmes actuellement en cours (à partir de 1995) du modèle électrique du moteur asynchrone.

- Dans les textes, on perçoit la nécessité d'ancrer l'enseignement dans les lois de la physique et de l'électrotechnique, garante d'une validité permanente, même quand les engins évoluent.

- Les partie métallurgie et mécanique en Terminale, l'optique et la chimie en classe de première qui était enseignée en 1967 n'existent plus dans les programmes 93.

---

[1] On peut, pour avoir des compléments sur les différentes approches adoptées à propos de l'énergie et de la puissance, se reporter à l'article de B. Bouldoires (1991).

3 - 4 - 3 - 2 - “Notion”, “loi”, “principe” et “modèle” en PA.

Les contenus de physique appliquée aujourd’hui s’appuient sur des lois, des principes, des notions, des modèles et des simulations.
L’objectif est de ne pas subir les évolutions matérielles :

(BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, p. 75).»

On peut relever, par exemple :

Dessiner le schéma du montage de mesure, avec mention de la position des appareils de mesure (**le schéma de principe** et les conditions de mesure étant donnés […]
On utilise les connaissances acquises par les élèves à l'étude d'un pont de Wheastone fonctionnant en régime déséquilibré : **des résistances réglables peuvent simuler** des jauges de contraintes, ou des éléments thermosensibles […]
Conversion de tension continue en courant continu : **fonctionnement simplifié** du hacheur série en conduction ininterrompue […]
Principe de fonctionnement du hacheur série à transistor […]
P**rincipe** d’une alimentation à découpage isolée (de type fly-back) en régime de démagnétisation complète. […]
Établir les équations régissant le fonctionnement d’un hacheur série lorsque **la charge est modélisée par une force électromotrice et une inductance pure** […]
Si l'on utilise un dispositif de décharge automatique, **le fonctionnement de ce dernier n'a nullement à être expliqué dans le détail** : on se contente d'en indiquer la fonction globale qui consiste à mettre le condensateur étudié en court circuit lorsque la tension de celui-ci atteint un niveau déterminé […]
À propos des amplificateurs opérationnels, on profite du TP cours pour donner **quelques notions de base** concernant la rétroaction […]
Introduction à la commutation et aux fonctions logiques […]
Les notions d’impédance et de fém. complexes d'un dipôle, appliquées au **modèle** de Thévenin […]
Principes utilisés dans les multimètres numériques ; **notions sur les techniques** de mesure et les erreurs entachant les mesures.
Principe d’un appareil numérique à double rampe : il importe donc de montrer, en se limitant à un exemple, **le principe de fonctionnement** de l'un de ces appareils, même si en fait, plusieurs principes sont susceptibles d’être mis en œuvre […]
Notion de système commandé en chaîne fermée […]
Principe d’un système bouclé.
Modèle : représentation par un schéma fonctionnel unifilaire […]
Pour le **principe** du moteur synchrone, on **simplifie** encore le diagramme et on suppose nulle la résistance R d'une phase d'un enroulement statorique […]
Étude simplifiée du fonctionnement d’un moteur asynchrone […]» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 76/111)

3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.

3 - 5 - 1 - Finalités.

* Il est accordé, en 1967, une place importante à la conception, à la réalisation en équipe (d'élèves et d'enseignants), aux relations avec les données scientifiques et aux lois et principes de la technologie en rapport avec des documents et des équipements professionnels.

> «La technologie et le schéma devant être en liaison permanente avec les applications pratiques, tous les éléments intéressant **la réalisation** seront donnés au cours des stages à l'atelier. Cet enseignement fera **appel aux données scientifiques** étudiées en électrotechnique, mécanique, physique, etc. À la fin de sa scolarité, l'élève devra connaître les **lois et principes de base de la technologie** et du schéma lui permettant de comprendre et d'interpréter les documents techniques ou équipements industriels relatifs à sa profession […]
>
> On s'attachera davantage à dégager les grands principes illustrés d'application et d'expérimentations simples qu'à multiplier les sujets (**Comparaison des techniques utilisées**) […]
>
> Le but des travaux pratiques est d'apprendre à l'élève à **réaliser ses conceptions** et à vérifier ses hypothèses en s'appuyant sur les données scientifiques et technologiques déjà assimilées […]
>
> Le but recherché [en étude technologique du matériel vise à amener les élèves à **comprendre le fonctionnement** d'une machine, à effectuer des essais lui permettant de contrôler ses caractéristiques, à critiquer la conception dans le but de prévenir les incidents, ou à effectuer les réparations éventuelles […]
>
> Les notions de base de câblage et d'installation seront acquises à l'atelier sur des montages fictifs, dans le cas où les demandes d'équipement s'avéreraient insuffisantes. Les notions de réglage et dépannage seront données et expérimentées lors de la mise au point de ces équipements […]
>
> Le laboratoire d'automatisme d'électrotechnique sera situé au voisinage immédiat du même laboratoire de fabrication mécanique. Les horaires des élèves de ces deux disciplines devront concorder afin de **faciliter la formation d'équipes en vue de la réalisation en commun** d'ensembles nécessitant des connaissances technologiques complémentaires. Les projets de montages mécaniques seront confiés au professeur de la spécialité.» (MEN, baccalauréat de technicien, 1967 - A1, S3, 1967, pp. 40/46)

* En 1975, ces principes généraux sont repris et précisés dans une perspective d'évaluation au baccalauréat. Par exemple :

> [L'épreuve de technologie consiste en l'] **analyse** de constitution et de fonctionnement d'un matériel, ou appareil électrique, pouvant donner lieu à l'**établissement d'un projet simple** (et partiel éventuellement) de spécification technique précisant les conditions d'utilisation et de montage de celui-ci […]

En outre, il pourra être demandé aux candidats de pousser plus avant l'étude d'un organe du matériel ou appareil électrique proposé en justifiant la fonction de celui-ci, sa forme, son mode d'obtention.

[L'épreuve de construction est basée sur une] **réalisation** de tout ou partie d'un ensemble pouvant associer des opérations conduisant :
- Aux montages, démontages, réglages d'organes mécaniques ou électriques ;
- À l'implantation, sur support ou châssis, de tous matériels ou appareillages ;
- Au bobinage partiel d'une machine ;
- Au câblage des différents éléments ;
- À la recherche de dérangements pouvant exister dans un équipement.

L'épreuve devra exiger des candidats une certaine **initiative** ; elle sera réalisée d'après plan, schéma et notice.
Elle pourra s'étendre à une **analyse préparatoire à la mise en fabrication** à l'unité ou en moyenne série d'un élément de l'ensemble, la préférence devant aller à l'équipement électrique. (Exemples: précâblage d'un circuit électrique, bobinage d'un type de machine, etc.)

Les disciplines techniques doivent donner aux élèves une formation intellectuelle dynamique et développer en eux l'aptitude à la **recherche d'idées techniques**.» (MEN, baccalauréat de technicien, 1975 - A1, S9, 1975, pp. 11 ; 12 et p. 24)

* En 1989, on assiste à la mise en place de l'approche systémique dite aussi approche "système" (BO spé 1 du 06 04 89, pp. 39/43 - A1, S20, 1989, pp. 4/6).

«L'évolution des équipements industriels dans le domaine du génie électrique et les compétences attendues des techniciens conduisent à **privilégier une approche systémique des problèmes** : c'est le sens donné au nouveau programme. On peut d'une certaine manière parler d'un renversement de tendance pour passer de l'ancien au nouveau programme même si les contenus ne sont pas fondamentalement différents […]»

Elle s'accompagne de la disparition de la conception et de la réalisation. Un des acteurs dans la fabrication des contenus d'enseignement de STI nous indique clairement (A2, p. 73) : «Je voulais intervenir fermement sur ce point. On a considéré que la conception n'était pas accessible à un élève de Terminale. C'est peut-être une guerre d'écoles […] J'exprime ici plus que mon propre avis, j'essaie de me faire le porte-parole des gens qui ont écrit le programme dans un certain esprit auquel j'adhère. On a pensé que pour tout ce qui concerne la technologie, on ne pouvait pas concevoir quand on n'a pas une base fondamentale conséquente.»

La nouvelle approche proposée permet, semble-t-il, de dépasser l'inconvénient d'une étude simple de matériels qui évoluent très vite.

«- Jusqu'à présent la démarche consistait pour le professeur à étudier les différents constituants puis à les utiliser à la réalisation d'équipements et d'installations de complexité croissante au fur et à mesure de la progression des élèves. Cette approche présente l'**inconvénient d'être liée aux matériels qui évoluent très vite** et de ne pas

> favoriser le transfert de connaissances des élèves. Par ailleurs, compte tenu du niveau où se situent les enseignements du baccalauréat technologique F3 et du temps imparti, cette méthodologie de type "constructive" ne permet pas d'aboutir, dans bien des cas, à des réalisations représentatives de la réalité industrielle.»

Le point de départ est le besoin industriel. La méthodologie retenue est l'analyse descendante aboutissant, au niveau de la classe de terminale, à une étude fonctionnelle et éventuellement structurelle et matérielle sur des parties des systèmes techniques.
Les études sont menées à partir du besoin industriel, de l'objet technique.

> «- Il s'agit maintenant de **partir du besoin industriel** clairement exprimé […] [Le point de vue] de l'électrotechnicien sera la gestion de l'énergie électrique auquel se rattache sa compétence première. […] La méthodologie retenue sera celle de l'**analyse descendante**, dans le droit fil du programme de techniques des systèmes automatisés de la classe de seconde. Le niveau où se situe l'enseignement au regard de la complexité du système étudié conduira, dans de nombreux cas, à se limiter à une **étude fonctionnelle**. Ce ne sont que pour des cas qui relèvent de la spécificité de l'électrotechnique, et dans la mesure où les connaissances scientifiques et technologiques de l'élève le permettent, que l'on poursuivra l'étude jusqu'au niveau des **structures** qui supportent les fonctions […] La pérennité de l'organisation fonctionnelle est beaucoup plus grande que celle des constituants. Par ailleurs, une telle approche porteuse de concepts technologiques importants facilite le transfert des connaissances et constitue bien une formation technologique de base sur laquelle pourront s'appuyer des développements ultérieurs. Elle vise à l'acquisition de capacités d'analyse et de vérification du comportement d'un système plus qu'à des compétences en matière de conception, choix justifié par le niveau de l'enseignement correspondant. Il y a bien continuité entre les objectifs de la classe de seconde, ceux des première et terminale et le niveau technicien supérieur […]»

L'évaluation chez les élèves porte alors sur les capacités d'"analyse" et de "vérification" du comportement d'un ensemble (importance des activités de mesurage) au sein d'une pédagogie par objectifs définissant de façon précise les tâches attendues.

> - les caractéristiques fonctionnelles ;
> - les grandeurs physiques associées […]
> - les appareillages et structures particulières qu'il convient d'étudier ;
> - les compétences attendues des élèves au terme de leur formation, définies de manière opérationnelle […]»

Les approches fonctionnelle, matérielle et temporelle complètent l'approche descendante.

> «En ce qui concerne les aspects méthodologiques de l'étude, il convient d'insister sur la complémentarité des différentes approches fonctionnelle, matérielle et temporelle […] Il en sera de même pour les outils de description et d'analyse, aucun n'est universel et capable de rendre compte à lui seul de la totalité du système […]»

Les différents outils développés ne sont pas pour autant des objets d'enseignement pour eux-mêmes dans le programme d'électrotechnique ; ce sont avant tout des outils.

> «**Ces différents outils ne sont pas des objets d'enseignement pour eux-mêmes** dans le programme d'électrotechnique […] Il ne s'agit pas de former des spécialistes de la modélisation ou de la spécification de systèmes mais d'utiliser ces outils pour une présentation structurée […] Toute représentation d'un système réellement disponible dans la classe qui ne pourrait pas être validée par mesurage, doit être écartée.»

3 - 5 - 2 - Contenus en STI.

3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI.

1992. (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 43/73)

* Les méthodes proposées **en AII** associent l'observation, l'expérimentation, le raisonnement théorique…

> La mise en œuvre du programme implique d'associer étroitement :
> - L'**observation** d'automatismes industriels, nécessaire à la prise en compte des facteurs influant sur le fonctionnement d'un système automatisé.
> - L'**expérimentation** conduite sur tout ou partie d'un système automatisé, permettant pour chacune des fonctions caractéristiques d'un automatisme l'identification des paramètres fonctionnels.
> - Le **raisonnement théorique** qui permet l'exploitation rigoureuse et méthodique des phénomènes observés et des contraintes fonctionnelles.»

… sans perdre de vue la réalité.

> «L'enseignement de l'automatique et de l'informatique industrielle se doit d'**éviter les études théoriques sans relation avec le concret**. L'aptitude à poser et à résoudre un problème, la prise en compte des phénomènes physiques ne seront obtenus qu'en prenant d'abord la mesure des réalités.»

Les contenus sont pensés dans une continuité…

…comme déjà en 1988, au moment de la mise en place de l'approche systémique.

> «Les programmes des options technologiques […] sont appliqués depuis la rentrée 1987 dans l'ensemble des classes de seconde. Par ailleurs, les BTS ont été rénovés au cours des dernières années. Les modifications des programmes de première et terminale s'inscrivent donc naturellement dans le prolongement des enseignements de seconde et préparent les élèves à la poursuite d'études dans les domaines de la production, de la distribution et de l'utilisation de l'énergie électrique, au service de la

production et de la maintenance des biens d'équipement et des services.» (Sup BO 18 du 12 05 88, p. 110 - A1, S19, 1988, p. 2).

* L'enseignement d'**électrotechnique** doit être si possible en rapport avec le "concret", les phénomènes physiques ou des simulations.

«L'enseignement des systèmes à dominante électrotechnique doit éviter les études théoriques qui ne seraient pas en relation avec le concret, et où les modifications ne seraient pas confrontées aux phénomènes physiques mesurés sur le système réel dans son contexte dynamique. Dans le cas où l'on ne disposerait pas du système physique, on aura recours à des dossiers d'exemples industriels effectivement réalisés, ou des dispositifs de simulation industriels.»

* Pour l'**étude des systèmes techniques**, la méthode d'analyse descendante est décrite ainsi :

- La nature de la matière d'œuvre prise en compte par le procédé
- L'activité conduite par le processus sur la matière d'œuvre
- La valeur ajoutée par le système automatisé
- Les comptes rendus nécessaires aux dialogues Homme / Système et Inter-Systèmes
- L'énergie nécessaire aux processeurs pour conduire les activités que nécessite le procédé
- Les données de contrôle et de commande du système automatisé. Ces données (ou contraintes d'activités) peuvent concerner :
    * la qualité de l'énergie,
    * le réglage du procédé,
    * l'exploitation et la maintenance du système automatisé,
    * la configuration du processus.
- Les fonctions nécessaires au système automatisé pour un niveau de détail donné.
- Les relations entre les fonctions et les flux de matières d'œuvre, d'énergies et d'informations qui caractérisent ces relations […]

Tout système automatisé peut faire l'objet d'une première décomposition fonctionnelle faisant apparaître des sous-systèmes organisés pour mettre en évidence le point de vue .

L'approche matérielle permet :

- De caractériser ces constituants.
- De définir les adaptations nécessaires entre les constituants (interfaces, fixations, connexions, liaisons mécaniques).
- De représenter dans le langage symbolique normalisé adapté (dessin technique, schémas, plan d'implantation, repérage de connections) :
  . des solutions techniques mises en œuvre dans le système,
  . des modifications qui peuvent concerner des technologies à caractères mécanique, électrique, pneumatique, hydraulique.
- De comparer les constituants du système à des constituants similaires référencés dans les ressources documentaires de constructeurs ou banques de données.»

L'analyse séquentielle et temporelle des tâches permet de caractériser le processus du système en relation avec les contraintes temporelles, d'analyser l'état des variables dans le temps et également :

- De justifier les compromis entre les solutions techniques à caractères matériel et logiciel.
- De mettre en relation le programme d'action (commande) et la demande énergétique qui lui correspond.»

3 - 5 - 2 - 2 - "Système", "Notion", "fonction", "principe" et "modélisation" en STI.

Les mots "Système", "fonction", "notion", "principe", modélisation" sont très employés, marquant l'orientation de la discipline en 1995.
Quelques exemples :

Système de commande numérique.
Système automatisé.
Système de traitement de données.
Système de gestion de l'énergie.

Fonction
Fonction
Fonction
Fonction
Fonction

Fonction alimenter
Fonction distribuer
Fonction protéger les matériels

Fonctions logiques
Fonction comptage
Fonction retard ou temporisation

Notion de sensibilité des ordres aux entrées.
Notion de point de vue.
Notion de risque (sécurité et disponibilité).
Notion de temps réel.
Notion de réseau.
Notion de supraconducteur.

Principe du fonctionnement en temps réel.
Principe de commande des interrupteurs statiques.
Principe de la détection.

Modélisation des activités du système
Modélisation de l'évolution
Modélisation fonctionnelle
Modélisation du sous système de gestion d'énergie

3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines.

3 - 6 - 1 - Mesures et essais.

* De 1967 aux débuts des années 80, les contenus de ces séances sont à mettre en relation avec les lois et les phénomènes de l'électrotechnique. Les enseignants d'électricité et de technologie se partagent cette activité.

> «Les mesures et essais ont pour but : d'une part, de **rompre les élèves à l'emploi** des appareils de mesures, aux **essais** de machines et d'appareillages et, d'autre part, de concrétiser et d'approfondir les phénomènes divers et lois de l'électrotechnique. Ils constituent en cela le complément indispensable du cours théorique.
> Ils doivent également montrer qu'il est impossible de bien comprendre les phénomènes technologiques si on ne possède pas une connaissance aussi précise que possible des grandeurs physiques qui l'influencent.
> **Les mesures et essais sont intimement liés aux cours d'électrotechnique** […] Il est impossible de bien comprendre les phénomènes technologiques si on ne possède pas une connaissance aussi précise que possible des grandeurs physiques qui l'influencent […]
> Cet enseignement est confié au professeur d'électricité et au professeur chargé des enseignements technologiques […]» (MEN, baccalauréat de technicien, 1967 - A1, S3, 1967, p. 25)

En 1980, l'activité de "mesures et essais" devient "de laboratoire". Elle est reliée à la fois :

- à la formation scientifique : acquisition de connaissances, langage scientifique, expérimentation,
- aux enseignements technologiques : apprentissage de méthodes de mesurages transférables.

> «L'activité de "**mesures et essais de laboratoire**" est le fondement de la formation de l'esprit scientifique. Elle permet notamment l'acquisition de connaissances, de méthodes rationnelles de travail, l'aptitude à maîtriser le langage scientifique, la capacité de concevoir, de mettre en oeuvre, d'exploiter et de faire l'analyse critique d'une expérimentation, la prise de conscience des possibilités de généralisation et des limites de certaines méthodes et de certains modèles conduisant les élèves à une confiance lucide en ces modèles […]
> Cette activité peut conduire à **deux démarches : inductive et déductive** s'enrichissant mutuellement […]
> Un des buts est l'**apprentissage de méthodes** fondamentales **de mesurage** et l'utilisation rationnelle des appareils de mesurage professionnels. Il faut faire prendre conscience aux élèves que, si les modes opératoires peuvent être très variés, car adaptés aux conditions dans lesquelles ils s'effectuent, ils relèvent néanmoins d'un nombre limité de méthodes. Ainsi, on montre qu'il est toujours possible de se ramener à une méthode déterminée (directe ou indirecte, méthode de comparaison ou de zéro) et que cette démarche est absolument générale et exploitée tant pour les "mesures et essais" que pour les enseignements technologiques […]» (MEN, baccalauréat de technicien, 1980 - A1, S11, 1980, p. 5)

1983 : En rapport avec son évaluation, des indications sont données sur l'activité de "mesures et essais" : rapports avec des connaissances en physique appliquée et en technologie et l'expérimentation. Les mesures portent sur des composants et des montages d'électronique ; les essais se rapportent aux comportements des machines ou des systèmes industriels.

> - décider des mesures à faire pour obtenir les résultats demandés ;
> - choisir les appareils à partir de leurs caractéristiques fondamentales ;
> - définir les points tests où il pourra obtenir la grandeur ou l'image de la grandeur à mesurer ou à étudier.
>
> Elle se divise en deux épreuves :
> - une épreuve de mesure […] où l'on étudie un composant "sur table de laboratoire" ;
> - une épreuve d'essai […] où l'on étudie soit le comportement d'une machine, soit d'un système industriel […]
>
> [L'épreuve] a pour but de vérifier l'aptitude du candidat à :
> - concevoir, mettre en oeuvre, exploiter et faire l'analyse critique d'une expérimentation,
> - utiliser rationnellement des appareils de mesurage professionnels ;
> - choisir un appareil ;
> - exploiter les résultats obtenus […]
>
> [L'évaluation de l'épreuve] se fera sur :
> - la rigueur du raisonnement dans la préparation et la conduite de l'épreuve ;
> - l'exploitation et l'interprétation des résultats obtenus ;
> - éventuellement, l'établissement d'une feuille de calcul ;
> - la valeur d'utilisation du compte-rendu.» (MEN, 1983, baccalauréat de technicien - A1, S14, 1983, p. 7).

1989, 1990 : L'approche systémique est développée en STI. Les points de vue exprimés en PA et STI relativement aux finalités de l'activité de "mesures et essais" sont différents.

- Au niveau des STI, les séquences, à caractère industriel, sont construites uniquement autour des systèmes industriels. Elles visent, par mesurage, à valider des modèles.

> «[la partie des "mesures et essais" confiée au professeur de Génie électrique […] sera consacrée à des mesures et essais à **caractère industriel**, portant essentiellement sur les **systèmes** et sous-systèmes étudiés dans le programme d'électrotechnique. **Il ne s'agira pas de manipulations construites pour illustrer des phénomènes physiques** à des fins de vérifications des lois qui les gouvernent, mais d'une activité de **mesurage visant à valider les modèles** retenus, pour les systèmes étudiés, dans des conditions dynamiques de fonctionnement : même si les outils et méthodes de mesurage sont identiques […]» (BO spé 1 du 06 04 89, pp. 42/43 - A1, S20, 1989, p. 6)

- En PA, les séquences sont alors considérées comme des TP de Physique Appliquée.

> En effet :
> 1 - L'enseignement des sciences physiques en général, celui de la physique appliquée en particulier, ne peut être efficace que s'il s'appuie sur une partie expérimentale substantielle […]
> 2 - La diversité des publics nécessite la diversification des approches pédagogiques et la valorisation d'aptitudes variées chez les élèves […]» (Circulaire IPR du 17 12 90 - A1, S21, 1990, p. 47)

1992 : Les “mesures et essais” disparaissent. Les enseignements de “Mesures physiques” sont pris en charge uniquement par l’enseignant de PA. (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, p. 75)

> <Les_mesures_sont_effectuÈes_par_les_ÈlËves_dans_le_cadre_de_sÈances_hebdomadaires_de_trois_heures_qui_peuvent_prendre_la_forme_de_TP_cours.>

Les savoir-faire expérimentaux sont évalués "par écrit" à l'épreuve du baccalauréat pour laquelle 4 à 5 points doivent y être réservés (protocole expérimental, exploitations de mesures, de relevés d'oscillogrammes, etc.)[1]
Une continuité est mise en place de la première (apprentissages de méthodes de mesures) à la terminale (approfondissement autour de structures plus complexes).

> «Les apprentissages des méthodes de mesure se font sur des structures simples en première année. En seconde année, le champ d’application s’élargissant par l’étude de structures plus complexes et notamment des machines, il est procédé à un approfondissement des méthodes et des modes opératoires.»

3 - 6 - 2 - Mathématiques.

* Tôt, les "Mathématiques" marquent leur volonté d'être proche de la Physique Appliquée et des STI (a priori sources de motivation pour les élèves et d'unité culturelle) puisqu'en 1981, on relève :

> «Évitant de s'arrêter sur des questions purement spéculatives que les élèves rencontreront rarement dans les **applications des mathématiques à la mécanique, à l'électricité, aux sciences physiques en général, à la technologie et à l'économétrie**, le professeur insistera sur les notions fréquemment utilisées par ses collègues des disciplines scientifiques ou techniques […]

---

[1] On retrouve le même type d'évaluation en Sciences Physiques actuellement. Toutefois, remarquons que, historiquement, elles arrivent de deux façons différentes :
- en Sciences Physiques, il n'y avait pas d'évaluation de SFE. La nécessité de l'évaluation vient afin de marquer l'importance de l'expérimental dans cette discipline scientifique.
- en Physique Appliquée, les Mesures et Essais constituaient une épreuve expérimentale au baccalauréat. L'évaluation des savoir-faire expérimentaux (SFE) par écrit vient pour indiquer que, d'une part, la disparition de cette épreuve ne doit pas entraîner la disparition des travaux pratiques et que, d'autre part, il convient de donner une place importante à l'expérimental.
A partir de la session du baccalauréat 1997, les SFE de Sciences Physiques devraient être évalués au baccalauréat.

Comme autrefois, les élèves devront être rompus à la pratique du calcul numérique, si important pour la **formation de futurs techniciens**.» (MEN, baccalauréat de technicien, 1981 - A1, S12, 1981, p. 19)

Le même discours est repris en 1983 :

«Il est souhaitable que les exercices et thèmes d'étude soient adaptés à chaque classe et que le professeur de mathématiques s'enquière de situations de problèmes auprès de ses collègues physiciens ou techniciens […] **Dans l'enseignement technique, les mathématiques sont d'abord un instrument de travail**.»

Puis en 1989, avec une insistance sur la démarche scientifique :

«[Il s'agit de] donner aux élèves une formation conçue en fonction de la poursuite d'études supérieures dans le domaine des sciences et techniques ; [… d'] entraîner les élèves à la **pratique d'une démarche scientifique** en développant les capacités d'expérimentation, de raisonnement, d'imagination et d'analyse critique.»

En 1991, cette approche est développée et argumentée autour de l'idée de "poursuite d'études" nécessaire pour les titulaires du baccalauréat technologique.

«Pour répondre à l'**objectif national** de formation **d'un plus grand nombre de techniciens**, d'ingénieurs et d'enseignants ayant une **formation scientifique et technologique** solide, on a voulu poursuivre la politique d'ouverture des sections technologiques F, notamment dans les domaines de l'électricité, de l'électronique, […]

- Entraîner les élèves à la pratique d'une **démarche scientifique** en développant les capacités d'**expérimentation**, de **raisonnement**, d'**imagination** et d'**analyse critique**.
- Développer le travail personnel dans un cadre de résolution de problèmes.
- Développer les capacités d'organisation et de communication.
- Pour atteindre ces objectifs, rester dans un cadre théorique modeste mais exiger une meilleure solidité sur les points essentiels […]

<Deux_objectifs_essentiels_:>
- Entraîner les élèves à l'activité scientifique et promouvoir l'acquisition de méthodes : la classe de mathématiques est un lieu de découverte, d'exploitation de situations, de réflexion et de débat sur les démarches et les résultats, de synthèse de façon à dégager quelques idées et des méthodes essentielles.
- Développer les capacités de communication […]

- Les **représentations graphiques** : elles permettent de donner un contenu intuitif et concret aux objets mathématiques.
- Problèmes numériques : […] ils permettent d'entraîner les élèves à combiner l'expérimentation et le raisonnement […]
- Problèmes algorithmiques.
- Emploi des **calculatrices (programmable)**.
- Impact de **l'informatique** : exploitation de la lecture graphique sur écran […]

- Unité de la formation : l'**enseignement des mathématiques** est à **relier** à celui des **autres disciplines** sous deux aspects : **organisation concertée** (ordre des différentes parties du programme) et **étude de situations issues de ces disciplines**.
- **Formation scientifique** : Capacités d'expérimentation, de raisonnement, d'imagination, d'analyse critique. Doivent être menées de pair : formuler un problème, conjecturer un résultat, expérimenter sur des exemples, bâtir une démonstration, contrôler les résultats, évaluer leur pertinence…
- Raisonnement, vocabulaire et notations.» (BO spé 2 du 02 05 91, pp. 5/9 - A1, S22, 1991, pp. 19/21)

On retrouve l'idée de service de la discipline en fonction de la filière dans laquelle elle est enseignée dans les textes de 1994.

«Le temps consacré à cette partie du programme [Nombres complexes] doit être plus important dans les spécialités génie électronique et génie électrotechnique où une interprétation géométrique de quelques transformations complexes élémentaires est introduite en vue des applications en électronique […]
Le programme {d'analyse] ne comporte que des travaux pratiques sauf dans les spécialités génie électronique et génie électrotechnique où figure aussi une brève étude des suites $u_n = f(n)$ […]
Dans l'ensemble des travaux pratiques, on exploitera largement des situations issues de la géométrie, des sciences physiques et de la technologie […]
On pourra prendre des problèmes issus des sciences physiques, des techniques industrielles […]
En liaison avec l'enseignement des autres sciences et de la technologie, on pourra être amené à donner des applications au calcul d'autres grandeurs géométriques, mécaniques ou physiques.» (MEN, BOEN 8 du 07 07 94, pp. 14/34 - A1, S25, 1994, pp. 7/17)

3 - 6 - 3 - Mécanique.

Les contenus des enseignements de mécanique sont aménagés dans les programmes de 1992, orientés vers des préoccupations en relation avec l'électrotechnique. Par exemple :

Nota : Les parties cinématique, dynamique et énergétique aideront à une meilleure appréhension de l'étude des chaînes de conversion d'énergie dans les procédés de force motrice du domaine de l'électrotechnique.
La partie énergétique devra être traitée en complémentarité avec le programme de physique appliquée […]

En privilégiant l'analyse de mécanismes existants proches de l'électrotechnique, [la construction mécanique] développe la culture technologique et les possibilités de communication du bachelier de cette discipline […]

Actionneurs : moteurs électriques, vérins pneumatiques ou hydrauliques :
- Description et applications, en liaison avec les cours d'automatique, d'informatique industrielle et d'électrotechnique

- Caractéristiques principales (action mécanique développée, vitesse, etc.).» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 29/42)

3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.

3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.

Les matériels mis à la disposition des enseignants ont changé ; la variété et leur nombre augmentent dans le temps.

3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.

* En 1967 : Les ensembles proches des réalisations industrielles sont l'objet de mesurage.

(MEN, baccalauréat de technicien - A1, S3, 1967, p. 25/26)

Les appareils utilisés sont l'ampèremètre, le voltmètre, le wattmètre, le galvanomètre, l'oscilloscope cathodique.
Les composants étudiés en électronique sont la diode à vide, la diode à jonction, la triode, le thyratron, l'ignitron, le thyristor, les tubes photoélectriques, les transistors, etc.
Les machines étudiées en électrotechnique sont le transformateur, le moteur d'induction, l'alternateur, le moteur synchrone, la génératrice à courant continu, le moteur à courant continu.

* En 1982, un descriptif de l'équipement des laboratoires est fourni.

<Les_composants_mis_en_oeuvre_sont_notamment_:>
Différents types de diodes, transistors […], CIL (amplificateurs, circuit générateur d'impulsion), CI logiques […], capteurs, CAN et CNA […]
Le laboratoire d'électrotechnique doit nécessairement disposer des appareils suivants :
Voltmètres, ampèremètres, wattmètres, générateurs de signaux, oscillographe électronique, table traçante, ponts d'impédance, fréquencemètres, périodemètres, stroboscopes, dispositif de développement pour microprocesseurs, calculatrices programmables […]
En plus des machines classiques figurant au programme, la plate-forme doit disposer de convertisseurs alternatif-continu variable, de convertisseurs continu-continu (hacheurs) et d'onduleurs […]
Les matériels, les composants, les systèmes électriques à caractère industriel ne sauraient être étudiés sans l'exploitation systématique des documents constructeurs et des notices techniques.» (MEN, baccalauréat de technicien - A1, S13, 1982, pp. 20/21)

* De même en 1990 :

«Pour les montages d'électronique ou d'électronique de puissance, on n'utilise que des composants ou des sous-ensembles actuels, répandus sur le marché. On doit toujours

avoir pour règle d'insister particulièrement sur les concepts permanents d'électricité qui subsistent même quand la technologie évolue […]
Les composants mis en œuvre sont notamment :
Différents types de diodes, transistors […], CIL (amplificateurs, circuit générateur d'impulsion), CI logiques […], capteurs, CAN et CNA […]
Le laboratoire d'électrotechnique doit nécessairement disposer des appareils suivants :
Transformateurs, machines tournantes du programme et leurs alimentations : redresseurs commandés, hacheurs, onduleurs ; voltmètres, ampèremètres, wattmètres, générateurs de signaux, oscilloscopes, tables traçantes, capacimètres, inductancemètres, phasemètres, fréquencemètres, stroboscopes, analyseurs de spectres, dispositif de développement pour microprocesseurs, calculatrices programmables, micro-ordinateurs équipés de liaisons IEE 488.» (BO 10 du 08 03 90, pp. 689/690 - A1, S21, 1990, pp. 12/13).

* En 1992 :

Pour les montages d'électricité ou d'électronique, on n'utilise que des composants disponibles actuellement. Pour les machines électriques, la gamme de 0,4 à 1,5 kW est jugée suffisante pour illustrer leur fonctionnement en se prêtant mieux à l'expérimentation.

<Les_composants_mis_en_oeuvre_sont_notamment_:>
différents types de diodes, redresseurs commandés et leur système de commande, transistors divers […], CIL (amplificateurs opérationnels, régulateurs) […], des capteurs divers, des coupleurs optoélectroniques […]

Le laboratoire doit nécessairement disposer des appareils suivants :
Voltmètres RMS dont deux programmables, ampèremètres RMS dont deux programmables […], wattmètres, générateurs de signaux dont deux programmables, alimentations stabilisées dont deux exemplaires programmables, oscilloscopes dont quelques-uns à mémoire, tables traçantes, capacimètres, inductancemètres, phasemètres, fréquencemètres, stroboscopes, compte-tours, analyseurs de spectres, ordinateurs munis d'interfaces de saisie des données et pourvus de logiciels d'exploitation, ordinateurs munis de liaisons série et parallèle permettant de piloter des montages comprenant des machines électriques et leurs alimentations, transformateurs […], ensembles de machines tournantes pouvant être couplées deux à deux […], alimentations adaptées à ces machines : hacheurs, onduleurs et notamment onduleur à V/f = Cste.» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 75/76)

Les composants discrets (diodes, thyristors, transistors) sont associés quand c'est nécessaire à des dispositifs de commande dédiés, circuits intégrés (amplificateurs, logiques, etc.), capteurs et coupleurs divers.

3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.

On rappelle qu'en 1967, les matériels à utiliser doivent être les plus proches possible des matériels industriels (cf. § 2.5.1). En 1989, la mise en place de l'approche systémique conduit

à l'utilisation de systèmes "authentiques" ou "homothétiques", pensés dans une continuité d'apprentissage au Lycée.

(BO spé du 01 06 89, pp. 40 - A1, S20, 1989, p. 5)

Ces ensembles peuvent éventuellement être remplacés par des dossiers industriels effectifs ou des dispositifs de simulation industriels (cf. § 2.5.2.1)

3 - 7 - 2 - Les modes de financement.

* En 1971, la participation des employeurs au financement des premières formations technologiques et professionnelles par la taxe d'apprentissage est fixée à 0,5 % des salaires versés dans l'entreprise. (BO 31 du 26 08 71, pp. 1990/1993 - A1, S7, 1971, pp. 4/6).

* Actuellement, suite à la loi relative à la décentralisation, il est fait également appel aux Conseils Régionaux.

3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.

- Les contenus à enseigner sont, dans les années 70, essentiellement présentés sous forme d'une liste d'items de connaissances à développer.
- En 1989, au moment de la mise en place de l'approche systémique en STI, les contenus sont associés à des commentaires, des instructions méthodologiques. Les principes d'évaluation sont développées.
- En 1991, dans certaines académies, dont celle de Toulouse, un référentiel est distribué aux enseignants de PA. Établi à partir du programme, des commentaires et des listes de capacités à évaluer en Sciences Physiques, il présente pour chaque chapitre correspondant à un thème à étudier avec les élèves : le programme, les connaissances utiles des classes antérieures, les connaissances scientifiques, les savoir-faire expérimentaux et les savoir-faire théoriques.
- La mise en place des programmes actuellement en cours (1992) va dans le même sens.

En PA, les enseignants disposent maintenant de textes institutionnels et de diverses circulaires de l'IPR, dans lesquels sont développés en complément des listes de contenus à enseigner, des objectifs de référence et des indications sur la place de l'expérience.

En STI circulent des documents, en rapport avec les ensembles techniques à étudier, donnant des précisions techniques mais également des propositions de situations pédagogiques et expérimentales. Un réseau national de ressources a été créé afin de répondre aux besoins des enseignants sur ces sujets.

Des stages de formation continue accompagnent généralement (cela dépend des politiques de formations académiques) les modifications de programmes et/ou de matériels.

Les premiers textes étaient essentiellement axés sur les contenus disciplinaires. C'étaient des programmes. À travers leurs contenus, on peut affirmer qu'il y a prise en compte, par les institutions responsables, de la définition de savoirs à enseigner mais aussi des activités possibles dans la classe.

3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.

3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.

En PA, ce sont des capacités déclinées en savoirs, savoir-faire théoriques et expérimentaux qui sont à la base de l'évaluation.

> Savoir-faire expérimental : Le savoir-faire expérimental est acquis par apprentissage. Il concerne deux domaines :
> - l'utilisation de méthodes de mesure ;
> - la manipulation d'appareils de mesure (y compris leur choix).
>
> Savoir-faire théorique : Le savoir-faire théorique est acquis par apprentissage ; il concerne l'utilisation de méthodes de raisonnement ou de techniques de calcul.
> Exemples :
> - passage d'un modèle de Thévenin au modèle de Norton équivalent ;
> - application de la loi de Lenz […]» (Circulaire IPR du 03 09 90 - A1, S21, 1990, p. 22)

Par exemple (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 106/107) :

> <B.2.5._Moteur_asynchrone.>
> Moteur asynchrone triphasé. Organisation, vitesse de synchronisme, glissement, rendement.
> Étude simplifiée du fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé lorsque la fréquence de sa tension d'alimentation est constante : caractéristiques, démarrage.
> Justification qualitative de la condition U/f = Cte pour une alimentation par onduleur à fréquence variable.
>
> Connaissances antérieures utiles
> - Champs tournants
>
> Connaissances scientifiques.
> - Constitution d'une machine asynchrone. Différentes sortes de rotor.
> - Principe du fonctionnement. Glissement.
> - Bilan des puissances.
> - Rendement.
> - Caractéristiques I (n) et T(n) dans la partie utile.

- Moment du couple électromagnétique dans la partie utile (proportionnalité à g et V^2 : Ptr = Tem.Ωs)
- Alimentation d'un moteur asynchrone par un onduleur réalisant la condition U/f = Cte.

Savoir-faire expérimentaux
- Utiliser un moteur asynchrone pour obtenir un point de fonctionnement donné.
- Relever la partie utile de la caractéristique T(n).
- Réaliser les mesures pour déterminer le rendement d'un moteur asynchrone.
- Mesurer le glissement.
- Alimenter avec un onduleur en réalisant la condition U/f = Cste.

Savoir -faire théorique
- Déterminer le point de fonctionnement d'un groupe entraîné par un moteur asynchrone.
- Déterminer le rendement d'un moteur asynchrone.»

3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.

Dans les textes curriculaires, l'accent est mis sur les compétences (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 43/73) et il est notamment précisé :

Et pour chacun des sujets abordés, une description des compétences (relatives ici à des actions particulièrement simples sur les systèmes) à acquérir est fournie.

Par exemple :

- Identifier les opérateurs et fonctions élémentaires utilisés.
- Écrire les équations logiques associées.
- Valider le comportement réel du circuit ou du constituant en réponse à des entrées spécifiées […]»

- Rechercher les fonctions nécessaires
- Choisir le matériel adapté
- Mettre en œuvre le système d'exploitation terminale.»

Les listes de compétences font également l'objet d'une détermination au sein de commissions académiques. Par exemple, dans le document relatif au dossier des élèves de terminale de l'académie de Toulouse, on trouve associées à des déterminations en niveaux de maîtrise pour les élèves huit compétences plus générales dont, par exemple :

<Champs_de_compÈtences_:>
- Mise en œuvre et pilotage d'un système automatisé dans le respect des règles de sécurité et analyse des relations PO/PC/opérateur pour les diverses situations de fonctionnement […]»
(dossier élève, Académie de Toulouse, 1995)

3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.

3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.

* En 1961 (MEN, fascicule de documentation administrative, pp. 40 et 56/71 - A1, S2, 1961, pp. 1/6), il existe deux corps d'enseignant : les professeurs techniques adjoints et les titulaires du Capet.
- Les professeurs techniques adjoints (PTA) sont recrutés parmi des candidats justifiant de cinq années d'activité professionnelle.
- Le recrutement des enseignants au niveau du Capet est effectué parmi des candidats titulaires d'une licence ou diplômés d'école d'ingénieur. La section "physique" comporte une épreuve de physique et une épreuve de chimie ou d'électrotechnique.

* En 1970, la section Physique du Capet est supprimée. C'est le Capes de Sciences Physiques qui fournira les enseignants pour cette discipline dans l'enseignement technique. (BO 41 du 29 10 70, pp. 2948/2949 - A1, S6, 1970, p. 10). La section Sciences Physiques du Capes comprend alors deux options : Physique et Chimie, Physique et électricité appliquée.

* Un cycle préparatoire au Capet est mis en place en 1986 avec des stagiaires recrutés au niveau des STS ou des IUT. La scolarité dure deux ans.

* En 1991, les sections et les options du Capet sont réorganisées (BO spé 6 du 11 07 91, pp. 14/21 et 46/55 - A1, S22, 1991, pp. 34/42).
La section Génie Électrique comprend trois options : électronique et automatique, électrotechnique et énergie, informatique et télématique.
La préparation est faite en IUFM, après une licence EEA ou génie électrique. P. Pelpel et V. Troger (1993) remarquent fort justement que

Le stage en entreprise[1], inclus dans la formation, lié à un projet pédagogique, objet d'un travail de préparation, d'analyse et d'exploitation, constitue souvent, pour les formés, un premier (et le seul s'ils n'enseignent pas en STS) contact approfondi, avec le milieu professionnel.

3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.

[1] Selon P. Pelpel et V. Troger (1993), «Au moment où le niveau de recrutement et les structures de formation des enseignants tendent à devenir uniformes, le stage professionnel marque la spécificité de l'enseignement technologique et professionnel et contribue à constituer l'identité des enseignants.»

* En 1961, l'enseignement de l'électricité est donné par des professeurs du technique, titulaires d'un Capet (cf. ci-dessus), ou par des PTA issus du milieu industriel.

* L'agrégation de Sciences Physiques est aménagée en 1968 (MEN, baccalauréat de technicien, 1968 - A1, S4, 1968, pp. 5/9). Il existe trois options dont une de Physique Appliquée. Les enseignants agrégés sont professeurs en STS ou en IUT.

* On a relevé ci-dessus la création du Capes de Sciences Physiques option Physique et électricité appliquée en 1970. La première session a permis en 1971 de recruter 23 professeurs stagiaires (MEN, rapport de jury du Capes de Sciences Physiques option physique et électricité appliquée, 1971 - A1, S7, 1971, p. 10).

* Le recrutement étant très progressif, un nombre important d'enseignants de Sciences Physiques vont se recycler, avec le soutien de stages de formation continue mis en place dans les académies, en professeurs de Physique Appliquée de Lycée d'Enseignement Général et Technologique.

* En 1991 est créée la section de Capes "Physique et électricité appliquée" distincte de la section Physique et Chimie (BO spé 6 du 11 07 91, pp. 7/8 - A1, S22, 1991, pp. 32/33)

* Les préparations aux concours se font maintenant en Université et à l'IUFM, après une licence EEA généralement.

4 - Synthèse des investigations.

	1967/1968	1982/1983
Finalité sociale	Baccalauréat de technicien (visée professionnelle) Série F3 : électrotechnique	Série F3 : électrotechnique Double finalité du baccalauréat de technicien : - poursuite des études, - qualité de technicien.
Remarques : "Physique Appliquée"	Électricité et électronique. L'enseignement est généralement fait par des enseignants du technique. Bac : doit avoir pour support des réalités professionnelles.	Sciences physiques L'enseignement est fait par un professeur de sciences physiques ou de physique appliquée. Bac : doit permettre d'appliquer les lois de la physique à l'analyse d'un problème pratique. Double finalité : formation scientifique (expériences) et applications de l'électricité (matériel industriel). De la théorie (sciences) vers la pratique (technologie).
Contenus disciplinaires et directives diverses en "Physique Appliquée"	Mécanique, métallurgie Machines. Réseaux de transport. Électronique des composants simples (tubes à vide par exemple). Fonctions des composants. Connaissance des phénomènes. Mesures et essais proches des réalisations industrielles.	Vibrations et propagation. Machines. Circuits électriques et électromagnétiques. Modèles de Thévenin et de Norton. Électronique de puissance. "Mesures et essais" fondement de l'esprit scientifique. (partagés entre enseignants de physique et de génie électrique). Travail sur documents (CDI) et notices industrielles.
Remarques : "STI électricité"	Liaison permanente avec les applications pratiques en relation avec la profession. Comprendre les documents techniques et les équipements industriels. Création, conception, réalisation, fabrication. Projet.	Applications pratiques et réalisations professionnelles. Caractère "industriel" des travaux. Conception, réalisation, fabrication Projet.
Contenus disciplinaires et directives en "STI électricité"	Techno d'électricité et Schémas - Automatismes TP de construction électrique Production, transport, distribution et utilisation de l'énergie électrique. Thermique. Sécurité et prévention.	Idem et Asservissement, commande et contrôle. Thème "professionnel" comme association de fonctions (À quoi cela sert-il ?) et de structures (réalisations matérielles).

Remarques	Pour un maximum d'efficacité, la liaison entre les différentes disciplines est une nécessité.	Il est fait état d'un équilibre nécessaire entre disciplines technologiques et générales, d'une liaison (concertation) entre enseignements scientifiques et technologiques aboutissant à une vision globale des problèmes.

	1989/1990	1993 (pour 1995)
Finalité sociale	Baccalauréat technologique (1986) Série F3 : électrotechnique. Double finalité (mais avec accent sur la poursuite des études).	Baccalauréat technologique. Série STI, spécialité "Génie Électrotechnique" La plupart des élèves poursuivent des études post-bac en STS, IUT, CPGE, à l'Université.
Remarques : "Physique Appliquée"	Sciences Physiques. Connaissances en physique. Raisonnement scientifique. Importance de l'expérimental. Pas de physique "fondamentale". Montages "didactiques" en électronique de puissance et documents constructeurs. Utilisation des grilles de capacités.	Sciences Physiques et Physique Appliquée. Caractère expérimental "fort" (en cours, en TP-cours, en TP, circulaires, stages de formation dans quelques académies). Banc d'essai didactique automatisé (ExAO). TP (laboratoire) de Mesures Physiques, effectués avec le seul enseignant de Physique Appliquée, support de la Physique Appliquée. Programmes accompagnés de référentiels. Forte diminution horaire/élève : 5+(4) à 3+(3)
Contenus disciplinaires et directives diverses en "Physique Appliquée"	Énergétique. Optique et acoustique. Électronique pour l'électronique de puissance. Électrotechnique. Électronique de puissance. Couplage alimentation/machine. Modèles.	Électronique pour l'électronique de puissance (ampli op'). Électrotechnique. Électronique de puissance. Couplage alimentation/machine. Système commandé en chaîne fermée. Régulation et commande.
Remarques : "STI électricité"	Approche systémique pour éviter les écueils dus aux évolutions matérielles et se rapprocher des compétences attendues chez un technicien. Approche des ensembles techniques par une analyse descendante. Reconnaissance et agencement de fonctions. Modélisation fonctionnelle. Régulation et asservissement. Le programme présente pour chaque item : fonction, grandeur physique, les appareils de mesurage associés, les compétences attendues. Matériels didactiques à caractère homothétique avec les matériels industriels. Importance des activités de mesurages.	
Contenus disciplinaires en "STI électricité"	Automatisation des systèmes. Analyse descendante. Analyse fonctionnelle. Description des fonctionnements. Production, transport, distribution, conversion de l'énergie électrique.	

Remarques	Disparition de l'épreuve de "Mesures et Essais" mais les TP correspondant perdurent. En STI, les activités menées ont un caractère industriel et ne doivent pas aboutir à la validation de lois mais à des activités de mesurages validant des modèles. En PA, il s'agit d'insister sur les concepts d'électricité permanents (même quand la technologie évolue).	Existence des CPC qui concourent à la mise en place des référentiels des activités professionnelles et à l'élaboration et à l'actualisation des diplômes. Les enseignants suivent des formations universitaires en licence avant la préparation et la formation (Université, IUFM).

5 - Interprétations.

5 - 1 - Présentation.

5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.

Malgré la durée relativement courte[1] de la période sur laquelle nous avons fait porter notre étude, on peut à la lecture du paragraphe précédent, d'ores et déjà noter le nombre important de modifications dans les textes retenus.

On retrouve ici une des observations faites dans un rapport du Lirest (1991) : «Une caractéristique importante des disciplines technologiques, dans la formation professionnelle, technique et générale, est leur variabilité ou même leur instabilité sous la pression des évolutions techniques, scientifiques et économiques (pour la formation professionnelle) ou des modes idéologiques et politiques (pour l'éducation générale)…»
De même, Guy Cruz (1992) dans un rapport INRP indique :
«Les situations et pratiques sociales de référence confèrent aux enseignements technologiques des caractéristiques spécifiques : référence au travail, évolution rapide des technologies et organisations productives, nature particulière des objets d'apprentissage, rapport épistémologique au réel et à la connaissance non réductible à la relation savante.»

5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.

Il y a eu au cours des 28 dernières années des changements, des évolutions dans les contenus curriculaires correspondant à l'enseignement de "l'électrotechnique" dans la classe de ce qui est maintenant la Terminale de Lycée Technologique menant au baccalauréat Sciences et Technologies Industrielles option Génie Électrotechnique.

Celles-ci peuvent être interprétées à partir des grandes lignes suivantes :

- les changements politiques, sociaux et d'une façon plus générale, les changements du "monde du travail" et des pratiques professionnelles.
C'est ainsi que l'on peut analyser les modifications dans les finalités du baccalauréat qui d'un diplôme professionnel est passé à un diplôme-passeport pour l'enseignement supérieur.
- l'évolution des matériels de l'électrotechnique et de leurs modes d'investigation.
- de nouvelles procédures institutionnelles dans les écritures des éléments curriculaires.

---

[1] Les études que nous avons déjà évoquées portent sur une durée supérieure à un siècle. C'est le cas de celles de V. Isambert-Jamati (1990), de A. Chervel (1988), de P. Pelpel et V. Troger (1993)

5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.

Deux grandes étapes, en ce qui concerne les filières de l'enseignement technique, allant dans le même sens, marquent ces 25 dernières années. On y retrouve l'idée d'une évolution générale de l'enseignement technique qui devient technologique.
Dans le temps, les objectifs de cet enseignement et des disciplines qui le constituent se modifient.

5 - 2 - 1 - Dans les années 60.

Comme le note P. Pelpel et V. Troger (1993, pp. 250/255), on trouve dans les entreprises des cloisonnements, des organisations très bureaucratiques, une Cette organisation n’est pas sans conséquence et selon les mêmes auteurs,

Les entreprises réclament notamment des personnels au niveau "techniciens" (contremaîtres, agents de maîtrise, chefs de bureau ou de section d'atelier).

L'enseignement technique et professionnel est également structuré de façon très rigide : formation d'ouvriers spécialisés au CET, formation de techniciens au Lycée Technique et formations d'ingénieurs pour les élèves ayant obtenu un baccalauréat "mathématiques et techniques". C'est l'époque des sections de techniciens supérieurs (1962), des centres de formation des professeurs techniques adjoints (1965), des Instituts Universitaires de Technologie (1966), des Brevets d'Enseignements Professionnels (BEP) et du Baccalauréat de Technicien (1967).

Les classes de première d'adaptation pour les élèves titulaires d'un BEP, créées en 1969, modifient cette structure, créant un pont horizontal entre deux lignes de formation verticales au LEP et au LT et nécessitant des aménagements en termes d’organisation des enseignements.

L'électrotechnique est enseignée par des professeurs parmi lesquels on retrouve très souvent d'anciens acteurs du milieu industriel recrutés sur des critères prenant en compte cette expérience.

L’objectif final est la connaissance des lois et des principes de la technologie, des techniques. Les enseignements, au niveau du baccalauréat de technicien, sont finalisés par la professionnalisation et donc orientés, sur des matériels industriels, vers des savoir-faire permettant *a priori* de rendre les élèves capables d'une efficacité immédiate. Les contenus sont alors liés à la conception de petits ensembles, à la fabrication, à la réalisation en relation avec des pratiques professionnelles affirmées.

5 - 2 - 2 - Dans les années 70.

Dans les années 70, on observe qu'une certaine restructuration dans les entreprises nécessitée par les modifications matérielles liées à la compétitivité s'avère nécessaire. Une des conséquences est la nécessité de mobilité sociale en leur sein et une augmentation souhaitée des capacités des groupes sociaux correspondants aux techniciens. Le système de production connaît alors quelques difficultés d'adaptation. La cause principale est attribuée à une carence du système de formation.

Le système éducatif recherche à travers des références scientifiques à dépasser ces problèmes. La technique et les éléments de pratiques professionnelles perçus en classe s'articulent alors de façon profonde avec la science. C'est cette dernière qui fixe, selon les textes, l'articulation générale des activités dans un sens bien précis : des connaissances scientifiques vers les applications "pratiques".
Par exemple, relativement à un circuit électrique à réaliser, les différentes étapes sont les suivantes :
- des lois de la physique et des composants à la construction des schémas et circuits, première étape de la conception.
- du schéma à la conception matérielle de l'ensemble (choix et agencement des composants "réels", construction d'un typon de circuit imprimé, résolutions de problèmes de câblage) ;
- réalisation de l'ensemble (prototype) ;
- tests et mesures.

Ceci entraîne au niveau des organisations de l'enseignement technique un premier mouvement avec, au niveau qui nous intéresse, la "division" de l'enseignement "électronique-électricité-électrotechnique" en deux parties, chacune sous la responsabilité d'un enseignant. L'un est de formation plutôt scientifique et l'autre de formation plutôt technique. On retrouve ici la classique dichotomie science / technique. Il y a disparition du Capet "physique" et création du Capes de sciences physiques option physique et électricité appliquée.
Les liaisons entre les deux disciplines scolaires sont alors souhaitées importantes et il est possible au vu des matériels industriels, des nécessités et des contraintes en matière de savoirs théoriques et de savoir-faire de constituer des ensembles d'études transversaux.
Une partie des enseignements (mesures et essais) est également distribuée entre les deux enseignants dans une classe.

Pour F. Canonge et R. Ducel (1969, 1975, pp. 134/138, pp. 217/223), la nécessaire référence aux sciences est particulièrement affirmée : «Le moment viendra où l'enseignement de la technologie reposera en grande partie sur l'exécution et l'interprétation d'expériences bien choisies, où le professeur technique devra être un expérimentateur compétent. Le progrès

va dans le sens de l'enseignement expérimental contre le dogmatisme scolaire […] L'exécution du travail elle-même peut être conçue comme la vérification d'une hypothèse. La gamme d'usinage, la méthode d'exécution, la suite des dispositions à prendre constituent, comme l'hypothèse, une prévision […] Ainsi la méthode expérimentale, l'esprit de recherche, l'esprit scientifique peuvent imprégner tout l'enseignement des techniques […] La formation de l'esprit comporte l'acquisition par l'exercice, par l'apprentissage dirions-nous, de qualités d'esprit telles que l'objectivité, la précision, l'esprit critique ou, si l'on préfère, les qualités qui font l'esprit scientifique…»

L'articulation entre "science" et "technique" est également l'objet de discussions de la part d'Y. Deforge (1970, pp. 71/73) : «C'est avec quelque apparence de raison qu'un scientifique fera remarquer que la technique évoluant vers la science et les méthodes de la science s'affirmant de plus en plus, il s'ensuit que la méthode scientifique est la clé de tout accès au monde technique […] Il s'agit de trouver ce qui rassemble et unit. Ce ne peut être que les lois physiques partout sous-jacentes.»

Pour autant, il ne doit pas y avoir, selon cet auteur, exclusivité et prépondérance de la science sur la technique dans les activités en classe. Il y a unité et c'est par la méthode expérimentale, développée dans un "cycle complet" que celle-ci s'affirme.

«… En cultivant exclusivement un enchaînement d'opérations mentales qui conduit à la maîtrise d'une méthode unique, ne limite-t-on pas les perspectives et, de ce fait, les possibilités de développement et de compréhension de l'élève ? […] Le parcours du cycle complet de la méthode expérimentale devrait réconcilier les deux attitudes puisqu'il impose d'aller du concret à l'abstrait et de l'abstrait au concret, ou encore du singulier à l'universel par une opération inductive et de l'universel au singulier par une opération déductive.

Les lois simples, […] le beau phénomène bien pur que l'on étudie à loisir, tout cela est nécessaire mais n'est pas suffisant pour constituer une propédeutique à la compréhension du monde technique et à la création technique.»

Dans la réalité des travaux dans les entreprises, le chemin ne peut être absolument orienté, même dans un processus de conception.

Si le projet est avant tout fonctionnel, les schémas et les circuits sont bâtis sur des connaissances techniques des composants, sur la nécessité de circuits annexes (aide à la commutation par exemple) tout autant que sur des lois physiques amenant des calculs de courants, de tensions et d'énergies mises en jeu. Les ensembles réels sont conçus en fonction d'un environnement technique : présence de ventilateurs, existence de risques divers reliés à des éléments tels que l'eau ou la poussière, etc., mais aussi économique et social.

Les rapports enseignant-élève tout autant que les rapports institutionnels au savoir semblent reproduire des séparations arbitraires : l'ingénieur conçoit et l'ouvrier réalise ; la science dit, la technique fait.

D'une façon plus générale, peut-être peut-on voir durant cette période la marque d'une sorte de "scientifisation" de l'enseignement. C'est également à ce moment-là qu'est mis en place un enseignement des Sciences Physiques en Collège.

5 - 2 - 3 - Dans les années 80.

5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.

Le chômage touche de plus en plus de jeunes, formés ou non formés. La société, pour protéger les jeunes, met en place des structures d'accueil de plus longues durées, des formules de stages, etc.

Dans le même temps, on assiste à la suite de diverses recommandations : Conseil de l'Europe, propositions L. Legrand, A. Prost (1984), rapport Copret (1986) à un changement dans les finalités de l'enseignement et à des modifications importantes dans la structure du système éducatif. Il est question notamment de développer une culture scientifique et technique large.

L'enseignement secondaire est aménagé. La mise en place d'une classe de seconde de détermination est suivie de changements au niveau des classes de première et de terminale. L'enseignement général est réorganisé : trois sections dans la série A, création de la première scientifique.
Les objectifs fixés visent à rééquilibrer les formations et à permettre aux élèves des poursuites d'études post-baccalauréat dont celles en STS.

> - d'assurer un recrutement plus large dans les différentes filières sans privilégier telle ou telle série de baccalauréat ;
> - de voir davantage d'élèves accéder aux études supérieures scientifiques ou technologiques […]
>
> Le développement des sections de technicien supérieur sera poursuivi. Il conviendra en particulier de veiller […] au développement des sections correspondant à des secteurs en expansion tels que l'informatique, l'électronique et la maintenance.» (BO du 21 01 82, pp. 246/252 - A1, S13, 1982, pp. 2/10)

Un enseignement technologique est mis en place dans la filière d'enseignement général. sous forme d'option TSA (Techniques des Systèmes Automatisés). Il a notamment pour objectifs de :

- contribuer à l'introduction de la technologie dans la culture,
- développer un accroissement de la sensibilité entre savoir et faire, une référence aux finalités sociales et économiques.
- proposer d'améliorer l'information des élèves dans la perspective de leur orientation future, de manière à ce que le secteur de l'enseignement technologique ne soit plus pour eux une zone d'ombre et/ou d'appréhension (cf. Pelpel, P. et Troger, V., 1993).

Il s'agit également de créer, par des approches nouvelles des phénomènes techniques, les conditions permettant d'augmenter les flux d'élèves dans les seconds cycles technologiques, techniques et professionnels.

La filière électronique est alors notamment mise en avant entraînant la transformation de certaines classes de section électrotechnique en classes de section électronique.

(MEN, RLR V, vol. 2, 520/1, pp. 36/47 - A1, S15, 1984, p. 4)

Cette époque est marquée par le passage des Lycées d'Enseignement Professionnel aux Lycées Professionnels, la transformation des Lycées Techniques en Lycées d'Enseignement Général et Technologique, la création des baccalauréats professionnels, la transformation des baccalauréats de technicien en baccalauréats technologiques (1985/1986).
La rentrée 87/88 est marquée par la poursuite d'actions visant à augmenter les moyens d'accueillir plus de jeunes et de les amener avec succès au baccalauréat : plan 80 % d'une classe d'âge en l'an 2000 au niveau du baccalauréat. (MEN, RLR, 523/0, pp. 51/52 - A1, S15, 1984, p. 8).

En collège, l'enseignement des Sciences Physiques est supprimé en classes de sixième et de cinquième. Un enseignement de technologie y est mis en place (cf. 1ère partie, chap. 2) [1]. Les rapports à l'école entre IG de Sciences Physiques et de Technologie sont alors houleux [2].

---

[1] Retournement de situation si on se souvient que dans les années 70, la technologie se référait à la pratique scientifique. Rappelons ce qu'écrivait le Recteur Capelle (préface au livre de Y. Deforge (1970)) : «[A propos de la pédagogie de l'enseignement technique dans l'organisation d'un cycle moyen polyvalent et autonome, conçu pour l'observation et l'orientation des élèves] Il s'agissait […] d'enseigner à appréhender la matière et à aborder, par voie expérimentale, la méthodologie de sa transformation non pas dans un <esprit_de_production> comme pour l'enseignement technique traditionnel, mais avec une <attitude_de_physicien>.
Ainsi conçue, la technologie devient une porte d'accès aux sciences expérimentales.
[…] La technologie des classes de quatrième et de troisième de l'enseignement général s'adresse à des élèves qui ne répugnent pas à l'abstraction et même qu'il convient de conduire jusqu'à l'abstraction, à partir d'une exploitation convenable de l'expérience.»

[2] Un article de P. Testard-Vaillant (1992) fait état des tensions existentielles entre les deux disciplines à l'école mais aussi dans la société.
Il relève d'un côté des propos semblant indiquer que les processus de sélection des étudiants passent par la réussite dans les activités scientifiques et que les techniques ont dans cette histoire une part bien congrue.
De l'autre,
[… Un Inspecteur Général de physique…] : A mon arrivée, il y a 5 ans, nous étions 10 ; aujourd'hui, nous ne sommes plus que 6. "Ils" (les inspecteurs de technologie) étaient 10 ; ils sont 29.
Politiquement, ils sont partout… Leur but : propager le discours sur la puissance universelle de la technique…

5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.

La création des baccalauréats professionnels est certainement à mettre en rapport avec la volonté des entreprises d'avoir des gens qualifiés au niveau IV et celle, de la part de l'institution Éducation Nationale, de favoriser la réussite des élèves au niveau terminal du second cycle.

> «Le baccalauréat professionnel est un diplôme national [… Il] atteste que ces titulaires sont aptes à exercer une activité professionnelle hautement qualifiée […] [Le diplôme du baccalauréat] est défini par un référentiel caractéristique des compétences professionnelles, technologiques et générales requises pour son obtention. Ce référentiel énumère les capacités que les titulaires doivent posséder, précise les savoirs et savoir-faire qui doivent être acquis et indique les niveaux d'exigence requis.» (BO 13 du 13 04 86, pp. 1247/1251 - A1, S17, 1986, pp. 18/22)

Mais, à partir du moment où on crée dans une filière, électrotechnique en l'occurrence, un niveau professionnel au niveau IV, il n'est plus possible de conserver la finalité professionnelle des baccalauréats de technicien. Il a été alors nécessaire de revoir les orientations pour ces derniers. L'efficacité professionnelle immédiate n'est plus la seule recherchée. La poursuite d'études, dans les classes de techniciens supérieurs, devient majoritaire, en rapport avec les nombreuses ouvertures de STS, même s'il est fait encore cas, dans les textes officiels, de la possibilité d'insertion au niveau baccalauréat.
Le "baccalauréat de technicien" devient "baccalauréat technologique".

Face au nouveau défi de formations, les disciplines avancent leurs spécificités :
- Les textes relatifs à la Physique Appliquée affirment des méthodes de travail qui se rapprochent en partie de celles des Sciences Physiques : reprise des mêmes grilles pour l'évaluation, place du protocole expérimental dans l'examen final et confirmation de l'expérience comme base de la discipline.
- En STI, l'approche systémique et de l'analyse descendante sont mises en place, d'abord en classe de seconde puis en première et terminale.
La conception et la réalisation sont abandonnées. Selon un des acteurs des groupes de travail disciplinaire, le programme de STI a maintenant pour priorité de . Cette base s'appuie sur l'analyse du système. (A2, entretien n° 17, p. 71).

Y. Deforge (1970) précisait déjà les deux courants de pensée possibles autour de la question de la :

Ils donnent l'impression de posséder la solution capable de désenliser l'économie et l'enseignement en formant des étudiants immédiatement opérationnels… Ce qu'ils veulent, c'est le pouvoir absolu dans les lycées techniques… en omettant de dire, primo, que si les Japonais sont les numéro un dans la fabrication des circuits intégrés, c'est qu'ils ont investi dans la recherche fondamentale sur les solides ; et, secundo, que les maths, la physique et les sciences naturelles, à ce rythme, vont être broyées.»

«Le premier consiste à poser un problème, à énoncer un principe fonctionnel, à énumérer les conditions à assurer, à trouver des solutions, à en exprimer la technologie, à rechercher les interdépendances, à construire et à harmoniser l'ensemble pour obtenir un objet achevé… On construit un réel concret, point de concours d'une série de déductions logiques. Pourtant, on est plus proche de l'induction scientifique que de la déduction ; en effet, l'induction scientifique est une synthèse abstraite comme la démarche technique est une synthèse concrète […]

L'autre courant consiste à prendre un produit et à l'analyser pour rechercher le pourquoi des structures et de l'agencement des organes. Dans ce cas, on va du donné, de l'existant, aux raisons élémentaires ; puis des raisons élémentaires à une qu'est la fonction. Dans la phase finale on est donc en face d'une induction particulière qui ramène au principe fonctionnel.»

Jusqu'en 1989, le premier courant était l'objet des activités en classe pour les STI ; à partir de 1989, les directives ne font plus état que du second.

Les deux disciplines, au niveau de la classe de Terminale, s'éloignent d'un niveau applicatif et professionnel direct, s'orientent vers plus de formalisation, utilisent des modèles, construisent des notions et des principes.

5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.

5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.

Nous avons mis en évidence des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement. Les textes abordent en particulier l'évaluation par les compétences (STI) ou les capacités (PA).

On a pu également relever (1ère partie 1, chap. 3, § 4.2), à propos de la fabrication des référentiels de diplôme l'importance de la charte des programmes.

"Compétence" et "capacité" correspondent d'une façon plus générale à un travail sur l'élaboration des programmes et l'évaluation effectué par le Conseil National des Programmes, qui à travers la charte…

> Il répond au souci d'introduire les cohérences nécessaires à la réalisation du système éducatif […] mener 100 % d'une classe d'âge à une qualification et, pour cela, centrer les démarches du système éducatif sur l'élève […] Les programmes [doivent offrir] un cadre de référence national qui s'impose à tous (enseignants, élèves et futurs employeurs).» (BO 8 du 20 02 92, pp. 487/492 - A1, S23, 1992, pp. 17/20)

La structure dans laquelle s'insère les programmes disciplinaires est alors fixée ainsi que celle relative aux documents d'accompagnement, aux modalités de diffusion, de concertation et de réaménagement.

Ce qui doit figurer dans les programmes :

<Les_objectifs_[Ö]>

Connaissances et compétences […]

- Connaissances, c'est à dire notions et concepts ainsi que savoir-faire propres à la discipline ; pour certains niveaux et certaines disciplines, il est important de définir aussi le type d'activités à pratiquer ;
- Compétences terminales visées en fin d'année […] le programme détermine chaque fois le niveau de compétence visé en donnant une liste de tâches que les élèves devront être capables d'accomplir.

Dans la liste des connaissances et savoir-faire à acquérir par les élèves, le programme précise dans chaque cas s'il s'agit :

- de parvenir à une maîtrise technique bien définie […]
- ou bien d'amorcer une initiation, un apprentissage […]»

5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.

On retrouve dans les contenus des textes, dans les orientations pédagogiques fournies et dans les modes d'évaluation préconisés, certains des termes de la pédagogie par objectifs (PPO) (Mager, 1969).

Le Cépec (1991, p. 63) rappelle les contraintes pesant sur la caractérisation d'un objectif :

- mention d'un comportement par un verbe d'action physique observable dont l'étudiant est le sujet ;
- domaine d'application ;
- discipline, matière ou autre objet d'activité ;
- conditions, support d'évaluation ;
- critère d'évaluation.»

Les compétences en STI sont décrites effectivement en général avec les ensembles de mots "étant donné", "étant fourni" suivis d'un verbe d'action : "rechercher", "choisir", "écrire", etc. tandis que certaines des capacités en PA sont détaillées d'abord en savoirs et savoir-faire, les savoir-faire étant exprimés par des verbes d'action "utiliser", "relever", "alimenter", etc.

Au niveau des STS de façon systématique (BO 24 du 18 06 87, pp. 1356/1363 et annexes - A1, S18, 1987, pp. 14/30) mais aussi dans un document relatif aux TP de PA (Circulaire IPR du 10 01 92 - A1, S23, 1992, pp. 4/8), on a pu relever des formulations plus proches des règles de la PPO avec des mots tels que "on donne" définissant les conditions de l'action, "on exige" définissant l'action et les critères d'évaluation.

On a vu que la notion de “compétence” se retrouve dans les milieux de l’enseignement et de l’entreprise ; on peut remarquer que la PPO n’est pas sans rapport aussi avec le milieu de la production et que son utilisation dans les deux mondes met en évidence, selon É. Burguière et A. Ellie (1991), des types d’organisation semblables.
Ils rappellent que
Chez les enseignants, la PPO propose un arsenal conceptuel et technique qui assure leur fonction de décideurs, d'animateurs, d'évaluateurs et impose une cohérence d'un enseignement à un autre, une sorte de <management> institutionnel […]
La rationalisation du processus enseigner/apprendre constitue la transposition dans l'univers de l'école des exigences qui se font jour dans celui des entreprises, qui doivent tout à la fois produire mais aussi être compétitives, modernes, souples dans leur évolution […]»

Les objectifs découlent de décompositions des activités à réaliser. Ces décompositions et les précisions en termes de conditions de réalisation et de critères d’évaluation des activités à faire effectivement entraînent des avis circonspects quant à l’efficacité de ce type de pédagogie. Ainsi, G. Malglaive (1990, pp. 110/124) note que, particulièrement dans l'enseignement technique, en relation avec l'évolution du travail : «Il serait dommage que l'éducation professionnelle reste en deçà et continue de considérer l'exercice d'une activité technique comme résultant de la somme juxtapositive d'un ensemble de sous-activités élémentaires […] Ce qui caractérise l'évolution du travail, c'est, au contraire, […], une intégration de plus en plus grande de chacun des actes à réaliser dans un ensemble constitué par le système de production lui-même, dans toutes ses dimensions techniques, sociales et économiques.»

5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l’action.

Nous remarquons enfin, avec S. Johsua et J.-J. Dupin (1993, pp. 77/78) que Les désignations des objectifs, des capacités et surtout des compétences deviennent alors des outils amenant des réflexions sur les constructions de séquences de classe. «[La recherche d’objectifs] peut être considérée essentiellement comme un outil pour élargir le point de vue en général trop restreint du praticien sur les buts poursuivis par son enseignement, le pousser à prendre du recul par rapport à cette pratique - une sorte de porte d’entrée pour une réflexion didactique plus organisée.»

On retrouve ici l’idée de l’enseignant acteur, autonome face aux activités qu’il met en place dans sa classe, telle qu’on l’a précédemment abordée.

5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner.

De l'évolution de l'électrotechnique…

… À l'évolution des contenus d'enseignement.

En 1967, les objets techniques étaient relativement simples et les travaux d'étude et de réalisation en classe permettaient de les appréhender.
La référence pour les objets d'étude est toujours, aujourd'hui, à chercher dans le domaine de l'électrotechnique mais, les ensembles techniques ont évolué de façon interne à celle-ci. Ils sont devenus plus compliqués et donc plus difficiles à expliquer et à connaître.

Devant la rapidité des évolutions techniques, les disciplines d'enseignement se sont repliées vers des connaissances de niveaux conceptuels plus élevés leur donnant *a priori* , c'est du moins le sens des écrits, une certaine pérennité :
- pérennité des lois de la physique et en Physique Appliquée ;
- pérennité par une approche systémique et fonctionnelle des ensembles techniques en STI ;
Les savoirs à appréhender deviennent des "principes" et des "notions sur" les fonctionnements et/ou les fonctions des ensembles techniques, des “modèles” ou des “modélisations”. La simulation commence à être utilisée.

Les modifications des savoirs à enseigner et des supports matériels en classe sont à rapprocher des évolutions matérielles (les objets et les ensembles techniques) et intellectuelles des domaines liés à l'électrotechnique (recherche, utilisation, maintenance, etc.).
C’est bien sûr ainsi que l’on peut interpréter la disparition de certains thèmes étudiés en 1967 tels que les tubes électroniques.
D’une façon plus générale, l’enseignement de l’électronique s’appuyait en 1967 sur des études de composants discrets (recherche de propriétés) auxquelles étaient toutefois associées des études de montages construisant des fonctions simples (redressement, amplification).
L’électronique à développer en 1992 est devenue une électronique utile aux électrotechniciens. C’est ainsi que doivent être étudiés :
- les convertisseurs : par exemple, hacheur pour le MCC et onduleur pour le MAS.
- les composants qui permettent de construire une compréhension des dispositifs de commande, de régulation et d’asservissement : amplificateur différentiel intégré linéaire, transistor et thyristor notamment.

On remarque cependant que les évolutions les plus récentes n’ont pas pénétré les programmes de terminale. C’est le cas par exemple dans le cadre important de la variation de vitesse du moteur asynchrone des alimentations à pilotage vectoriel permettant le contrôle des paramètres flux, couple et vitesse dans une très large plage de fonctionnement (existant depuis 1982) et des commandes à estimation par observations des variables d'état permettant la mise en place des dispositifs d'alimentations sans capteur (1992). Cf. § 6.2.

Les savoir-faire expérimentaux prennent systématiquement, en classe de terminale, comme support matériel des produits "didactisés" parfois éloignés sur certains points techniques des équivalents industriels : niveau de puissance, rendements des machines, dimensions des installations, environnement.

C’est le cas :

- des ensembles dits “homothétiques” des ensembles industriels utilisés en STI ;
- des “maquettes didactiques pour l’étude des convertisseurs” ;
- des bancs d'essai de machines automatisés utilisés dans le cadre des enseignements de Physique Appliquée et de Mesures Physiques.

L’idée d’écarts entre éléments matériels des pratiques sociales de référence et matériels utilisés en classe prend ici tout son sens (cf. partie 3).

Ces matériels ont été conçus grâce à des collaborations entre des entreprises et des enseignants.

La classe de Terminale est maintenant placée à un niveau pour lequel les éléments réels et directs des pratiques de référence sont moins présents qu’il y a une trentaine d’années : pas de stage, pas d'objet technique industriel réel, restriction du champ des activités possibles par rapport à celles du technicien.

Les matériels utilisés en classe ont des coûts importants et les sources de financement se diversifient. Au-delà de la taxe d’apprentissage fournie par les entreprises s’ajoutent maintenant des dotations financées par les conseil régionaux, voire les conseils généraux ou dans un cadre de partenariat école / entreprise.

5 - 5 - Des compromis internes ?

Il nous parait probable que :

- la structuration de l'enseignement de l'électrotechnique par deux disciplines,
- les changements des finalités globales des disciplines,
- les variations de volumes horaires qui ont accompagné les dernières réformes,
- les glissements des contenus à enseigner d’une discipline à l’autre : l’énergie de la PA aux STI, les essais sur machines des STI à la PA par exemple,

sont les résultats de compromis au niveau des membres des commissions de fabrication de programmes et des Inspections Générales.

6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.

6 - 1 - Présentation.

Afin de préciser ou d'argumenter, nous proposons deux études plus spécifiques montrant des évolutions au niveau de l'enseignement de l'électrotechnique :
- L'étude des contenus à enseigner sur un thème particulier : le moteur asynchrone ;
- L'étude de sujets de baccalauréat en Physique Appliquée et en Sciences et Techniques Industrielles.

Nota :

Cette deuxième étude ne peut pas être considérée comme portant sur un élément de curriculum formel au sens strict des termes.
Si on considère que :
- dans les commissions chargées de l'élaboration des sujets à différents niveaux, on trouve des acteurs de l'institution fabricatrice des programmes ;
- le travail de ces commissions consiste en partie à s'assurer que le sujet posé est conforme aux prescriptions des programmes ;
- le sujet proposé une année devient systématiquement source d'un savoir à apprendre ou à soumettre aux élèves les années suivantes,

on peut alors étendre l'approche du curriculum prescrit à ces sujets d'examen.

Cette étude peut également servir de lien entre notre recherche sur le curriculum formel/prescrit et celle sur le curriculum réel, on peut en effet y observer le genre de travaux qu'*a priori* , les élèves doivent pouvoir effectuer en classe.

6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.

6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.

1967.

- Organisation des divers types de moteurs triphasés. Vitesse de synchronisme, glissement.
- Étude simplifiée du fonctionnement ; couple, vitesse, démarrage.
- Moteur asynchrone monophasé, démarrage […]

Mesures et essais :
- Essai à vide : puissance absorbée, rendement.
- Essai en charge C = f(n). Influence de la résistance du rotor.
- Rendement.»

(MEN, 1967, baccalauréat de technicien électrotechnique - A1, S3, 1967, p. 24, p. 26)

Le contenu est orienté vers des utilisations immédiates en rapport avec le couple, la vitesse et les questions relatives au démarrage.

La caractéristique mécanique, la puissance et le rendement sont abordés par les essais.

La variation de vitesse est étudiée par la variation de la résistance rotorique.

1990.

<Moteur_asynchrone_triphasÈ.>
- Organisation. Vitesse de synchronisme. Glissement. Rendement.
- Étude simplifiée d'un MAS triphasé lorsque la fréquence de la tension d'alimentation est constante : caractéristiques, démarrage.
- Justification de la condition U/f = Cte pour une alimentation par onduleur à fréquence variable […]

Le MAS est encore appelé moteur d'induction ; le stator y joue en effet le rôle d'inducteur (création de champ) et d'induit. Le couple maximal y est dû uniquement au flux qui traverse un enroulement du stator.
On montre qualitativement que l'onduleur alimentant un moteur asynchrone dont on veut faire varier la vitesse, et qui lui fournit pour cela une tension de valeur efficace U et de fréquence f variable doit satisfaire à la condition U/f = Cte;
En TP, pour illustrer cette nécessité, on peut utiliser un MAS associé à un onduleur.»
(BO 10 du 08 03 90, pp. 698/699 - A1, S 21, 1990, p. 17)

L'existence des variateurs de vitesse à contrôle scalaire en U/f, sortis de la recherche en 1975, a renouvelé l'intérêt du MAS qui a, depuis, fait une percée dans l'industrie.

La relation entre le MAS et l'onduleur en U/f est à aborder uniquement qualitativement. Le TP correspondant "Association MAS à un onduleur à U/f cte" **peut** être réalisé.

1991.

<Moteur_asynchrone_triphasÈ.>
- Organisation. Vitesse de synchronisme. Glissement. Rendement.
- Étude simplifiée d'un MAS triphasé lorsque la fréquence de la tension d'alimentation est constante : caractéristiques, démarrage.
- Justification de la condition U/f = Cte pour une alimentation par onduleur à fréquence variable.

Flux constant implique Tem constant.

Référentiel :

Connaissances utiles des classes antérieures :
Champs tournants (T.F3).

Connaissances scientifiques :
- Constitution d'une machine asynchrone. Différentes sortes de rotor.
- Principe de fonctionnement. Glissement.
- Bilan des puissances.
- Rendement.

- Modèle équivalent pour une phase.
- Caractéristiques I(n) et T(n).
- Moment du couple électromagnétique (proportionnalité à g et V^2 ; Ptr = Tem.Ωs).
- Alimentation d'un moteur asynchrone par un onduleur.

Savoir-faire expérimentaux :
- Utiliser un MAS pour obtenir un point de fonctionnement donné.
- Relever la partie utile de la caractéristique T(n).
- Réaliser les mesures pour déterminer le rendement d'un MAS.
- Mesurer le glissement.
- Alimenter avec un onduleur en réalisant la condition U/f = Cte.

Savoir-faire théorique :
- Déterminer le point de fonctionnement d'un groupe entraîné par un MAS.
- Déterminer le rendement d'un MAS.»

(IPR, objectifs de référence en physique appliquée, classe de terminale F3, 18 04 91 - A1, S22, 1991, p. 14)

Le document dont il est question ici : "Objectifs de référence en classes de terminale F3" apporte des compléments sur le plan du contenu scientifique et sur celui de son approche en classe.

La machine est étudiée sous différents points de vue enrichissant sa représentation conceptuelle.

- l'aspect énergétique (puissances),
- les caractéristiques (T(n) et I(n)),
- le modèle électrique,
- les relations dérivées de ce modèle se rapportant au couple électromagnétique.

Ces dernières permettent :

- de justifier par calcul à partir des éléments modélisants le bien-fondé de l'association MAS-onduleur en U/f,
- de prévoir les conditions de son fonctionnement.

Les "savoir-faire expérimentaux" recoupent certaines des "connaissances scientifiques" puisqu'ils abordent notamment les notions de :

- rendement,
- caractéristique T(n).

Mais aucun sens de la relation didactique entre expérience et modèle n'est fourni.

<u>1992.</u>

Étude simplifiée du fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé lorsque la fréquence de sa tension d'alimentation est constante : caractéristiques , démarrage.
Justification qualitative de la condition U/f = cte pour une alimentation par onduleur à fréquence variable.

Le moteur asynchrone est encore appelé moteur d'induction ; le stator y joue en effet le rôle d'inducteur (création de champ) et d'induit. Le couple maximal y est dû uniquement au flux qui traverse un enroulement du stator.
On montre qualitativement que l'onduleur alimentant un moteur asynchrone dont on veut faire varier la vitesse, et qui lui fournit pour cela une tension de valeur efficace U et de fréquence f variable, doit satisfaire à la condition : U/f = Cte.
En TP, pour illustrer cette nécessité, on utilise un MAS monophasé associé à un onduleur.

Référentiel :

Connaissances utiles des classes antérieures :
Champs tournants.

Connaissances scientifiques :
- Constitution d'une machine asynchrone. Différentes sortes de rotor.
- Principe de fonctionnement. Glissement.
- Bilan des puissances.
- Rendement.
- Caractéristiques I(n) et T(n) dans la partie utile.
- Moment du couple électromagnétique (proportionnalité à g et V^2 ; Ptr = Tem.Ωs).
- Alimentation d'un moteur asynchrone par un onduleur réalisant la condition U/f = Cte.

Savoir-faire expérimentaux :
- Utiliser un MAS pour obtenir un point de fonctionnement donné.»
(BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S23, 1992, pp. 106/107)

De 1990 à 1992, on relève le glissement de formulation : le "**on peut utiliser** un MAS associé à un onduleur" de 1990 devient en 1992 "**on utilise**" un MAS associé à un onduleur.
On note particulièrement les disparitions de :
- "Flux constant implique Tem constant" ;
- Modèle équivalent pour une phase.

et la précision “dans la partie utile” pour l’étude des caractéristiques.
Une des conséquences de la disparition du modèle électrique est que la “Justification de la condition U/f = Cte pour une alimentation par onduleur à fréquence variable” devient “**qualitative**”. Le modèle électrique n’étant plus abordé, aucune relation, aucune équation ne permet en effet d’expliquer quantitativement l’intérêt de l’onduleur en U/f.
Une deuxième conséquence de la disparition de l’approche par le modèle électrique est qu’il devient difficile de créer des liens entre les différentes notions abordées : couple, énergie, nécessité de l’onduleur.
La précision "dans la partie utile" pour les études de caractéristiques limite certaines réflexions, qui étaient en 1990 possibles, autour de la caractéristique : stabilité, instabilité, accélération, décélération, relation couple maximal/couple nominal, …

Plus aucun autre dispositif de variation de vitesse n’est abordé, seul l'onduleur en U/f est maintenant retenu.

6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d’autres ?

6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?

Il est indéniable qu’une des raisons permettant de comprendre l’évolution des contenus à enseigner est que dans le domaine de l’électrotechnique, les matériels ont, eux-mêmes évolués, comme on a pu déjà le noter (cf. partie 1). Dans le cas particulier du MAS, la machine n'est plus un objet technique individuel mais doit être perçue à travers un ensemble plus conséquent comprenant le moteur, l'alimentation, la commande et dans le cadre de la variation de vitesse.

Les utilisations industrielles demandent en effet très souvent une adaptation de la vitesse de rotation des machines aux besoins ou aux nécessités. Parmi les nombreuses utilisations, on peut relever les machines-outils, les machines à papier et à textile, les broyeurs, les convoyeurs à bandes, les propulsions des navires et des trains, les pompes, etc.
Dans ce cadre important de la variation de vitesse, on est passé de dispositifs mécaniques (poulies/courroies, variateurs à friction, trains d'engrenages multiplicateurs ou réducteurs, associations de convertisseurs électromécaniques) à des systèmes électriques (convertisseurs divers) agissant sur les grandeurs "simples" de l'alimentation (tension, courant, fréquence) puis à des dispositifs plus compliqués (variateurs électroniques).

Le moteur asynchrone est utilisé depuis de nombreuses années pour assurer la variation de vitesse de processus industriels. Cette variation était d'abord obtenue, dans les années 50 et 60, par action sur la tension (gradateur) ou sur le circuit rotorique (cascade hyposynchrone), à fréquence constante. Les performances dynamiques étaient moyennes et les plages de variation peu importantes.
Le développement des semi-conducteurs de puissance permet l'alimentation à fréquence variable, ce qui augmente les performances, les possibilités de variation de vitesse et les rendements. C'est ainsi qu'en 1975 le contrôle scalaire en V/f voit le jour.
Les recherches récentes ont permis des développements et des propositions de nouveaux matériels :
- le pilotage vectoriel qui permet le contrôle des paramètres flux, couple et vitesse dans une très large plage de fonctionnement en 1982 ; amenant une très forte concurrence avec les dispositifs liés aux machines à courant continu dans une grande partie de leur domaine d'utilisation ;
- les commandes à estimation par observation des variables d'état permettant la mise en place des dispositifs d'alimentation sans capteur en 1992.

Ces deux derniers matériels ne sont pas objet d'enseignement actuellement en classe de terminale.

En comparaison, on peut relever qu'une partie seulement de ces dispositifs et procédés sont ou ont été exposés dans les cours de terminale :
- variation de la résistance au niveau du rotor bobiné (il ne s'agit pas véritablement d'un réglage de vitesse car à vide, celle-ci est toujours voisine de la vitesse synchrone) - 1967 -.
- MAS associé avec un onduleur à V/f (avec justification de la condition) - 1990 -.
Cela signifie que des dispositifs dont l'industrie dispose depuis une dizaine d'années ne sont même pas cités dans les programmes d'enseignement au niveau de la classe de terminale.

Les dispositifs à commande vectorielle sont actuellement étudiés d'un point de vue "utilitaire" en classe de STS sans être véritablement expliqués. L'éventuelle transposition des savoirs issus de la recherche pose de sérieux problèmes et d'éventuelles recherches en didactique dans l'optique d'une production de contenus à enseigner sont à faire.
On se heurte ici, en fait à :
- des difficultés conceptuelles car les notions en jeu seraient nouvelles pour des étudiants en STS du point de vue des mathématiques comme du point de vue de la physique ;
- des difficultés d'ordre matériel. La recherche de points de mesure sur l'objet implique un "éclatement" de certains circuits électriques agissant contre l'effet de miniaturisation recherché pour un bon fonctionnement de l'appareil ; effet recherché pour des raisons de compacité, d'esthétique, de manipulation plus aisée et pour réduire les effets néfastes de et sur l'environnement.
- des difficultés de formation pour les enseignants.

6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.

Les machines industrielles (3 kW minimum) constituaient les principaux supports expérimentaux en 1967. Il apparaît aujourd'hui des machines "didactisées" de petites puissances (300 W le plus couramment).
Il semble que le fait de travailler sur ce type de machines, le vieillissement - au moins du point de vue des contraintes de sécurité, aujourd'hui très sévères - et le non-renouvellement du parc des machines industrielles au sein des établissements scolaires, les lacunes dans la formation des enseignants travaillant peu sur les matériels industriels liés à l'électrotechnique, la mise en œuvre des mesures sous la seule responsabilité des enseignants de physique appliquée (en laboratoire), la diminution des horaires de travaux pratiques impliquent actuellement souvent la disparition pour les élèves des manipulations sur des machines réelles.

Le rapport du jury des épreuves du Capes 1992 (Physique Appliquée) est, sur certains de ces points, explicite :

Mais il recommande d'autre part l'emploi des machines "didactisées" :

6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?

On a mis en évidence la disparition dans les contenus du “modèle électrique” du MAS et on en a montré les conséquences. Comment interpréter ce fait ?
Nous pouvons envisager quatre mobiles à ces modifications ; mobiles que nous distinguons pour les besoins de l’exposé mais qui sont sûrement composés dans une réalité explicative :
- la réduction des masses horaires d’enseignement. Chaque élève reçoit actuellement par semaine 3 heures de cours et 3 heures de TP de PA contre 5 heures de cours et 4 heures de TP il y a 5 ans.
- l’entrée dans les programmes, malgré les réductions horaires, d’autres contenus, le moteur synchrone par exemple.
- la relative complication du “modèle électrique” et du traitement mathématique des équations qui en découlent pour des élèves du technique généralement peu enclins à ce genre de travail.
- une réorientation généralisée des finalités de la PA qui aujourd’hui se détacherait de ces liens initiaux avec les Sciences Physiques, s’éloignerait des études conceptuelles et phénoménologiques, se tournerait vers des études plus technologiques.
Allant dans le même sens, nous rappellerons le glissement effectué au niveau du statut du Capes correspondant à la Physique Appliquée qui passe d’une option du Capes de Sciences Physiques, option Physique et électricité appliquée créée en 1970, avec une épreuve commune à toutes les options, à une section à part entière de Capes Physique et électricité appliquée en 1991.

6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.

Nous appuyons notre discussion sur des sujets d’examen dont les contenus complets sont en Annexe 7.

6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.

Deux sujets nous permettent de mettre en évidence les évolutions au niveau des exercices et problèmes proposés aux candidats : le premier est proposé dans l’académie de Besançon et académies rattachées en 1978, le second est soumis aux candidats de l’académie de Toulouse en 1993.

6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.

(A7, pp. 2/3).
Durée : 3 heures.
Le sujet est composé de deux problèmes indépendants.

- **Dans le premier problème**, à partir des indications fournies sur un <bon_de_commande> d'un moteur asynchrone, il est demandé de calculer les nombres de pôles du moteur, le glissement en charge, le couple utile, le rendement.
À la réception du moteur, des essais sont effectués. À l'aide des résultats des essais, il faut déterminer les pertes et <vÈrifier_si_le_moteur_satisfait_aux_conditions_du_bon_de_commande> après, éventuellement, avoir fait des prévisions sur les résultats à obtenir.

Remarques.

Le problème est en rapport avec des réalités professionnelles mais artificielles cependant, même si les données semblent plausibles, le problème est un problème-papier ! : support de type industriel, machine de 3 kW, recherche par prévision de résultats à des essais menés dans des conditions déterminées : essai à vide, essai sous charge nominale, confrontation des valeurs théoriques prédéterminées aux valeurs correspondantes aux essais ou inversement. Il s'agit de vérifier l'adéquation du matériel "reçu" au matériel "commandé".
Notons aussi que ce type de problème correspond à un exercice type d'essais de l'épreuve pratique de "mesures et essais" qui existe encore en 1978, avec des mesures de grandeurs et des essais réels dans ce cas.

- **Le deuxième problème** est relatif à l'étude d'un montage comportant un transistor alimentant un relais destiné à la commande d'un four de chauffage. Une thermistance placée à l'intérieur du four permet, grâce au montage de commande, l'ouverture ou la fermeture du circuit de chauffage.
Il s'agit de déterminer, à partir des caractéristiques du transistor et de certaines données du circuit (notamment les valeurs des résistances, du courant d'enclenchement et de déclenchement du relais), certaines des tensions en jeu dans le circuit et finalement les températures pour lesquelles le chauffage du four s'établit ou s'arrête.
Les caractéristiques du transistor sont données sous forme d'un graphique (I_C, V_{CE}, V_{BE}, I_B).
La dernière question est relative à la détermination d'un montage équivalent en utilisant le théorème de Thévenin.

Remarques.

Ce problème constitue lui aussi une étude relative directement à une application industrielle : calculs de grandeurs caractéristiques de grandeurs physiques et de composants intervenant dans un circuit électrique à partir de données extraites vraisemblablement d'un catalogue industriel.

L'étude est menée dans le sens valeurs théoriques, déduites des lois de la physique, vers valeurs pratiques de réglage de la température du four, conformément à ce que nous avions indiqué dans le § 5.2.2 ; et *a priori* à contre-sens du problème réel technique. Dans la réalité en effet, les données imposées sont les températures du four pour lesquelles le chauffage se rétablit ou s'arrête.

Remarquons enfin que l'auteur de ce sujet ne parle pas de "modèle de Thévenin" mais de "théorème de Thévenin".

6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.

(A7, pp. 4/7).

Durée : 4 heures.

Depuis la suppression de l'épreuve pratique de "mesures et essais", la durée de l'épreuve a été rallongée de 1 heure.

Le sujet est composé de 4 problèmes indépendants, à l'exception de la deuxième partie du dernier problème qui, en fait, explicite l'intérêt global des questions proposées, intégrant chacune des parties traitées dans un tout en rapport avec le montage suivant :

Il s'agit d'étudier l'alimentation et la régulation de vitesse d'un moteur à courant continu à aimants permanents alimenté par un pont mixte.

Le premier problème porte sur le transformateur, le deuxième sur le dispositif redresseur par pont mixte, le troisième sur le moteur et le quatrième sur la régulation (étude sur la chaîne tachymètre, retour, comparaison avec la consigne et action)

Les élèves doivent déterminer à partir de résultats d'essais fournis certaines des caractéristiques du transformateur. Ils doivent ensuite, à partir d'un schéma électrique et des relevés d'oscillogrammes se rapportant au redresseur, déterminer les appareils, leurs types, les branchements et un certain nombre de grandeurs relatives au dispositif, compléter et analyser les chronogrammes de conduction des interrupteurs.
À partir de la caractéristique fournie de l'essai en génératrice de la machine à courant continu et de résultats d'autres essais, il est demandé de déterminer des grandeurs caractéristiques : couples, rendement, tension d'alimentation et de tracer la courbe donnant le couple électromagnétique Tem en fonction de l'intensité du courant induit.
La dernière partie donne le schéma de réalisation de la régulation. Les élèves doivent alors retrouver les relations entre les diverses grandeurs intervenant, puis sont guidés pour déduire que le bouclage réalisé permet de réguler la vitesse du moteur.

Remarques.

Ce sujet prend en compte l'ensemble des grandes lignes du programme : le système de régulation, l'électronique autour de composants (chaîne de retour), l'électronique de puissance (redresseur), l'électrotechnique (moteur à courant continu).

Il est construit dans le sens : des résultats d'essai vers les calculs et recherches de caractéristiques de composants puis applications à un problème posé, c'est à dire de la pratique vers la théorie puis vers la pratique.

Les questions les plus compliquées sont systématiquement décomposées, dissimulant par contournement les difficultés conceptuelles.

La physique appliquée apparaît ici comme une étude autour de dispositifs de type industriel avec deux axes bien marqués :
- expérimental : le rôle, la réalisation (par écrit) et l'utilisation de mesurages, le tracé de chronogrammes ; le tracé et l'utilisation de caractéristiques ;
- théorique : le rappel, rarement la détermination, l'utilisation de lois simples relatives aux dispositifs techniques étudiés.

6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.

Nous présentons une comparaison entre les deux épreuves qui peuvent effectivement être mise en correspondance : celles se rapportant aux ensembles techniques.

6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.

(A7, pp. 8/26).

Dans le cadre d'un projet de type industriel mené généralement **de la conception à la réalisation** par un groupe d'élèves (10 à 12) dans le courant de l'année scolaire, un dossier et l'ensemble réalisé étaient présentés aux membres de jurys par chacun des élèves.

Le dossier écrit comporte différents chapitres :
* Une première partie conçue en commun par tous les élèves porte sur le projet dans sa globalité.
* Les différents chapitres suivants sont relatifs à des parties de l'ensemble et correspondent aux travaux effectués par des sous-groupes d'élèves (1 à 3 élèves par sous-groupe).

Chaque élève, au moment de l'examen, doit faire la preuve de sa connaissance de l'ensemble et de la maîtrise des éléments se rapportant à la partie sur laquelle il a particulièrement travaillé pendant l'année scolaire : discernement de sa fonctionnalité dans l'ensemble, maîtrise des concepts théoriques, des matériels, des documents techniques et expérimentaux et des savoir-faire présentés.

L'évaluation a pour support une réalisation et une interrogation orale.

Remarques : à propos du dossier constitué par les élèves…

1 - Nous voudrions d'abord souligner la multitude et la variété des supports nécessaires à cette étude réalisée par deux élèves.

* Dans la première partie (A7, pp. 8/11) où est décrit sous différentes formes le projet réalisé : four d'étuvage et dispositif de prise d'échantillon, sont fournis :
  - un plan synoptique matériel de l'ensemble montrant sa structure générale et les relations entre ses éléments ;
  - une liste des composants permettant sa réalisation ;
  - une analyse séquentielle des opérations réalisées par les machines ;
  - un texte descriptif ;
  - une vue d'ensemble des deux machines.
* Dans la deuxième partie (A7, pp. 12/27) relative au projet d'un élève, travaillant sur la conception et la réalisation d'une alimentation, sont donnés :
  - le but et les fonctions de l'alimentation,
  - une décomposition fonctionnelle,
  - des chronogrammes relatifs aux formes d'onde entre différents points de l'objet,
  - des calculs sur les puissances, les rendements, les intensités, les caractéristiques des matériels (section magnétique, diamètre de fil, nombre de spires, taux d'ondulation, tension inverse, etc.),

- des schémas de circuit électrique,
- un typon,
- des oscillogrammes relatifs aux essais effectués,
- les fiches techniques des composants utilisés,
- des graphiques servant d'abaques pour les calculs des transformateurs.

Cette variété est côtoyée par les élèves qui conçoivent leur appareil et le dossier.

2 - L'objet réalisé n'est cependant pas un véritable objet industriel destiné à être mis en service dans une entreprise.

3 - Tous les éléments de l'ensemble ne sont pas conçus cette année-là, ils peuvent faire l'objet d'une continuation avec un autre groupe d'élèves une autre année, dans un autre cycle : (A7, p. 11).

6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.

(A7, pp. 27/31).

L'organisation de l'examen peut varier d'une académie à l'autre. Nous faisons part ici de ce qui s'est passé dans l'Académie de Toulouse.

Les élèves subissent une épreuve divisée en deux parties : la première consiste en une préparation écrite pouvant être en rapport avec le sujet de la deuxième mais pouvant aussi avoir un caractère plus général, la seconde est de type "travail expérimental" - une fiche de travail et les documents nécessaires sont fournis, un document-réponse à remplir doit être rendu - .

Le support matériel qui est constitué par un système ou un sous-système et la totalité de la documentation technique afférente sont à la disposition de l'élève.

Remarques.

1 - Le sujet présenté est relatif à des études sur l'"axe z", sous-système du transgerbeur.
Le transgerbeur est un dispositif permettant de stocker et de déstocker des cassettes dans un plan de rangement vertical. L'emplacement d'une cassette est repéré par ses coordonnées horizontales et verticales que l'utilisateur appelle en fonction de ses besoins. L'axe z correspond au déplacement vertical du mécanisme transportant la cassette.

2 - Les deux parties du sujet proposé sont liées.

3 - Dans la partie théorique, les schémas électriques et les relations à appliquer sont donnés dans l'énoncé.

4 - L'élève doit par contre aller chercher des informations dans les dossiers techniques relatifs au système. Cependant, comme précédemment en Physique Appliquée, cette recherche est l'objet d'un contournement par l'auteur du sujet, les informations sont en effet repérées de façon précise :

5 - Le sujet fait allusion plusieurs fois à un repérage des points de fonctionnement dans les quatre quadrants du plan déterminés par les coordonnées vitesse et couple. Ce repère n'est pas abordé dans le programme de Physique Appliquée. Dans cette discipline, seul le quadrant {vitesse et couple positifs} est envisagé (Q1).

6 - Le thème du sujet est suivi du descriptif sommaire de ou des compétences en jeu.

Si dans la partie théorique, celui-ci indique plutôt l'évaluation d'un savoir-faire théorique :

> Étudier le fonctionnement en quatre quadrants.» (A7, p. 27)…

Dans la partie pratique, le descriptif donne à penser que l'on a vraiment à faire à une compétence relative à une pratique professionnelle :

> (A7, p.31)

Le descriptif du travail à effectuer rappelle la structure de la PPO, "conditions du travail", "comportement en jeu", "domaine d'application", "critère d'évaluation", :

> «Vous disposez de l'axe z opérationnel, de la console ou d'un PC en ligne avec l'automate, […] Il s'agit de relever pour deux charges différentes l'image de la vitesse du couple […] Le candidat doit identifier les points de mesure, mettre en œuvre le poste de mesure, […]» (A7, p. 31).

7 - Le couple est noté C en STI ; en physique appliquée, il est noté T.

6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?

Aucun jugement définitif ne peut bien sûr être tiré de cette étude sur des sujets de baccalauréat. Nous avons déjà relevé ses limites par rapport à une recherche sur les curriculum formels.
Il faut plutôt y voir éventuellement des indices permettant éventuellement de corroborer, d'infirmer ou de moduler les précédents résultats.
Il faut également, comme nous l'avons signalé, y chercher des indications pouvant être exploitées dans le cadre de l'observation de curriculums réels.
C'est par rapport à ces deux points que nous allons synthétiser les remarques précédemment faites.

6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.

Nous avons noté à travers l'étude des sujets de baccalauréat :

- En Physique appliquée :
  * Un travail sur des matériels simples de type industriel, en rapport avec des problématiques de pratiques professionnelles, abordé plutôt par l'aspect "scientifique", mais ayant pour objectif final des connaissances "pratiques" en 1978.
  * Un travail sur un ensemble plus compliqué, abordé suivant un double processus, du principe de l'objet vers des connaissances théoriques et retour. Les protocoles expéri-

mentaux sont demandés et les résultats des essais effectués présentés sur papier sont exploités.

- En Sciences et Techniques Industrielles :

* L'épreuve de 1986 corrobore les résultats précédents. Le travail effectué par les élèves en groupe a pour objectif la conception et la réalisation d'un ensemble technique de type industriel. Des documents variés et nombreux sont utilisés dans cette perspective.

* En 1994, le sujet prend pour objet d'étude un élément d'un système. Il comprend une partie théorique et une partie pratique. La partie théorique ne recoupe pas le programme de Physique Appliquée.

6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.

Les questions qui peuvent sembler les plus difficiles pour les élèves sont systématiquement décomposées (en Physique Appliquée) ou sont l'objet d'indications (en STI) ôtant leur intérêt d'un point de vue de la recherche d'une partie des connaissances ou des compétences effectivement mises en œuvre par les élèves.

CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.

1 - Généralités.

1 - 1 - Sigles utilisés.

Les disciplines scolaires dont les contenus sont relatifs à l'électrotechnique sont notées :

AII : Automatisme et Informatique Industrielle.
ELEC : Enseignement relatif à la production et à la distribution de l'énergie électrique.
ESTI : Étude des Systèmes Techniques Industriels.
PA : Physique Appliquée.
STI : Sciences et Techniques Industrielles.
TP : Travaux pratiques.

Relativement à l'analyse de données textuelles, on a :

AFC : Analyse Factorielle des Correspondances.
CHD : Classification Hiérarchique Descendante.

1 - 2 - Objectifs et principes.

1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.

Il nous a semblé nécessaire de compléter (enrichissement de lecture) ou/et de confronter (vigilance critique, dépassement des incertitudes, recherche de validité) l'examen des programmes et référentiels, fait dans le précédent chapitre de façon systématique par une recherche réalisée à partir d'un logiciel d'analyse de contenu.
"Besoin de découvrir" vers de nouvelles heuristiques et "désir de rigueur" comme nécessaire à une administration de preuve, en reprenant les terminologies de L. Bardin (1991), sont donc aux origines les motivations de cette étude.

Nous avons pour cela utilisé le logiciel d'analyse de données textuelles de M. Reinert : Alceste[1]. Selon sa notice, ce logiciel permet, de façon spécifique, l'analyse de corpus de textes homogènes tels que .
Il nous semble que les textes curriculaires ont deux caractéristiques communes qui nous permettent de les intégrer dans ces catégories. Nous les considérons comme relatifs à un seul

[1] Logiciel conçu par Reinert, M. (CNRS UA-259, Université de Toulouse Le Mirail). Nous avons utilisé la version 2.0 (septembre 1992).

thème “l’enseignement de l’électrotechnique” abordé par différents “locuteurs”, les disciplines scolaires.

Nous ajoutons ainsi à l’investigation des textes replacés dans un contexte sociologique large, contexte dont nous avons pu montrer l’intérêt, un regard plus précis, plus spécifique des contenus des textes eux-mêmes.

Soyons cependant conscients qu’arrivés à ce point-là de notre recherche, il est bien difficile de savoir “qui éclaire qui ?”.
Remarquons simplement que :
- L’interprétation des résultats donnés par le logiciel Alceste n’est vraisemblablement possible que parce que nous avons fait auparavant une autre analyse plus systématique.
- L’analyse faite à partir des données du logiciel apporte un peu de l’objectivité nécessaire à toute recherche et dans ce sens devient argumentative.

1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.

Trois étapes ponctuent, d’un point de vue méthodologique, cette recherche, présentée ici dans une version limitée[1] à l’étude des programmes en électrotechnique parus en 1992 pour une mise en fonction dans les classes en 93/94 en première et en 94/95 en terminale :

<u>- Par l’intermédiaire d’un traitement de textes :</u>

L’analyse est préparée par la mise en place dans un même fichier informatique d’informations diverses (textes, entretiens, réponses à un questionnaire) et de variables d’observation (appelées aussi variables illustratives, qui n’interviennent pas dans le traitement des informations) judicieusement choisies.

<u>- Par le logiciel d’analyse lexicale :</u>

On obtient, par calcul statistique, une ou plusieurs cartes ou plans qui permettent de situer les éléments des corpus traités devenus pertinents dans l’ensemble des “formes” lexicales retenues. Ces formes constituent également des “classes” qui sont décrites dans certains fichiers fournis par le logiciel.

<u>- Grâce à la réflexion du chercheur</u>

qui s’est trouvé dégagé de tâches longues et laborieuses, l’analyse consiste à interpréter les relations (co-occurences) qui existent entre les “formes” regroupées par “classes” et de faire des rapprochements significatifs entre “formes”, “classes” et variables. La phase la plus importante consiste en la détermination des grandes tendances, des lignes de

[1] Une étude plus complète prenant en particulier en compte l’évolution des disciplines PA et STI est présentée en Annexe 3.

forces structurantes des résultats obtenus. Celles-ci correspondent à des dimensions appelées “facteurs”.

Les repérages d’une zone, d’une classe, d’un facteur ou d’une “forme” dans le plan obtenu s’effectuent généralement par la terminologie habituellement dédiée aux cartes géographiques : “est”, “ouest”, “sud” et “nord” ou par les coordonnées (x ; y) dans le plan déterminé.

1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.

- Les textes des programmes ont été passés au “scanner”, traités par un logiciel de reconnaissance de caractères, puis corrigés manuellement et par le module de correction orthographique d’un traitement de textes.

- La mise en forme proposée par M. Reinert a été respectée. Elle a, en particulier, consisté à repérer les passages des textes par une codification (variables illustratives ou mots étoilés) dont la philosophie générale peut être résumée en deux points :

- les contenus à enseigner ont été étiquetés : par la discipline scolaire en essayant de faciliter les rapprochements de lecture (AII, ELEC, ESTI, PA, TP), par le niveau d’enseignement (dans la mesure où il est indiqué[1], première : 1 et terminale : 0) ;
- les commentaires, les instructions générales ont été estampillées par : la discipline, l’indice “9” et l’année.

PROGRAMMES DE 1992	
Objectifs du programmes d’automatique et informatique industrielle (AII). Aspects méthodologiques, rapports avec l’expérience et les systèmes.	AII_9
Programme en AII.	AII
Compétences attendues, travail sur les systèmes.	ESTI
Objectifs du programme d’électrotechnique (partie dédiée au professeur d’enseignement technique).	ELEC_9
Électrotechnique : contenus et compétences.	ELEC

[1] Les enseignements correspondants aux Sciences et Techniques Industrielles ne sont pas, dans les textes de 1992, différenciés par niveau (1ère et Tle).

Physique appliquée : instructions et commentaires.	PA_9
Physique appliquée : classe de première.	PA_1
Physique appliquée : classe de terminale	PA_0
Mesures physiques : instructions générales et commentaires.	TP_9
Mesures physiques, savoir-faire expérimentaux : classe de première.	TP_1
Mesures physiques, savoir-faire expérimentaux : classe de terminale.	TP_0

Chaque passage placé sous une variable illustrative, constitue, pour le logiciel, une Unité de Contexte Initial (UCI).

1 - 4 - Ce que fait le logiciel.

Dans tout ce qui suit, les extraits illustratifs de fichiers fournis par le logiciel sont en caractères “courier” taille 9, comme dans leur fichier d’origine :

```
les extraits illustratifs de fichiers fournis par le logiciel sont en
caractères “courier” taille 9.
```

1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.

Après des mises en forme dont certaines peuvent être critériées par l’utilisateur (par exemple la suppression des majuscules en début de mots ou de phrases et la suppression de certains signes typographiques - accents, apostrophes -), le corpus (le texte initial) formé par les UCI est découpé en “unités de contexte élémentaires” (UCE) numérotées.
L’ UCE est un segment de texte, défini généralement par le logiciel (mais éventuellement là aussi selon des critères fixés par l’utilisateur - nombre de lignes fixé, possibilité d’assigner et de limiter les UCE par un code particulier), limité le plus souvent par un signe de ponctuation. Selon l’auteur,

1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.

Les “mots” du texte sont identifiés, comparés et éventuellement réduits par reconnaissance de la racine ou/et de la désinence[1]. Ils déterminent alors les “formes”. Celles-ci sont comptabilisées. Certains mots peuvent être éliminés (articles).

[1] La désinence se rapporte aux terminaisons des mots ayant une signification grammaticale : reconnaissance de verbes conjugués, d’adverbes, etc.

1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux “UCE” par “racines”.

Un tableau numérique croisant les UCE repérées par leurs numéros (lignes) et les formes retenues repérées également par leurs numéros (colonnes) est créé. La présence d’une forme dans une UCE est repérée par “1”, son absence par “0”.

1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux “UC” par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).

De nouveaux tableaux sont ensuite constitués associant des “unités de contexte” (UC) et les “racines”. Le paramétrage des UC est possible pour l’utilisateur qui peut notamment choisir entre un calcul automatisé, l’égalité des UCE avec les UC, un nombre de lignes (avec une limite liée au traitement informatisé : 254 caractères). À partir de ces tableaux et suivant certains choix faits par l’utilisateur déterminant des points de vue d’analyse (type de formes retenues, fréquence des formes, type de découpage des UC, nombre de classes souhaité, etc.), le découpage des classes et leurs caractérisations (profil et antiprofil des classes) par des formes, des UCE et des variables illustratives (PA_1, etc.) sont effectués.

Les variables illustratives (mots “étoilés”) ne sont positionnées qu’une fois les facteurs caractéristiques des classes extraits, en fonction de l’UCI à laquelle ils sont rattachés. Rendre les variables illustratives actives dès le départ détruirait le sens que l’on peut donner aux résultats fournis puisqu’on établirait d’entrée une corrélation. Les variables illustratives ne participent donc pas à la construction des classes.

1 - 4 - 5 - L’analyse factorielle des correspondances (AFC).

Les principales classes et les formes retenues (critériées par leur fréquence pouvant être paramétrée) sont placées dans un espace multidimensionnel en tenant compte des corrélations possibles entre les formes et en maximisant l’inertie qu’elles déterminent.
Dans les cas que nous avons traités, l’espace retenu comporte 3 axes (3 facteurs), l’inertie cumulée des représentations portant au moins 80% de l’inertie globale.

1 - 5 - Des “mondes de pensée” à nos hypothèses de travail…

L’hypothèse générale qui sous-tend la création du logiciel d’analyse lexicale utilisé, Alceste, est que le contenu lexical du discours ou du contenu analysé est caractéristique d’un “monde de pensée”.
Dans un article de référence, M Reinert (1990) note afin de préciser ce concept :
« […] dans la sémantique de l'énoncé, et contrairement à la sémantique du mot, il y a la marque d'un sujet en tant qu'individu psychique[…] La trace du locuteur dans ces énoncés est le résultat d’une interférence entre deux entités : le monde et soi […] Dans cette perspective, une idée n’est pas simplement liée à la représentation d’un objet, mais elle est liée à la manière dont un sujet l’appréhende en fonction de sa propre identité, en fonction aussi de son intention […]»
Et plus loin, il ajoute :

[…] Dans la mesure où une représentation collective exprime une certaine régularité de structure dans une classe de représentations singulières, l'hypothèse (peu ambitieuse), que nous chercherons ensuite à développer, est que cette régularité est due aux contraintes de ce que nous appelons "un monde".»
Puis, enfin :

Ramené à notre problématique, cela nous amène à poser deux hypothèses :
- Nous considérons un “monde” - objet à statut collectif qui serait représenté par l’ensemble traité des textes considérés dans un corpus donné (l’espace défini à travers les AFC) ;
- Nous pouvons déterminer et interpréter les “mondes de pensée” associés à chacun des participants à la définition de ce “monde” collectif. Ces participants, considérés comme des sujets traitant l’objet collectif, sont les disciplines scolaires (PA, STI, etc.).

1 - 6 - Les résultats présentés.

En relation avec notre problématique, nous présenterons dans le corps de cette thèse des AFC sur lesquelles nous avons fait apparaître les résultats essentiels.
En annexe 3 sont fournies les AFC détaillées et un descriptif des classes (profils, anti-profils et UCE caractéristiques).

2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992)

2 - 1 - Les AFC.

Dans les AFC que nous présentons, dérivées des AFC fournies par le logiciel, peuvent être repérés les numéros des classes (de 01 à 05), les verbes d'action (en italique et souligné), les formes aux plus forts chi 2 (en gras), les autres formes importantes, les variables illustratives (PA_1, etc.).

Premier et deuxième facteurs.

```
Axe horizontal : 1e facteur : V.P. =.4949 (   36.19 % de l'inertie)
Axe vertical   : 2e facteur : V.P. =.3218 (   23.53 % de l'inertie)
```

```
   +-----|---------|---------|---------+---------|---------|---------|-----+
16 |                  TP_9                                                  |
15 |                PA_0                                                    |
14 |                                                                        |
13 |                  montage+                                              |
12 |         determin+  TP_0 mesur+                                         |
11 |       realiser  04   transistor+                                       |
10 |       relev+   valeur<  amplification                                  |
 9 |                  O3                                                    |
 8 |         TP_1   PA_9   lineaire+ pratique+                              |
 7 | faire                     travail+                                     |
 6 |                       etudie+                              logique+    |
 5 |                                                                        |
 4 |    savoir                                          ESTI_9   analyse+
 3 |                                                AII_9   grafcet  05  fonction+
 2 |                                                      realis+  partie<  ESTI
 1 |                                                 oeuvre systeme+    AII
 0 +----------- déterminer ------------+------------------ automat+  structur+
 1 |                                                  associe+    definir
 2 |                                                            information<
 3 |                                                      command+   industriel+
 4 |                                                                        |
 5 |           loi<                                                         |
 6 |      science<                                                          |
 7 |  PA_1                                          signal<                 |
 8 |                                            consomm+  transport+  distribu+
 9 |    connaitre                            dispos+   protection+  nature  |
10 |                                         product+          defaut+      |
11 |                                                 01      ELEC  ELEC_9   |
12 |                                                                        |
13 |      vecteur+      circuit+                      isol+                 |
14 |  aimant+     bobin+   condensateur+         energie+                   |
15 |          magnetique                                                    |
16 |        electrostatique                                                 |
17 |      electromagnetique                                                 |
18 |          02   champ+                                                   |
   +-----|---------|---------|---------+---------|---------|---------|-----+
```

Premier et troisième facteurs.

```
Axe horizontal : 1e facteur : V.P. =.4949 (   36.19 % de l'inertie)
Axe vertical   : 3e facteur : V.P. =.2865 (   20.95 % de l'inertie)

   +-----|---------|---------|---------+---------|---------|---------|-----+
14 |                                                          partie<     |
13 |                                                        grafcet       |
12 |                                                 oeuvre      05       |
11 |                                                              analyse+
10 |       electromagnetique                                            |
 9 |         electrostatique                      realis+ logique+        |
 8 | aimant+   02  bobin+  condensateur+            associe+   information<
 7 |         champ+     circuit+                      automat+  systeme+
 6 |  vecteur+  loi< magnetique                        command+   structur+
 5 |  PA_1   science<                                                     |
 4 |   connaitre                                                 industriel+
 3 |                                                        fonction+
 2 |            determiner                                          definir
 1 |             lineaire+                                                |
 0 +--- savoir ---03--PA_9-------------+- pratique+ -----------------------|
 1 | faire          PA_0    etudie+                                      |
 2 |                           travail+                                   |
 3 |        determin+                                                     |
 4 |             TP_1  valeur<                                            |
 5 |      relev+   mesur+   transistor+                                   |
 6 |            04    montage+                                            |
 7 |       realiser   TP_0         amplification                          |
 8 |              TP_9                                                    |
 9 |                                                                      |
10 |                                                                      |
11 |                                                                     |
12 |                                          energie+                    |
13 |                                                                      |
14 |                                              isol+      distribu+    |
15 |                                              transport+  nature      |
16 |                                          consomm+     protection+    |
17 |                                       product+                       |
18 |                                      dispos+  signal<  defaut+       |
19 |                                               01                     |
   +-----|---------|---------|---------+---------|---------|---------|-----+
```

2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.

2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.

2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).

L'axe horizontal (36,19 % de l'inertie) délimite deux zones bien différenciées. À l'ouest, on trouve les points représentatifs des variables illustratives correspondant aux disciplines rattachées à la Physique Appliquée ; à l'est, sont placées les points correspondants aux Sciences et Techniques Industrielles.
Le point repéré le plus à gauche est celui relatif à l'enseignement de la physique appliquée en classe de 1ère ; les points les plus à droite sont ceux relatifs aux Étude des Systèmes Techniques Industriels.

Les lectures des profils, des UCE caractéristiques et des anti-profils des classes confirment l'impression d'une opposition entre des "formes" se rattachant à la physique :

`aimant, bobine, vecteur, champ+`

et des "formes" liées aux applications de l'électrotechnique et notamment aux systèmes automatisés et à l'industrie,

`industriel, fonction, commande, automatisme, mise en œuvre`

Les projections des différents points représentatifs des sous-ensembles disciplinaires ou des classes et le rapprochement que l'on peut faire avec ce qu'elles représentent nous permet d'aller plus loin dans l'analyse du premier facteur.
On peut alors décrire l'AFC par un "monde" allant de l'ouest vers l'est de la PA_1 (notions et concepts de la physique c'est à dire tension, courant, lois, circuit) à TP (composants, méthodes, résultats) et à PA_0 (analyse, étude, modèles), puis à ELEC (applications liées à l'énergie) et enfin à AII / ESTI (systèmes automatisés, industrie).

L'analyse met ici en évidence les "mondes de référence" de certains des sous-ensembles disciplinaires évoqués : la Physique Appliquée en classe de 1ère s'attachant à des relations avec des objets de la physique (lois, concepts d'électricité, composants électriques) et les ESTI / AII aux objets de l'industrie, notamment les API (automates programmables industriels) et les ensembles dans lesquels ils se trouvent.

2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).

Le deuxième facteur qui représente 23,53 % de l'inertie peut essentiellement être caractérisé grâce aux éléments des classes 02 (au sud) et 03, 04 (au nord). Il met en opposition des notions générales de la physique (liées à l'électrostatique, au magnétisme, à l'électro-

magnétisme, à l'électricité) et des composants simples ou leurs associations (condensateur, bobine, circuit, alimentation) - au sud - à des formes indiquant des méthodes (analyse, montages, relevés) en relation avec l'expérimental (appareils, mesures, valeurs) - au nord -.
En relation avec cet axe sud-nord, on peut également repérer une suite de verbes décrivant les activités : connaître, déterminer, savoir, faire, réaliser correspondant à une ligne "de la connaissance" / "de l'action expérimentale".

2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical).

Le troisième facteur qui représente 20,95 % de l'inertie peut être interprété grâce aux classes 01 et 05.
La classe 01 (sud) se rapporte aux applications de l'électrotechnique dans le domaine de l'énergie et met en évidence certains aspects sociaux qui lui sont liés : relations avec l'homme (protection) et avec la société (production, distribution, transport, consommation).
La classe 05 (nord) est relative aux systèmes automatisés. Sur l'AFC, les "formes" les plus extrêmes expriment le côté plutôt théorique de l'étude de ces applications : Grafcet, partie opérative, fonctionnel, réalisation, définir.

On peut résumer ces orientations sur les schémas suivants.

2 - 3 - Conclusions.

À travers l'étude des textes curriculaires que nous avons faite à l'aide du logiciel d'analyse Alceste, nous voyons apparaître le "monde" correspondant à l'électrotechnique dans l'enseignement au niveau des classes secondaires de lycées d'enseignement général et technologiques dans la section électrotechnique.

Apparaissent dans les contenus des textes :

- Les références aux lois de la physique, aux concepts et notions , aux composants qui s'y rattachent, dans le domaine de l'électricité (électrostatique, électrocinétique, électromagnétisme).
- Les références aux objets de l'industrie, notamment, aux automatismes et aux ensembles dans lesquels se trouvent des systèmes automatisés.
- L'étude des applications relatives à la gestion de l'énergie.
- Des approches théoriques et expérimentales, des aspects formels qui s'appuient par exemple sur les notions de "système", de "fonction", de "modèles" et de "modélisation", d'"analyse".

Dans cet ensemble, les points de vue des "sujets" (au sens de M. Reinert), c'est à dire les sous-ensembles disciplinaires peuvent être ciblés.

Nous pouvons pour cela placer les positions de ces sous-ensembles dans le "monde" décrit précédemment.

On peut regrouper ces plans dans un schéma en trois dimensions.

2 - 4 - Les “mots” les plus utilisés dans les programmes.

On peut ajouter, pour information, une liste des 10 “mots” les plus employés dans les définitions de programme (d’après un fichier fourni par le logiciel Alceste).

Sciences et Techniques Industrielles		Physique Appliquée	
Mots	Nombres	Mots	Nombres
Système (s)	140	Tension	101
Fonction (s) - fonctionnelle	140	Savoir	100
Énergie	73	Magnétique ou B (symbole)	100
Commande	50	Faire	97
Constituants	32	Connaissances	77
Automatisé	31	Courant	77
Données	31	Circuit	60
Traitement	30	Champ	57
Nature	28	Égale	53
Partie	28	Valeur	53

3 - Réflexions sur l’utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.

3 - 1 - Le choc des photos…

Les résultats obtenus avec le logiciel et l'analyse faite recoupent et clarifient certaines des observations et remarques que nous avions pu faire précédemment. Et il faut bien reconnaître qu'une certaine séduction apparaît à l'usage… Les AFC ont un caractère particulièrement attractif…

3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?

Avec prudence, nous ferons cependant remarquer qu'une étude qui serait menée simplement avec cet outil ne pourrait être qu'une investigation ayant pour objectif de décrire ou de mettre en évidence des faits avec une certain degré d'objectivité non négligeable pour un chercheur par nature très impliqué dans sa recherche. Une interprétation plus profonde des faits observés ou mis en évidence ne peut être menée qu'avec d'autres corpus ou d'autres données.

3 - 3 - Le poids des "mots"…

Comme nous l'avions précédemment relevé, le logiciel s'attache à la syntaxe des "mots", même si le contexte dans lequel ils se trouvent intervient éventuellement à travers les UCE. Or, certains termes sont polysémiques, y compris, ce qui n'est pas sans soulever des questions, à travers les langages des différentes disciplines : les mots "modèle" (et "modélisation"), "fonction", "expérimentation" (voire "expérience") ou même "électrotechnique" ont-ils la même signification en PA ou en STI ?

3 - 4 - Et les absents ?

Dans les fichiers obtenus avec le logiciel, le poids statistique des "formes", leur chi 2 est fondamental. C'est ainsi que disparaissent quasiment de l'étude statistique des "mots" qui ont pourtant leur importance :

- La révolution de l'électronique de puissance et les alimentations des machines : hacheurs et onduleurs sont pratiquement absents des AFC. Les noms des variateurs sont rarement écrits dans les textes : un titre de chapitre, une ou deux applications… et le reste de la présentation sur l'objet se rapporte à des "mesures", des "graphiques", des "caractéristiques", des "modèles", des "formules" mais on ne trouve que peu souvent (et pas assez souvent pour le logiciel) le nom du composant en question.
- L'utilisation de banc d'essais automatisé et informatisé a profondément contribué à modifier les pratiques enseignantes en Physique Appliquée (cf. 3ème partie).

Ce type de matériel cité une ou deux fois dans les documents institutionnels traités, n'a pas le poids statistique suffisant pour exister au sein d'une AFC.

3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".

- Les textes curriculaires sont écrits par des institutionnels vers des enseignants, et vers d'autres institutionnels (il semble que dans ce domaine, il convient parfois de marquer son territoire ou de montrer ce que l'on sait ou fait faire !) afin d'éviter des recoupements (même sujet traité par deux disciplines) ou au contraire d'en favoriser d'autres (relations entre programmes de mathématiques et de physique appliquée, de mécanique et d'étude des systèmes par exemple).

- Les textes "révolutionnaires", au sens de Kuhn, marquent particulièrement les notions à transmettre et les méthodologies d'enseignement préconisées. C'est pourquoi, on retrouve par exemple les mots "système" et "fonction" assénés de nombreuses fois dans les programmes de STI de 1992 ; il s'agit, pour les émetteurs (ceux qui font les programmes), d'affirmer une orientation en même temps qu'informer, ou même instruire parfois, les récepteurs (les enseignants).

- Si, de toute époque, les textes institutionnels ont indiqué le poids de l'expérimental dans l'enseignement des sciences et de la physique appliquée, les programmes de physique appliquée de 1992 insistent encore plus sur ce point-là.

- Nous soulèverons une dernière question à laquelle nous ne pourrons apporter de réponses dans cette thèse : quelles représentations explicites ou implicites des enseignants, des élèves et du savoir du domaine considéré se font les institutionnels qui participent à l'écriture des textes curriculaires ?

3 - 6 - En guise de conclusion…

"séduisant", "objectif" pour les côté positifs ; "à manier avec précaution" et "partiel" pour les côtés moins positifs seront les termes que nous utiliserons pour qualifier l'utilisation de ce logiciel dans le cadre de notre étude…

Il reste cependant que, dans les grandes lignes, nous avons retrouvé des éléments de réflexion que nous avancions dans le chapitre précédent : mondes de référence, place de l'expérimental en PA et d'une certaine formalisation en STI. Sur ces plans-là, l'étude par Alceste en constitue donc une validation, le faisceau de convergences s'étant enrichi de nouvelles données…

4 - “Mondes de référence” et “pratiques sociales de référence”.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence ce que nous avons appelé des “mondes de référence”, en utilisant la dénomination de M. Reinert (pour le mot “monde”).

Il peut paraître intéressant de rapprocher les “mondes de référence” de la notion de “pratique sociale de référence” de J.-L. Martinand.
On peut effectivement trouver des points communs entre les deux.
On pourrait dire par exemple que les “pratiques sociales de référence” sont à chercher pour l’enseignement en ESTI dans l’industrie fabriquant ou utilisant des ensembles techniques, pour la physique appliquée en classe de 1ère dans la physique (recherche ?), et en classe de terminale dans le monde industriel fabriquant ou concevant des composants de l’électrotechnique, c’est à dire dans les “mondes de référence” mis en évidence.

Mais, les points communs sont beaucoup moins nombreux que les questions que ce rapprochement laisse posées.
Le “monde de référence” ne constitue au mieux qu’une référence d’ordre épistémologique.
Les “pratiques sociales de référence” sont beaucoup plus complexes et associent des matériels, des contenus, des documents, des préparations, des évaluations, des relations sociales, etc. Se donner un “monde de référence” n’indique pas quelle pratique précise de ce monde on va prendre en référence (l’ingénieur, le chercheur, le technicien), ni quel est le but visé. Rien n’est dit non plus sur les écarts que l’enseignement va finalement apporter aux pratiques de référence…

CONCLUSIONS

1 - Retour sur l'hypothèse de départ.

On a montré, confirmant l'hypothèse que nous avions formulée, la multiplicité des pressions agissant sur la définition des contenus à enseigner :

- pressions externes au système éducatif :
  - demandes sociales relatives à l'emploi (ou les conséquences d'un manque d'emploi) et à la formation,
  - évolutions matérielles, intellectuelles, techniques et scientifiques des secteurs de référence,
  - demande de mobilité professionnelle ;
- pressions internes au système :
  - approche méthodologique des savoirs à enseigner (relations sciences et techniques),
  - transpositions faites sur les matériels (systèmes homothétiques par exemple).

2 - Le sens général des évolutions observées.

Les contenus des différents textes de 1967 indiquent, au moment de la création du baccalauréat de technicien, une forte référence à des objets techniques industriels et à un travail d'étude de ces objets, de la loi physique vers l'ensemble industriel, de la conception à la fabrication. La finalité principale de la filière était alors la formation de techniciens opérationnels immédiatement.

- Les éléments de pratique qui se compliquent et se dispersent dans des champs plus vastes,
- Les professionnalisations affirmées et fortes de l'enseignement supérieur court, dans les Lycées d'Enseignement Général et Technologique **et** de l'enseignement du second degré dans les Lycées Professionnels,
- La poursuite des études qui présente l'avantage d'une formation générale, scientifique et technique plus large et donc à terme d'éventuelles possibilités de mobilité sociale plus importantes,

ont contribué à provoquer au niveau de la formation des techniciens un allongement de la scolarité. Le baccalauréat de technicien est devenu baccalauréat technologique.

Aujourd'hui, au niveau de la classe de Terminale, les contenus sont marqués par des conceptualisations affirmées (modélisation, notion de système, analyse descendante, etc.) ; les objets sur lesquels travaillent les élèves ne sont plus des ensembles réellement industriels : ce

sont des maquettes, des systèmes homothétiques, des machines de puissance limitée, etc. La conception d'ensembles techniques n'est plus abordée.

3 - L’enseignement de l’électrotechnique aujourd’hui.

Devant la rapidité des évolutions techniques, les disciplines d'enseignement se sont repliées vers des connaissances de niveaux conceptuels plus élevés y recherchant, c'est du moins le sens des écrits, une certaine pérennité (des lois de la physique et de l’électrotechnique en Physique Appliquée, des "fonctions" en STI). Les savoirs à appréhender deviennent des "principes" et des "notions sur" les fonctionnements et/ou les fonctions des ensembles techniques.

L'enseignement de l'Électrotechnique en classe de T.F3 est assuré aujourd'hui *via* deux disciplines, la Physique Appliquée et les Sciences et Techniques Industrielles. Ces deux disciplines sont reliées par le fait qu'elles travaillent toutes deux autour et sur les ensembles et les objets constitutifs de l'Électrotechnique (contrainte épistémologique).
Mais,
- la Physique Appliquée accède aux objets techniques par l'étude ou/et la conception de modèles de fonctions ou d'objets simples à partir des composants électriques de base. Les associations des composants sont étudiées grâce aux outils de la physique et des mathématiques ;

- les Sciences et Techniques Industrielles abordent la connaissance d'ensembles techniques industriels par une analyse descendante, aboutissant à des fonctions dont les structures matérielles sont parfois approchées. Celles-ci restent compliquées en terme d'associations de composants électriques.

	OBJECTIFS GÉNÉRAUX	MÉTHODES
PHYSIQUE APPLIQUÉE	Étude d'objets de l'électrotechnique. Association de composants.	Des lois de la physique et des composants et des résultats expérimentaux vers des modèles des objets techniques.
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES	Analyse d'ensembles techniques finis compris en termes d'associations de fonctions et sources d'actions à long terme.	Analyse descendante : des ensembles techniques vers les fonctions. Analyses structurelle et temporelle.

À la lecture et à l'analyse des curriculums, il semble bien qu'il existe maintenant des "distances" non négligeables
- entre les élèves de Terminale et une référence sociale technicienne d'une part,
- entre les contenus (savoirs et méthodes) des deux disciplines d'autre part.

Un Inspecteur de STI nous précise sur ce sujet que la dichotomie entre les deux disciplines est une nécessité parce qu'elle permet une complémentarité : (A2, p. 78)

4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?

4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.

Le concept de "registres de technicité" est proposé par J.-L. Martinand (1992) qui reprend en les aménageant dans une perspective d'enseignement les idées de M. Combarnous (1984). Il s'agit de dégager des traits communs à l'ensemble des moyens techniques et de cerner ainsi un caractère qualifié de "technicité".

La technicité résulte de la réunion de trois composantes :

- des outils, instruments, "engins" spécifiques, matériels ou symboliques ;
- la spécialisation des acteurs, que ce soient des individus (rôles socio-techniques) ou des entreprises (le "métier").»

Cette notion permet d'éviter une vision hiérarchique en niveaux, rien ne montrant que les technicités puissent être ordonnées, hiérarchisées suivant un degré de symbolisation. Les technicités ne s'englobent pas l'une l'autre. La technicité peut être au coeur d'un projet d'instruction.

On peut envisager au moins quatre registres :
- celui de la "participation", qui correspond à la capacité de s'immerger dans une pratique sans y être autonome mais actif ;
- celui de la "maîtrise" qui correspond à la capacité d'intervention autonome ;
- celui de la "lecture" qui correspond à la capacité d'identifier les composantes de la pratique de référence ;
- celui de la "transformation" de la pratique de référence elle-même.

4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".

Des recherches du Céreq ont souvent pris pour origine la situation et la formation des techniciens. On retrouve une synthèse de certains des travaux dans un ouvrage collectif[1] prenant également en compte les études faites au sein des universités et par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).
R. Guillon (1986) y insiste sur les voies de professionnalisation : «L'enseignement technique a été transformé pendant les années 1960 avec, notamment, la création de filières et de diplômes d'enseignement secondaire long (au niveau d'une classe de terminale) et d'enseignement supérieur court (deux ans d'études après la terminale)… Le niveau de formation initiale des techniciens en activité s'est élevée depuis vingt ans […]» Il ajoute que certaines études montrent que
J.-L. Kirsch, du Céreq (1993) affirme qu'il y a parfois perte de la "cible professionnelle" à certains niveaux de la formation : «La crise des années 80 associée au développement de la poursuite des études ont fait que les préparations à ces différents diplômes [de techniciens] ont évolué vers des formations de masse tendant de plus en plus à perdre l'objectif et peut-être le souci de leur cible professionnelle. Tout s'est conjugué pour que s'accroisse la distance entre système éducatif et système productif. La diminution de l'appel aux jeunes par ce dernier a provoqué à certains niveaux l'instauration d'une logique scolaire organisant des parcours de formation au détriment d'une logique professionnelle définissant des modalité d'accès au marché du travail.»

[1] Tanguy, L. et al. (1986). *L'introuvable relation formation/emploi*. Paris: La Documentation française.

D’après notre étude, il ne semble pas que l’on puisse affirmer que l’enseignement de l’électrotechnique en classe de terminale n’est plus à visée professionnelle. La cible a été simplement éloignée dans le temps.

Les objets d’apprentissage sont choisis pour constituer une première lecture des éléments de pratique sociale. Les savoirs liés à l'électrotechnique doivent être perçus, dans la perspective de cet enseignement technologique, dans une continuité entre l’enseignement secondaire et l’enseignement supérieur. C’est le sens de la déclaration d’un des auteurs des programmes d’enseignement en STI : «Je pense que la PA en première et terminale n’est plus comme elle l’a été,… n’a plus un caractère professionnel. Par contre elle le retrouve forcément en BTS. De même que nous, en STI, nous n’avons plus, en première et en terminale, un caractère professionnel. Nous avons rendu notre enseignement plus conceptuel. Se raccrocher à l’aspect professionnel, c’est pas intéressant ; se raccrocher à ce qui existe actuellement dans les lycées, c’est bien.» (A2, p. 76)

Quelques éléments de pratiques sociales sont approchés. Les élèves de la classe Terminale construisent des connaissances technologiques, des éléments de modèles, quelques compétences (STI), des méthodes de travail, notamment expérimentales (démarche, mesurage), en relation avec des objets techniques construits pour l’enseignement, distants d’un objet réel ; et il semble que pour les institutionnels, ces connaissances pourraient être réinvesties ou/et approfondies en STS dans une problématique du technicien qui doit confronter un objet réel à la connaissance de cet objet qui est pertinente pour lui, construite autour d’un projet (cahier des charges) ou décrit dans des documents techniques industriels (maintenance, programmation, etc.).

C’est le sens de la déclaration d’un des auteurs des programmes en STI (A2, p.73) : «On essaie […] que l’élève puisse accumuler un certain nombre d’exemples, de cas, à travers une méthodologie que l’on a essayé de rendre “unique” avec des constantes, à travers l’analyse de

tous ces systèmes de manière que l'élève puisse après le bac puiser dans toutes ces connaissances et ces exemples qu'il a vus pour commencer à construire au sens noble, neuf du terme.»

Un inspecteur (IPR) des STI ajoute dans le même sens (A2, p. 80) : «Cela correspond d'ailleurs à une autre dichotomie : avant le bac, on décrit les systèmes, après le bac, on commence à les concevoir. On les conçoit à partir de solutions qui existent et que l'on va adapter face à une nouvelle situation. On conçoit à partir de bases de données et il est clair qu'au niveau bac, les bases de données, même si elles existent sont très petites. On fait pas de la conception, on fait de la description.»

C'est aussi en termes de "registres de technicité" que l'on peut penser la continuité entre les enseignements de terminale et ceux en STS. Il s'agit alors en classe de terminale d'aborder certains concepts, certaines méthodes dans des situations en rapport avec des pratiques sociales de référence, avec des registres de technicité particuliers.

Certains de ces registres peuvent suffire en eux-mêmes dans certaines situations quels qu'ils soient : la "participation" peut suffire pour certaines activités (utilisation d'un micro-ordinateur), la "maîtrise" pour d'autres (utilisation d'un multimètre), etc.

Certains autres registres devront être réexaminés en STS (utilisation d'un oscilloscope). En classe de terminale, l'enseignement développe alors les mêmes notions, méthodes, etc., mais avec des registres différents ou moins approfondis que ceux développés en STS.

5 - À propos du "technicien d'école".

Les textes étudiés au niveau du baccalauréat présentent quelques points communs avec ceux définissant le "technicien d'école" (référentiel STS). On peut relever des descriptions de compétences (STI) et certaines appellations du type "pédagogie par objectifs" en PA.

Le fait que la PA travaille sur des grilles de capacités en classe de terminale alors que le référentiel du diplôme est exprimé en compétences en STS peut également être perçu comme un signe de continuité à condition de faire l'hypothèse, apparemment posée au niveau des institutions, que des connaissances et des capacités initiales sont nécessaires pour construire des compétences.

6 - Remarque.

Il s'agit ici de préciser la place des contenus enseignés en électrotechnique au niveau de la classe de Terminale dans un ensemble plus complexe mais lié aux objets techniques.

Lors du colloque "Culture technique et formation" en 1987, les animateurs (J. Ardoino et al. - 1991) étaient pressés par les participants de donner des définitions aux mots qu'ils em-

ployaient, notamment les mots "Technique" et "techniques", mais ils refusèrent de répondre directement aux sollicitations.

J.-M. Lévy-Leblond précise :

G. Berger finalement mit en évidence la complexité de la Technique : «Cela me rappelle cette vieille formule de Marx rappelant que l'homme est le produit de son produit, et l'on peut continuer : "cet homme, produit de son produit, produit de nouvelles choses qui le produisent à nouveau" etc. Et selon que l'on parle à un ou à l'autre niveau de cette cascade, on va dire des choses différentes. À la fois, la Technique, c'est ce produit que j'appellerai primaire, mais qui lui-même va avoir un produit qui est cette forme nouvelle […] d'intellection et de communication qui elle-même va engendrer de nouveaux produits.»

La Technique est multipolaire, liée bien entendu aux machines et aux mécanismes réels qu'elle produit ou transforme mais également aux phénomènes scientifiques, sociaux, politiques et économiques qu'elle modifie, crée, dont elle découle ou avec lesquels elle interfère, dans la mesure où les objets techniques en dépendent. La Technique est abordée suivant différents points de vue, ceux des philosophes ou des historiens, des épistémologues ou des sociologues, etc. La volonté de la plupart d'entre eux est de montrer que les interactions entre les Hommes et les machines doivent être l'occasion pour ces premiers de discuter de la pertinence et de l'avenir de ces secondes. P. Lévy (1992) résume ce point en écrivant : «L'humain, le social, le culturel, tout autant que le physique ou le biologique participent à la technique ; et c'est par là que la critique de la technique ne peut être réservée aux techniciens. Nous avons le droit de dire notre mot parce que nous en sommes.».

Y. Deforge (1993, p. 72) propose une "archéologie dynamique" des systèmes volontairement limitée à [1]. L'objet technique y apparaît en tant qu'entité sur laquelle il est possible de porter :

- un regard "technique" en relation avec le système de production,
- un regard "économique" en relation avec le système de commercialisation,
- un regard "esthétique" en relation avec le système des objets,
- un regard" ergonomique" en relation avec le système d'utilisation.

[1] On retrouve une approche semblable dans le rapport Copret relatif à l'enseignement de la technologie dans les filières d'enseignement général (Levrat, 1992).

Quels éléments de culture technique l'enseignement de l'électrotechnique (PA et STI) en classe de Terminale aborde-t-il ?
À la lecture des éléments curriculaires, il semble que ce soit essentiellement l'objet technique en relation avec le système de production : comment le produit a-t-il été conçu, comment a-t-il été fait, avec quels moyens, avec quels savoirs, dans quel but ? Ce sont les approches structurelles, fonctionnelles et scientifiques qui sont utilisées, ce n'est donc que le "regard technique" qui est développé.

Si plus tard, en STS, ou ailleurs, au cours des enseignements reçus, par exemple en philosophie, en histoire ou en sciences économiques, d'autres "regards" ne sont pas développés, la culture acquise par les élèves se trouve réduite à un simple savoir technique. Y. Deforge (1993, p. 79) semble souhaiter des développements culturels au niveau de la formation des techniciens. Il écrit notamment : «Ne mettre dans l'Éducation Technologique ou dans la culture technique *que de la technique,* ce serait abandonner toute idée de contrôle social des techniques, ce serait priver la technique d'un sens dont chaque technicien, et chaque citoyen, chaque citoyen-technicien, doivent se sentir, dans une conjointe responsabilité, porteurs et gardiens.»

TROISIÈME PARTIE :
ÉTUDE DE CAS

I. Stengers et D. Gille .

INTRODUCTION

Le curriculum formel/prescrit concerne les contenus à enseigner mais aussi les moyens, les méthodes et les outils permettant la construction des activités de classe.

Nous nous intéressons dans cette troisième partie à quelques éléments de curriculum formel/prescrit, choisis parce qu'en rapport avec des notions précédemment abordées ou/et qui nous serons utiles dans la perspective de l'observation que nous développerons dans la quatrième partie.

Les éléments discutés ici sont :

- **l'analyse fonctionnelle descendante** des systèmes techniques, dérivée de la SADT, une des trois approches de l'objet en Sciences et Techniques Industrielles (Chapitre 1) ;

- **le banc d'essais et de mesures avec (ou sans) dispositif d'acquisition de données** pour l'étude des machines tournantes utilisé dans le cadre de la Physique Appliquée (Chapitre 2).

Il s'agit dans les deux cas, en relation avec notre problématique de relever et d'interpréter les **écarts** entre éléments de **pratiques de référence** et éléments correspondants dans les **curriculums** (Chapitre 3).

CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE. DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.

1 - Principes généraux de la méthode.

SADT (Structured Analysis and Design Technic)[1] a été développée vers la fin des années 70 par T. Ross au sein de la société de **génie logiciel** Softech. Cette méthodologie, a pour objectif de résoudre les problèmes liés à la qualité des documents de **spécifications** et de **conceptions** lors de l'établissement d'un cahier des charges ; globalement, elle doit faciliter la **communication** entre analystes et développeurs en **modélisant** les systèmes.

La représentation SADT apparaît comme un ensemble de rectangles (les "boîtes" ou les "modules") liés.

Chaque "boîte" du diagramme représente une fonction. Elle possède 4 liens précisant ses relations avec l'environnement, son objectif et ses éléments structuraux.

Dans le livre de référence *SADT, un langage pour communiquer* (IGL Technology, 1989), sont précisés (pp. 11/ 22) les concepts sur lesquels la méthodologie SADT s'appuie :

- Modéliser pour comprendre afin d'obtenir un enchaînement d'actions et de données.
- Discipliner la démarche d'analyse. La méthode est :
  - **Descendante** car elle prend comme point de départ la globalité représentée par une boîte. Elle est décomposée en d'autres boîtes, etc. L'étude .
  - **Hiérarchique** et **austère** car les éléments de contraintes, de mécanismes, les entrées et les sorties d'une boîte à un niveau donné existent déjà obligatoirement au niveau supérieur : une boîte n'a pas d'autonomie. Les frontières définies à un niveau hiérarchique donné ne doivent pas être remises en cause à l'échelon immédiatement inférieur.
  - **modulaire** car elle peut être faite par module, par morceau, par niveau, selon les besoins de l'analyse.

  Les relations entre les "boîtes" sont exprimées horizontalement aux différents niveaux.

[1] L'appellation renvoie à la fois à une méthode (Structured Analysis) et à une technique de représentation pour la communication (Design Technic).

- Séparer les “Quoi et Pourquoi” (niveau conceptuel) du “Qui, Où et Quand” (niveau organisationnel). SADT ne répond pas au “Comment” (niveau opérationnel) afin d’éviter qu’une solution soit trouvée avant que le problème ait été totalement posé (**séparation de la spécification et de la réalisation**).
- Modéliser la réalité composée de données (les objets) et d’activités (les actions). Deux diagrammes sont créés : les actigrammes montrent la décomposition des activités, les datagrammes celles de données.
- Formaliser de manière graphique.
- Travailler en équipe : Plusieurs "auteurs" élaborent de façon indépendante et simultanée des documents spécifiques à une activité. Des "lecteurs" ont pour rôle de corriger, et éventuellement de renvoyer à un auteur son travail. Ils vérifient la cohérence de chaque partie et du tout.
- Consigner par écrit afin de favoriser les échanges, la communication.

Deux types de représentations peuvent être utilisées : les actigrammes centrés sur les activités et les datagrammes centrés sur les données.

2 - SADT dans l'enseignement.

2 - 1 - La mise en place de SADT.

On a vu dans la deuxième partie de cette thèse les conditions de l'institutionnalisation de l'observation des systèmes dans l'enseignement en STI.
Les approches matérielles et temporelles proposées ne semblent pas poser de problèmes particuliers car elles sont normalisées. Il n'en va pas de même de l'approche fonctionnelle. Dans la première partie, on a montré quelques unes des méthodologies qui peuvent s'y rattacher, aucune n'est normative.
La mise en place de la méthodologie d'analyse descendante dérivée de SADT relève donc d'un choix.

Quels étaient les critères de ce choix ?

Les entretiens que nous avons menés nous donne sur ce sujet quelques informations. Selon les propos que nous avons recueillis auprès de personnes impliquées dans la mise en place de la méthodologie dans l'enseignement, il semble que la transposition soit due à la conjonction de différents faits que nous développons :

1 - La volonté, chez les décideurs institutionnels des STI de mettre en place un enseignement permettant de porter **un regard nouveau et spécifique sur les objets techniques** sans se référencer systématiquement aux lois de la physique ou de l'électrotechnique, à la PA, qui ne permettent pas d'aborder les ensembles techniques d'aujourd'hui.

> «La disposition pratique qui a fait la révolution chez nous a été la mise en place de la seconde TSA avec les travaux de Bernard Debette qui est aujourd'hui notre doyen [de l'Inspection Générale]. Il s'agissait de marquer nos valeurs et de situer notre discipline par rapport aux autres, en terme de complémentarité. Jusqu'en 1985, cela se situait en termes d'opposition […] Aujourd'hui, on est passé de gens qui faisaient des choses à des gens qui font des assemblages. Le côté réalisateur s'est transformé pour l'électrotechnique d'ailleurs surtout. On est plus ensemblier que concepteur de composants.» (A2, pp. 78/91)

> «[…] Autrement dit, l'enseignement de l'électrotechnique, ce n'est pas seulement l'enseignement de la physique appliquée. Nos collègues de physique appliquée font très bien ce qu'ils font. Mais il fallait montrer ce qu'est un système technique industriel réel […]
> Quand j'ai décrit les trois approches [matérielle, fonctionnelle et temporelle[…] On a essayé de "se situer au-dessus de la mêlée"» (A2, pp. 70/76)

2 - La **méthode adoptée devait être assez formelle** pour éviter de vieillir aussi vite que les composants.

> (A2, pp. 70/76)

3 - La méthode devait être un outil unique pour l'analyse fonctionnelle et pouvoir donc être utile aux **différentes disciplines** de l'enseignement technique, ce qui a nécessité certains compromis…

* Les mécaniciens "oubliaient" les pilotages par moteur électrique…

> «[…] Les **mécaniciens** par le biais des automatismes sont allés très vite dans l'agencement des systèmes, plus vite que les électriciens [mais] ils avaient perdu la capacité à gérer l'énergie […] ils s'arrangeaient uniquement avec les notions de séquences de transition, par le biais du Grafcet […] et surtout leur motorisation était tout ou rien. C'est pour cela que le pneumatique et l'hydraulique ont été longtemps privilégiés. Ils étaient des alternatives au pilotage motorisé par moteur électrique. Cela faisait des choses qui pouvaient fonctionner mais qui n'étaient pas intégrées […] (A2, pp. 78/91)

* Les électroniciens s'étaient lancés dans des approches fonctionnelles mais l'aspect énergétique y était absent et les informations et les contraintes pour le système étaient traitées de la même façon…

Historiquement, Dominique Siciliano [IG STI] s'est aperçu très vite, **en électronique**, [qu'il] fallait être capable de décrire des ensembles assez conséquents. Il a fait une approche systémique qui consiste à relier des ensembles isolés entre eux en donnant un nom fonctionnel à chaque ensemble isolé et avec une méthodologie de niveaux […]

Cela pose le problème de la décomposition d'un système. Comment je vais faire pour rentrer dedans ? La réflexion n'était pas contre ce qui avait été fait en électronique mais on avait le sentiment qu'elle ne convenait pas parce que **l'électrotechnique**, c'est l'intersection entre la mécanique ou le procédé (thermique par exemple) et l'électronique et l'informatique industrielle […] (A2, pp. 78/91)

* La méthode adoptée, dérivée de SADT semblait pouvoir accommoder toutes les disciplines.

L'intérêt principal de cette méthode est qu'elle permettait de distinguer très nettement l'entrée qui est destinée à être transformée par la fonction des contraintes qui sont là pour infléchir la fonction mais qui n'ont pas vocation de transformation.» (A2, pp. 78/91)

Avec un accrochage sur une dominante technologique importante, électrotechnique dans notre domaine, productique ou génie civil dans d'autres. En essayant pour tous les baccalauréats technologiques d'avoir un tronc commun technologique constitué par la mécanique et la construction et l'automatique et l'informatique industrielle pour lesquels on a en gros les mêmes programmes.» (A2, pp. 70/76)

4 - Les élèves de **différents niveaux de l'enseignement** devaient pouvoir travailler suivant les mêmes méthodologies.

(A2, pp. 78/91)

5 - Le souhait que la méthodologie adoptée puisse avoir **un caractère "scientifique"** dans le sens suivant : expérimental plutôt que fabrication, théorique, possibilité de réinvestissement, utilisant des modèles et la simulation :

Il est aussi plus scientifique car plus **théorique** […]

L'approche système devient sous cet aspect une théorie. On s'est élevé, donc on doit **être capable** théoriquement **de réinvestir**. C'est aussi dans ce sens qu'on est devenu plus scientifique. […]

Un autre point intéressant, c'est celui de la **simulation**. Elle se situe entre l'approche matérielle et l'approche fonctionnelle. Il y a là un point de liaison qui n'est pas mal ; sachant cependant que la simulation ne permet que d'illustrer un modèle. On a conçu **un modèle mathématique, scientifique** avec un certain nombre d'hypothèses et la machine permet de visualiser tout ça. C'est intéressant ensuite de comparer les résultats de la simulation à la réalité sur le système. Et c'est un aspect évidemment scientifique.» (A2, pp. 70/76)

Le formalisme de type SADT a alors semblé convenir pour la description des systèmes techniques bien qu'à l'origine ce soit un outil de spécification ; il a été adopté et l'enseignement des STI en classe de Lycée, de la seconde à la terminale, s'est appuyé dans un premier temps sur cette méthodologie.

> «Bernard Debette [IG STI] avait fait le tour des boîtes de génie logiciel pour voir dans les ateliers les outils conceptuels pour la spécification. Nous nous situons nous en phase de description des systèmes. Ce n'est pas pareil mais en phase de spécification, il y a beaucoup de logiciels qui utilisent SADT sous une forme ou une autre. C'est une chose qui nous vient des anglo-saxons et qui historiquement a été faite par des militaires, pour leur stratégie, pour la gestion humaine, pour l'information au sens large […] On s'est renseigné, on a eu des séminaires avec des gens spécialistes de la gestion de l'information.» (A2, pp. 78/91)

2 - 2 - Des difficultés.

L'étude de différents textes et nos entretiens ont mis en évidence des problèmes amenant parfois des oppositions assez fortes liées :

- À l'absence de normalisation et de références dans l'industrie, contrairement à ce qui s'était passé dans le cadre d'une autre méthodologie, le Grafcet (mode de description graphique du fonctionnement séquentiel d'un système automatisé) mis en œuvre et institutionnalisé grâce aux efforts concertés de l'Éducation Nationale et d'industriels[1]. Dans le cadre de SADT, le label industriel de la société Softech et les quelques projets conçus avec l'aide de la méthode n'ont pas suffi.

- Aux difficultés de lecture pour les élèves comme pour les enseignants, parmi lesquelles :

  * la lecture des limites des fonctions et la nécessité de dissocier fonction et ensemble de composants,

  (IPR Aix-Marseille, 1989)

  * les traits entre les boîtes ne représentent pas forcément des liaisons électriques,
  * il convient de dissocier les grandeurs pour chaque liaison,
  * il n'y a pas un seul graphe pour un seul système, les graphes dépendent en effet du point de vue adopté, etc.

> «Le point de vue permet de ne donner que les explications nécessaires à ce que l'on veut montrer, et justifie les découpages quelques fois sommaires de certaines activités : points de vue de l'opérateur, de l'automaticien, de l'électrotechnicien, du technicien, du concepteur, etc.» (IPR Aix-Marseille, 1989)

- Aux difficultés matérielles : les systèmes techniques n'étaient pas ou mal financés, il y avait peu d'industriels pour commercialiser…

- À des dérives : les élèves construisaient ou complétaient des graphes SADT alors qu'ils devaient seulement les lire. SADT passait donc ainsi d'un rôle d'outil à un rôle d'objet d'enseignement…

- À la "disparition" de la notion d'objet (critique générale de l'approche fonctionnelle).

> «On constate que l'approche <fonctionnelle> introduite récemment dans l'enseignement de la technologie a pour effet <pervers> la dilution et le gommage de la notion d'objet, de forme, de géométrie et des paramètres qui lui sont attachés. L'accent est mis sur les notions de systèmes, frontières, matière d'œuvre, fonctions,

[1] J. Lambert (1992) propose dans son mémoire de DEA une étude dans laquelle il aborde notamment la mise en place du Grafcet dans l'enseignement.

> surfaces fonctionnelles. Les élèves finissant par ignorer quelle rugosité est obtenue par tel ou tel procédé d'usinage […] ou la dureté obtenue après un traitement de surface précis […]» (Pattoz, C., IPR, 1993)

- À des tensions entre électroniciens tenants de méthodes plus simples, s'appuyant sur une théorie générale des systèmes, s'intéressant surtout à l'aspect informationnel, ne prenant pas en compte systématiquement l'énergie, et électrotechniciens pour qui la gestion de l'énergie est essentielle.

> «Les membres de l'Inspection Générale se sont partagés entre les deux approches suivant leurs affinités et leur discipline de prédilection - les mécaniciens semblaient proches des électrotechniciens […] et peut-être aussi avec des idées de "pouvoir" ou de "contre-pouvoir". Il y a eu des tensions…
> Finalement, dans un premier temps, on a ainsi introduit la SADT dans les programmes de seconde… jusqu'au moment où un Inspecteur Général […] a démontré que les mécanismes développés par la SADT ne pouvaient pas être compris par les élèves de seconde, qu'elle ne s'intéressait pas seulement à la représentation du fonctionnement et que, de plus elle utilisait une terminologie complexe […] Il a alors obtenu que la SADT disparaisse. Elle n'était plus au programme des secondes.» (A2, pp. 92/93)

J. Lambert (1994) ajoute que la transposition d'un objet ou d'une méthode industrielle ne peut être réalisée de manière efficace que dans un cadre professionnalisé : «transposer dans le cadre d'activités scolaires des méthodes utilisées en milieu industriel suppose une capacité à recréer un minimum de conditions qui préservent à la simulation quelque ressemblance. Ceci ne peut s'obtenir que dans les classes post-baccalauréat, dans le cadre des projets et thèmes de BTS.»

Aujourd'hui, les électroniciens se sont repliés vers une approche fonctionnelle plus simple, prenant en compte leurs préoccupations, c'est à dire essentiellement l'information et l'approche du type SADT a été abandonnée au niveau de la classe de seconde et est essentiellement utilisée en STI, génie électrotechnique dans les classes de première et de terminale.

2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.

Le passage de l'outil SADT de son milieu initial (l'industrie et plus spécialement au départ la spécification logicielle en informatique) au milieu de l'Éducation, en classe de terminale, et plus spécifiquement en électrotechnique s'accompagne d'aménagements visant à adapter l'outil :

- aux préoccupations de l'électrotechnique : énergétiques avec les moteurs et informatiques avec les automatismes
- aux contraintes pédagogiques : continuité des enseignements en particulier.

On peut repérer les transformations suivantes :

- Dans sa finalité, l'outil passe d'une utilisation dans un cadre de **spécification** (recherche **d'un produit qui n'existe pas**) à un cadre de **description d'un système existant** avec l'idée que l'on peut d'une part remonter par analyse descendante au cahier des charges et d'autre part réinvestir la méthode pour concevoir d'autres produits à un autre niveau d'enseignement.

- Dans sa représentation,
  - Seuls les actigrammes sont utilisés ;
  - Les données d'entrée (la matière d'œuvre) peuvent être des produits, des énergies ou des informations (MEI) ;
  - Les sorties correspondent aux mêmes types : des produits avec valeur ajoutée, des pertes énergétiques, des comptes-rendus (MEI) ;
  - Les données de contrôle deviennent les contraintes de pilotage ou de commande : configurations, réglages, données d'exploitation, commande de mise en énergie ou de présence de matière d'œuvre ;
  - Le support de l'activité correspond aux mécanismes et aux processeurs utilisés.

(IPR Aix-Marseille, 1989)

3 - Remarques sur les applications.

Il semble que SADT ait dans les années 80 été utilisée «aussi bien au niveau des grands groupes industriels (Thomson, Aérospatiale, Toshiba, Philips) ou des organismes nationaux ou internationaux (Agence Spatiale Européenne, Cnes, Agence de l'informatique) que des départements informatiques de sociétés pour lesquelles l'informatique est un outil (Eaux de Vittel, sociétés d'assurances italiennes).» (IGL, 1989, p. 6).

Dans l'ouvrage cité, les exemples fournis en termes d'illustration de la méthode sont extrêmement divers se rattachant de fait à des domaines variés dépassant parfois largement le domaine des ensembles techniques matériels :

- Partir en voyage ;
- Surveiller les malades dans un hôpital ;
- Imprimer des fiches-clients ;
- Déterminer le matériel d'une ligne à haute-tension ;
- Pêcher des poissons ;
- Contrôler et surveiller la voiture (conduite, entretien, ordinateur de bord) ;
- Apprendre certaines commandes de SADT.

On trouve même le formalisme utilisé aujourd'hui, sans réserve notifiée, pour la description des actes pédagogiques (Chassaing, J.-P. et Trochet, J.-L., sd>1992, pp. 20/21) : les élèves y sont assimilés à des entrées de "boîte" possédant des prérequis puis à des sorties présentant une valeur ajoutée aux savoirs. La réussite de cet "ajout" de connaissances étant réalisée, selon les auteurs, grâce aux mécanismes : équipe pédagogique et autres élèves, et sous les contrôles des contraintes institutionnelles, des projets d'établissement et des moyens d'enseignement.

La multiplicité des situations et des cas, les particularismes des enseignants et des élèves, la richesse des échanges entre professeurs et élèves reconstruisant en permanence les actes pédagogiques eux-mêmes, les obstacles divers aux apprentissages, le rôle de l'apprenant lui-même dans la construction de ses savoirs et contre certaines de ses conceptions apparaissent ainsi complètement niés ou pour le moins omis.

Ces remarques laissent apparaître une certaine volonté de montrer que le formalisme SADT peut être assimilé à un modèle canonique, ce qui n'est pas sans poser un problème car cela revient à assimiler voire à réduire les systèmes sociaux et psycho-cognitifs[1] à des systèmes techniques matériels. J. Lambert (1992, p. 47) relève ce point dans son travail de recherche sur le sujet : «On peut rêver d'un enchaînement de descriptions où tout système pourrait être expliqué d'un point de vue fonctionnel : les objets techniques, les organismes vivants et les conglomérats stellaires ! C'était déjà un rêve de savants au XVIIIème siècle : rêve de Vaucanson d'un automate parfait, rêve de Newton d'un monde régi par une mécanique strictement rationnelle et rêve de Leibniz du meilleur des mondes possibles et de l'harmonie préétablie !»

On peut retrouver également à travers l'uniformité que certains voudraient dessiner l'idée qu'il existerait une identité systémique, une équivalence entre tous les systèmes. Or,

[1] On retrouve à un certain degré ici la problématique relative à la notion de "compétence" que nous avons abordée dans la première partie ; "compétence" que, dans certains textes, on voudrait voir simplement comme un agglomérat de capacités, de savoirs, etc.

systèmes sociaux et systèmes techniques (au sens employé dans l'Éducation Nationale, c'est à dire au niveau matériel[1]) sont complètement différents : selon E. Morin (1992, pp. 28/29), le premier porte en lui <un_principe_de_complexitÈ>, l'autre serait plutôt associé à

M. Crozier et E. Friedberg (1977, pp. 28/29) nient également la possibilité de décrire et d'étudier par des méthodologies identiques dérivées de la cybernétique et d'une "certaine systémique" les ensembles matériels et les systèmes sociaux : «La cybernétique et une certaine systémique ne peuvent prendre en compte la dimension fondamentale des systèmes humains : leur caractère politique […] Nous serions tenté de dire que la cybernétique - dans son utilisation pour l'étude des systèmes sociaux - n'est que la réédition d'un fonctionnement plat et creux qui reproduit les travers du rationalisme positiviste le plus éculé : rationalité a priori, logique normativo-déductive, mode de raisonnement mécaniste ignorant le caractère stratégique de l'interaction humaine […] Il n'y a pas de systèmes sociaux entièrement réglés ou contrôlés. Les acteurs individuels ou collectifs qui les composent ne peuvent jamais être réduits à des fonctions abstraites et désincarnées.»

4 - Conclusion.

De son origine industrielle à ses applications dans le cadre de l'enseignement en STI, la méthodologie d'analyse descendante des systèmes techniques de type SADT a subi des transformations :

- dans ses finalités : l'outil destiné à la spécification devient dédié à la description ;
- dans ses représentations graphiques : régression du nombre des possibles (utilisation simplement des actigrammes) et adaptation des signes autour des "boîtes fonctionnelles" aux problématiques de l'électrotechnique : distinctions matière, énergie et information (entrée/sortie) ; déclinaison des données de contrôle en configuration, réglage, exploitation et présence d'énergie, etc.

Des problèmes liées à sa complexité, à des tensions entre tenants de diverses représentations, à des difficultés d'utilisation en classe limitent pratiquement aujourd'hui son domaine d'application au seul enseignement des STI en Génie Électrotechnique.

---

[1] Y. Deforge (1989, pp. 267/331) : «La théorie des systèmes (50) a été connue en France par le livre de Von Bertanlanffy (1968-1973) […] Elle correspond à une formalisation d'une approche qui était connue avant (Beckman, 1780). Elle a ceci de difficile que tout fait système […] et dès lors, un objet technique est un système et actuellement, dans l'enseignement technique, on appelle "système technique" tout ce qui naguère était machine, appareil ou instrument ; certains n'en retenant qu'un aspect : la structure par exemple.»

CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES

1 - Présentation.

1 - 1 - Généralités.

Le banc d'essais et de mesures avec dispositif d'acquisition de données pour l'étude des machines tournantes est un ensemble relativement répandu à l'heure actuelle. Dans le domaine, la société Leroy Somer a largement contribué à sa diffusion et donc à son utilisation dans les classes, en physique appliquée. D'autres sociétés ont développé des bancs similaires sur des gammes de puissance souvent comparables et à des prix variables. On peut également relever des projets plus individuels réalisés par des enseignants dans leurs établissements, projets n'ayant pas connu une diffusion à la même échelle que celle des produits auxquels nous nous intéressons ici.

EMPLACEMENT DESSIN ANNEXE P. 35

Document Leroy-Somer

1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.

Le banc est aujourd'hui un matériel recommandé dans les programmes et instructions officielles. Dans le chapitre "mesures physiques" des instructions du programme de 1992, on trouve notamment :

> […] Le laboratoire d'électronique et d'électrotechnique doit nécessairement disposer des appareils suivants […] ordinateurs munis d'interfaces de saisie des données et pourvus de logiciels d'exploitation ; ordinateurs munis de liaisons séries ou parallèles permettant de piloter des montages comprenant des machines électriques et leurs alimentations […] ensemble de machines tournantes pouvant être couplées deux à deux (machines à courant continu et notamment moteur série, alternateurs, moteurs asynchrones) ; alimentations adaptées à ces machines : hacheurs, onduleurs et notamment onduleur à V/f = Cste.» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A1, S 23, 1992, p. 75/76)

1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.

Certains manuels ont abordé tôt ce thème, par exemple : Allay, L. et al. (1988). *Physique appliquée : électronique - électrotechnique. Terminale F1* . Nathan Technique : Collection Mérat, R. ; Moreau, R. ; ouvrage dans lequel a collaboré R. Le Goff, un des concepteurs du banc. Pages 211 à 216, le dispositif est décrit. Ses possibilités sont détaillées et des exemples d'utilisation fournis.
La diffusion du dispositif vers les enseignants a également été faite *via* des communications à des colloques (journées "informatique et sciences physiques" de Marseille en 1992) et des articles, parus dans le Bulletin de l'Union des Physiciens, écrits par l'un des concepteurs du banc Leroy Somer : R. Le Goff.

1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.

L'utilisation du banc est aujourd'hui recommandée par le jury du Capes de physique et électricité appliquée. On trouve dans le rapport de 1992 :

> «Le jury regrette […] que l'étude des machines électriques soit abordée avec appréhension et que beaucoup de candidats fassent "leurs premières armes" dans ce domaine le jour du concours. Il signale que le banc de machines avec traitement automatisé des mesures est d'un maniement aisé et qu'il permet des essais rapides et simples : la simplification ainsi apportée dans le relevé des courbes cherchées peut être mise à profit pour réaliser des essais multiples en insistant sur les conditions industrielles d'utilisation de la machine. On peut ainsi, par exemple, étudier un moteur à courant continu ou un moteur asynchrone pour diverses tensions d'alimentation.»

1 - 2 - Questionnement.

Il devenait dès lors intéressant d'étudier ce dispositif et nous avons choisi de le faire sous différents aspects, avec un questionnement en relation avec des éléments de PSR et de curriculums :

- D'un point de vue matériel :
  - Pourquoi ce banc d'essai ?
  - Quelles sont les caractéristiques des matériels équivalents dans l'industrie et dans l'enseignement ?
- Du point de vue de la communication écrite :
  - Comment caractériser les documentations fournies avec l'engin ?
  - Quelles sont les caractéristiques de documentations comparables dans l'industrie ?
- Quelles utilisations les enseignants font-ils du dispositif en classe ?

1 - 3 - Méthodologie.

Au-delà des textes institutionnels abordés dans la deuxième partie et des entretiens généraux pour lesquels nous avons décrit l'objectif et la procédure employée dans l'introduction, nous appuyons notre analyse sur :

- **Des entretiens** avec deux des concepteurs du banc Leroy Somer. Les publications qu'ils ont faites et la notoriété qu'ils ont acquise rendent inutile et déplacé un quelconque anonymat. Ce sont R. Le Goff, professeur de Physique Appliquée et M. Royer, responsable du service didactique dans la division de l'électronique industrielle de la société Leroy-Somer. (A4, pp. 3/14)

- Une description de **documentations techniques**[1] destinés à des entreprises et de **documentations de matériel "pédagogique" ou "didactique"** (c'est ainsi qu'elles sont appelées par leurs auteurs) destinées aux enseignants (A4, pp. 15/42). Nous nous sommes intéressés particulièrement aux documentations relatives au moteur asynchrone et à l'une de ses alimentations (variateur en V/f constant) pour différentes raisons :

- Le moteur asynchrone, parce qu'il est :
  - le moteur le plus utilisé dans l'industrie ;
  - un des sujets d'étude de la séquence de travaux pratiques que nous avons observée en PA (4ème partie)
  - l'exemple le plus complet décrit dans la notice à destination des enseignants.
- Le variateur en V/f est celui qui est utilisé par les élèves et l'enseignant de PA observés (4ème partie).

- **Une enquête**, relative au banc, effectuée en janvier et février 1994, faite auprès d'une douzaine d'enseignants de plusieurs académies de la moitié Nord de la France. Il s'agissait d'appréhender les utilisations du banc dans les classes. Un questionnaire écrit a été préparé de manière conjointe entre M. Royer et nous-mêmes. Le questionnaire est composé de deux parties.
La première porte sur les aspects matériels du banc.
La deuxième aborde les questions d'organisation du travail dans les classes et des demandes d'appréciation diverses (A4, pp. 43/57) :

- Quand le banc est-il utilisé ? (Cours, TP, TP/cours)
- Combien d'heures le banc est-il utilisé dans le cadre de l'enseignement à une classe de T.F3 (utilisation par les élèves et par vous-même) ?
- Utilisez-vous le banc dans le cadre d'un enseignement en dehors des T.F3 ? Précisez…

---

[1] - Matériels destinés aux industriels : notice et catalogue suivants :
* LS FMV 1003. (1989). Moteur asynchrone à modulation de vitesse conversationnel. Notice de mise en service et entretien.
* LS. (1992). Moteurs asynchrones triphasés fermés. Carter alliage d'aluminium. 0,09 à 160 kW. Catalogue technique.

- Matériels destinés aux enseignants : notices et catalogues suivants :
* Leroy-Somer. (1987). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Notices techniques. Machines de 300 W.
* Moteurs Leroy-Somer. (1988a). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Machines électriques tournantes. 300 W série "S". Matériel didactique.
* Moteurs Leroy-Somer. (1988b). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Machines électriques tournantes. Matériel didactique.
* Moteurs Leroy-Somer. (1989). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Banc d'essais et de mesures avec dispositif d'acquisition de données pour l'étude des machines tournantes. Notice d'utilisation.
* Moteurs Leroy-Somer. (1992). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Banc d'essais et de mesures avec dispositif d'acquisition de données pour l'étude des machines tournantes. Notice d'utilisation des logiciels pour compatible PC.
* Leroy-Somer. (1993). Matériel pédagogique. Catalogue technique.

Tous ces documents sont édités par la société Leroy-Somer.

- Les élèves de T.F3 utilisent-ils le banc ? Si oui, Quand ? Que font-ils ? Si non, pourquoi ?
- La présence du banc a-t-elle modifiée l'organisation (en temps, en ordre de présentation, dans le cadre de vos cours, des TP ?) de votre enseignement ? Si oui, comment ?
- Quels sont les concepts que vous abordez volontiers, à l'aide du banc (caractéristiques, commande, régulation, rendement, puissance, flux, stabilité et instabilité du MAS, …) ? Pourquoi ?
- Avez-vous le sentiment que le travail effectué avec le banc est plus profitable pour les élèves que lorsqu'il n'y avait pas le banc ? Pourquoi ?
- Pensez-vous que le banc soit représentatif de systèmes réels existant dans l'industrie ? Pourquoi?

Dans le texte qui suit, les réponses des enseignants sont indiquées par : “E 12” ; “E” pour enseignant et “12” correspond à leur numéro d’ordre affecté lors du dépouillement des réponses.

- **Un compte-rendu de journées de formation d’enseignants**. Durant l’année scolaire 92/93, à la suite d’un contrat entre l’Éducation Nationale et la Région Midi-Pyrénées, la plupart des établissements d’enseignement technologique possédant au moins une classe de terminale Génie électrotechnique, mais aussi d’autres possédant une classe de Génie mécanique, ont été équipées en bancs automatisés. À la suite de cette dotation, un stage de formation sur deux jours a alors été programmé pour l’année scolaire 93/94. Nous y avons assisté, en compagnie d’un enseignant de l’ENSEEIHT que nous avions invité (A4, pp. 58/64).

- Une **recherche documentaire** dans le *Bulletin de l’Union des Physiciens*, revue professionnelle pour les enseignants de physique.

- Quelques **fiches de travaux pratiques** fournies par des enseignants (A8).

2 - Du point de vue matériel.

2 - 1 - Pourquoi un banc d’essais et de mesures ?

D’après les entretiens et l’enquête que nous avons menés, il semble que le banc d’essais automatisé répondait à un certain nombre de besoins exprimés par nos interlocuteurs :

- **Volonté de changer les méthodes d’enseignement** : Comment enseigner de manière plus efficace, en cours, les machines électriques.

R. Le Goff :

- L’étude expérimentale des machines nécessitait le **passage sur la plate-forme d’essais**, impliquant des ruptures temporelles entre théorie et pratique. À celles-ci s’ajoutaient des

décalages inhérents à la pratique des **TP tournants**. Tel élève étudiait en TP le MAS en septembre, la partie théorique étant vue en mars ; tel autre pratiquait les essais sur le MCC en avril alors que le cours datait d'octobre.

> R. Le Goff : «[Les professeurs] devaient partir sur la plate-forme pour faire des essais. Il n'y avait pas six machines identiques, ce qui pédagogiquement imposait des TP tournants et c'est pas bon. Il est préférable de faire progresser toute la classe ou tout le groupe ensemble. C'est l'avantage des petites machines, en TP maintenant.»
>
> E 12 :

- Existence d'un corps d'enseignants en PA issus du corps des **enseignants de sciences physiques**. Ceux-ci, d'après M. Royer et R. Le Goff, désiraient retrouver dans l'enseignement de l'électrotechnique les pratiques des sciences physiques.

> M. Royer : «Ce que voulait Le Goff, c'était, compte tenu de l'évolution de l'enseignement des mesures et essais de machines, en 1986, aider les prof' qui avaient du mal à passer de l'enseignement de la physique à l'enseignement des machines, surtout sur les vieilles bécanes de 3 kW que possède tout établissement équipé d'une salle d'essais […].»

- **Diminution des horaires** de TP de Mesures Physiques (3 h) par rapport aux essais (4 h). Ce fait postérieur à la création du banc a sûrement joué par rapport au succès dans sa distribution.

> R. Le Goff : «Mais dans la mesure où on a des systèmes informatisés qui permettent des réponses rapides, des gains de temps considérables, on doit pouvoir compenser en partie les pertes de niveaux horaires. En TP traditionnel, il y avait des pertes de temps considérables ! Le temps d'essais de machines peut être divisé par deux en allant plus loin.»

Si l'utilisation du banc est finalement rentré dans les pratiques enseignantes, c'est bien sûr aussi parce qu'il y a eu sa reconnaissance institutionnelle et donc, implicitement accord avec les argumentations données par les concepteurs (cf. introduction : la place du banc dans les programmes, les manuels, au Capes).

2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.

> Le Goff, R. :
> <Il_fallait_faire_un_outil_pour_accompagner_le_cours_sur_les_machines.>

Suivant cette idée, d'après leurs créateurs, les contraintes imposées à l'ensemble étaient d'une façon synthétique les suivantes :

* en tant que matériel : petite taille, masse modeste, transportabilité, rapidité.
* au niveau du prix : le moins cher possible.

* d’un point de vue didactique : support d’expériences de cours, rapides, reproductibles et a priori démonstratives de faits théorisés ou théorisables, la simplicité d’utilisation… et ne faisant pas peur !

M. Royer :

Remarques.

Le développement de l’utilisation du banc relève aussi :

- De l’**expansion de l’outil informatique** en général, dans l’Éducation Nationale en particulier (développement de l’ExAO, utilisation de tableurs et de traitement de textes, etc.), de l’effet “modernité” qui s’y raccroche balayant relativement vite, pour les enseignants de physique appliquée, les difficultés liées à une nécessaire remise en question face à un outil nouveau.

M. Royer :
Un enseignant (stage de formation) : <Les_STI_travaillent_avec_des_ordinateurs_!>

Remarquons à ce propos que des outils (non informatisés) avaient été créés par des enseignants. Mais ne bénéficiant pas, en leur temps, de la même convergence de faits que celle dont a profitée le banc Leroy-Somer, leur institutionnalisation n’a pas suivie.

Beaulieu et al. (1982) : «L'utilisation de machines électriques, par le professeur en classe et par les élèves en TP est intéressante pour illustrer le cours dans les sections F […] Ces groupes de 3 kW, classiquement utilisés dans les salles d'essais, ne sont pas transportables et demandent des alimentations et des rhéostats qui ne sont pas disponibles en salle de physique. Nous avons été amenés à réaliser un matériel intermédiaire entre les groupes habituels des essais de machines et le petit matériel destiné seulement à montrer le principe de fonctionnement. Notre but est d'avoir des machines électriques faciles à transporter et à ranger, tout en étant de "vraies" machines avec un rendement convenable.»
Girondeau, P. (1983) :
- les moteurs et génératrices à courant continu sont des dynamos d'automobiles que nous avons récupérées
- les alternateurs proviennent aussi de voitures, mais sont plus difficiles à trouver
- les transformateurs ont été fabriqués au lycée par les collègues de l'atelier électrique.
L'alimentation de toutes ces machines s'est faite par des générateurs 6 - 12 - 24 V alternatif et continu 10 A qu'on trouve dans tous les établissements.»

- Du **déploiement de relations école / entreprise**, dans le cas présent entre Éducation Nationale (DLC 15 - innovation -) / Leroy Somer (R & D) dans un premier temps puis Éducation Nationale (établissements demandeurs, inspecteurs, présentations matérielles, dossiers) / Leroy Somer (commerciaux) / Régions (efforts importants de financements) dans un deuxième temps.

Le Goff, R. : «Un collègue de Sciences Physiques m'a présenté en 83 un logiciel d'acquisition de données qu'il réalisait avec un confrère au laboratoire d'informatique du Cnam à Paris. […] Devant l'intérêt que je portais à ces travaux, mon collègue m'a demandé de me joindre à eux afin de développer une expérimentation dans le même esprit. [Ils m'ont fait] obtenir deux [Heures Supplémentaires Années] par la DLC 15[1] et je me suis acheté un TO7[2]. […] Les conseils éclairés de mes collègues m'ont permis de progresser rapidement et je leur ai proposé d'essayer de faire quelque chose sur les machines électriques […] M. Royer, de la société Leroy-Somer a demandé à me voir. Il a été très surpris des possibilités d'étude que je proposais et m'a demandé de travailler avec leur société pour la réalisation d'un dispositif d'étude de machines électriques. Ne désirant pas effectuer ce travail à titre privé, j'ai proposé à la société Leroy-Somer et au proviseur du lycée de réaliser un partenariat Lycée/entreprise.»
Royer, M. : «Le Goff était en relation avec Messieurs Moreau et Mérat[3] et il a réussi à les convaincre. Lui-même était convaincu que c'était la solution. Petit à petit, ça a pris de l'ampleur. Il y a eu beaucoup de présentations. Il y a eu un très gros effort technique et commercial. On se promenait d'établissement en établissement en provoquant des réunions au niveau académique quand c'était possible de façon à ce qu'il y ait du monde»
Le Goff, R. : «Il a été fait des projets d'équipements (en banc pour la Physique Appliquée) d'établissements par contrat entre certains IPR représentant l'Éducation Nationale et les Régions, notamment dans les académies de Toulouse, de Lille, d'Amiens, de Reims, de Nancy-Metz.»

- De la généralisation de la pratique de **stages de formation continue** sur l'utilisation du banc. Nous ne disposons pas de statistiques sur le sujet mais il semble que cette pratique soit importante : 9 des 11 enseignants qui répondent à notre enquête sur ce thème - sur 5 académies différentes - ont suivi un stage de formation.

2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.

2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie.

Les bancs de mesures existent dans l'industrie. Dans l'entreprise Leroy Somer, on trouve :
- des bancs classiques avec dynamo-balance pour deux mesures seulement (à vide et en charge nominale) en bout de chaîne de fabrication, en référence à un cahier des charges que le moteur doit vérifier ;
- des bancs automatisés, informatisés pour des études, des tests poussés sur les machines dans leurs aspects transitoires, dynamiques et pour connaître leurs réactions aux modifications de charge. Ils sont utilisés en Recherche et Développement.

---

[1] Service lié à la Direction des Lycées et Collèges et qui est chargé de gérer les innovations dans le cadre de l'enseignement (financements en matériel et en heures supplémentaires pour des enseignants).
[2] Un des premiers ordinateurs "tout public" de la firme Thomson, choisi dans le cadre de l'opération "Informatique pour tous" en 1985.
[3] Messieurs Moreau et Mérat étaient Inspecteurs de Physique Appliquée.

Les deux types de banc sont utilisés dans l'enseignement. S'ils sont d'apparence semblables dans la forme à ceux de l'industrie, on y retrouve en effet sensiblement les mêmes composants : machine, capteurs, dynamo-balance, ordinateur et logiciel ; ils sont cependant foncièrement différents dans le fond : ils répondent ici au besoin de connaître les caractéristiques mécaniques de la machine en relation avec une théorie plus ou moins élaborée.

2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.

La didactisation est basée sur des procédés qui sont parfois à l'opposé des procédés industriels classiques.

C'est ainsi que dans le cas du banc, pour des raisons :

- de commodité, de transportabilité et de sécurité expérimentale ;
- de liaison avec une théorie : il fallait retrouver la caractéristique présentée dans les livres ;
- de méthodologies d'enseignement : accès aisé aux branchements, nécessité de procéder à de nombreux démarrages et à de nombreux blocages en peu de temps ; ce qui est totalement déplacé par rapport à des pratiques industrielles (on ne bloque jamais les rotors sauf accident) ;

la didactisation a conduit à s'intéresser à une machine de faible puissance correspondant à un créneau minime de la production industrielle et à des modifications matérielles importantes :

- déclassement d'une machine initiale de 750 W (dans le cas des MAS 300 W) sans changement des sections de câbles, entrefer augmenté, altération de la cage.

> M. Royer, : «Si vous avez une machine qui fait 5 démarrages dans l'heure par exemple, elle est au-delà des normes limites. Normalement, c'est 3 démarrages dans l'heure. Avec 5 démarrages en charge dans l'heure, la température du moteur augmente de façon trop importante […] Une machine standard est définie dans le cadre d'un certain domaine de fonctionnements. En particulier au niveau des démarrages puisque c'est là que l'on a un appel de courant très fort […] **On lui a "cassé les pattes"** si vous voulez de façon à ce qu'il [le moteur] ait son point de fonctionnement optimal à 300 W, ce qui permet de surcharger sans griller la machine. Si vous prenez un vrai 750 W industriel et que vous lui faites subir les mêmes traitements, il y a de fortes chances pour qu'au bout d'un certain temps, il "crame" […] **Ses caractéristiques ont été changées**. On avait un peu plus de creux. Pour retrouver la caractéristique théorique des livres, on a retouché certaines choses. Au niveau de la cage, elle est moins résistante… mais je ne peux pas rentrer dans les détails…»

Ceci n'a pas été fait apparemment sans regret. M. Royer poursuit :

- changement des accès aux branchements de la machine : d'un boîtier fermé, on passe à un bornier apparent.

Ces modifications matérielles provoquent la réaction de l’enseignant de l’ENSEEIHT que nous avions invité lors des journées de stages de formation :

Un des enseignants de Lycée que nous avons rencontré, conscient des problèmes liés à ces écarts entre matériel industriel et matériel utilisé en classe, choisit d’en avertir les élèves :

> «L'inconvénient est lié à l'avantage de ces moteurs surdimensionnés. On peut les bloquer pour enregistrer les caractéristiques, c'est très bien. Mais, en les sur dimensionnant, à les voir, ils devraient avoir une puissance beaucoup plus grande que celle qu'ils ont ; cela peut entraîner chez les élèves des incompréhensions. Il n'est pas possible de bloquer les moteurs à part ceux du banc. Il faut se méfier et rappeler ce genre de chose […] C'est un compromis entre un matériel industriel et un matériel de labo et il faut rappeler aux élèves que ce n'est pas un matériel industriel.» (A2, p. 47)

MATÉRIEL INDUSTRIEL	MATÉRIEL DIDACTISÉ
Le plus compact possible. Le fonctionnel prend le pas sur les composants. Le degré d'intégration maximal est recherché.	La recherche de points de mesure implique souvent l'éclatement de certaines structures matérielles. Ce souci est guidé par la volonté de connaître l'action des composants (cas de la didactisation de certains variateurs). Il conduit aussi par exemple à la modification des présentations matérielles des machines (borniers et plaques).
L'apparent est ce qui sert à utiliser l'appareil.	L'apparent devient ce qui est censé aider à comprendre un déroulement théorique, sujet en partie de l'apprentissage. Le caché est défini par l'apparent, donc par le théorique. (modifications structurelles profondes de la machine).
Grande série.	Petite série (ou moyenne au mieux, selon la taille des entreprises et la quantité vendue).
Recherche d'un amortissement financier dans une structure économique prégnante et nécessaire pour la survie de l'entreprise.	Amortissement inchiffrable car intellectuel et exprimé en termes d'apprentissages.
On utilise les moyens les plus appropriés (minimum de dénaturation technique : recherche de la "qualité").	On peut être poussé, par exemple pour des raisons financières, à faire parfois moins bien pour faire moins cher (capteur de force pour capteur de couple).
Ce qui intéresse l'utilisateur, ce n'est pas "**un**" matériel mais "**le**" matériel qui répond à un besoin précis dans un environnement particulier ; c'est sa spécificité.	Le matériel est un représentant d'une catégorie large : les MAS ou les MCC par exemple. Ses caractéristiques sont censées être celles d'une famille de produits. Les particularismes au sein de la famille sont gommés.
Utilisation de bancs automatisés en Recherche & Développement : tests dynamiques, réactions de la machine dans des conditions particulières (modifications de charge) - Utilisations de bancs "manuels" en bout de chaîne de fabrication pour rechercher la conformité face à un cahier des charges (2 mesures de couple et de vitesse : à vide et en charge nominale).	Utilisations des bancs manuels ou automatisés pour connaître et interpréter les caractéristiques (complètes dans le cas du banc informatisé) des machines en relation avec une théorie plus ou moins élaborée (cf. partie 2, § 6.2.2.3) Travail sur la partie utile de ces caractéristiques (pente, calculs de couple, de vitesse, etc.)

2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives…

2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.

Le comportement de la machine didactisée est éloigné de ceux des machines industrielles. Ceci devient particulièrement préjudiciable quand on étudie des associations de machines :

E13 :
E 1 :
E 11 :
E 13 :
<Le_groupe_MCC_entraÓnant_MS_fonctionnant_en_alternateur_dÈbitant_sur_des_am poules_a_un_trËs_mauvais_rendement.>
E 12 :

2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.

La didactisation du banc et sa production en série relativement limitée occasionnent un prix élevé. Les établissements, à de très rares exceptions près, n'ont acheté qu'un seul ensemble de 300 W. Celui-ci est alors quelquefois utilisé avec les élèves de T.F3 aussi bien en cours qu'en TP.

E 14 : «[…] pour l'Éducation Nationale, le matériel est trop cher et il faut beaucoup de matériel. Par exemple, pour étudier sérieusement le MAS, il faut : 1 banc complet + ordinateur + imprimante, 1 alimentation triphasée variable, 1 démarreur étoile / triangle, 1 moteur à rotor bobiné, 1 moteur à rotor-cage, 1 onduleur, 1 module de mesures électriques et 1 module de mesures mécaniques, 1 interface Orphy. On pourrait ajouter le matériel nécessaire à la commande vectorielle de flux (je crois que Leroy-Somer ne fabrique pas encore ce matériel). Je reproche au matériel d'être trop spécialisé : il faut un moteur différent pour chaque expérience. Si on veut monter une salle complète de TP (MAS, MCC, alternateur et transfo), il faut compter 3 MF !!! Ce qu'aucun établissement ne peut se payer.»

2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.

Le banc était initialement prévu pour être un appareillage pour le cours ou pour des TP cours de non spécialistes (Génies mécanique et électronique, certaines STS).

R. Le Goff : «[…] Dans mon esprit, le 300 W ne doit pas remplacer le 1 500 W ou le 3 kW. Les F3 doivent pouvoir aller au moins sur le 1,5 kW. Il faut garder de la puissance. C'est la même chose en ESTI, on ne doit pas descendre en-dessous de 1,5 kW. Le 300 W est un outil pour le cours ou pour des TP de non-spécialistes. Par exemple, les F1 ou de F2 peuvent travailler maintenant sur des machines. Ils auraient du mal pour travailler sur de la puissance, ne serait-ce que pour des questions de temps.»

L'idéal serait, semble-t-il, en TP de PA, d'avoir des salles équipées de 6 ou 8 bancs :

R. Le Goff : «Dans la plupart des cas, les élèves n'utilisent pas le banc car il n'y a qu'un banc par établissement. Mais, il y a d'autres établissements, financés par les Régions, avec des salles équipées de six ou huit bancs informatisés et à ce moment-là, il n'y a aucun problème. Le professeur utilise le banc avec ses élèves et ce sont les élèves qui manipulent. C'est un TP-cours, l'idéal !»

Cet idéal ne correspond pas à la réalité qui est exprimée dans les réponses des enseignants au questionnaire que nous avons proposé. L'enquête que nous avons faite montre que le banc est utilisé en classe de terminale Génie électrotechnique en cours mais également dans les séances de travaux pratiques. Même si l'objectif de notre enquête n'était pas de produire des statistiques, on peut relever que 9 des 11 enseignants enquêtés répondent dans ce sens à la question relative à ce point.
Les élèves manipulent avec les bancs, pour des objectifs divers.

E 1 :
E 3 :
E 5 :
E 9 : et
E 12 : , et
E 13 : et
E 14 : <TP.> et <Les_ÈlËves_font_les_TP_proposÈs_dans_la_documentation.>

2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques.

*** La déformation de certaines caractéristiques.**

Lorsque la manipulation est faite avec un MAS 300 W et un variateur V/f et qu'une série de caractéristiques est tracée pour différentes valeurs de fréquences, on ne retrouve pas les tracés classiques, avec en particulier la constance du couple maximum et les parties utiles parfaitement parallèles.

R. Le Goff : «On m'a fait remarquer que le maximum de couple sur les courbes obtenues n'était pas constant. Mais c'est normal. Il serait constant si la résistance des enroulements statoriques était négligeable ou très faible, ce qui n'est pas le cas avec ces machines-là. Ces machines ont de fortes résistances statoriques. La chute de tension aux bornes de ces résistances est loin d'être négligeable ! Voilà pourquoi on n'a pas les courbes théoriques !»

*** Le nombre de points de fonctionnement dans la partie utile est limité.**

À tension d'alimentation nulle, le frein à poudre offre un couple rémanent variable suivant les bancs et leur degré d'utilisation mais compris entre 0,20 et 0,50 Nm. Dans le cas de mesures faites avec des machines 300 W à 1500 tr/min (c'est le même frein qui est utilisé

pour les machines de 300 W et de 1,5 kW), le couple nominal est d'environ 2,0 Nm. Le couple rémanent limite la quantité de mesures pouvant être faites.

E 12 :
E 14 :
<ProblËmes_de_fiabilitÈ_trËs_graves_:_couple_rÈmanent_du_frein_‡_poudre_trop_im portant_!>

Le relevé manuel des points de fonctionnement en utilisant la dynamo-balance est lui aussi limité car, pour des raisons d'encombrement, on ne peut avoir qu'un couple minimal de 0,7 Nm.

2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.

2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.

Pour les enseignants interrogés, "plus vite" est synonyme de "mieux". La rapidité des mesures et des tracés, de la manipulation en général, la non-répétitivité de certaines tâches sont souvent mis en avant comme point positif ; le travail de l'enseignant et des élèves pouvant alors se recentrer sur la compréhension de la machine et sur l'utilisation des caractéristiques.

R. Le Goff :
E 11 : «Les branchements sont rapides et donc faciles à vérifier pour l'enseignant. Facilité et rapidité des mesures (très important surtout que l'an prochain nous aurons des groupes de 18 élèves). Si le TP a été préparé en cours avant, en 2 h les principaux relevés peuvent être faits ce qui est très pratique surtout l'an prochain avec un horaire de TP diminué (3 h au lieu de 4 h) avec 18 élèves au lieu de 12. Il faut donc ce type de matériel.»
E 3 :
E 5 :
E 13 :
E 14 : «[La présence du banc a permis] de diminuer la durée de la prise de mesures et de développer les parties théoriques. Au début, il y a une perte de temps en présentation du matériel et explication du fonctionnement. Mais ce temps est largement rattrapé par la suite.

2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.

Certaines notions et des concepts peuvent être étudiés qualitativement grâce au banc :

- Il est possible avec le dispositif informatisé d'étudier la caractéristique complète du MAS y compris dans la **zone d'instabilité**.

E 12 :
E 14 :

- La connaissance des **couples et des courants de démarrage** est facilitée.

- Le travail expérimental possible sur des analogies MAS à cage / MAS à rotor bobiné au niveau du couple de démarrage et de la forme de la caractéristique de couple à vitesse de rotation faible permet de parler de l'**effet de peau** ou, du moins, de le montrer.

R. Le Goff : «Ce système permet d'avoir les couples de démarrage. On peut alors montrer qu'avec certaines machines, le couple remonte si la machine est à encoches profondes. On peut faire l'analogie avec un MAS à rotor bobiné où on voit qu'au fur et à mesure qu'on augmente la résistance rotorique, on a le maximum de couple qui se décale vers l'origine. Les encoches profondes augmentent en fait la résistance de la cage et le maximum de couple est décalé.»

- On peut développer l'**étude de la variation de vitesse**.

R. Le Goff : «On peut travailler sur la variation de vitesse de façon très facile. On fait d'abord varier la tension. Que voit-on ? On voit que le maximum de couple décroît au fur et à mesure que décroît la tension et que la zone utile de fonctionnement du moteur varie et que très vite, c'est pas bon. Ensuite, on monte à la place d'une alimentation classique un variateur ne faisait varier que la fréquence, à tension constante. On montre que la vitesse varie beaucoup mais que le rendement n'est pas bon. On arrive ensuite au variateur à V/f constant. On montre qu'il y a une bonne variation de vitesse avec un bon rendement.»

- Le banc permet d'introduire qualitativement les **systèmes bouclés**.

R. Le Goff :

3 - Du point de vue des documentations écrites.

Nous avons analysé :

- deux documentations techniques "classiques" habituellement fournies par les entreprises industrielles à leurs clients. Elles se rapportent, une au moteur asynchrone, l'autre à un variateur V/f. Elles sont réalisées par les industriels.
- un ensemble de documents à destination des enseignants, relatifs au banc d'essais de machines avec acquisition de données. Ils sont conçus et réalisés par l'association enseignant/industriel.

Trois aspects des documentations sont abordés :

- Leurs objectifs généraux ;

- La manière dont les informations sont données ;
- Les types d’écrit à travers lesquels les informations sont transmises.

3 - 1 - Les documentations techniques “classiques”.

Dans les deux documents présentés, une constante apparaît, bien qu’ils ne soient pas conçus pour les mêmes objets et pour la même utilisation : l’extrême variété des formes de l’information apportée. Et nombreuses sont les formes qui sont présentes dans les deux documents.

3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique “moteurs”.

L’objectif de ce document peut être défini autour d’un mot-clé : **choix**.
Il faut permettre aux concepteurs d’ensembles techniques auxquels il s’adresse, en proposant des machines variées, caractérisées, de se prononcer pour un matériel en fonction d’un cahier des charges répondant à un besoin exprimé par ailleurs. L’objectif pour l’utilisateur est de trouver le matériel répondant le mieux à la demande faite.
Les contraintes, à prendre en compte dans ce choix, qui sont abordées dans la documentation sont l’environnement, les caractéristiques matérielles et mécaniques de la machine (formes, dimensions, peinture, type de roulements, etc.) et ses caractéristiques en fonctionnement (mécanique et électrique). L’étude environnementale initiale est particulièrement importante ; c’est elle qui prévaut dans la recherche d’un matériel[1]. Des informations concernant la maintenance sont présentes également.

L’ensemble des données est présentée de manière **normative** ou **descriptive**.

Les données sont présentées sous de nombreuses formes différentes :
- des **formulaires généraux** d’électricité et d’électrotechnique présentés sous forme de **tableaux** ;
- des **textes** relatifs à la normalisation que l’on peut mettre en relation avec les indices de protection et les limites d’utilisation des machines, les problèmes sécuritaires ;
- des **schémas** et **dessins** : notamment le bornier et la plaque d’identification ;
- des **courbes** correspondant à des caractéristiques électriques ou mécaniques et devant servir, par référence à un type de machine donné, à préciser son comportement en cas de surcouplage et à préciser des informations telles que le courant au démarrage, le couple maximum, le couple accélérateur, etc. ;
- des **courbes empiriques** et des tableaux à partir desquels des renseignements peuvent être obtenus pour résoudre un problème posé: temps de démarrage, temps rotor bloqué admissible, des **exemples de calculs** ;
- des **tableaux généraux comparatifs des caractéristiques** des différentes machines.

---

[1] La méthode habituelle de détermination d’un MAS comprend les étapes suivantes : spécifications de la machine à entraîner, études de l’environnement (température, isolations, niveau sonore), caractéristiques électriques, détermination des grandeurs nominales des moteurs, étude des conditions de démarrage, détermination du choix.

- des **schémas** de branchements **électriques** avec en correspondance les **caractéristiques mécaniques et électriques** obtenues (nécessaires pour déterminer les modes de démarrage).

3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.

Deux mots-clés permettent d'appréhender les objectifs de ce document : **mise en service**, **entretien** :
- Dans un cadre d'installation (l'objet est vendu), il s'agit d'aider à la mise en place du matériel et de permettre de le paramétrer en fonction des contraintes de son environnement.
- Dans un cadre de maintenance, il est nécessaire d'entretenir le matériel et de reconnaître et au besoin de modifier ou de changer les composants, les programmes, les modes de branchements, etc.

Le document présente les renseignements de manière **descriptive** (description générale, caractéristiques) mais également **prescriptive** (conseils d'utilisation et surtout programmation, contrôle, dépannage).

Les informations sont données sous les formes suivantes :
- des **textes** (principe général, description de modes opératoires, sécurité, garantie, etc.) ;
- des **relations** d'électricité et d'électrotechnique, des **exemples de calcul** ;
- des **dessins** de l'objet ou de certaines parties de l'objet réel (bornier, clavier, composants de réglages) ;
- une **représentation fonctionnelle** globale servant de schéma-support pour l'explication du principe général de fonctionnement ;
- des **courbes empiriques** à partir desquelles peuvent être déterminées des valeurs de facteurs intervenant dans une relation (facteur de forme) ;
- des **schémas électriques** avec des **représentations unifilaires** (schéma de principe) ou **trifilaires** (pour présenter des dispositions de mesurage) ;
- des **chronogrammes** ;
- des **courbes théoriques** relatives aux paramétrages de l'appareil (courbes V(f)) ;
- des **tableaux** relatifs aux pannes (indices et messages de défaut, raison du défaut, contrôle, solution) ;
- des **organigrammes** devant permettre la localisation des pannes.

L'aspect sécuritaire et les modes opératoires pour les mesures et les différents tests sont longuement développés.

3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.

Les documentations destinées aux enseignants sont relativement nombreuses, ce qui conduit certains à une impression de confusion, ou paradoxalement, d'incomplétude :

E 2 : <Absence_de_documentation_indiquant_comment_sont_effectuÈs_les_calculs_par_le_logiciel.>
E 3 : <Il_manque_un_index_gÈnÈral_pour_les_diffÈrents_fascicules.>
E 5 : <Renseignements_trop_dispersÈs_dans_les_manuels.>
E 7 : <DifficultÈ_de_lecture.>
E 8 : <DifficultÈs_pour_retrouver_les_caractÈristiques_des_diffÈrentes_machines_dans_la_documentation.>
E 12 : <Documentation_un_peu_touffue._Tous_les_renseignements_ne_sont_pas_donnÈs.>

Deux enseignants expriment leur satisfaction :

E 9 et E 10 :

Les documents peuvent, a priori, être distingués en trois catégories. À leur lecture, on peut dégager différents mots-clés permettant d'appréhender leur sens :
- la notice technique : **connaissance** du matériel.
- la notice didactique : **utilisation** du banc en classe et résultats possibles.
- le catalogue général technique : **choix** de matériel.

Les renseignements sont présentés de manière **descriptive** : principe, matériel, **prescriptive** : utilisations des modules, des freins, du variateur, du logiciel, branchements à effectuer, etc. et en termes de possible donc **propositionnelle** : fiches d'expérimentation.

Les informations sont présentées sous les formes suivantes :
- **textes** : description ;
- **tableaux** : résultats d'essais, spécifications techniques ;
- **dessins** : borniers, machines, ensembles matériels, dessins côtés des matériels, branchements électriques des différentes parties de l'ensemble entre elles ;
- **schémas électriques** : branchements du moteur ;
- **caractéristiques des machines** : courbes ;
- **schémas de principe** : mesures de couples ;
- **relations** électriques ou mécaniques et **exemples de calcul**.
- **oscillogrammes** ;
- **courbes théoriques** relatives aux paramétrages de l'onduleur : courbes V(f) ;
- **copies d'écran** ;
- **organigrammes** : synoptique d'utilisation du logiciel.

3 - 3 - Synthèse.

<table>
<tr><th></th><th>Document technique “moteur”</th><th>Document technique “variateur”</th><th>Documentation banc Leroy-Somer</th></tr>
<tr><td>Destinataire</td><td>Concepteur</td><td>Technicien</td><td>Enseignant</td></tr>
<tr><td>Objectif général</td><td>Choix de matériel</td><td>Mise en service
Maintenance, réglages</td><td>Utilisation en classe :
Tracés et utilisations de caractéristiques</td></tr>
<tr><td>Type d’écrit</td><td>Descriptif, normatif</td><td>Descriptif, prescriptif</td><td>Descriptif, prescriptif, propositionnel</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Formes des écrits</td><td colspan="3">Textes, tableaux, dessins, schémas électriques, schémas de principe, exemples de calculs, caractéristiques électriques et mécaniques (grandeurs)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Formulaires généraux d’électricité
et d’électrotechnique
Courbes empiriques (coefficients)
Problèmes sécuritaires</td><td></td></tr>
<tr><td>Textes relatifs aux normalisations</td><td>Représentations fonctionnelle et “unifilaire”</td><td>Copies d’écran
Oscillogrammes</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Quelques contenus</td><td>Caractérisation de grandeurs spécifiques (couples d’accrochage, de décrochage, d’accélération, puissance exigée)</td><td colspan="2">Chronogrammes
Organigrammes (prescriptions)
Courbes V(f) relatives à une programmation du variateur</td></tr>
<tr><td>Variétés de caractéristiques mécaniques couple (vitesse) de machines avec repérages des grandeurs spécifiques</td><td></td><td>Une caractéristique couple (vitesse) par machine

Exemples d’exploitation en classe</td></tr>
</table>

4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.

4 - 1 - Une variété de protocoles.

- Nous avons montré ci-dessus (§ 2.3.3.3) deux caractéristiques importantes par rapport aux utilisations du banc en classe :

  - Le banc prévu initialement, soit comme moyen pour l'enseignement lors des cours, soit comme support de travaux pratiques d'élèves par binôme, ce qui nécessite la présence de 6 ou 8 bancs dans l'établissement, est en fait, au moins pour des raisons de coût, souvent utilisé en travaux pratiques, mais à un ou deux exemplaires (dont un seulement informatisé) pour un groupe de 12 à 18 élèves.
  - Les objectifs des séquences sont variés : câblages, essais, études des caractéristiques, élaboration de modèle (schéma équivalent).

- Nous avons vu dans la deuxième partie de cette thèse (§ 3.4.2) quelques propositions pour les séquences de travaux pratiques. Deux d'entre elles étaient décrites par des protocoles.
Le premier correspond à une suite d'activités bien ordonnées : <Les_diffÈrentes_sÈquences_se_dÈroulent_selon_un_ordre_chronologique_immuable>.
Dans le deuxième, les phases habituelles sont conçues comme des exercices indépendants : .

Quelques enseignants de Physique Appliquée nous ont fourni des fiches de travail pour des séquences de travaux pratiques portant sur l'étude des machines. Nous en avons rassemblé quatre dans l'Annexe 8.
Il paraît important de relever la diversité des situations proposées. D'après les discussions informelles que nous avons eues avec les enseignants concernés, il semble que cette variété est à mettre en rapport avec les types et la quantité des matériels disponibles dans l'établissement, à la durée des activités, aux liaisons souhaitées par les enseignants entre "cours" et "pratiques" mais aussi, plus généralement, à leurs options pédagogiques et à leurs représentations professionnelles[1].
Nous voyons dans cette variété de propositions la marque de l'enseignant acteur/auteur de ses séquences de classe et la confirmation de propos que nous avancions précédemment (deuxième partie, § 5.3.3) : donner un objectif à un enseignant ne fournit qu'un cadre très général aux activités possibles en classe.

Nous analysons, en les abordant du point de vue de leurs principes généraux deux des séquences proposées, correspondant aux fiches 1 et 4 (Annexe 8).

4 - 2 - Description de deux protocoles.

[1] Autant d'éléments qui constitueraient une bonne hypothèse pour une recherche future…

4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).

La démarche en travaux pratiques de physique appliquée procède, sous sa forme typique (cf. textes officiels), en quatre phases dans lesquelles l'objet d'étude est un ensemble technique ou une représentation (maquette didactisée, …) d'un ensemble technique :
- **préparation :** les objectifs de l'étude étant fixés, l'objet technique est placé dans le schéma d'un montage devant permettre de relever les mesures pertinentes vis à vis des objectifs visés (tensions, courants, couples) ;
- **câblage :** le montage électrique et mécanique est réalisé à partir du schéma ;
- **mesurage :** les mesures électriques et mécaniques sont prises ;
- **utilisation des mesurages, interprétations, conclusions :** les tableaux de mesures sont réalisés, les courbes tracées, les conclusions relatives à la problématique posée formulées.

Les activités correspondantes sont menées, dans l'ordre présenté, par les élèves.
Une fiche de travail est fournie par l'enseignant.

4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).

La séquence est organisée autour des mêmes tâches que précédemment, mais les élèves les effectuent dans un ordre variable sur le principe des TP "tournants", **l'activité première dans le temps n'est pas la même pour tous les élèves**.

Les supports (documents, matériels, etc.) de chacune des activités sont donnés par l'enseignant, respectivement :
- construction d'un schéma de montage à partir d'un problème simple posé, par exemple la demande de tracé d'une caractéristique ;
- passage d'un schéma à un montage en choisissant les appareils de mesures adéquats et en effectuant les éventuels réglages nécessaires ;

- relevés de points de mesure sur un montage fait, suivant des variations de grandeurs choisies ;
- construction de tableaux ou/et de courbes caractéristiques et exploitation à partir de données expérimentales brutes.

Les activités présentent volontairement des caractères de non-continuité.

4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.

Le terme "modèle" est polysémique et de nombreux auteurs se sont exprimés sur le sujet. Nous considérons ici, à la suite d'A.-M. Drouin (1988) que «le modèle est "quelque chose" (objet concret, représentation imagée, système d'équations…) qui se substitue au réel trop complexe ou inaccessible à la connaissance ; mais ce substitut a parfois pour fonction, non pas d'expliquer un processus, mais d'en calculer les variations, de faire des "prévisions" alors même que le réel étudié garde son statut de "boîte noire" […] Dans tous les cas, le modèle constituera un objet de substitution permettant de travailler sur autre chose que le réel, qui pourtant figurera le réel, parce qu'il en reproduira certaines relations pertinentes […] Un modèle peut être défini par deux procédures différentes :
- progressivement par induction et comparaison de données empiriques ;
- posé de façon axiomatique et donner lieu à des déductions faisant l'objet d'un contrôle expérimental.»

J.-L. Martinand (1992) propose un schéma théorique reposant sur les travaux de J.-L. Le Moigne (1977), B. Walliser (1977) et G. Vergnaud (1987).

L'idée première est de distinguer le registre de l'élaboration modélisante du registre du référent empirique.

- La **phénoménographie** est une description empirique déjà conceptualisée (mais non modélisée). Par exemple, la diode à jonction présente une caractéristique que l'on peut déterminer expérimentalement. En elle-même, cette courbe peut être outil de prévision sans être un modèle.
- La **phénoménologie** correspond à ce que le modèle change à la représentation du référent, apporte en tant que règle de lecture de celui-ci.
- La **phénoménotechnique** est l'ensemble des règles de montage, de sécurité, de savoir-faire expérimentaux .

Dans le cadre de la physique appliquée, le modèle peut comprendre des éléments mathématiques, graphiques, des relations entre grandeurs physiques, des explications qualitatives en rapport avec des phénomènes physiques, etc.

4 - 4 - Analyse des deux situations.

4 - 4 - 1 - Situation A.

Suivant les phases décrites, la façon dont l'objet technique est considéré varie :
- dans la phase de préparation, l'objet apparaît essentiellement sous une représentation graphique associée à des représentations relatives aux autres composants du circuit considéré (celles des appareils de mesures notamment). La mise en relation de ces représentations constitue le schéma électrique (phénoménographie) à partir duquel le montage va être réalisé.
- dans les phases de montage et de mesurage, l'objet technique est un élément de la réalité. Il est manipulé. Il est câblé. L'élève le sollicite suivant un protocole établi. Les réactions de l'objet sont mesurées (phénoménotechnique).
- dans la phase de conclusion, l'objet technique existe à travers des représentations mathématiques (tableaux de valeurs), des représentations graphiques correspondant à des constructions (caractéristiques). L'ensemble conceptualisé constitue une description de l'objet (phénoménologie) que l'on compare généralement alors à l'objet théorique précédemment installé (le modèle). L'interprétation des écarts entre les deux représentations constitue le dernier point à effectuer.

En fait, l'objet technique réel n'est véritablement isolé d'une représentation modélisante que dans la phase de mesurage. Même dans les phases de préparation et de câblage, des éléments du modèle associé à l'objet constituent un guide, ils permettent la construction du schéma électrique, le choix des appareils de mesure, la constitution du protocole de mesurage.
Ceux-ci sont faits dans l'optique d'une confrontation théorie/réalité qui est réalisée dans la dernière partie. La séquence proposée est typique des travaux pratiques de vérification :

recherche de la conformité d'un objet technique à une construction théorique précédemment élaborée.

L'enseignant, par ce travail, engage les élèves à :
- connaître les grandeurs physiques (essentiellement électriques et mécaniques) associées à l'objet matériel technique ;
- confronter cette connaissance aux caractéristiques de sa représentation modélisante.

L'intérêt de cette situation réside dans le "tout" que peuvent constituer les connaissances développées (acquises ou déjà là) dans les différentes phases.

Il semble, d'après les discussions que nous avons pu avoir avec les enseignants, que le sens de cette totalité soit à l'origine de problèmes pour les élèves. Les passages référent empirique <--> référent théorique et un manque de cohérence temporelle lié à une difficulté à projeter dans un temps futur le sens de leurs activités en un moment donné constituent notamment des obstacles.

4 - 4 - 2 - Situation B.

La décomposition de l'ensemble précédemment abordé en différentes parties distinctes induit au moins dans l'immédiat la perte de sens vis à vis de la reconnaissance de l'objet technique dans son modèle.

Les différentes phases sont associées à des activités précises, en rapport *a priori* avec des éléments de la pratique de technicien, et peuvent correspondre à des mises en place ou à des évaluations de compétences[1].

Il est donc possible :
- de développer des savoir-faire,
- d'évaluer des savoir-faire,
- de permettre les réinvestissements de savoir-faire dans des situations nouvelles.

Suivant les capacités précédemment acquises par les élèves, l'enseignant vise dans ce cas des registres de technicité particuliers. Ce sont ces derniers qui permettent de choisir et de conduire précisément les activités.

Donc :
- la situation B est relative à des compétences de technicien qui constitue la **pratique de référence** ;

[1] En reprenant ici pour définition de "compétence" celle que nous avons adopté en première partie (chap. III, § 4.4) : «Une compétence se définit comme un système de connaissances, conceptuelles et procédurales, organisées en schémas opératoires et qui permettent, à l'intérieur d'une famille de situations, l'identification d'une tâche-problème et sa résolution par une action efficace.» (Cépec, 1991, pp. 68/69).

- le niveau initial des connaissances et d'une façon plus générale la place de la séquence dans la progression adoptée par l'enseignant permettent de choisir un **registre de technicité** particulier. Ce sera plutôt par exemple la "participation" en début d'année scolaire et l'enseignant peut espérer plutôt la "maîtrise" en fin d'année sur certaines compétences.

C'est en pensant simultanément les éléments de la pratique de référence considérée et un registre de technicité que l'enseignant peut cibler les objectifs de la séquence ou d'une partie de la séquence, rendre cohérentes et planifier les activités menées, choisir les matériels et les documents à utiliser.

Les situations A et B ne doivent pas être pensées comme étrangères l'une à l'autre.
Une situation du type B peut permettre de développer des outils (phénoménographie, phénoménotechnique) utile dans un travail en rapport avec un modèle, comme celui abordé dans la situation de type A.
Pour aborder une situation du type A, il faudrait que les élèves aient acquis des compétences, par exemple par des situations du type B.

CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.

1 - Résumé des études.

J.-L. Martinand (1983) dans ses “Questions pour la recherche” interroge le monde des objets d’enseignement :
C’est à cette question que nous avons répondu dans les chapitres précédents. Nous avons envisagé les cas de la méthodologie d’analyse descendante dérivée de SADT et du banc de mesures et d’essais de machines.

SADT est une méthodologie, initialement créée dans le cadre de la spécification logicielle.
D’après notre étude, il semble que la recherche d’une méthodologie :
- nouvelle permettant de s’écarter de la classique association sciences - technologie et de dépasser les vieillissements matériels,
- transversale car utilisable par les enseignants de Sciences et Techniques Industrielles des diverses filières,
- formelle, avec un caractère scientifique permettant expérience, modélisation et simulation notamment
a permis, après des modifications pertinentes par rapport aux préoccupations des disciplines la mise en place dans l’enseignement d’une méthodologie d’analyse fonctionnelle descendante dérivée de SADT.

Le banc de mesures et d’essai de machines est un objet didactique ayant pour objectif le tracé rapide des caractéristiques des machines électriques. L’étude de la conception de l’appareil montre que l’on a en fait cherché à faire représenter par un support expérimental, sur un écran d’ordinateur, une caractéristique de machine bien précise, correspondant au canon des caractéristiques, celle que l’on trouve dans tous les livres de physique appliquée. Les contraintes matérielles que les concepteurs se sont imposées, dans une perspective d’enseignement, notamment un faible encombrement, une bonne maniabilité, la possibilité de bloquer le rotor plusieurs fois à l’heure ont conduit à profondément changer la structure matérielle initiale de la machine. L’objet industriel de départ est complètement modifié, mis au service de l’enseignement de la physique appliquée en classe de terminale : en caricaturant, on pourrait dire que le banc automatisé est un instrument à tracer par l’expérience une courbe théorique. Cependant, l’extérieur de la machine reste relativement proche de l’objet industriel, comme si on voulait garder malgré les modifications internes une certaine référence à un objet industriel classique.

Si, par exemple dans le cas où l'on utilise un MAS, on fait fonctionner, et d'après nos entretiens et nos rencontres informelles avec eux, les enseignants ne s'en privent pas, l'outil en dehors du cas pour lequel il est véritablement prévu, par exemple à vitesse variable, les effets des transformations internes se font nettement sentir et conduisent à des caractéristiques qui s'écartent énormément de ce qui pourrait être attendu, de ce qui doit être enseigné.
L'étude de la documentation relative à ce banc, comparée aux documentations de type industriel destinées aux utilisateurs habituels de machines électriques, montre également les écarts entre les références industrielles et les outils de l'enseignant. Des parties de documents n'apparaissent plus, d'autres éléments sont ajoutés, en rapport avec la préoccupation de l'enseignant de physique appliqué, en classe de terminale, en rapport avec les contenus du programme.

2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.

Ces résultats mais aussi d'autres remarques faites dans les parties précédentes mettent en évidence l'existence d'écarts entre des objets issus des pratiques de référence, dans notre cas en électrotechnique, et des objets apparemment analogues dans l'enseignement.
Ces écarts peuvent avoir différentes origines : les finalités générales, les processus liés à la définition des programmes et référentiels, les contraintes matérielles, les conditions d'apprentissage.

2 - 1 - Les finalités générales.

Le monde de référence, par exemple l'industrie, présente une organisation spécifique, des rapports hiérarchiques, des pouvoirs particuliers. Il est finalisé par la volonté de produire et de vendre des objets.

L'enseignement ne vend rien. Il s'agit d'instruire, de former ou d'éduquer des individus et des citoyens ; l'accent étant mis, suivant les filières et les politiques scolaires du jour davantage sur l'instruction, la formation ou l'éducation. Il ne s'agit pas de fabriquer des produits.

2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.

On a noté dans la première partie que, déjà, la définition des programmes et référentiels relèvent d'un phénomène de création sociale. Ils sont dérivés de représentations de pratiques professionnelles par définition porteuses en elles-mêmes de formalisation. Leur structure est ensuite bâtie de façon à ce qu'une évaluation des élèves et des étudiants puisse être réalisée.

Représentations et volonté systématique d’évaluation entraînent d’une part un rejet de certains des éléments de pratique professionnelle et d’autre part des écarts avec des éléments dérivés présents dans l’enseignement.

2 - 3 - Les matériels.

Les matériels industriels choisis comme objets d'étude ont des variétés, des coûts, des dimensions, des puissances qui font qu'ils ne peuvent pas être utilisés directement dans le cadre de l'enseignement de lycée. On ne peut pas mettre une centrale nucléaire ou un TGV dans chaque établissement !
On peut également ajouter que la répétitivité désirée de certaines mesures ou de certains relevés amènent à modifier les structures de machines ; les problèmes liés à la sécurité doivent être ré-examinés dans le cadre de l'enseignement.

Le cas des systèmes homothétiques.

Les systèmes dits "homothétiques" ou "authentiques" construits par réduction d'une réalité industrielle présentent eux-aussi, par leurs contraintes d'exploitation en classe, des écarts avec leurs homologues industriels. D'abord, bien sûr par leur réduction mais aussi parce que cette réduction a des effets secondaires. Ainsi, elle peut amener à des modifications de certaines grandeurs mécaniques. Le système homothétique est alors corrigé de façon à retrouver des caractéristiques identiques à celles du système industriel. Il s'agit de réintroduire dans le système par modifications internes les valeurs réelles de certains paramètres que la réduction simple ne donnait pas. Pour être fidèle aux caractéristiques de l'engin, il faut parfois ne plus y être fidèle à certains niveaux de sa structure. L'homothétie porte d'abord sur le comportement global de l'engin et si possible sur les constituants et leur agencement. Les puissances en jeu et les volumes sont de toute façon réduits.

> «Ce système homothétique reprend la réalité industrielle sous la forme d'un certain coefficient de réduction, de façon à ce que tous les paramètres soient dans le même rapport […] Les grandeurs qui se conservent en général, ce sont les constantes de temps, les rapports frottements sur couple de la machine, les paramètres importants du dispositif […] Le but du système homothétique, c'est de modéliser le système réel, en essayant de rester le plus fidèle possible, à savoir, par exemple, que, quand on prend un gros moteur, il met un certain temps pour démarrer ; quand on prend un tout petit moteur, il met beaucoup moins de temps pour démarrer. Or, si l'on veut représenter la réalité industrielle, il faut pouvoir concevoir un système qui a ce qu'on appelle la même constante de temps, donc il ne suffit pas de prendre un petit moteur et de dire le petit va représenter le grand ! Il va falloir construire un modèle qui permet de retrouver les grandeurs générales du système réel.» (A2, p. 54)

La mise en place des systèmes homothétiques dans les salles de classe spécialisées nécessite la concentration en un lieu restreint d'éléments pouvant dans la réalité être fort éloignés les uns des autres. C'est le cas de la "station de pompage" (Réseau National de Ressources en Électrotechnique, 1994) qui représente l'ensemble du circuit d'eau dans une station d'irrigation y compris son utilisation : l'aspersion dans des champs. Des additifs pour

l'enseignement ont alors semblé nécessaires sous forme d'une cassette vidéo montrant le dispositif réel.

> «Il y a homothétie pour la puissance, en particulier quand il y a immobilité, on veut que ce soit temporellement la même chose qui se passe… Ce qui implique quelques "bidouillages" parfois, mais prédéterminés […] Là [pour la station de pompage], on a voulu qu'il y ait des asperseurs […] Bon ! Nos systèmes sont tous imparfaits mais nos équipes qui les ont faits ont voulu le moins possible pervertir la réalité industrielle et ils ont essayé chaque fois que c'était possible de produire une cassette vidéo, amateur, mais propre, qui montrait les utilisations en grandeur réelle des dispositifs étudiés. Cela permet des aller-retours entre les solutions du système didactique et les solutions du système réel pour voir l'échelle, les perversions s'il y en a et les dire aux élèves : "Attention, on a une échelle réduite et donc c'est pas tout à fait les mêmes choses à ce niveau-là", etc. Par exemple, une des perversions ici est que, et je ne le souhaitais pas, mais pour des raisons économiques, la société qui a accepté de vendre le système a fait un compromis… toujours des problèmes de coût !… C'est qu'on mélange allègrement la station de production d'eau avec le lieu d'utilisation qui peut être à cinq kilomètres ou plus en amont ou en aval. Dans la même enveloppe géographique, on a concentré la production de l'eau, le puisage de l'eau et l'utilisation de l'eau. Dans notre document, quand on regarde l'analyse descendante, on a fait un zoom arrière pour situer la station d'irrigation, le puisage et l'utilisation de manière à ce que dans l'esprit des élèves la concentration dans l'objet didactique ne participe pas à une réalité […] Quand il y a une perversion, on souhaiterait la mentionner aux élèves.» (A2, p. 84)

Les maquettes didactiques en électronique.

Des produits didactiques divers sont également utilisées dans le cadre de l'enseignement des convertisseurs de l'électronique de puissance. On peut trouver, suivant les constructeurs consultés, des dispositifs industriels, des didactisations "légères" (changement de borniers, extraction de quelques points permettant des mesurages ou des observations de signaux), des maquettes ouvertes entièrement, des maquettes fermées (les composants ne sont pas accessibles) mais avec un schéma fonctionnel apparent. Dans tous les cas, il y a diminution des puissances et au niveau de l'utilisation qui en est faite par les élèves, disparition ou limitation des câblages.

2 - 4 - Apprendre.

Les chemins qui permettent, dans le cadre de l'enseignement, aux élèves et étudiants d'atteindre la maîtrise des savoirs et des compétences préformulés dans les programmes et référentiels nécessitent souvent des constructions intellectuelles particulières (étudier la notion de flux avant d'étudier les machines), des contournements (passer par le modèle général de Thévenin avant de décrire par la transformation qui en découle un moteur à courant continu), une progression (cf. l'idée de continuité entre cycles), une pré-éducation (initiations aux problèmes de sécurité) qui peuvent conduire à des écarts avec des éléments

des pratiques de référence habituellement choisies. C’est ainsi qu’en physique appliquée, les programmes des classes de première, fortement axés sur les lois de la physique et ses applications, peuvent permettre de prendre dans le cadre de l’enseignement une référence comme le chercheur en physique ou en technologie.

2 - 5 - Apprendre dans une classe.

L'enseignant doit gérer des groupes d'individus avec des contraintes particulières liées aux espaces, au temps, aux rapports sociaux, aux conceptions des élèves spécifiques de l'enseignement. Son style, sa présence, ses représentations professionnelles et ses connaissances sont autant de causes possibles d'écart entre activités de classe et activités dans les pratiques de référence.

3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.

3 - 1 - Les notions en jeu.

La notion de **transposition didactique** a, dans un premier temps, été élaborée dans le cadre de la didactique des mathématiques par Y. Chevallard (1985, 1991). D'une façon schématique, il s'agit d'une opération par laquelle il y a définition d'un savoir, objet d'enseignement à partir d'un savoir originel : le savoir savant.
La notion de pratique de référence ajoute à la notion de transposition deux élargissements importants que nous avons notés lorsque nous avons abordé cette idée :
- il convient de ne pas limiter l'origine à un savoir savant, un savoir de recherche, mais d'autres pratiques de référence sont possibles, il peut y avoir aussi créativité ;
- il convient également de ne pas limiter la transposition aux savoirs ; on peut envisager d'autres composantes des rôles sociaux par exemple.

On peut envisager en sens inverse le passage d'un savoir créé, entièrement ou en partie, dans l'enseignement vers des pratiques sociales. On convient d'appeler ce phénomène **contre-transposition**. A. Durey (1987), dans sa thèse d'État, en donne un exemple relativement à des pratiques et à des gestes de sportifs (trajectoires de balles de tennis). C'est aussi le cas, dans l'enseignement technique, selon J. Lambert (1993), de la méthodologie d'étude séquentielle des automatismes Grafcet. Les premières formes de l'outil furent mises au point par des industriels mais utilisaient un mode de notation par graphes appelés "réseaux de Pétri". Elles ne présentaient pas une simplicité suffisante pour pouvoir pénétrer l'enseignement dans les classes du second degré. La technique des "séquenceurs pneumatiques" et la logique de programmation des automates programmables industriels commençaient à naître et , elles semblaient pouvoir être adaptables à l'enseignement. «L'Éducation Nationale accepta de jouer le rôle de courroie de transmission : tout un pan d'enseignement en cours de gestation reçut alors la caution d'une opération d'envergure (développement industriel lié à l'automatisation, et prestige français dû à la mise au point d'une norme internationale.»

Selon G. Arsac (1989), il peut y avoir une "**créativité didactique**", c'est à dire création, dans l'enseignement, d'objets qui ne figurent pas dans le savoir savant. A. Tiberghien (1989) reprend le propos en le précisant dans le cadre de l'enseignement de la physique : «Pour faire un choix judicieux du matériel expérimental mettant en évidence le fait prototypique qui doit servir de support à l'introduction d'un modèle, on utilise des objets techniques, ou, dans certains cas, on crée un matériel spécifique d'enseignement. La table à coussin d'air utilisée pour étudier la mécanique […] est un bon exemple de la "créativité didactique".»

Dans le cas d'un enseignement, la créativité peut poser un problème dans la mesure où les objets ainsi utilisés par les élèves peuvent introduire des écarts importants par rapport à des pratiques de référence. Il devient nécessaire de s'assurer qu'il n'y ait pas dévoiement des véritables apprentissages professionnels et que les objets ainsi utilisés ont à terme une fécondité certaine pour l'enseignement.

3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.

Il semble que l'on puisse retrouver en partie, si on considère l'engin et les pratiques souhaitées autour de lui, la transposition, la créativité et la contre-transposition.

Transposition :

- Le matériel lui-même extérieurement ressemble à grands traits à un matériel "classique" industriel.
- On peut retrouver dans les utilisations proposées pour le banc en classe certaines équivalences dans des pratiques de référence : validation d'un moteur en bout de chaîne de fabrication, recherche et/ou développement sur un produit, à travers l'étude de ses propriétés dynamiques.

On peut considérer que les opérations de relevés de caractéristiques (même statiques) et leurs analyses en relation avec, d'une part une théorie dérivée de lois de la physique et, d'autre part des utilisations possibles (calculs de tension, de fréquence, de vitesse, de couple) constituent des transpositions.

Créativité :

Les objectifs didactiques mis en avant (nécessité de réaliser plusieurs tracés en peu de temps, par exemple) ont induit des modifications profondes du matériel initial. On en a vu les conséquences, positives ou négatives. Parmi ces dernières, nous rappelons la déformation de certaines caractéristiques et la confrontation des élèves avec un produit qui ne doit pas être perçu, malgré son aspect extérieur, comme un matériel industriel "classique" (problème du blocage).

Contre-transposition ? :

L'engin est finalement produit et commercialisé par des industriels.
Ceux-ci ont dû modifier leur philosophie habituelle selon laquelle ils désirent fabriquer les engins ayant la meilleure valeur matérielle ; la valeur à prendre en compte dans le cas du banc d'essai utilisé dans l'enseignement étant plutôt cognitive et intellectuelle. Il n'y a pas pour autant modification en profondeur des pratiques des industriels.

3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.

De la même façon, la mise en place d'une analyse fonctionnelle descendante en Sciences et Techniques Industrielles dans la section génie Électrotechnique relève des trois phénomènes.

Transposition :
L'origine du formalisme est industrielle : il s'agit de la modélisation des systèmes logiciels SADT.

Créativité :
On a pu relever qu'il y a eu :
- non utilisation des datagrammes ;
- de nouvelles définitions adoptées pour les éléments en relation avec les fonctions : déclinaison des entrées et des sorties en trois composantes MEI, les données de contrôles deviennent des contraintes de pilotage et de commande, les éléments structuraux sont maintenant les mécanismes et les processeurs ;
- modification de la finalité de la méthode qui passe d'une utilisation dans un cadre de spécification à une description.

Contre-transposition :
La contre-transposition n'a pas eu lieu, mais J. Lambert (1993) fait remarquer que le désir initial de certains des institutionnels était de réaliser, comme pour le Grafcet, un outil utilisable dans l'industrie pour la description des systèmes automatisés : «Souhaitant une unification des modes de description de l'analyse fonctionnelle des systèmes automatisés, certains responsables de l'Enseignement croient pouvoir réutiliser quelques unes des recettes qui ont fait le succès du "Grafcet" notamment en proposant un système graphique simple à base de rectangles et de flèches.»

3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.

Dans les deux cas étudiés, nous pouvons artificiellement diviser la mise en place dans l'institution des moyens d'enseignement (le banc, l'analyse descendante) en deux étapes :

- **Recherche** dans le monde industriel des objets sur lesquels va porter la transformation.
Cette phase peut être soumise à un certain nombre de contraintes comme on l'a vu à propos de l'analyse fonctionnelle descendante.

- Comme dans le cas des définitions des programmes et référentiels (cf. première partie, chap. III, § 4.3), il y a alors **objectivation** de ces dispositifs par :

- simplification (disparition de certaines parties des documentations techniques),
- réduction de disparités (on passe de plusieurs caractéristiques possibles à une seule dans le cas des MAS),
- réaménagement de formulation (les entrées, les sorties, etc. des boîtes SADT sont redéfinies),

Il s'agit de sélectionner et de modifier les dispositifs de façon à rendre pertinents pour l'enseignement, en fonction des finalités des disciplines et des contraintes des situations de classe, l'engin finalement construit.
Les éléments qui définissent alors l'objet dans le cadre de l'enseignement sont détachées du contexte initial de l'objet. Il y a eu une véritable reconstruction spécifique.
La compréhension de ces objets dans l'enseignement ne peut être réalisée que s'il y a en même temps prise en considération du contexte d'utilisation.

4 - À propos de la continuité Terminale/STS.

Pour les enseignants avec lesquels nous nous sommes entretenus, les nouvelles finalités de l'enseignement en Terminale et l'utilisation de matériels spécifiques à l'enseignement peut créer des problèmes d'adaptation pour les élèves.
À titre indicatif, par exemple, l'un d'eux, professeur en STS (A2, p. 51) relève en rapport avec le travail expérimental sur les machines des problèmes liés au type de dispositifs de faible puissance utilisés en classe de terminale : «D'une manière générale, les précautions que les élèves prenaient avant ne sont plus prises maintenant parce que dans la partie électrotechnique, la partie mesure sur les machines électriques a été réduite à sa plus simple expression […] Si on généralise l'emploi des petites machines, il y a des problèmes. Ce n'est pas la réalité industrielle. Si on fait de la mesure de courants de 1 A, ça ne pose aucun problème à un élève, il n'a pas besoin d'aller chercher un shunt ou d'aller chercher un calibre particulier, il n'a plus de problème à se poser […] Si en thème[1], on leur demande de faire de la mesure de puissances, ils sont affolés.»
Un autre (A2, p. 68) reprend les mêmes remarques sur les décalages entre les niveaux de la classe de terminale et de STS : «On est en train de déplacer des situations, des phénomènes importants ou de les occulter complètement. Dans l'industrie, on n'a pas de machines 300W ! On est en train de vider l'identité du bac technologique électrotechnique avec ces petits

[1] Travail autour d'un projet technique, souvent en relation avec une entreprise.

systèmes - modèles réduits. Cela peut changer les générations de nos étudiants. Je ne suis pas enthousiaste. Les étudiants que l'on a déjà n'ont pas fait de thèmes. On sent de grosses difficultés au niveau des capacités de réalisations, à réfléchir, à proposer, à choisir […] On est obligé de faire passer ces capacités entièrement en BTS d'où nos difficultés dans les démarches pédagogiques. Il y a un décalage dans la continuité, surtout avec les étudiants que l'on récupère dans les lycées techniques actuellement. Ils ont en plus donc maintenant des absences sur ce qui devrait être des acquis pour nous, des méconnaissances technologiques.»

QUATRIÈME PARTIE :
CURRICULUMS RÉELS
OBSERVATIONS DE SÉQUENCES DE CLASSE

«L'homme ne peut être considéré seulement comme une main (Taylor) ni même comme une main et un cœur (relations humaines). Il est avant tout une tête, c'est à dire une liberté , ou en termes plus concrets, un agent autonome qui est capable de calcul et de manipulation et qui s'adapte et invente en fonction des circonstances et des mouvements de ses partenaires.»

Crozier, M. et Friedberg, E.
L'acteur et le système.

PRÉSENTATION.

1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.

Nous abordons dans cette partie l'étude de curriculums réels.

Nous n'avons pas porté notre intérêt sur l'ensemble des événements présents dans les situations de classe. L'observation des séquences a été menée de façon volontairement orientée et limitée par le champ des analyses que nous souhaitions effectuer en rapport avec notre problématique et les résultats des études précédemment exposées.
Il s'agissait essentiellement de repérer pour les examiner ensuite :
- les écarts entre les curriculums formels et les curriculums réels sur les sujets abordés par les enseignants,
- les écarts entre des éléments de pratiques de référence et les éléments correspondants dans les situations scolaires. Notre attention s'est particulièrement portée sur les lieux de travail, sur la gestion du temps par l'enseignant et par les élèves, sur les activités des uns et des autres.
- les difficultés d'élèves, notamment en relation avec certains aspects des modèles utilisés dans l'enseignement : les représentations des objets techniques, les documents utilisés, la construction graphique de la caractéristique d'une machine.

2 - Méthodologie.

2 - 1 - La classe.

Les observations ont été faites lors de séquences avec des élèves d'une même classe[1] de Terminale STI Génie Électrotechnique d'un Lycée d'Enseignement Général et Technologique de la Région Midi-Pyrénées.
Le lycée, de taille modeste - environ 400 élèves -, à recrutement départemental pour la classe observée, possède :
- des filières de formation correspondant aux baccalauréats des série E, génie mécanique (ex-F1) et génie électrotechnique (ex-F3),

[1] L'observation des séquences avec des élèves d'une même classe nous permet d'éliminer une des variables de la situation. Elle nous permet également d'observer d'éventuelles différences d'attitudes en fonction, par exemple, du champ disciplinaire dans lequel ils se trouvent placés.

- trois sections de techniciens supérieurs : maintenance industrielle, électrotechnique et conception de produits industriels.

Les élèves de la classe à laquelle nous nous sommes intéressés ont suivi le parcours Seconde, Première et Terminale dans un second cycle non professionnalisé (ils ne sont pas passés par un BEP et une première d'adaptation).

2 - 2 - Les enseignants.

L'enseignant de Physique Appliquée, ancien certifié de Sciences Physiques, est maintenant professeur agrégé de Physique Appliquée, conseiller pédagogique pour la formation de professeurs-stagiaires (PLC2 en Physique Appliquée). Il enseigne en classe de terminale et dans la section de technicien supérieur en maintenance depuis une dizaine d'années.

L'enseignant de Sciences et Techniques Industrielles est professeur certifié en Génie Électrique (option électrotechnique). Il a suivi la préparation au concours et une formation professionnelle à l'École Nationale Supérieure de l'Enseignement Technique à Cachan. Il enseigne depuis une quinzaine d'années, actuellement en classe de terminale et dans la section de technicien supérieur en électrotechnique.

2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.

L'observation des séquences de classe a reposé sur un total accord avec les enseignants concernés.
Une entrevue avec chacun d'entre eux, séparément, antérieurement aux observations, nous a permis :
- d'expliquer de façon seulement succincte, car nous ne voulions pas voir de dérives dans les pratiques par rapport à ce que les enseignants font d'habitude dans leurs classes, l'objectif de notre recherche. Nous avons simplement indiqué qu'il s'agissait d'une étude comparative sur les séquences de classe en Physique Appliquée et en Sciences et Techniques Industrielles : organisation générale des activités, matériels utilisés, difficultés des élèves.
- de recueillir les fiches de préparation en travaux pratiques et de placer les séquences observées dans une progression. Nous avons pu ainsi cadrer de façon plus précise le thème de notre étude, en particulier en Sciences et Techniques Industrielles où le système des "TP tournants" rendait impossible avec les moyens d'observation que nous avions choisis de mettre en place un véritable suivi de tous les sous-groupes d'élèves.

2 - 4 - Les séquences observées.

En Sciences et Techniques Industrielles,

Dans un premier projet, nous avions pensé observer essentiellement des séquences pendant lesquelles les élèves manipulaient, expérimentaient, faisaient des essais : “étude des systèmes techniques industriels” (ESTI). Les contraintes d’observation et l’organisation de ces séquences, en particulier le fait que le groupe d’élèves en ESTI fonctionnait suivant le principe des TP tournants ne nous permettaient pas d’aborder suffisamment les différents problèmes que nous souhaitions traiter.

Afin de repérer les différentes représentations ou modélisations utilisées en STI, nous avons ajouté à notre projet initial les observations d’une séquence d’“automatisme, informatique industrielle” (AII) et d’une séquence de cours en rapport avec l’étude des systèmes techniques industriels.

Nous nous sommes donc intéressés à :

* une séquence de travail sur les Systèmes Techniques Industriels (le 14 mars 1995 de 14 h à 18 h ; 1 groupe) ;
* une séquence en Automatisme et Informatique Industrielle (le 15 mars 1995 de 8 h à 12 h avec le même groupe) ;
* une séquence de cours en relation avec les Systèmes Techniques Industriels (le 6 avril 1995 de 14 h à 16 h avec la classe entière) ;

soit 10 h d’observation.

En Physique Appliquée,

nous avons suivi deux séances de Mesures Physiques, avec les deux groupes de la classe, soit 12 heures d’observation.

Un premier groupe de 15 élèves vient en salle de Travaux Pratiques de 11 h à 12 h puis de 13 h à 15 h. Le second groupe, de 14 élèves, est présent de 15 h à 18 h (pause à 16 h).

Les séquences se sont déroulées les 17 et 31 mars 1995 dans les mêmes conditions, sans écart important de l’une à l’autre en ce qui concerne les principaux points que nous avions choisis de relever.

Entre ces deux dates, aucun apport théorique ou pratique relatif à l’objet de la séquence n’a été apporté par l’enseignant : étude des caractéristiques de couple d’un MAS avec diverses alimentations. En effet, les élèves ont subi dans l’intervalle une épreuve de baccalauréat “blanc” mobilisant une semaine. Les deux heures de cours suivantes ont été utilisées pour aborder les puissances, la mesure des pertes, le rendement et le relèvement du cos φ.

2 - 5 - Le dispositif d’observation.

Comme nous l’avions fait lors des entrevues avec les enseignants, notre souci principal a été de limiter au minimum les perturbations dans les séquences. La mémorisation de l’observation a reposé sur :

- l'utilisation d'un **magnétophone** pour enregistrer les interventions magistrales de l'enseignant (rares en séances par groupe) et les remarques faites par les élèves dans les sous-groupes suivis ;
- l'utilisation d'un **caméscope** pour l'enregistrement audiovisuel des lieux d'activités, des matériels utilisés et de certaines parties des séquences de classe ;
- la prise de **photographies** des matériels, des traces écrites, celles au tableau notamment et de certaines activités d'élèves ;
- un recueil de **comptes-rendus** d'élèves ;
- une **prise de notes en temps réel sur une grille d'observation** préparée prenant en compte les éléments suivants de la situation : travail de type "pratique" (expérience, essai, manipulation) et éventuelle relation avec un modèle (un ou des éléments d'un modèle) ; échanges oraux entre acteurs (professeur/élève ou élève/élève) ; écarts entre le curriculum réel et le curriculum formel.
- une **prise de notes en temps réel** se rapportant à des faits non prévus avant l'observation (difficultés des élèves, entrées d'acteurs ou d'observateurs dans la salle de classe, etc.)

Une partie de ce dispositif (recueil de compte-rendus d'élèves, utilisation de la grille d'observation et prises de notes) a pu être testée, avec satisfaction, lors de séquences réalisées par des professeurs stagiaires dans leurs classes.

3 - Plan de l'exposé.

Nous avons divisé cette partie en deux chapitres :
- dans le premier est présenté un compte-rendu général des activités en Sciences et Techniques Industrielles suivi d'une analyse de certaines des observations faites ;
- dans le deuxième, on retrouve le même découpage, à propos des activités en Physique Appliquée.

Nota :
Un descriptif complet des observations se trouve en Annexe 6.

CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.

1 - Observations.

1 - 1 - Lieux.

1 - 1 - 1 - Généralités.

Les locaux utilisés en STI ont fait l'objet de définitions précises auxquelles il convient de s'intéresser. Dans un article paru dans une revue destinée aux enseignants, J.-P. Chassaing (1988) décrit les différents lieux dans lesquels les élèves travaillent. Nous y ajoutons les commentaires que nous avons obtenus lors d'un entretien avec un IPR de STI (A2, pp. 78/91) :

- Le laboratoire d'étude de système avec le système complet.

> «Une zone où l'on observe une certaine image de la réalité : le système authentique didactisé. Il permet de valider l'attitude à la fonction d'usage du système et permet l'étude des modes opératoires, des processus élémentaires, etc. Il permet une vision globale sur le système.»

- Le laboratoire de prototype contigu au laboratoire d'étude de système dans lequel il est possible de réaliser ou d'assembler un constituant destiné à améliorer ou à modifier les caractéristiques générales avec un cahier des charges.

> «Une zone qui va être dédiée aux activités plus directement liées au métier, relatives à des sous-systèmes ou des procédés élémentaires que l'on va extraire parmi ceux ayant un sens du point de vue de l'électrotechnique […] Autant le système doit être près de la réalité, autant le sous-système est appelé à être éclaté dans tous les sens et décortiqué.»

- Le laboratoire d'automatique et d'informatique industrielle (appelé également laboratoire d'étude des sous-systèmes en STI génie électrotechnique) dans lequel les élèves font des études de procédés élémentaires. Un ordinateur PC est destiné à recevoir un outil de synthèse directe du Grafcet.

> «Cette zone n'est pas destinée à de la conception mais à la proposition de modifications dans un esprit d'amélioration d'un procédé, d'un processus sur des constituants, des fonctions avec amélioration des coûts, de la maintenabilité, de la sécurité, de la flexibilité, etc.»

- Le laboratoire de spécification et de modélisation dans lequel sont développés les modèles, les concepts, la construction de la "base de données structurée".

> «Mais, on trouve ici la première chose qui marche mal, ce qu'on réussit le moins aujourd'hui, c'est la constitution et la structuration de ces bases de données… Cela demande un effort considérable de la part des équipes. Jusque là, on a une activité de description. L'élève est acteur sur de la mesure. Il ne va pas concevoir. Sa créativité est limitée.»

Est associé au texte un schéma reproduit ci-dessous.

On relève en plus des éléments cités :

- l'idée de l'homothétie, réduction matérielle de systèmes industriels visant à donner aux engins utilisés par les élèves un caractère d'"authenticité" ;
- l'idée de "base de données" autour de laquelle se construit, d'après J.-P. Chassaing, la connaissance de l'élève.

D'après J.-P. Chassaing

1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.

Les séquences d'ESTI et d'AII ont été réalisées dans la salle dédiée.

La séquence de cours a été réalisée dans deux salles différentes avec déplacement important d'où des contraintes temporelles fortes et réduction de l'horaire prévu. La première partie (50 min) s'est déroulée dans une salle spécialisée, dédiée au dessin industriel. La taille et la disposition des tables se sont avérées peu pertinentes, les élèves étaient parfois très éloignés du tableau et de l'écran du dispositif rétroprojecteur que l'enseignant a utilisé. La deuxième partie (35 min) s'est déroulée dans une salle banalisée.
Cette séquence supplémentaire pour les élèves a été nécessitée, selon l'enseignant, par une certaine perte d'heures de cours liée à des problèmes d'organisation internes à l'établissement.

1 - 2 - Matériel.

1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.

Les élèves se répartissent par petits groupes de 2 ou 3 autour de chacune des 5 manipulations qui sont proposées suivant le principe des TP tournants :

* Réseau de distribution et régime de neutre.
* Axe z. Étude d'un procédé élémentaire.
* Régulation de température.
* Moto-variateur : différents réglages.
* Dépannage autour d'un dysfonctionnement du transgerbeur.

Chaque sous-groupe d'élèves dispose du système technique ou du sous-système sur lequel il doit produire son étude et du matériel "lourd" (informatique par exemple). Le petit matériel électrique courant (multimètres, diverses alimentations, oscilloscopes) se trouve dans des armoires collectives. Les documents relatifs au système sont en partie dans les armoires (dossiers sur les systèmes, catalogues techniques) et en partie sur les tables (fiches techniques de matériel).

1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.

En AII, les sous-groupes formés sont des binômes. Ils disposent généralement d'un ensemble informatique : ordinateur, logiciel d'écriture graphique des Grafcet et d'un automate programmable. Un binôme ne possède pas d'ordinateur.

1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.

1 - 3 - 1 - Remarques.

1 - La séquence que nous observons est la deuxième d'un cycle de 5 (puisqu'il y a 5 sujets).

- L'observation nécessitant notre présence le plus souvent possible (prise de notes, remplissage de la grille d'observation) ;
- les dispositifs d'enregistrement par magnétophone étant seuls insuffisants ;
- les dispositifs d'enregistrement vidéo permanents ayant été jugés trop perturbants et contraignants (ajustement permanent au niveau des plans),

nous avons été conduit à limiter les observations aux suivis de deux sous-groupes d'élèves.

2 - Nous avons sélectionné deux sujets parmi ceux qui étaient proposés :

1 - Le travail sur "Réseau de distribution - Régime de neutre" : se rapporte à une application de cours.

2 - "Axe z - Étude d'un procédé élémentaire" : vise un travail applicatif également de cours. Il s'agit de l'utilisation d'un hacheur 4 quadrants dans le cadre de la motorisation de l'axe vertical (axe z) du transgerbeur.

3 - "Régulation de température" : correspond à l'étude du principe d'une régulation de type PI (proportionnel/intégrateur).

4 - "Moto-variateur : différents réglages" : les élèves doivent mettre en œuvre, régler un dispositif moto-variateur.

5 - "Dépannage autour d'un dysfonctionnement du transgerbeur" : les élèves sont en position de recherche et de traitement d'un panne.

Notre critère de choix est le suivant : les sujets retenus doivent être en rapport avec une activité de la PSR (technicien). Ce point ne nous permettait pas de retenir les sujets 1 ; 2 et 3, dont les objectifs relevaient de vérification ou/et de compléments de notions de cours non opérationnelles directement. Ce sont donc finalement les sujets 4 et 5 qui ont retenu notre attention : la mise en œuvre d'un moto-variateur dans des conditions précises, nécessitant des réglages et le dépannage d'un ensemble technique correspondent effectivement à des activités de technicien.

<u>Moto-variateur.</u>

2 photos : une avec le transgerbeur, l'autre avec le sous-système moteur - variateur

Transgerbeur.

3 - Les fiches de travail, données aux élèves une semaine avant le début d'une série de manipulations, sont construites à partir des sujets de baccalauréat des années précédentes. Elles sont composées d'une partie "théorique" que les élèves doivent normalement effectuer en deux heures et d'une partie "pratique" de deux heures également. Les deux parties ne sont pas systématiquement en relation. Les élèves disposent de dossiers que les enseignants de STI de l'établissement ont composés pour chacun des systèmes étudiés à partir de documents techniques et des éléments de cours et formulaires correspondants. Cependant tous les éléments nécessaires à la préparation de la manipulation ne s'y trouvent pas.

4 - L'enseignant laisse les élèves travailler de façon relativement indépendante. Lorsqu'ils demandent son intervention, la réponse à la question posée n'est jamais énoncée directement mais des pistes de réflexion sont généralement indiquées. Les élèves qui n'apprécient pas toujours cette attitude manifestent parfois leur désaccord. L'enseignant explique son comportement par son désir de leur permettre de travailler en autonomie, dans des conditions effectives de travail professionnel, et dans une situation proche de celle de l'examen (rappelons que les sujets des fiches sont des sujets de baccalauréat).

5 - Le compte-rendu fait l'objet d'une évaluation. Celle-ci est complétée par des appréciations portées pendant la séquence sur le travail effectué.

1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.

1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.

Évaluation.

Objectifs opérationnels : Compléter un schéma de câblage et calculer des tensions images de la vitesse.
Liaison référentiel : AII 6 Description des systèmes automatisés.
Pré-requis nécessaires : Avoir effectué les premières expérimentations sur l'axe Y et sur le variateur de vitesse.
On donne : le système transgerbeur, une pince ampèremétrique ainsi que sa documentation, un oscilloscope à mémoire ainsi que sa documentation, une table traçante.
Précautions : Ne pas mettre sous tension avant que le professeur responsable n'ait vérifié le branchement des appareils de mesure.
Critères d'évaluation : Le schéma est complété correctement ; calcul des valeurs de réglage des potentiomètres ; localisation de la panne sur le système […]

Consigne de vitesse. (partie théorique)

Nous voulons modifier la liaison entre l'API et la carte variateur de la manière suivante. Chaque consigne vitesse est obtenue par un pont diviseur composé de deux résistances R, R' et d'un ajustable P. R = R' = 3 900 Ω, P = 22 000 Ω.
On crée ainsi les 4 consignes vitesse.
L'automate par l'intermédiaire de ses 4 sorties CA8, CA9, CA10, CA11 choisit la consigne à envoyer à la carte variateur. L'alimentation (+ 15 V, 0, - 15 V) est fournie par le module d'alimentation des cartes variateurs. […]

Calculer les valeurs de réglage des potentiomètres pour obtenir sur CA8 10 V, sur CA9 1 V, sur CA10 - 8 V, sur CA11 - 3 V.

Partie pratique.

On dispose : Du dispositif transgerbeur, mis en panne par le jury, des schémas de l'installation, de la documentation variateur, […]
Il s'agit : de situer le dysfonctionnement dans le système, de le dépanner avec l'accord de l'examinateur et de faire un essai final pour vérifier la conformité du fonctionnement avec le cahier des charges.
Le candidat doit :
1) Après que le jury ait fait une panne […] faire les essais pour identifier le dysfonctionnement.
2) Appeler le jury pour lui montrer l'endroit précis dans le Grafcet où se manifeste le dysfonctionnement.
3) Localiser avec l'examinateur l'élément, la liaison ou le réglage défectueux.
4) Faire un relevé final de contrôle […] Présenter une courbe exploitable, donner la valeur du temps de cycle complet […] désigner et situer sur le système (au jury oralement) les points de réglage électriques qui modifient notablement la valeur de ce temps de cycle.

1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.

Évaluation.

Objectifs opérationnels : Vérifier si l'ensemble moteur variateur de l'axe z est adapté aux contraintes du cahier des charges. Comparer les constituants du système à des constituants similaires référencés dans les ressources documentaires. Mettre en œuvre le variateur de l'axe z.
Liaison référentiel : ELEC 2.1.2.2 Approche matérielle ; 2.2.3.5.2. Fonction commander la puissance par ondulation d'énergie.
Pré-requis nécessaires : Avoir effectué la premières expérimentation sur l'ensemble moteur variateur ainsi que la deuxième expérimentation sur l'axe Z.
On donne : Une platine d'expérimentation précâblée comprenant un moteur associé à un variateur ; le dossier de cette platine, une pince ampèremétrique, un voltmètre, un oscilloscope à mémoire associé à une table traçante.
Précautions : Ne pas mettre sous tension avant que le professeur responsable n'ait vérifié le branchement des appareils de mesure.
Critères d'évaluation : Calcul de la vitesse maximum du moteur, détermination du courant Ic dans la phase 1 et justification du choix du moteur dans cette phase […]

Motorisation de l'axe z du transgerbeur (partie théorique)

FEUILLE p. 52

PHASE 1 : accélération constante égale à 0,5 m/s^2, à la montée.
PHASE 2 : vitesse constante égale à 0,5 m/s, à la montée.
PHASE 3 : freinage à la montée.
PHASE 4 : vitesse nulle, chariot en position haute, frein mécanique non serré.
PHASE 5 : accélération constante égale à - 0,5 m/s^2, à la descente.
PHASE 6 : vitesse constante égale à - 0,5 m/s, à la descente.

PHASE 7 : freinage à la descente.

1 - Choix du moteur.
On vous demande de vérifier si le moteur RX320 choisi est capable d'assurer le déplacement du chariot suivant la loi v = f(t) et ceci sans dépasser ses caractéristiques.

1 - 1 Calculer la fréquence de rotation, n maxi (en tr/mn) atteinte par le moteur au cours de la montée. Voir caractéristiques mécaniques dans le dossier. Le moteur vous paraît-il bien choisi ? Justifier.

1 - 2 Étude de la phase 1.
La relation fondamentale de la dynamique appliquée au rotor s'écrit :

Dans notre application, le cas le plus défavorable pour le moteur est celui où le chariot est chargé avec une masse de 10 kg. La relation devient :

- Montrer que = = 285,7 rd/s^2 lors de la phase 1.
- Calculer le couple Cm développé par la machine lors de cette phase.
- Déterminer alors le courant Ic absorbé par la machine.
- Le moteur convient-il ? Justifier.
- Lors de cette phase, dans quel quadrant du plan Ω (Cm), la machine fonctionne-t-elle ?

1 - 3 Étude de la phase 7.
L'étude mécanique permet d'observer que au cours de cette phase, l'accélération angulaire atteint la valeur maximale de 571,4 rd/s^2 pendant un instant bref.
- Préciser l'instant où cette accélération est atteinte. Justifier.
- En vous servant de la relation (1.2) et pour = 571,4 rd/s^2, calculer le couple moteur Cm développé par la machine.
- Déterminer alors le courant Ic absorbé par la machine. Le moteur convient-il ? Justifier.
- Lors de cette phase, dans quel quadrant du plan Ω (Cm), la machine fonctionne-t-elle ?

2 - Compatibilité moteur-carte variateur
Le moteur à courant continu RX320 est associé à un variateur 4 quadrants à transistors. Les caractéristiques principales du variateur sont : tension redressée Ue = 60 V, courant nominal Ic = 8 A, courant de pointe non répétitif Ic maxi = 16 A, inductance minimale L = 0,5 mH.

2 - 1 En comparant les caractéristiques du moteur et du variateur, justifier leur parfaite compatibilité.

2 - 2 Sera-t-il nécessaire d'adjoindre une inductance en série avec l'induit du moteur. Justifier.

2 - 3 Le variateur est chargé d'assurer l'asservissement de vitesse du moteur. Sur l'axe z,
- qui fournit la consigne vitesse ? Comment est-elle élaborée ?

- qui fournit la mesure de la vitesse ? De quel type est le capteur de vitesse utilisé ?
- quelle est la grandeur réglante (électrique) de la vitesse du moteur ?

Partie pratique. Essais.

Vous disposez du banc d'essai, de la notice constructeur sur le variateur, du dossier manipulations.
Brancher un voltmètre numérique sur le bornier X2-4 afin d'obtenir une mesure du courant induit Ia. Coefficient de proportionnalité k = 0,625 V/A […]
3 - 1 Réglage des potentiomètres avant la mise en route :
R120 réglage de la vitesse en butée à gauche + 10 tours
R122 potentiomètre pour l'action proportionnelle en butée à gauche […]
Mise en route :
Appliquer une consigne de vitesse nulle à l'aide du potentiomètre. Fermer le contacteur d'alimentation du moteur.
Deux réactions possibles :
- le moteur démarre brutalement et tourne à grande vitesse. Pourquoi ? Que faire ?
- le moteur reste arrêté ou dérive très lentement. Cela est normal. Relever le schéma de câblage en notant les polarités […]

1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.

DÉPANNAGE TRANSGERBEUR		**MOTORISATION**

Les 3 élèves s'installent. Les fiches techniques présentes sur les tables sont parcourues.	**<u>14 h 10</u>**	Les 3 élèves s'installent. Les fiches techniques présentes sur les tables sont parcourues.
En dehors de la présence des élèves qui sont allés consulter des documents, l'enseignant provoque une panne sur le transgerbeur. Un essai valide son existence.	**<u>14 h 20</u>**	
Recherche sur la partie "théorique". Les élèves sont mécontents : - -	**<u>14 h 25</u>**	Recherche des relations permettant de répondre à la question 1.1 Recherche des caractéristiques dans les documents.
2 élèves continuent à travailler sur la partie théorique… Le troisième reprend le test sur le transgerbeur. Il y a un problème pour la remise en position initiale…	**<u>14 h 35</u>**	Les élèves protestent devant l'enseignant (à quelques minutes d'intervalle de la protestation de l'autre groupe, sans avoir pu l'entendre) : - **<u>Professeur :</u>** **$V = \Omega.R$ et $\Omega = 2.\Pi.n \div 60$** … Les élèves poursuivent le calcul devant l'enseignant. **Celui-ci leur rappelle la valeur de V ($0,5\ m.s^{-1}$) vue dans le cours.** - <Il_faut_aussi_savoir_ça_?> … Calculs. …

DÉPANNAGE TRANSGERBEUR		**MOTORISATION**

	14 h 40	- <Ce_rÈsultat_est_ÈtonnantÖ> **Professeur :** **<Vous_avez_pensÈ_au_rÈducteur_?>** - … -
- <Vous_ne_pouvez_pas_nous_donner_la_formule_?> (montage diviseur de tension) **Professeur :**	**14 h 45**	**Professeur :** - - <On_ne_va_pas_nous_faire_changer_le_moteurÖ> - - **Professeur :** - … -
Les élèves n'ayant pas retrouvé dans leurs classeurs la relation à utiliser essaient de la démontrer. Ils raisonnent par le courant plutôt que par la tension.	**15 h 05**	- <Ça_va_pas.> - *(L'outil x 20 est repensé sans sa raison : le réducteur.)* … - …
Un élève cherche à utiliser le schéma donné sur la fiche : par des mesures de longueur (distance entre la <flËche> - le curseur - et le point de contact de l'ensemble), il essaie de retrouver la valeur du potentiomètre…	**15 h 15**	Suit une discussion sur les symboles de radian (rd ? rad ?), de minute (min ? mn ?) et du couple (C ? T ?) Les élèves calculent Cm grâce à la relation fournie dans l'énoncé… - <Pfff_!_Comment_calculer_Ic_?> … - <Ce_doit_Ítre_de_la_physique_!> - … - <Attends…
L'enseignant explique le "montage potentiométrique" et donne la relation générale à utiliser. Les élèves essaient d'appliquer la relation mais les valeurs négatives (le -15 V de l'alimentation) les gênent…	**15 h 20**	_Il_doit_y_avoir_propor tionnalité… _K. _est_constant…>

DÉPANNAGE TRANSGERBEUR		**MOTORISATION**

Les élèves transforment la relation en cherchant de nouveau les résultats par les courants. Un d'entre eux cherche toujours empiriquement en prenant des mesures sur un potentiomètre qu'il a redessiné sur sa feuille : il place le curseur correspondant à la valeur de la tension à régler et en déduit par une mesure de longueur la valeur de la résistance !	**15 h 30**	
- Il faut trouver autre chose…» -	**15 h 40**	- - - Les élèves d'autres groupes arrivent : … ils sont perplexes… Dans le tableau de la documentation technique, la grandeur "couple électromagnétique par ampère" leur pose des problèmes… **L'enseignant à la suite de l'attroupement vient et fournit la clé… sur ce point-là…** Mais nouveau problème ! -
Les élèves sont particulièrement fiers d'avoir trouvé les résultats. PAUSE Les élèves ont trouvé la panne… - **<u>Professeur :</u> <Quel_capteur_?>** - Il montre ceux placés sur l'axe vertical. **<u>Professeur :</u> <Comment_savoir>** - <Avec_le_Grafcet.> Il y a plusieurs documents relatifs au Grafcet… Après quelques hésitations : - **<u>Professeur :</u>** - L'armoire est ouverte, les élèves testent en manuel et suivent à la fois le mouvement sur le système et les DEL de visualisation des mises en fonctionnement des capteurs…	**15 h 45** **15 h 50** **16 h 10**	Les élèves, s'estimant en retard ne sortent pas tous en récréation. Un du groupe "motorisation" reste pour continuer le travail… sans résultat probant… Travail sur la recherche du quadrant dans lequel la machine fonctionne… Les élèves "fouillent" (cherchent sans méthode) dans leurs documentations…

DÉPANNAGE TRANSGERBEUR		**MOTORISATION**

- **<u>Professeur :</u>** - **<u>Professeur :</u>** **<Attention_!_Vous_Ítes_sous_tension_!>** Le fil est rebranché hors tension. La machine est testée.	**<u>16 h 20</u>** **<u>16 h 25</u>**	La question relative à l'accélération (1-3, premier alinéa) pose des problèmes. Les élèves décident de ne pas traiter cette question… Il passe au calcul du couple Cm (1-3, 2ème alinéa)…
Les élèves commencent la rédaction de leur compte-rendu : démarche de recherche de la panne.	**<u>16 h 30</u>**	La valeur du couple Cm est trouvée.
	<u>16 h 40</u>	Les élèves ont trouvé une valeur pour Ic (1-3, 3ème alinéa)
Fin du compte-rendu.	**<u>16 h 45</u>**	- - - …
Recherche du matériel dans les armoires pour la suite du travail : pince ampèremétrique, oscilloscope… -		- … Nouvelle discussion sur les quadrants. …
Le cycle complet est effectué.	**<u>16 h 50</u>**	Discussion pour savoir s'il faut tenir compte de la valeur de l'intensité du courant de pointe pour savoir si le variateur et le moteur seront adaptés.
- Le réglage de la base de temps de l'oscilloscope est effectué sans justification, sans chronométrage. - Problème au niveau du captage de la grandeur intensité… - Problème résolu : la pince enroulait les deux fils. - Un enregistrement est effectué… Le cycle dure 22 s. Les élèves choisissent 5 s/div, ce qui ne semble pas être le meilleur choix. Nouveaux essais.	**<u>16 h 55</u>** **<u>17 h 10</u>**	Fin de la rédaction pour 2-1.
L'enseignant recalibre l'ampèremètre et essaie de résoudre un problème au niveau du cordon de la pince.	**<u>17 h 15</u>**	Fin de la rédaction pour 2-2.

DÉPANNAGE TRANSGERBEUR		MOTORISATION
Nouveaux enregistrements.	**17 h 20**	Les élèves ayant déjà fait la manipulation se joignent au groupe. - - - - DÉBUT DE LA PARTIE “PRATIQUE”
Le problème n’est toujours pas résolu. - <Les_signaux_sont_perturbÈs.> - -	**17 h 25**	Nombreuses difficultés : les élèves n’arrivent pas à relier les schémas des documents, le matériel et les questions posées. -
La décision est prise de passer à la rédaction.	**17 h 30**	<Comment_repÈrer_les_contacteurs_?> -
	17 h 35	**L’enseignant arrive…** - - - <Il_ne_faut_pas_mettre_sous_tension_!> - **<Vous_avez_le_dossier_du_va riat eur_?>** -
Rangement du matériel.	**17 h 40**	… - - **<Enfin_!_Regardez_le_schÈma_de_la_carte_dans_le_dossier_!>**
	17 h 45	Finalement, un élève effectue les réglages demandés.
	17 h 50	Rangement matériel.

1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d’ESTI).

Les descriptifs de ces séquences se trouvent en Annexe 6.

Les éléments pertinents pour l’analyse seront explicités dans le paragraphe suivant.

2 - Analyse.

2 - 1 - La durée des différentes phases.

On peut évaluer la durée de travail portant sur les parties théorique et pratique pour les deux sous-groupes que nous avons suivis.

	DÉPANNAGE	MOTORISATION
Partie théorique	1 h 35 min	2 h 45 min
Partie pratique	1 h 30 min	0 h 20 min
Écriture compte-rendu	0 h 40 min	0 h 45 min

On relève un certain équilibre correspondant aux chiffres annoncés concernant le travail sur le dépannage du transgerbeur.
Par contre, le travail sur la motorisation est complètement déséquilibré en défaveur de la partie pratique[1]. Les élèves manifestent leur déception à l'occasion d'un échange avec ceux de leurs camarades qui ont effectué ce travail lors de la précédente séquence :

Les élèves ayant déjà fait la manipulation se joignent au groupe.
-
-
-
-

2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.

Cette dernière phrase nous permet de relever le deuxième fait notable, qui n'est peut-être pas sans rapport avec le temps mis par les élèves du groupe "motorisation" pour résoudre les questions de la partie théorique. Les élèves constituent apparemment, intellectuellement et en traduction dans les faits ou au moins à travers les paroles, des cloisonnements entre les disciplines. La proximité de deux remarques d'élèves des deux groupes allant dans ce sens nous a un moment troublé lors de l'observation. En fait, la distance les séparant rendait impossible toute communication ; ce type de réflexion a été plusieurs fois formulé.

Dépannage transgerbeur : 14 h 25 min :
Recherche sur la partie "théorique".
Les élèves sont mécontents :

[1] Lors de l'observation de la séquence d'AII, le second groupe de la classe se trouve en "Étude des systèmes techniques industriels". Nous avons eu ainsi l'occasion de nous rendre compte de l'état d'avancement de leurs travaux : le sous-groupe travaillant sur la "motorisation" n'a commencé la partie pratique qu'au bout de 3 h 30 min.

-
-

Motorisation : 14 h 35 min :
Recherche des relations permettant de répondre à la question 1.1
Les élèves protestent devant l'enseignant :
-

Motorisation : 15 h 05 min :
-
Professeur :
-

Motorisation : 15 h 20 min :
- <Pfff_!_Comment_calculer_Ic_?>
…
- <Ce_doit_être_de_la_physique_!>
-

Motorisation : 17 h 20 min :
-

Comment interpréter ce cloisonnement ?

> «Les frontières de la carte n'existent pas *dans* le territoire, mais *sur* le territoire, avec les barbelés et les douaniers […] Cela est quasi incompréhensible quand on est dans le paradigme disciplinaire où physique, biologie, anthropologie sont des *choses* distinctes, séparées, non communicantes.»
>
> E. Morin (1990, p. 52)

Nous ne pouvons ici que formuler des **hypothèses** :

- Il semble bien que l'on puisse effectivement concevoir les ensembles techniques comme une rencontre intégrative de plusieurs points de vue qui se percutent et s'enrichissent mutuellement.

La lecture de la fiche "motorisation" est en cela très caractéristique :

Utilisation de la relation fondamentale de la dynamique (1.2)
<Calculer_le_couple_Cm_[Ö]>
Déterminer le courant Ic
Le moteur convient-il ? Justifier.»

En reprenant la formulation de E. Morin, *dans* le territoire, c'est à dire dans le système (même dans le sens restreint où ce mot est employé ici), il n'y a pas alors de frontières déterminantes.

- Mais, des frontières sont tracées *sur* le système par les élèves qui ont caricaturé les structures disciplinaires et surtout n'ont pas créé les possibles liaisons interdisciplinaires, refusant implicitement de sortir des représentations qu'ils ont acquises : en "physique", on pose des équations en rapport avec des phénomènes électromagnétiques et on trace des courbes[1], en "mécanique", les équations sont en relation avec le mouvement, les "mathématiques" permettent de résoudre des équations et de faire des calculs et en "étude des systèmes techniques industriels", on fait des mesures, des essais, des manipulations… et, "on ne fait pas autre chose" pourrait être leur devise !
L'institution ne favorise peut-être pas une quelconque mise en relation des contenus disciplinaires : nous avons relevé dans la deuxième partie une certaine dichotomie entre les disciplines PA et STI.

- Un autre fait mérite d'être relevé : un élève qui n'a pas su traiter la question relative à la détermination du courant Ic (1.2) en "étude des systèmes" aurait su le faire en PA (l'enseignant de PA que nous avons interpellé sur ce sujet nous l'a confirmé), surtout à une semaine d'une épreuve de baccalauréat blanc. La relation à utiliser est tout à fait commune. Son application ne pose *a priori* pas de difficultés. Il semble en fait qu'il y ait une certaine variabilité intra-individuelle qui ferait que des choses "identiques" n'apparaissent pas toujours de la même façon, que la représentation que les individus en font change suivant les situations dans lesquelles ils se trouvent placés. Ce serait un effet de contexte ; les contraintes, les ressources, les lieux agiraient et modifieraient les significations que les individus donnent à ce qu'ils observent et à ce qu'ils font ou doivent faire. Nous rejoignons ici les résultats de certaines études effectuées dans des cadres légèrement différents, par exemple sur les modifications des comportements d'élèves suivant la façon dont leur maître les considère. J.-M. Monteil (1993, pp. 106/110) conclue sa recherche en affirmant que : «Ce ne sont pas les caractéristiques, sociales ou non, qui déterminent le traitement des objets (ou des informations) mais bien la nature des rapports que le sujet entretient avec eux. [… Il convient d'] aborder le contexte social non plus seulement comme un simple facteur affectant les cognitions et comportements du sujet, mais comme une donnée pour partie constitutive de ces cognitions ou comportements […] C'est donc plus la nature sociale du sujet que celle de l'objet qui définirait la nature sociale de la cognition.»

2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?

Nous sommes alors en droit de poser la problématique des relations entre les différentes disciplines. Si la distinction forte existant institutionnellement entre les curriculums formels des deux disciplines peut être modulée, au vu de certains éléments de curriculums réels (cf. ci-dessus l'utilisation de relations de physique dans les deux sujets que

[1] Un élève précise même lors de la séquence de Physique Appliquée :

nous avons étudiés[1]), il reste à concevoir de façon peut-être différente les interactions disciplinaires : les réflexions sur les contenus, mais aussi sur les rapports entre enseignants, sur leurs formations[2], et les recherches sur les effets de contexte restent à faire [3]…

Les points de différenciation sont encore très nombreux et les distances importantes. Parmi les contenus abordés dans le cadre de nos observations en STI, celui qui pose sûrement le plus de difficultés, du point de vue du chercheur mais aussi sûrement du point de vue des élèves est le hacheur.

En Physique Appliquée, seul le hacheur série en conduction ininterrompue est étudié. Il est précisé dans les textes (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A2, S23, 1992) que tout autre type de hacheur est hors programme. Le hacheur parallèle était objet de connaissance dans les programmes précédents.

En Sciences et Techniques Industrielles, le mot “hacheur” n’apparaît pas. La fonction est par contre évoquée et traitée de façon complète dans les quatre quadrants du plan {couple, vitesse} :

> Pour ce type de système automatisé, il convient d’analyser les conditions de la récupération (ou de la dissipation) de cette énergie depuis le processus jusqu’à la source d’énergie électrique (chaîne inverse).
>
> . *Compétences attendues*
> En présence d’un système automatisé qui comporte une chaîne cinématique capable de constituer une charge entraînante (de manière statique ou dynamique) :
> - Étudier le fonctionnement de la chaîne cinématique, dans les quatre quadrants définis par le plan formé par les grandeurs couple et vitesse, en vue de déterminer son éventuelle réversibilité (régimes statique et / ou dynamique).
> - Vérifier la réversibilité du convertisseur électromécanique d’énergie (moteur/ génératrice).
> - Établir les conditions de réversibilité en courant et en tension du modulateur d’énergie (convertisseur statique).
> - Vérifier les possibilités de réversibilité de la source d’énergie et, lorsque la source n’est
> pas réversible, justifier les solutions technologiques qui permettent le stockage et / ou la dissipation de l’énergie.» (BO HS du 24 09 92, pp. 299/383 - A2, S23, 1992).

2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?

---

[1] La Physique Appliquée prendrait alors dans ce cas le statut de “discipline de service”.

[2] On voit sûrement trop souvent des enseignants de PA refusés dans les stages de formation portant sur les “systèmes techniques” et vice-versa des enseignants de STI repoussés de stages portant sur les innovations en PA. De la même façon, les Universités d’été sont spécifiques des disciplines, profilées pour tel type d’enseignant, etc.

[3] Nous avions pensé faire porter une partie de notre recherche sur l’utilisation des “modules” en classe de Terminale, plages dans l’emploi du temps disponibles pour des initiatives locales dans lesquelles PA et STI auraient pu construire des projets en commun. Leur suppression a bien sûr entraîné l’arrêt de notre entreprise… L’idée de “modules” paraît pourtant porteuse de sens vis à vis des relations entre les disciplines.

Ce type de convertisseur est abordé dans le cours d'ESTI que nous avons observé. Nous avons relevé les différentes représentations associées à l'engin. Elles sont nombreuses et variées. Ce sont, dans l'ordre chronologique de leur utilisation :

- Des schémas et graphiques mettant en évidence les échanges d'énergie mécanique et électromagnétique et leurs conséquences en termes de signes pour les grandeurs couple, vitesse, courant et tension : présentation du principe général.

LES QUATRE QUADRANTS
deux fonctionnements liés à la mécanique

- Des chronogrammes vitesse (temps) et couple (temps) de principe puis réels sont mis en correspondance. L'enseignant y repère les différents modes de fonctionnement dans les différents intervalles de temps.

COURBES PP. 87/88

- Le schéma synoptique de la carte du variateur de vitesse.

SCHÉMA P. 89

- Le schéma blocs de la carte variateur replaçant la carte variateur dans un environnement comprenant en particulier le moteur et sa charge, le capteur de vitesse.

- Un schéma électrique présentant le principe de fonctionnement des hacheurs en pont (structure du variateur 4 quadrants ; cas de la carte Parvex de la société Alsthom)

SCHÉMA ÉLECTRIQUE P. 91

- Les chronogrammes montrant les formes d'ondes du courant et de la tension dans les fonctionnements suivant les 4 quadrants, les moments de conduction des diodes et des transistors sont repérés.
Par exemple, pour le fonctionnement dans le quadrant 1 :

CHRONOGRAMMES P. 92 EN HAUT (QUADRANT 1)

- Les schémas de structure du variateur sont complétés par les parcours du courant pendant les phases actives et pendant les phases de récupération pour les fonctionnements dans chaque quadrant.
Par exemple, pour le fonctionnement dans le quadrant 1 :

SCHÉMA STRUCTUREL POUR Q1 (À COMPLÉTER)
P. 94 EN HAUT

- Le diagramme structurel d'un second variateur (Infranor).

L'analyse fonctionnelle descendante de type SADT n'intervient à aucun moment dans cette étude du convertisseur ; elle ne semble en effet pertinente que pour des ensembles plus compliqués.

On peut mettre en évidence simultanément :
- la progression choisie par l'enseignant,
- l'objectif général visé dans chacune des phases,

- les types de représentations adoptées.

PHASES	OBJECTIF	RÉSOLUTION
Présentation	Quel est le problème ?	Diagrammes dans le plan {(U,V), (C,I)}
Applications	Comment se traduit-il dans les faits ?	Chronogrammes (vitesse, couple) = f (t)
Réalisations	Quel est l'engin permettant de résoudre le problème posé ?	Schéma synoptique associant fonction et composant.
		Schéma par blocs fonctionnels et relations entre fonctions formalisées.
Explications	Comment peut-on comprendre son fonctionnement ?	Schéma électrique de principe (structure matérielle)
		Chronogrammes (courant, tension) = f (t)
		Compléments d'informations sur le schéma électrique de principe.

C'est ainsi que l'on retrouve l'un des points que nous avions repéré lors de l'étude des disciplines :

- l'explication, la compréhension de l'objet technique semblent favorisées par une étude faite à partir des composants mis en situation dans des schémas électriques simplifiés et par la traduction, ici par des chronogrammes, des lois de la physique. Cette partie est généralement gérée dans le cadre de la Physique Appliquée. Comme le hacheur 4 quadrants n'est pas au programme en PA, ce sont les enseignants de STI qui le traitent, avec les mêmes outils que les physiciens d'habitude.
- la représentation de la réalisation de l'objet matériel est faite essentiellement par les fonctions.

Au-delà des représentations typiques que l'on peut trouver dans les documentations techniques telles que nous les avons décrites dans la troisième partie (chapitre 2, § 3.1.2 - A4, pp. 16/23), c'est le cas du synoptique, du circuit électrique, apparaissent des représentations à visée explicative des fonctionnements du variateur, par exemple, les schémas électriques avec le parcours du courant, les chronogrammes (courant, tension) = f (t).

Les représentations utilisées dans le cadre de l'enseignement en STI sont, dans le cas visé, celles utilisées dans le cadre des pratiques de référence auxquelles sont ajoutées d'autres représentations qui ont pour objectif d'aider à la compréhension du fonctionnement de l'engin.

B. Bouldoires (1994, pp. 76/77) avait repéré également dans son étude portant sur l'enseignement de l'électronique en lycée la présence, dans la partie traitée par les STI, des éléments de

représentation provenant des modèles “importés”, regrettant pour sa part les insuffisances de cet enseignement dans lequel les activités réelles de modélisation, de construction de ces représentations n’étaient pas effectives.

2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.

L’utilisation systématique de sujets de baccalauréat en guise de fiches de travaux pratiques en ESTI amène deux remarques.

2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?

Pour le dispositif d’évaluation dans l’enseignement, quel est le statut de l’évaluation finale ?
- Est-ce une répétition de quelque chose qui a déjà été fait ? Dans ce cas, les séquences d’ESTI ressemblent fort à un entraînement à cadence forcée, voire à du bachotage.
- Correspond-t-elle à une évaluation de savoirs et de compétences transposables dans une problématique nouvelle ? Dans ce cas, on peut s’interroger sur l’intérêt des séquences du type de celle observée.

Le problème peut provenir du fait que, à l’origine, les enseignants étaient perdus vis à vis des nouvelles approches (programmes de 1989 puis de 1992). P. Pelpel et V. Troger (1993, p. 312) soulignent que la mise en place de ces enseignements caractérisés par un vocabulaire et des orientations pédagogiques nouvelles a désorienté les enseignants. L’accrochage de leurs activités aux sujets de baccalauréat constituait alors une sorte de point d’appui présentant un certain caractère de sûreté. Ils retrouvaient également de cette façon les habitudes des séquences de “mesures et d’essais” qui procédaient de la même façon.

L’utilisation des fiches de baccalauréat en tant que fiches de travaux pratiques n’avait, d’après une des personnes que nous avons interrogée, pas été pensée lors de la construction des programmes, l’évaluation devant être faite de manière continue.

> En fait, ceci n’a pas pu se faire ; les enseignants, les syndicats, etc. n’étaient pas prêts. Cela a dans un premier temps, et encore on le perçoit, impliqué des difficultés d’organisation en matériels (nombre de sujets importants : de 25 à 30) et en temps car on ne pouvait passer que 5 élèves par jour. L’évaluation est difficile…
> Et il faut reconnaître aussi, et c’est une dérive et un sujet de préoccupation et de discussion ; que maintenant, on a de plus en plus dans les établissements une sorte de “bachotage” qui a été instauré, les élèves travaillant sur des sujets de bac des années précédentes. La multiplication, année après année, des sujets d’examen n’a pas changé ce processus.
> Il faudrait qu’on réfléchisse à un retour à un enseignement de type TP et à de nouveaux dispositifs d’évaluation pour l’examen.» (A2, p. 75)

Actuellement, la multiplication des sujets devrait, d'après un deuxième interlocuteur, diminuer les possibilités de bachotage.

(A2, p. 85)

2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.

2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?

On peut faire l'hypothèse que le désir chez les enseignants d'utiliser les sujets de baccalauréat comme fiches de travail pour les séquences de travaux pratiques correspond à leur volonté de choisir la référence de leurs pratiques à l'intérieur de l'institution. Le baccalauréat et au niveau des STS, le "technicien d'école" deviendraient alors les références des activités.
Compte tenu des écarts déjà observés et commentés dans les deuxième et troisième parties de notre thèse entre les contenus enseignés, les engins utilisés en classe et les éléments correspondants éventuellement dans les pratiques de référence, il semble que la construction des séquences de classe sur les dispositifs d'évaluation constitue une dérive importante par rapport aux PSR.

2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?

L'utilisation des sujets de baccalauréat comme base des activités en classe pose à nouveau la question du statut de celui-ci. Elle ajoute à sa définition en tant que moyen d'évaluation son institutionnalisation comme moyen d'enseignement. Le baccalauréat devient alors un élément de curriculum formel/prescrit, créé par une institution différente de celle qui conçoit les programmes.

2 - 6 - Un élève "auteur"

La question à laquelle nous faisons référence correspond à la partie théorique de la fiche "dépannage transgerbeur". (cf. § 1.3.2.1)
Nous en rappelons **l'énoncé** :

Nous voulons modifier la liaison entre l'API et la carte variateur de la manière suivante. Chaque consigne vitesse est obtenue par un pont diviseur composé de deux résistances R, R' et d'un ajustable P. R = R' = 3 900 Ω, P = 22 000 Ω.
On crée ainsi les 4 consignes vitesse.
L'automate par l'intermédiaire de ses 4 sorties CA8, CA9, CA10, CA11 choisit la consigne à envoyer à la carte variateur. L'alimentation (+ 15 V, 0, - 15 V) est fournie par le module d'alimentation des cartes variateurs. […]

Calculer les valeurs de réglage des potentiomètres pour obtenir sur CA8 10 V, sur CA9 1 V, sur CA10 - 8 V, sur CA11 - 3 V.

La solution attendue par l'enseignant.

La réponse peut être obtenue à partir de la relation qui lie les différentes grandeurs en jeu, R, R' et la tension Vc, sachant que le diviseur de tension constitué ne débite pas de courant.
En appelant Pr la valeur cherchée, Vr le décalage des références de U et de Vc :

Vr + Vc = . U ;

d'où Pr = . (R + R' + P) - R

Avec les données de l'exercice, on peut écrire (Pr en kΩ) :

Pr = [. 29,8] - 3,9 d'où Pr ≈ (15 + Vc) - 3,9

Le travail des élèves.

1 - Les élèves n'ayant pas retrouvé dans leurs classeurs la relation à utiliser essaient de la démontrer. Ils raisonnent par le courant plutôt que par la tension.

Une solution peut être effectivement envisagée ainsi.
En notant i l'intensité du courant qui circule dans les trois composants résistifs,

i = (1)

La loi d'Ohm permet d'écrire : Vr + Vc = (R + Pr) . i (2)

(1) et (2) donnent alors : Pr = - R

L'application numérique permet de connaître Pr en fonction de Vc (Pr en kΩ) :

Pr = - 3,9 d'où Pr ≈ (15 + Vc) - 3,9

Cette solution sera adoptée par l'élève (noté E1) dont nous avons relevé la copie (cf. A4).

2 - Un élève (noté E2) dessine un rectangle représentant la somme des résistances. Il gradue un côté en tension (en V), l'autre en valeur de résistance (en kΩ)
Les valeurs de tensions demandées sont ainsi "traduites" directement en valeur de résistances.
La valeur de la résistance R (3,9 kΩ) est retranchée afin de trouver la valeur de réglage du potentiomètre.
L'approximation 29,8 ≈ 30 simplifie la représentation, les graduations sur les échelles de tensions et de résistances étant alors les mêmes.

La discussion entre les deux élèves est particulièrement vive (au bon sens du terme), chacun désirant trouver avant l'autre la solution…

E1 : -
E2 : -

L'exposé de cette méthode met en évidence deux faits :
- la possibilité de création dont disposent les élèves. Nous entrons ici directement dans ce que J. Gréa (1993) désigne par "système du monde" de l'élève :
- le rattachement des raisonnements aux graphiques et dessins.
B. Bouldoires (1994) et H. Authier (1991) dans des disciplines voisines, respectivement l'électronique et les mathématiques, et avec des élèves de section F2 (génie électronique) avaient déjà relevé la propension des élèves du technique à utiliser préférentiellement les outils graphiques. H. Authier écrit par exemple, en conclusion d'une recherche portant sur les "cadres de fonctionnement des connaissances mathématiques chez différents bacheliers" : «Les bacheliers F2 […] optent plus volontiers pour des procédures graphiques que pour des procédures algébriques. Ils se placeraient également, plus volontiers dans le cadre graphique lorsqu'ils rencontrent des difficultés dans d'autres cadres. Le cadre graphique serait donc plus facilement préférentiel pour eux.»

2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.

Nous avons observé une certaine variété dans les utilisations des symboles et des unités des grandeurs physiques posant quelques difficultés aux élèves :

Motovariateur : 14 h 40 min :
-

Professeur :

Motovariateur : 15 h 15 min :
[…] Suit une discussion sur les symboles de radian (rd ? rad ?), de minute (min ? mn ?) et du couple (C ? T ?)

Motovariateur : 15 h 40 min :
[…] Dans le tableau de la documentation technique, la grandeur “couple électromagnétique par ampère” leur pose des problèmes…

Cours d’ESTI :
Élèves : <V_dÈsigne_ici_une_vitesse_?>
Cf. le schéma 4 quadrants : couple C, vitesse V

CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN PHYSIQUE APPLIQUÉE.

1 - Observations.

L'objet d'étude proposé aux élèves lors de cette séquence de classe est le moteur asynchrone.

1 - 1 - Lieux.

La salle, petite, carrée de 7 m de côté environ, comporte 2 rangées de 3 tables recouvertes d'un revêtement en matière plastique. Les tables possèdent un bandeau de prises électriques et un poussoir d'arrêt d'urgence. Quatre armoires disposées sur deux des côtés contiennent le matériel spécifique de la salle de travaux pratiques : alimentations, oscilloscopes, composants, appareils de mesure, etc.
Deux tableaux à écrire sont disposés sur un mur. Il n'y pas de paillasse pour l'enseignant.

1 - 2 - Matériel.

Entre les tableaux et les premières tables ont été disposés :
- sur un premier chariot, le matériel informatique nécessaire aux acquisitions de données : ordinateur à l'étage du haut, imprimante en-dessous ;
- sur un deuxième chariot, à l'étage inférieur le banc complet (MAS à cage, frein à poudre, capteurs de vitesse et de couple) et à l'étage supérieur, les alimentations, les modules mécaniques et électriques, l'interface Orphy.

Les sept élèves d'un groupe (noté Groupe 1) travailleront sur cet ensemble, mais sans utiliser le dispositif informatique[1], les lectures des grandeurs physiques seront lues sur les modules de mesures. Leur fiche de travaux pratiques distribuée par l'enseignant en début de séquence s'intitule : "Caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquence fixe".

Sur la table de devant d'une des rangées a été disposé le matériel suivant : un banc avec un MAS à cage, un frein à courant de Foucault, une dynamo tachymétrique et une génératrice-balance pour la mesure de couple, les alimentations électriques : variateur LS à U/f constant (celui dont la documentation a fait l'objet d'une étude - cf. troisième partie, chap. 2, § 3.1.2 ou Annexe 4) et alimentation à CC pour le frein, deux multimètres pour les mesures de l'intensité du courant dans le frein et de la tension aux bornes de la dynamo tachymétrique.

[1] Seul l'enseignant manipulera le dispositif informatique (cf. déroulement).

Les six élèves du second groupe (noté Groupe 2) travailleront sur cet ensemble. Leur fiche a pour titre : “Caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte”.

Caractéristique de couple d’un moteur asynchrone,
MAS alimenté par des tensions de fréquence fixe.

Caractéristique de couple d’un moteur asynchrone,
MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte

1 - 3 - Déroulement général.

Les élèves arrivent le 17 mars avec peu de connaissance concernant le MAS lui-même. Seul le phénomène d'asynchronisme a été observé et rapidement explicité dans une séquence de cours sur les champs tournants et leurs applications. Le glissement a ainsi été défini qualitativement.

Le 17 mars, la première heure a été consacrée par l'enseignant à une présentation des manipulations, par lui-même, sur le dispositif d'enregistrement relié à l'ordinateur (ExAO).
Les deux heures suivantes ont été consacrées à une séquence de travaux pratiques ; les élèves manipulant par groupes. Ceux-ci sont constitués, par division de la salle dans le sens de la longueur. Chaque rangée ayant en bout de salle son matériel.

Le 31 mars, les élèves ont effectué pendant les deux premières heures la manipulation qu'ils n'avaient pas faite le 17 mars. La troisième heure de la séquence à été réservée à la rédaction des comptes-rendus, donnés ensuite à l'enseignant pour évaluation.

Les 4 séquences observées ont suivi le même ordre dans les activités. La première séquence nous a permis de régler plus finement nos dispositifs d'enregistrement et d'observations.

Pendant la phase de présentation, l'enseignant :
- explicite le déroulement des activités sur les deux séquences ;
- procède à un premier relevé de points de fonctionnement relatif à la caractéristique de couple (sous 220 V) du MAS en mode automatisé ;
- montre aux élèves la partie utile ;
- procède à de nouveaux enregistrements avec des tensions différentes (127 V, 254 V, 180 V) ;
- déduit des tracés, avec l'aide des élèves un certain nombre de conclusions sur la forme des courbes, la vitesse de synchronisme, le couple maximal, le point de fonctionnement, la mise en évidence des fonctionnements stable et instable ;
- montre par l'expérience la possibilité d'obtenir un fonctionnement stable à vitesse très faible ;
- distribue aux élèves les fiches de travaux pratiques puis les commente rapidement ;
- distribue aux élèves une photocopie correspondant aux courbes visibles sur l'écran.

Courbes à V variables

1 - 4 - Remarques.

1 - La manipulation du matériel de mesures et d'essais, du banc, a déjà donné lieu à des apprentissages. Les élèves s'en sont en effet servi pour étudier le moteur à courant continu.

2 - D'une façon générale, l'enseignant est très près des élèves.
Ceux-ci le mettent à contribution dès qu'une difficulté, non résolue en petit groupe de 2 ou 3 élèves, se présente. Il y répond de manière directe, reprenant parfois des explications de phénomènes étudiés précédemment dans le cours.

3 - Les objectifs de la séquence sont clairement exposés. La fiche de travail distribuée aux élèves est très détaillée, conçue comme un guide.

4 - Le compte-rendu fait l'objet d'une évaluation par l'enseignant.

1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.

1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).

La partie I est commune aux deux groupes.

I - Étude de la caractéristique complète Tu = f (n).

Déterminer sur la caractéristique donnée par le logiciel pour V = 220 V les points correspondants au démarrage, au fonctionnement à vide, au couple maximal, à la zone de fonctionnement stable, à la zone de fonctionnement instable.
Porter sur chaque courbe le point correspondant au couple nominal ; quelle est l'allure de la partie de la caractéristique comprise entre le fonctionnement nominal et le fonctionnement à vide?
Pour une même fréquence de rotation, comparer approximativement les valeurs des couples obtenus avec une tension V = 220 V et V = 127 V. Même question pour 254 V et 127 V ; pour 180 V et 127 V. Conclure.

II - MAS alimenté par des tensions de fréquence fixe (50 Hz).

1 - Préparation.
a) Déterminer le couplage des enroulements sachant que l'on dispose d'un réseau 220/380 V.
b) Faire un schéma du montage sachant que l'on utilise un alternostat triphasé pour alimenter le MAS, un frein magnétique à poudre […], une dynamo tachymétrique […], un module de mesures électriques […], un module de mesures mécaniques […]
c) Repérer les appareils de mesure : T n I V.
d) Câbler le circuit, brancher les appareils de mesure et faire vérifier.

2 - Étude Tu = f (n) et Tu = f(g) pour une tension d'alimentation à V fixée.
a) Mesures : alimenter le moteur en fixant V = 220 V et donner au couple résistant les valeurs T = 0,4 Nm puis 0,8 1,2 1,6 2 (couple nominal) ; mesurer la fréquence de rotation n. Recommencer les mesures pour des tensions d'alimentation de 254 V, 180 V et 127 V (tableau de mesures).
b) Interprétation : Tracer entre 1350 tr/min et 1500 tr/min la caractéristique Tu = f(n) pour chaque tension d'alimentation. Pour V = 220 V, calculer le glissement g correspondant à chaque mesure et tracer Tu = f(g).

3) Étude du couple en fonction de la tension d'alimentation V pour une fréquence de rotation n fixée.
a) Mesures : alimenter le moteur sous 220 V et régler le couple résistant pour obtenir une fréquence de rotation n = 1460 tr/min. Recommencer les mesures pour des tensions d'alimentation de 254 V, 180 V et 127 V (tableau de mesures).
b) Interprétation : Tracer le graphe Tu = f (V^2) pour la fréquence de rotation n = 1460 tr/min. Conclure.

Les élèves sont séparés en deux sous-groupes de quatre et trois élèves. Le premier commence la partie “1 - préparation” du II pendant que les autres font la partie “2 - Étude Tu = f(n)…” après avoir câblé toutefois. Lorsqu’ils ont fini, ils intervertissent leurs positions.
Cette situation rappelle une de celles que nous avons analysées dans la troisième partie (Chap. 2, § 4.2.2, situation B) dans la mesure où les activités sont effectuées dans un ordre variable. Cependant, elle en diffère par le fait que les phases ne sont pas indépendantes. Les élèves qui commencent par la partie 2 doivent cependant faire le montage, sans avoir fait le schéma avant… mais ils doivent évidemment déterminer le couplage (1 a).

1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.

[I - Comme ci-dessus].

II - MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.

1 - Préparation.
a) Déterminer le couplage des enroulements du stator si l’on dispose d’un réseau 220 V.
b) Faire un schéma du montage sachant que l’on utilise un onduleur triphasé, un frein à courants de Foucault alimenté en continu par une source réglable de 0 à 30 V pouvant débiter 1,5 A (prévoir un ampèremètre de contrôle). Un bras de levier portant une masse m = 0,5 kg est fixé sur ce frein pour mesurer le couple résistant. La mesure du couple se fait en déplaçant la masse m le long du bras de levier : on a alors Tr = m.g.d, d étant la distance du poids à l’axe. Une dynamo tachymétrique donnant 0,02 V/tr.min^{-1} ; prévoir un voltmètre.
c) Câbler le circuit, brancher les appareils de mesure et faire vérifier.

2 - Mesures.
a) Déplacer le contrepoids pour que le bras de levier soit horizontal en l’absence de m.
b) Alimenter le moteur avec l’onduleur délivrant des tensions triphasées de fréquence f = 50 Hz. Régler d = 0,14 m ; calculer la valeur du couple (on prendra g = 10 m.s^{-2}) et mesurer la fréquence de rotation n du groupe. Modifier le couple résistant et effectuer de nouvelles mesures en donnant à d les valeurs 0,20 m 0,26 m 0,32 m 0,38 m et 0,44 m.
c) Recommencer pour des fréquences f = 40 Hz puis 30 Hz.

3 - Interprétation.
Calculer la fréquence de synchronisme ns correspondant à chaque fréquence f du courant.
Tracer les graphes Tu = f(n) pour chaque fréquence f.

4 - Tracé des caractéristiques en utilisant l’ordinateur.
Donner au couple résistant les valeurs 0,4 Nm puis 0,8 1,2 1,6 et 2 Nm pour des fréquences successives de 50 45 40 35 et 30 Hz (chaque point est mémorisé avec la touche F1 ; on trace une nouvelle caractéristique avec la touche F4).

Les élèves travaillent dans ce groupe tous en même temps.

1 - 6 - Déroulement temporel des activités.

La séquence décrite est celle du 17 mars 1995, après-midi. Les activités de l'enseignant sont notées en caractères **gras**.

GROUPE 1		GROUPE 2

Observation du matériel… Montage.	“Préparation”	**16 h 15**	**L’enseignant explicite le montage à réaliser tout en donnant des précisions sur le matériel à utiliser. Un schéma des couplages est fait par le professeur au tableau.**
		16 h 25	Les élèves font les schémas… individuellement.
L’enseignant vérifie le montage, met en fonction les modules et le frein à poudre. Ça tourne… Il explique le couple résiduel et fait quelques commentaires (reformule) sur la fiche TP.			
Les élèves vérifient les commentaires de l’enseignant, effectuent les réglages.		**16 h 30**	Un groupe de 3 élèves commence le montage. **Professeur : <Attention_aux_pointes_de_courantÖ_il_faut_lais ser_‡_0_avant_de_brancher_!>** Les élèves se regroupent.
Le moteur tourne. Les élèves commencent les mesures.	**L’enseignant donne des explications sur le réseau et les couplages.**	**16 h 32**	Les élèves effectuent les couplages et branchent le frein, l’alimentation en U/f. L’oubli de l’ampèremètre (lecture de l’intensité du courant dans le frein à courant de Foucault) est repéré.
Les mesures sont terminées. Le montage est démonté.		**16 h 38**	**L’enseignant vérifie le montage et donne des indications : allumer commande avant puissance, équilibrer la barre, inversion du sens de rotation.**
Les tableaux sont recopiés. La discussion s’engage sur les valeurs obtenues.	Les élèves passent à la partie “montage”	**16 h 41**	Les élèves font tourner la machine. Ils lisent une vitesse supérieure à 1500 tr/min à couple résistant nul… <«a_doit_venir_de_la_dynamo_tachymÈtriqueÖ> **Professeur : <PrÈparez_les_ta bleaux_de_rÈsultats>**

GROUPE 1		

	L'enseignant vérifie le montage.	**16 h 47**	Retour aux tables : préparation des tableaux de valeurs. Les élèves complètent également le schéma.
L'enseignant vérifie les valeurs :	Les mesures commencent.	**16 h 50**	
Les élèves travaillent avec soin sur le compte-rendu.		**16 h 52**	**Pour résoudre le problème de mesure de vitesse, l'enseignant dans un premier temps change l'appareil de mesure, sans succès, puis cherche, sans succès aussi, un autre dispositif (tachymètre électronique[1])**
		16 h 54	Malgré les problèmes de mesures, la manipulation continue. Les élèves se répartissent les tâches : variation de f, réglages du frein, mesures de la tension, écriture des résultats sur le tableau, vue d'ensemble.
	Fin des mesures	**16 h 55**	
Reprise des mesures correspondant à la partie II-3	Les élèves travaillent avec soin sur le compte-rendu.	**17 h 00**	La traduction tension/vitesse pose un problème : 30 V correspondent à 1500 tr/min. La calculatrice est utilisée. Malgré cela, certains élèves ne relèvent que la tension.
Fin des mesures.		**17 h 08**	Fin des mesures.
L'enseignant vérifie les mesures et les commente : **- blocage…** **- ns commun** **- alignement des points…** **Il compare ces résultats à ceux obtenus par le dispositif informatique.**		**17 h 10** **17 h 13**	**L'enseignant demande une réduction du tableau de mesures aux grandeurs essentielles.** **Il explique au tableau une règle pour passer par calcul mental de la valeur de la tension lue à la valeur de la vitesse correspondante.** Les élèves travaillent à partir des données.
	Reprise des mesures correspondant à la partie II-3.	**17 h 20**	

GROUPE 1		**GROUPE 2**
Quelques discussions entre les élèves à propos de difficultés et de confusions portant sur les notations n, ns et sur le sens des différentes “fréquences” (de rotation, de la tension). Fin des mesures. Rangement du matériel. Travail sur le compte-rendu.	**17 h 22**	Travail sur les données.
	17 h 30	**L’enseignant aborde le dernier point de la fiche relatif aux acquisitions par ordinateur (cf. fiche ci-après).** **Il compare à l’écran les formes des courbes (<identiques>) et relève que certaines parties sont pratiquement linéaires :** **<Il_faut_donc_tracer_en_TP_des_droites_parallËles.>** **L’alimentation en U/f est très peu abordée :** **<On_en_reparlera_en_cours.>**
L’enseignant effectue une synthèse des résultats à partir des courbes obtenues par les élèves puis les compare aux courbes obtenues par ExAO. **Au tableau, en s’aidant de courbes qu’il trace, il poursuit :**	**17 h 42**	Les élèves notent un résumé de ce qu’ils ont vu et entendu (personnel). Ils rangent le matériel.
	17 h 50	

[1] Celui-ci sera disponible à la séquence du 31 mars 95.

Caractéristiques obtenues avec l'onduleur en U/f = Cte avec le banc automatisé.

Alimentation par un onduleur.

Caractéristiques obtenues théoriquement.

2 - Analyse.

2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.

Dans le programme, il est noté à propos des caractéristiques du MAS :

Étude simplifiée du fonctionnement d'un moteur asynchrone triphasé lorsque la fréquence de sa tension d'alimentation est constante : caractéristiques, démarrage […]
Connaissances scientifiques : Caractéristiques I (n) et T(n) dans la partie utile […]
Savoir-faire expérimentaux : - Relever la partie utile de la caractéristique T(n).

Les écarts entre curriculums réel et prescrit sont particulièrement importants dans l'exploitation de la caractéristique de couple du MAS, notamment quand l'étude des zones de stabilité et d'instabilité est abordée. L'enseignant en parle avec emphase :

Professeur :

Ces phénomènes sont particulièrement exploitables grâce au dispositif du banc d'essai automatisé. R. Le Goff précise que, lors de la conception de l'engin, cette possibilité avait été particulièrement étudiée :

(Annexe 4)

Le sujet est abordé à plusieurs reprises avec les élèves. L'enseignant détaille, en utilisant les relevés des points de la caractéristique tracée sur l'écran de l'ordinateur, les différentes parties à considérer.

Professeur :
En fait, ce n'est pas tout à fait vrai ; il y a une petite partie où l'on a encore un comportement stable : c'est ici.»
L'enseignant montre la zone à n très faible où T décroît quand n augmente…

COURBE P. 28 MODIFIEE

Les limites de la manipulation qu'il effectue sont relevées.

Professeur :

Et un peu plus tard :

Professeur :

Les élèves semblent intéressés et répondent aux questions posées :

Professeur :
Élève 3:

La préparation de l'expérience permet d'aborder les conditions de démarrage :
Élève 3 : <Il_va_pas_dÈmarrerÖ>
Professeur : <Pourquoi_?>
L'enseignant interrompt l'expérience (réglages)
Élève 3 :
Confusion entre couple de démarrage et couple nominal.
Professeur :
L'expérience est réalisée…
Professeur :

La démonstration est reprise un peu plus tard, lors de la visite dans sa classe d'un des stagiaires de l'IUFM qu'il conseille.

2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.

L'équilibre "par les moments" ne semble pas évident pour les élèves. Certains ne comprennent pas, au moins au départ :

Élève :
Professeur : <Il_y_a_un_contrepoids.>

L'obtention de l'équilibre permet également de poser quelques questions :

Élève :
Professeur :

Et l'enseignant fait un mesurage. Il mesure la hauteur de l'extrémité de la barre avec une règle posée "verticalement" sur la table… "au coup d'œil", après avoir donné "son coup d'œil" pour évaluer l'équilibre horizontal !

Quelle méthodologie adopter ?
- Ou on règle une barre "au coup d'œil" horizontalement,

- ou on pose une règle “au coup d’œil” verticalement et on mesure, sachant que le premier réglage, donnant la valeur de hauteur à reproduire, sera évalué “au coup d’œil”.

Questions :

- Dans quel cas, le “coup d’œil” est-il le meilleur ?
- Quel est le statut de la mesure dans une telle expérience ? Ne s’agit-il pas simplement de rassurer un “esprit scientifique” ?

Remarque.

Comme on l’a relevé dans les observations en STI, l’utilisation de notions acquises dans les autres disciplines implique des difficultés. C’est ainsi que la relation mathématique donnant la valeur du moment n’est pratiquement jamais exprimée par les élèves. Celle-ci sera systématiquement donnée et son application dans le cas présent expliquée au tableau par l’enseignant.

S’ajoutent également ici des difficultés liées aux unités (distance déterminée en cm, masse en g) et à des confusions “masse” et “poids”.

2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques.

H. Poincaré (1968, p. 162)

Les tracés de la caractéristique de couple du moteur asynchrone et des autres graphiques demandés par l’enseignant à ses élèves : $T = f(V^2)$ et $T = f(g)$ mettent à jour des difficultés et des approches diverses que nous analysons. Dans un premier paragraphe, nous décrivons les principales observations faites et les difficultés repérées. Dans le deuxième paragraphe, nous présentons un essai d’interprétation des obstacles liés à ces difficultés.

2 - 3 - 1 - Les observations.

2 - 3 - 1 - 1 - Qu’est-ce qu’une caractéristique ?

Deux définitions sont apportées par l’enseignant, de façon explicite pour la première, implicite pour la deuxième :

- Une première définition est donnée pour le mot “caractéristique” lors du premier enregistrement de points de fonctionnement à l’écran :

Tout de suite après, il demande aux élèves de comparer la caractéristique du MAS avec celle du MCC.

- Pour argumenter les termes de ressemblance entre les deux machines, il trace alors au tableau uniquement les parties utiles et idéalisées des caractéristiques… qu’il appelle aussi “caractéristiques”.

2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.

*** A - Un tracé partiel…**

Certains élèves du groupe étudiant le moteur en association avec l'onduleur en U/f = Cte font remarquer que :

-

- <On_va_manquer_de_points_!>

Le tracé des courbes va être souvent, dès lors, limité aux domaines pour lesquels il y a eu effectivement prise en compte d'une valeur de la masse (mais sans prise en considération de l'équilibre initial pour lequel m = 0 kg). Les courbes sont tracées entre T = 0,7 Nm et T = 2,2 Nm.

L'enseignant rappelle systématiquement la première mesure faite :

-

Et il ajoute :

Remarque.

Les mêmes tracés partiels apparaissent un peu plus tard lors de l'étude de T = f (g) et de T = f (V^2). Les élèves, au vu de leurs valeurs, tracent un segment de droite limité par les extrêmes des valeurs des grandeurs qu'ils ont mesurées…

*** B - Un tracé forcé.**

… L'enseignant indique aux élèves :

Repérant quelques hésitations chez les élèves, il reprend :

*** C - Un tracé par succession de segments.**

On trouve des caractéristiques tracées par succession de segments de droite comme on l'avait noté dans une autre occasion, lors d'une précédente recherche (Calmettes, B., 1992). On peut remarquer que le tracé automatique de la caractéristique par l'intermédiaire du logiciel procède de la même façon.

Les valeurs expérimentales de la grandeur vitesse de rotation sont systématiquement décalées, à cause vraisemblablement, d'un problème de réglage initial de la dynamo tachymétrique. Ce fait avait été relevé lors de la phase de mesurage. Pour l'enseignant,
Cette demande provoque la surprise d'un élève :
L'enseignant répond :
Les élèves proposent les tracés de caractéristiques suivants[1] :

*** D - Un tracé moyen.**

Certains élèves tracent alors des droites "moyennes" passant par le couple de valeurs (T = 0, n = ns) qui n'est pas une valeur expérimentale.

*** E - Deux segments non alignés.**

D'autres élèves tracent une suite de deux segments de droite : un passe par les points de fonctionnement obtenus, l'autre relie le plus bas de ces points au point correspondant au couple (T = 0, n = ns).

*** F - Un tracé ne prenant en compte que les valeurs expérimentales.**

Un élève (cf. Annexe 4) trace un segment de droite passant par les points expérimentaux. Il note sur sa copie l'écart entre le point obtenu par l'expérience et le point théorique (T = 0, n = ns) en indiquant : "imprécision de la DT".
DT : dynamo tachymétrique.

*** G - Des points de "mesure" forcés.**

[1] Les graphiques que nous détaillons ici sont les premiers tracés par les élèves. Une certaine "normalisation" suivra sans explication poussée, par intervention de l'enseignant sur certains cas, par échanges entre élèves dans d'autres.

Avant que les élèves aient fini leur tracé, l'enseignant demande : Un élève répond alors :

Lors de l'expérimentation avec le banc automatisé et l'ensemble MAS - onduleur en U/f = Cte, l'enseignant effectue un relevé de points de mesure qui apparaît sur l'écran de l'ordinateur. Le professeur observe les tracés de ces points et remarque :

2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs.

La caractéristique à tracer est T = f (n) où T est le couple et n la fréquence de rotation. Les élèves ne mesurent pas directement ces deux valeurs.
La valeur de la fréquence de rotation n est donnée par calcul à partir de la tension U apparaissant aux bornes de la dynamo tachymétrique : celle-ci porte l'indication "30 V correspondent à 1500 tr/min".
La valeur du couple est obtenue par la relation T = m.g.d où m est la masse du contrepoids, g est l'accélération de la pesanteur et d représente la distance entre la position du contrepoids portée par le bras gradué de la dynamo balance et l'axe de l'ensemble motorisé (valeur lue directement en cm).

Les tableaux sont préparés ainsi :

U						
m						
d						

Les élèves ne pensent donc n'y indiquer que les valeurs mesurées et même parfois la valeur de la masse, alors qu'elle est constante.

L'enseignant, s'apercevant de ceci leur demande de refaire les tableaux en ne laissant apparaître que les grandeurs pertinentes à l'étude. Les passages à ces grandeurs "utiles" pour la caractéristique (fréquence de rotation et couple résistant) sont difficilement réalisés par les élèves, l'enseignant intervenant souvent pour les aider.

Concernant la méthode employée pour faire les mesures, on a pu observer 3 groupes travaillant à fréquence fixe (50 Hz puis 40 Hz puis 30 Hz) et effectuant pour chacune d'elle les séries de mesures pour le couple T. Le quatrième groupe fixait la masse dans une position et faisait varier ensuite la fréquence.
Dans n'importe quel cas, il n'a jamais été question de fixer une valeur de moment de force, par exemple T = 0,7 N puis T = 0,8 N, etc.

2 - 3 - 2 - Essai d'interprétation des faits observés.

2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.

Considérons la suite chronologique générale des actions menées par les élèves dans la partie de la séquence portant sur les tracés de caractéristiques du MAS. Ajoutons-y les actions qui seront menées ensuite :

1 - Relevé de points de fonctionnement (T, n) et report de ces points dans un graphique.

2 - Tracé de la caractéristique.

3 - Construction du[1] modèle pour le MAS par sélection de la partie utile de la caractéristique, par linéarisation de celle-ci et par association avec une ou plusieurs équations. Le modèle ainsi réalisé possède les qualités de représentation, de prévision, de simulation, d'explication, qui lui sont habituellement reconnues en sciences physiques (C. Larcher, 1994, pp. 9/24).

- Il est représentatif d'une famille de moteurs.
- On peut prévoir par calcul le rendement de la machine…
- Il permet de simuler le comportement des machines suivant différentes contraintes de charge par exemple.
- Il est possible d'expliquer certains des comportements de la machine : variation faible de la vitesse quand le couple résistant augmente…

4 - Utilisation du modèle aux fins de réponse à différentes situations proposées pour les associations machine - charge en particulier. Il est possible éventuellement de modifier ou d'adapter certains termes des équations mathématiques le définissant en partie : changement de la valeur de la pente de la droite T = f(n) par exemple.

En reprenant le schéma proposé par J.-L. Martinand (cf. troisième partie, chapitre 2, § 4.3), on retrouve la présence dans les activités des élèves d'un référent empirique présent dans les actions 1 et 2, du passage au référent du modèle dans l'action 3 et du retour vers le référent empirique dans l'action 4.

2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?

Qu'est-ce qu'une caractéristique ?

Nous distinguons trois productions graphiques (G1, G2, G3) associées à trois activités :

* Au niveau du référent empirique :

G1 - le relevé et le report des points de fonctionnement expérimentaux ;

G2 - le tracé de la caractéristique à partir de ces points de fonctionnement ;

* Au niveau du modèle :

[1] Il s'agit du modèle adopté en classe de Terminale. Cf. deuxième partie, chapitre 1, § 6.2.

G3 - un tracé de la partie utile de la caractéristique modélisée.

Dans le cas de l'observation réalisée, l'enseignant passe directement (en quelques secondes) de la première production graphique à la troisième (cf. § 2.3.1.1).

Les graphiques tracés par les élèves. (cf. § 2.3.1.2)

Les cas A (un tracé partiel) et C (tracé par succession de segments) sont liés à une difficulté au niveau de la production G2, de la phénoménographie.

Les cas B (un tracé forcé), D (un tracé moyen), E (deux segments non alignés) et G (des points de “mesure” forcés) sont composés par des rencontres prématurées, dans la mesure où les activités sont placées dans une perspective de modélisation, entre le référent empirique (en train de se construire) et le modèle (qui devrait être totalement absent à ce moment-là), entre les valeurs expérimentales et des valeurs théoriques qui sont issues d’un modèle.

Le cas F correspond à la production G2 attendue.

La préparation des tableaux de valeurs. (cf. § 2.3.1.3)

L’absence de mise en place dans le tableau des grandeurs pertinentes pour le relevé graphique des points de fonctionnement est à mettre en relation avec G1.

2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.

La construction des graphiques.

Tracer la caractéristique (G2) est un savoir-faire expérimental qui pour être mené à terme nécessite, à un premier niveau de décomposition :

1 - La reconnaissance du but fixé : tracer un graphique représentatif pour un engin donné, ici le MAS, des points de fonctionnement (couple, fréquence de rotation) notés (T, n).

2 - La construction d’un dispositif expérimental… :

* Choisir les dispositifs permettant les mesurages du couple et de la fréquence de rotation : dynamo balance et dynamo tachymétrique respectivement (par exemple).
* Représenter par un schéma mécanique et par un schéma électrique le dispositif expérimental complet.
* Réaliser le montage expérimental.

- … et la construction d’un tableau de mesures permettant de :

* Relever les valeurs des grandeurs réellement mesurées : tension U aux bornes de la DT, distance d entre le point d’accrochage de la masse et l’axe de la machine.
* Mettre en relation les grandeurs mesurées avec les grandeurs pertinentes au tracé de la caractéristique après prise de connaissance des autres grandeurs intervenant : valeur du coefficient de proportionnalité entre la tension U mesurée et la fréquence de rotation n, valeur de la masse m, accélération de la pesanteur g. Il s’agit de relier U à n, d à T.

3 - Effectuer les mesurages et noter les mesures dans le tableau :

* Choisir les variables et leur intervalle de variation.
* Faire varier les grandeurs choisies et mesurer.
* Relever les mesures dans le tableau.

4 - Tracer le graphique G1 : reporter, après choix des échelles, les valeurs des grandeurs notées dans le tableau de mesures afin de repérer les points de fonctionnement expérimentaux.

5 - Tracer le graphique G2 : abstraire des quelques points de fonctionnement relevés, par tracé continu, un ensemble de points de fonctionnement dans le référent empirique.

Remarque :

La décomposition faite ci-dessus est nécessitée par la recherche de la compréhension du processus de construction des graphiques et du repérage des difficultés observées dans les productions des élèves. Il ne peut en aucun cas être assimilé à cette étude la recherche d'un quelconque dispositif pédagogique visant à faire construire par les élèves des graphiques. Il n'est pas, dans notre thèse, possible par exemple, à la façon taylorienne, d'associer à la décomposition de l'activité des sous-activités à réaliser en classe. Il n'est pas question, de façon schématique, dans un cadre qui serait propositionnel (ce qui n'est de toute façon pas notre objectif), de dire à des élèves :

Hypothèse : la modélisation du savoir-faire "tracer la caractéristique".

Nous formulons l'hypothèse suivante : "tracer le graphique G2 (la caractéristique expérimentale)" constitue un savoir-faire modélisable par un schéma présentant des analogies avec celui proposé précédemment (cf. troisième partie, chapitre 2, § 4.3).

Nous proposons, en relation avec les activités décrites ci-dessus :

Les aspects phénoménologiques (2) proviennent de la connaissance générale sur “la caractéristique de couple d’une machine” et de l’adaptation de celle-ci au cas du MAS. Si la dynamo balance et la dynamo tachymétrique sont des constantes dans ce cadre-là, les montages électriques sont spécifiques de la machine utilisée.

La phénoménotechnique (3) et la phénoménologie (4) ne sont pas spécifiques d’une machine ; elles relèvent de savoir-faire transversaux.

Le savoir-faire “tracer la caractéristique” (5) peut être lui-même considéré comme transversal lorsqu’il est effectivement acquis et donc être réinvesti dans une nouvelle expérimentation de tracé de caractéristique de couple d’une machine (1). Il devient actif à l’intérieur d’une réelle phénoménotechnique pour la construction du modèle de la machine.

2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.

Nous pouvons, en utilisant le schéma que nous venons d’établir, interpréter la partie des difficultés relatives au référent empirique.
La caractérisation graphique expérimentale d’une nouvelle machine constitue, pour les élèves observés, un authentique obstacle.

La préparation des tableaux de valeurs.

Il s’agit ici, comme précédemment supposé, d’une difficulté liée à la constitution de la phénoménologie. Le dispositif expérimental est construit (aspect très matériel) mais la construction du tableau n’est pas complète : il n’y a pas passage des grandeurs mesurées aux grandeurs pertinentes au tracé de la caractéristique expérimentale. Ce passage est alors le plus

souvent effectué plus tard, au moment de la représentation graphique des points de fonctionnement expérimentaux.

Les graphiques tracés par les élèves.

- Le tracé par succession de segments (C) représente une abstraction par parties. L'élève conçoit (implicitement) l'existence possible de points de fonctionnement dans un espace restreint allant d'un point réellement expérimental à un autre. Il matérialise ce possible par un segment.

Remarque :

Nous avions repéré ce type de difficultés avec des élèves de classes de seconde (observations non liées à une recherche en didactique). Dans une précédente étude (B. Calmettes, 1992), nous avions abordé et confirmé les obstacles aux tracés de caractéristiques avec des élèves de classes de première des sections électrotechnique. On aurait pu penser que ce savoir-faire était un acquis pour des élèves de classe de Terminale de section génie électrotechnique.
Deux faits peuvent, peut-être, permettre de comprendre les difficultés repérées dans les productions des élèves :
- le cas pour lequel le tracé par succession de segments a été observé correspond à l'étude des caractéristiques de couple sous différentes tensions. Pour 127 V, avec seulement trois points de mesure non alignés, il peut sembler fort justement délicat de tracer une droite ; dès lors, l'élève peut par généralisation poursuivre suivant le même procédé pour tracer les autres caractéristiques ;
- les contenus d'enseignement des classes de section génie électrotechnique confrontent assez souvent les élèves à des caractéristiques non linéaires ou linéaires seulement par parties. Face à une nouvelle caractéristique à tracer, il peut alors y avoir implicitement un doute sur les linéarisations à effectuer graphiquement.

- Le tracé partiel (A) représente une limitation de l'abstraction aux valeurs extrêmes des points de fonctionnement expérimentaux. Le probable n'est pas présent, il n'y a pas extrapolation du tracé.

CONCLUSIONS.

Il ne peut s'agir en aucun cas, dans le cadre de notre recherche, de formuler des généralisations à partir des observations faites. Tout au mieux, on peut y voir une investigation visant à formuler des hypothèses pour des recherches futures.

1 - Curriculum formel / curriculum réel.

Nous relevons des écarts entre les deux curriculums :

- en Physique Appliquée, avec des compléments apportés sur les phénomènes de stabilité et d'instabilité de la machine étudiée. L'enseignant précise, tout en faisant sa démonstration :

- En Sciences et Techniques Industrielles, l'utilisation systématique dans le cadre des travaux pratiques d'étude des systèmes de sujets de baccalauréat pose un double problème auquel nous n'avons pu qu'apporter quelques éléments de réflexion :

- Quel est le statut du baccalauréat entre curriculum formel et curriculum réel ?
- Les activités proposées impliquent la prise en compte comme référence pour l'enseignement non pas d'une pratique sociale mais d'un objet interne à l'Éducation Nationale.

2 - À propos de l'utilisation des modèles dans l'enseignement.

- En Sciences et Techniques Industrielles, nous avons dégagé un ensemble varié de représentations utilisées dans le cadre de l'enseignement. Celles-ci sont généralement issues du monde industriel et ont pour objectif la validation, la lecture des systèmes techniques : schéma synoptique, schéma fonctionnel, chronogrammes (vitesse, couple) notamment. Ce sont des représentations figurales ou formalisées[1], outils pour l'action : valider, contrôler, maintenir en état.

Toutefois, dans la mesure où des connaissances relatives à la compréhension des objets doivent également être apportées et dans le cas où la Physique Appliquée ne les aborde pas, d'autres types de représentation sont utilisés : schémas électriques simplifiés (modèles) sur lesquels sont portés des indications sur le sens du courant dans différents cas, chronogrammes à visée explicative par exemple. Ce sont des représentations à opérationnalité différée. Si leur finalité peut être l'action, dans une première phase, il s'agit de comprendre un fonctionnement, un composant ou un agencement matériel.

[1] Le code figural renvoie le plus souvent à un contenu spatialisé mais nécessitant une interprétation. Le code formel correspond à des constructions figuratives établies à partir d'énoncés propositionnels ou à des énoncés formels construits par abstraction de représentations analogiques. (J. Lambert (1994))

Remarque :

Cette distinction est repérable à travers la lecture des termes associés à “modèle”, “modélisation” et “représentation” dans les programmes, ce que le logiciel Alceste (deuxième partie, chapitre 2) permet.

- En Sciences et Techniques Industrielles, on “modélise” l’état, les activités et l’évolution d’un système ou d’un sous-système, la “modélisation” est fonctionnelle, les “représentations” portent sur l’information, les données, les nombres, les codes.
- En Physique Appliquée, on “modélise” un dipôle passif ou actif, un transformateur, un transistor, un thyristor, une diode idéale, une bobine idéale, (modèle de Norton, modèle de Thévenin), un circuit magnétique, et on “représente” des grandeurs sinusoïdales (construction de Fresnel) en relation avec des “théorèmes” qui portent parfois le même nom que le modèle (modèle et théorème de Thévenin)

- En Physique Appliquée, les séquences observées nous ont surtout permis de déterminer des difficultés chez les élèves liées aux processus de modélisation des machines et plus précisément au sein du référent empirique, à la construction de la caractéristique de couple. Afin de repérer l’origine de ces difficultés, nous avons proposé de modéliser le savoir-faire expérimental par un schéma présentant des analogies avec celui présenté d’une façon plus générale pour les processus liés à la modélisation (cf. troisième partie, chapitre 2, § 4.3).

3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.

Nous avons mis en évidence deux faits importants :

- la faculté de créer que peuvent avoir les élèves face à un problème qui leur est posé. La résolution d’une question relative à un diviseur de tension a été résolue par des constructions géométriques.
- le cloisonnement des disciplines qui apparaît dans les attitudes des élèves. Cette séparation donne l’impression d’un refus ou/et d’un “oubli” lorsqu’ils se trouvent engagés dans le cadre d’une discipline de ce qui n’est pas, selon eux, du ressort de cette discipline.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous entendons dans cette conclusion répondre à deux objectifs :
- d'abord, parcourir les différentes phases de cette recherche et mettre en évidence les principaux résultats obtenus et les éléments méthodologiques utilisés ;
- ensuite, envisager des perspectives pour des travaux futurs.

1 - Les travaux réalisés.

1 - 1 - Les résultats de la recherche.

1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.

Les rapides mutations dans le monde du travail en général, dans celui de l'industrie en particulier nécessitent des changements dans les systèmes de formations, notamment au sein de l'Éducation Nationale.

Notre étude s'intéresse d'abord à l'évolution et à la caractérisation des curriculums formels se rapportant à l'enseignement de l'électrotechnique en classe de Terminale.

Les changements curriculaires dans les trente dernières années sont relativement nombreux et variés et se rapportent par exemple :
- aux dénominations de la section, des disciplines, du baccalauréat ;
- aux contenus à enseigner ;
- à l'utilisation de plus en plus importante d'engins didactisés et de nouveaux outils pour l'enseignant (référentiels, circulaires, revues spécifiques) ;
- aux quantités horaires d'enseignement ;
- aux modes de recrutement et de formation des enseignants.

Les origines de ces transformations peuvent être trouvées :
- dans les **évolutions du monde du travail**, c'est le cas des variations matérielles, intellectuelles, techniques, scientifiques et sociales des secteurs pouvant servir de référence ;
- mais aussi dans les **choix politiques** que l'on peut percevoir à travers la création du baccalauréat professionnel et l'institutionnalisation de la poursuite d'étude pour les titulaires d'un baccalauréat technologique ;
- et dans les **contraintes internes au système éducatif**, en particulier les spécificités des activités de classe, le rôle de l'évaluation et la place des travaux pratiques et expérimentaux.

Ces dernières permettent de comprendre l'existence d'écarts entre éléments de pratiques sociales de référence et éléments utilisés dans l'enseignement, écarts marqués par des transpositions mais également par des créations d'ordre didactique.

Nous avons ainsi porté notre attention sur :

- **Le "technicien d'école"**.

C'est une entité fabriquée par les commissions institutionnelles responsables de la fabrication des référentiels de l'emploi et des diplômes à partir de représentations du technicien dans l'entreprise et caractérisée par un domaine des connaissances (en électrotechnique, il s'agit de l'énergie électrique, sa conversion et ses utilisations dans des cadres matériels associant les courants forts des convertisseurs et les courants faibles des dispositifs de commande), un ensemble de compétences (de la conception à la réalisation et à la maintenance des équipements électrotechniques) et les capacités requises, le tout constituant le référentiel du diplôme de technicien.

- **Le banc d'essai de machines utilisé en Physique Appliquée**.

Cet outil est entièrement dédié à une utilisation particulière : le tracé par un dispositif, informatisé éventuellement, des caractéristiques mécaniques des moteurs. La machine industrielle d'origine est l'objet de modifications structurelles afin de répondre aux exigences de l'enseignement : sécurité, répétitivité, maniabilité, rapidité, obtention d'une caractéristique déterminée.

Les systèmes homothétiques utilisés en Sciences et Techniques Industrielles présentent également certaines particularités qui les éloignent de leur modèle industriel (encombrement, puissance).

- **L'analyse descendante utilisée en Sciences et Techniques Industrielles**.

Cette méthodologie, servant à l'origine pour la spécification de systèmes, est adaptée, modifiée de façon à pouvoir permettre la description des ensembles techniques employés dans le cadre de l'enseignement de l'électrotechnique. L'objectif général est alors l'analyse et la validation d'un objet technique existant plutôt qu'une réalisation, une conception ou une spécification d'un objet technique à venir.

Nous pouvons synthétiser sur différents plans les contraintes, les origines des écarts :

- **Sur le plan matériel** : les engins industriels objets d'étude ont des variétés, des coûts, des dimensions, des puissances qui font qu'ils ne peuvent pas être utilisés *de facto* dans le cadre de l'enseignement en Lycée. L'institution choisit un nombre restreint d'appareils à un prix modéré, pouvant s'insérer en toute sécurité dans un espace souvent réduit.
- **Sur le plan cognitif** : les chemins qui permettent, dans le cadre de l'enseignement, de faire acquérir aux élèves des compétences impliquent parfois des constructions intellectuelles spécifiques, des contournements. Les contenus des programmes sont pensés en termes de continuité de niveau d'enseignement (d'une classe à une autre, d'un cycle à l'autre).

- **Sur le plan de la gestion sociale et pédagogique** : le professeur doit s’occuper d’un groupe d’élèves avec de fortes contraintes temporelles, sociales, spatiales et d’évaluation.

- **Sur un plan philosophique** :

* Les finalités générales au sein de l'Éducation Nationale et dans l'industrie sont différentes. Dans le premier cas, il s'agit d'instruire ou de former, de faire connaître ; dans le deuxième cas, les rapports à la production matérielle et à l'économique sont extrêmement importants.

* Les disciplines elles-mêmes, si elles poursuivent des objectifs généraux communs, ont toutefois des caractéristiques originales. L'enseignement de l'"Électrotechnique" en classe de terminale est assuré aujourd'hui *via* deux disciplines, la Physique Appliquée et les Sciences et Techniques Industrielles. Ces deux disciplines sont reliées par le fait qu'elles travaillent toutes deux autour et sur des systèmes et des objets constitutifs de l'Électrotechnique en essayant de les formaliser. Ce désir de porter un regard technologique sur les objets est attaché à la volonté institutionnelle de trouver un niveau de compréhension des engins qui puisse mettre pour un temps (indéfini) les connaissances à l'abri des évolutions permanentes des techniques et des ensembles matériels. Les deux disciplines résolvent cette problématique de deux manières différentes, non contradictoires, non exclusives, complémentaires.

* La Physique Appliquée approche les objets techniques par la conception ou, de plus en plus fréquemment l'utilisation, de représentants matériels et conceptuels simples ; les lois de la physique et les mesurages réalisées aux fins de déterminations de caractéristiques servent d'appui.

* Les Sciences et Techniques Industrielles abordent des systèmes techniques par une analyse descendante qui permet leur décomposition partielle en classe de terminale, aboutissant à des ensembles fonctionnels qui restent généralement compliqués. Les systèmes techniques sont l'objet également de réglages, d'opération de maintenance, de mesurages ayant pour objectif leur validation.

* Dans les deux cas, la pensée technique est associée à l'observation, l'expérience, la mesure, la manipulation, l'utilisation de "formules", la recherche et la justification d'une structuration de l'objet en vue de sa compréhension. Il s'agit de construire et d'articuler dans une action réfléchie, par la recherche d'informations empiriques mais aussi conceptuelles et par le développement de connaissances en usage déjà acquises, différents savoirs que l'on peut avec G. Malglaive (1990) définir :

- des savoirs théoriques dont l'effet est de faire connaître, de dire ce qui est. Ils permettent d'ajuster les interventions sur la réalité ;
- des savoirs procéduraux qui sont des savoirs lacunaires sur les pratiques, une partie des savoirs pratiques se construisant dans l'action ;
- des savoir-faire moteurs dans l'action matérielle, intellectuels dans l'action symbolique.

La didactisation des matériels et des moyens d'enseignement, leur décontextualisation par rapport aux milieux de référence et leur recontextualisation dans l'enseignement en repre-

nant la terminologie de A.-N. Perret-Clermont et al. (1982), opèrent suivant un processus que nous avons assimilé à une **objectivation** : leur simplification, leur réduction et leur réaménagement par rapport à des référents industriels sont liés aux finalités propres, aux points de vue des disciplines à un niveau donné.

D'une façon générale, comme l'explique Bunge (1983, p. 225), le technologue ne recherche pas toujours la vérité dans les propositions qu'il manie, «il préférera souvent une demi-vérité simple à une vérité plus complexe et profonde. Par exemple, si deux modèles différents du système qui l'intéresse sont équivalents en ce qui concerne les données disponibles, le technologue préférera le modèle le plus simple, ou encore celui qui se révèle le plus simple à utiliser.»

La reconstruction de l'objet ainsi réalisée ne peut être comprise et évaluée qu'à travers la lecture des objectifs visés par la discipline en tenant compte des contextes et contraintes de l'enseignement et des utilisations en classe. Modèles et objets peuvent difficilement être jugés à partir d'un point de vue extérieur subjectif.

L'important est de trouver le bon équilibre entre :

- les contraintes liées aux conditions d'enseignement, à la cohérence disciplinaire ;
- les éléments de pratique sociale ;
- la nécessité de compréhension vis à vis des élèves ;

afin d'éviter soit une stricte reproduction réductrice de savoir-faire et d'outils, soit des contenus d'enseignement complètement déconnectés de leur référence ou non pertinents pour les apprentissages.

Le matériel didactique, les moyens didactiques en général sont finalement le résultat de compromis entre les idéaux porteurs du projet initial et les réalismes économique et pragmatique de ses affectations.

Le banc d'essai utilisé en Physique Appliquée répond apparemment à ces contraintes puisqu'il est, pour l'instant, intégré comme moyen d'enseignement, malgré ses imperfections. Sa bonne adaptation aux situations de classe, sa modernité associée à l'utilisation de l'outil informatique de plus en plus accepté par les enseignants, la marque d'une société de production de matériels industriels, sa réponse à la nécessité de prise en compte des essais de machines par les physiciens appliqués, le cadrage de ses possibilités aux objectifs des contenus à enseigner et les efforts de formation effectués vers les enseignants ont, aujourd'hui, raison des défauts repérés : faible puissance, possibilité de blocage du rotor des machines, coût élevé, machines en faible quantité dans les établissements, rendements médiocres, caractéristiques déformées.

C'est parce que l'analyse descendante dérivée de SADT ne paraissait pas répondre à toutes ces contraintes qu'elle a perdu son statut initial de méthodologie générale applicable à toutes les disciplines techniques (les génies). Les électroniciens ne retrouvent pas leurs préoc-

cupations, l'industrie ne normalise pas la méthode, la formalisation est compliquée et dépend du point de vue adopté, les élèves et les enseignants ont des difficultés de lecture, d'autres, à l'encontre des directives proposent des écritures d'organigrammes, la notion d'objet disparaît. Cette analyse reste toutefois institutionnellement présente dans les documents fournis avec les systèmes étudiés en classe, en électrotechnique.

Le devenir des objets didactisés apparaît comme la résultante des jeux sociaux entre les concepteurs et les producteurs de ces objets, les divulgateurs institutionnels, les porteurs de références pour les contenus à enseigner (d'autant plus importants que l'on se situe dans des activités de formation à caractère professionnel), les enseignants et les élèves utilisateurs.

1 - 1 - 2 - Curriculum réel.

L'observation et l'analyse de séquences de classe en Physique Appliquée et en Sciences et Techniques Industrielles a permis de mettre en évidence différentes pratiques de la part des enseignants comme de la part des élèves amenant des écarts entre curriculums formels/prescrits et curriculums réels mais aussi de nouveaux écarts entre les activités en classe et les pratiques de référence, certains d'entre eux correspondant à des perversions importantes.

- En Physique Appliquée, l'enseignant s'attache à montrer un phénomène non inscrit dans les contenus institutionnels : la présence d'une zone de stabilité dans la caractéristique du moteur asynchrone, non utilisée industriellement car correspondant à un échauffement extrêmement important de la machine et donc à un rendement désastreux.

- En Sciences et Techniques Industrielles, les élèves disposent systématiquement, en tant que fiche de travail, d'un sujet de baccalauréat.
Ceci n'est pas sans rappeler un paradoxe relevé par S. Johsua (1992) : «Par définition, l'élève ne dispose pas des moyens cognitifs de fournir les bonnes réponses (sinon, quel besoin y aurait-il d'un enseignement ?) ; en toute rigueur (et au mieux), il ne pourra les fournir qu'une fois l'apprentissage réalisé. Autrement dit, l'activité de l'élève, nécessaire à son apprentissage, nécessiterait que celui-ci soit déjà réalisé.»
Nos réflexions conduisent à trois questions :
* Quel apprentissage peuvent avoir des élèves placés pratiquement dans les conditions de l'évaluation finale normative ?
On peut lever le paradoxe si on considère que la situation proposée est suffisamment fermée pour éviter ambiguïté et dérive. Mais l'observation des situations de classe montre que le traitement des questions (même si celles-ci semblent cadrées et peuvent guider l'élève) laissé à la seule responsabilité des étudiants ne conduit pas aux objectifs d'apprentissages supposés.

De plus, selon S. Johsua (idem), et nous ajoutons comme en technologie.

* Quelle référence pour les activités en classe ?

La pratique décrite conduit à prendre non plus une référence externe pour les activités de classe mais une référence interne à l'enseignement. Démarches, activités et contenus sont fortement liés à l'évaluation finale.

* Quel statut pour le baccalauréat ?

Le baccalauréat navigue ici entre élément de curriculum formel/prescrit puisque ses sujets deviennent institutionnels d'une année sur l'autre et élément de curriculum réel, lié à ce qui se passe de façon plus autonome dans les classes.

Cette partie de la recherche a également montré les difficultés des élèves et certains des dispositifs intellectuels qu'ils mettaient en œuvre pour les résoudre.

- En Physique Appliquée, c'est au niveau de la construction des caractéristiques des machines que les principaux problèmes sont apparus : préparation primaire des tableaux de données, courbes incomplètes ou tracées par succession de segments ou forcées par des grandeurs théoriques. Nous avons proposé aux fins d'interprétation de ces faits la modélisation du savoir-faire expérimental "construire la caractéristique d'une machine", distinguant notamment les activités de préparation de l'action (construction du dispositif, choix des grandeurs à représenter, mesurages, représentation des points de fonctionnement) de l'action elle-même qui nécessite à un certain degré une abstraction par rapport aux résultats expérimentaux.
- En Sciences et Techniques Industrielles, à propos d'un calcul de résistance, nous avons décrit différentes stratégies mises en œuvre par les élèves ou l'enseignant montrant notamment la possibilité de "création" dont disposent les élèves. Un d'entre eux ramène le calcul proposé et souhaité réalisé par l'enseignant à partir des lois de l'électricité à une construction géométrique dans laquelle il s'agit alors de mesurer un côté de rectangle…

Nous avons enfin porté nos réflexions sur le cloisonnement disciplinaire qu'opèrent les élèves, "refusant" de prime abord de traiter dans une discipline des questions qui relèvent, selon eux, d'une autre discipline scolaire.

1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation.

Ces quelques résultats que nous venons de synthétiser montrent que les curriculums doivent être pensés comme des productions en relation avec :

- le système éducatif lui-même, fortement structuré autour d'institutions déterminées : les commissions paritaires, les corps d'inspection, les enseignants, les élèves ;
- les systèmes extérieurs au système éducatif : politique, économique et les "mondes" de référence (recherche et industrie en électrotechnique).

Mais il convient, même si sur ce point nous ne visions pas l'exhaustivité, de relever à tous les niveaux les rôles d'acteurs et d'auteurs que prennent les individus :
- lors de la fabrication des référentiels des diplômes,
- lors de la création d'outils ou de moyens didactiques,
- dans les situations de classes.

En ce sens, les curriculums sont bien les productions d'une organisation, selon une approche stratégique par laquelle elle n'est perçue ni déterministe (l'organisation ne peut pas tout prévoir), ni taylorienne (les membres de l'organisation ne sont pas tous passifs).

Il existe, pour chaque individu, des marges d'initiative et de liberté même à l'intérieur des exigences institutionnelles et ce sont les utilisations qu'il fait de ces espaces qui déterminent ses attitudes[1]… et il ne semble pas que ces attitudes soient toujours conformes à ces exigences (cf. écarts curriculum prescrit/curriculum réel).

1 - 2 - Aspects méthodologiques.

Les résultats auxquels nous avons abouti ont nécessité des sources de données empiriques diverses :
- des documents institutionnels : les programmes, les référentiels, les textes officiels provenant du Ministère de l'Éducation Nationale et de certains acteurs (IPR) ;
- des documents de ou pour la classe : copies d'élèves, fiches de travaux pratiques d'enseignants, notices pédagogiques, revues professionnelles ;
- des documents techniques, productions de l'industrie ;
- des entretiens avec différents acteurs dans l'enseignement : inspecteurs, membres de commissions paritaires, enseignants à différents niveaux (STS ou second degré) ;
- des observations de classe ;
- des comptes-rendus de journées de formation ou de réunions de travail ;
- une enquête auprès d'enseignants.

À une étude systématique de ces différentes données, nous avons ajouté dans le cadre de l'examen des programmes d'enseignement de l'électrotechnique en classe de terminale l'utilisation d'un logiciel d'analyse lexicale. Ce dernier permet un certain degré d'objectivité dans la recherche mais les résultats qu'il propose sont incomplets et doivent de toute façon être interprétés par le chercheur. Le logiciel doit être finalement perçu comme un outil parmi d'autres, permettant sûrement la mise en évidence de certains faits comme les points d'ancrage des disciplines et des mots-clés utilisés dans les textes curriculaires. Son attachement au "poids statistique" et à la "forme" des mots rend cependant les résultats partiels.

2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.

1 - L'étude que nous avons faite doit rester cantonnée dans le milieu dans lequel elle est née. Deux contraintes fortes empêchent *a priori* toute possibilité de généralisation dans une autre discipline, même technique, et à un autre niveau d'enseignement, par exemple STS :
- L'électrotechnique présente des spécificités : traitement de l'énergie par des systèmes compliqués prenant en compte de nombreuses données se rapportant à l'automatisme, à l'électromagnétisme, à l'électronique, à l'électronique de puissance, aux mathématiques, etc.
- Nous nous sommes intéressés aux dispositifs d'enseignement pour la classe terminale de lycée d'enseignement général et technologique. Nous avons relevé la place particulière de ce niveau aujourd'hui : ce n'est plus une classe à caractère professionnel très marqué, l'enseignement doit y être perçu dans une continuité post-bac.
Il semble toutefois probable que certains des phénomènes observés puissent à des degrés divers être à nouveau perçus dans des sections voisines (génie électronique, génie mécanique). Cela peut constituer une hypothèse de recherche. C'est le cas des résultats liés aux raisons des évolutions curriculaires.

2 - Il nous semble opportun, à la suite de nos travaux et dans une nouvelle perpective de recherche, de porter un questionnement plus précis sur les pratiques des enseignants :
- Quelles représentations ont-ils des savoirs qu'ils ont à enseigner ?
- Comment s'y prennent-ils pour construire les activités en classe ?
Il s'agirait notamment de repérer de façon plus systématique les écarts entre curriculums prescrit et réel et de rechercher des éléments d'interprétation à travers la description des conditions d'enseignement par les variables didactiques[1] (M. Bru, 1992) mais aussi par l'étude des représentations des enseignants sur le savoir à enseigner et du rôle que joue la formation sur ces représentations.

3 - Nous avons relevé le cloisonnement disciplinaire, notamment entre Physique Appliquée et Sciences et Techniques Industrielles. Ce cloisonnement n'existe pas seulement dans les textes curriculaires ; il est également perceptible à travers les attitudes des élèves.
Il semble nécessaire d'instaurer une réelle communication entre les deux disciplines, aménageant de façon harmonieuse, dans le respect de leurs spécificités, leurs rapports et leurs reconnaissances.
Dans le cadre d'une recherche-action, il serait souhaitable, par exemple, de pouvoir mettre en œuvre des dispositifs permettant sur des points précis, au sein d'activités modulaires com-

[1] M. Bru déclinent les variables didactiques en trois grandes familles :
- les variables relatives au contenu : organisation, transposition, opérationnalisation des objectifs, activités ;
- les variables processuelles : dynamique de l'activité, répartition des initiatives, communication, évaluation ;
- les variables relatives au cadre matériel : espace, cadre temporel, regroupement des élèves, matériels et supports didactiques.

munes entre les deux enseignants (PA et STI), de confronter les points de vue, de montrer leurs complémentarités et de faire émerger une relation constructive.
A. Chervel (1988) parle de la nécessaire collaboration entre différents enseignements, en relevant, et cela s'applique particulièrement bien à l'électrotechnique, que .
En s'inspirant des travaux de recherche liés à l'interculturel, il s'agit comme le note C. Camilleri (1993) d' et l'auteur donne la clé de la réussite dans cet essai : «Ce n'est plus l'association "totalisante", c'est à dire dans l'uniformisation obligatoire des représentations et des règles à suivre, mais l'association "dialectique", où l'acceptation d'un minimum d'uniformité dans les représentations/valeurs et de contraintes dans les règles à observer est la condition pour obtenir le contraire : le maximum de diversité dans les représentations/valeurs et de liberté dans les comportements.»

4 - J.-L. Martinand dans un séminaire de DEA (Toulouse, 1992) présentait la place des Sciences de l'Éducation dans un espace à deux axes : connaissance/décision et contenus/procédés. Dans ce plan, il propose de situer la didactique des disciplines du côté des contenus et dans un cadre d'études sur la construction des curriculums, du côté des décisions.

Nos travaux n'avaient pas pour objectif d'évaluer l'organisation de l'enseignement ou de conduire à des dispositifs d'aide à la décision. Nous ferons simplement remarquer :
- à la lumière des résultats que nous avons obtenus, il paraît évident que la décision, en matière d'éducation en général et de choix de contenus d'enseignement en particulier, est un problème complexe tant les faits à prendre en compte sont nombreux et enchevêtrés ;
- mais la didactique peut être propositionnelle en matière de curriculum, discutant en particulier des relations entre institutions, pratiques sociales de référence, système d'enseignement en classe et contenus à enseigner et enseignés.

C'est dans cette perspective que nous avions initié une réunion à l'N7 (cf. Annexe 9) dans le courant de l'année 1994. Y étaient conviés des enseignants de l'N7, des inspecteurs de

PA, des enseignants en STS (PA et STI), des formateurs en IUFM et un chercheur en didactique. D'une façon générale, il a été relevé la nécessité :

- de transposer, d'adapter les savoirs et le manque d'un chaînon entre recherche et enseignement ;
- de développer les échanges entre formateurs et chercheurs.

Deux pistes possibles pour des recherches futures en didactique …

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albouy, S. (1990). Éléments de sociologie et de psychologie sociale. Toulouse : Privat.

Allano, S. et al. (1987). Pertes dans les circuits magnétiques : une modélisation complexe. Revue Générale d'Électricité. n° 3/87.

Allay, L. et al. (1988). Physique appliquée : électronique - électrotechnique. Terminale F1. Nathan Technique : Collection Mérat, R. ; Moreau, R.

Ansart, P. (1990). Les sociologies contemporaines. Paris : Éditions du Seuil. Collection Points Essais n° 211.

Ardoino, J. et al. (1991). Culture et culture technique *in* Collectif sous la direction de Morali, D. et al.. Culture technique et formation. Actes du colloque organisé par l'AECSE. 17/18 décembre 1987. Nancy : Presses Universitaires de Nancy. pp. 35/52.

Ardoino, J. (1993). L'approche multiréférentielle (plurielle) des situations éducatives et formatives. Pratiques de formation. Analyses. n° 25/26. pp. 15/34.

Arsac, G. (1989). La transposition didactique en mathématique *in* Arsac, G. ; Develay, M. et Tiberghien, A. La transposition didactique en mathématiques, en physique et en biologie. Lyon : Irem et Lirdis. pp. 3/36.

Arsac, G. ; Develay, M. et Tiberghien, A. (1989). La transposition didactique en mathématiques, en physique et en biologie. Lyon : IREM et LIRDIS. Université Claude Bernard.

Astolfi, J.-P. ; Develay, M. (1989). La didactique des sciences. Paris : PUF. Collection Que sais-je? n° 2448.

Astolfi, J.-P. et al. (1991). Compétences méthodologiques en sciences expérimentales. Paris : INRP.

Astolfi, J.-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. Revue Française de Pédagogie. n° 103. pp. 5/18.

Bachelard, G. (1938, 11ème éd. 1980). La formation de l'esprit scientifique. Paris : Vrin.

Ballé, C. (1990, 1992). Sociologie des organisations. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2499.

Bavay, J.-C. (1990). Les tôles magnétiques à grains orientés. L'amélioration des performances. Revue Générale d'Électricité. n° 11/90. pp. 32/36.

Bardin, L. (1977, 6ème éd. 1991). L'analyse de contenu. Paris : PUF. Le psychologue.

Barth, B. M. (1987). L'apprentissage de l'abstraction. Paris : Retz.

Beaulieu, J. et al. (1982). Essais de machines électriques en salle de physique. Bulletin de l'Union des Physiciens. n° 647. pp. 39/42.

Becchi, E. (1994). Le curriculum. D'un point de vue didactique à une perspective historique *in* Histoire de l'éducation. n° 61. Paris : INRP. pp. 61/71.

Bell, R. (1994). Les dessous des échecs technologiques américains. La Recherche n° 268, vol. 25, pp. 872/879.

Bernoux, P. (1985, 4ème éd. 1990 revue et corrigée). La sociologie des organisations. Paris : Éditions du Seuil.

Blanché, R. (1972, 1977). L'épistémologie. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 1475.

Blin, J.-F. (1994). Représentation, identité et pratiques professionnelles des enseignants : le cas de l'enseignement agricole. Thèse. Toulouse : Université du Mirail.

Bouldoires, B. (1991). Les notations symboliques relatives à l'énergie dans quelques manuels de sciences physiques *in* Actes du premier séminaire national de recherches en didactique des sciences physiques. Grenoble : IFM - Université J. Fourier éditeur.

Bouldoires, B. (1994). Quelle énergie pour les électroniciens ? Contribution à la caractérisation d'un enseignement de la notion d'énergie dans les sections électroniques des Lycées Techniques. Thèse. Toulouse : UPS/Lemme.

Boudon, R. (1969, 8ème éd. corrigée 1991). Les méthodes en sociologie. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 1334.

Bourdieu, P. ; Gros, F. (1989). Principes pour une réflexion sur les contenus de l'enseignement. Paris : CNDP.

Bourricaud, F. (éd. 1992). Institutions *in* Thesaurus de l'Encyclopedia Universalis pp. 388/391.

Bru, M. (1992). Variabilité et variété didactiques : une nouvelle approche des conduites d'enseignement. Les Sciences de l'Éducation. 1-2/1992. pp. 11/26.

Bunge, M. (1983). Épistémologie. Paris : Maloine. pp. 215/244.

Burais, N. ; Grellet, G. (1982). Méthodes de calcul numérique en électrotechnique. Application aux machines électriques. Modélisation numérique des pertes fer dans les circuits magnétiques des machines électriques. Revue Générale d'Électricité. n° 10/82.

Burguière, É. et Ellie, A. (1991). Un nouvel espace pour la culture technique : les lycées professionnels *in* Collectif sous la direction de Morali, D. et al.. Culture technique et formation. Actes du colloque organisé par l'AECSE. 17/18 décembre 1987. Nancy : Presses Universitaires de Nancy. pp. 252/253.

Calmettes, B. et Lefèvre, R. (1993) Étude des évolutions curriculaires en physique appliquée (section électrotechnique) *in* Actes du troisième séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques. Toulouse : UPS/Lemme. pp. 51/65.

Calmettes, B. (1995 à paraître). Électrotechnique : du sens des évolutions technologiques aux problématiques d'enseignement. Bulletin de l'Union des Physiciens.

Calmettes, B. (1995 à paraître). Électrotechnique : une proposition de séquence autour du moteur asynchrone. Bulletin de l'Union des Physiciens.

Calmettes, B. (1995 à paraître). Étude de contenus de programmes d'enseignement par logiciel d'analyse lexicale. Le cas de l'enseignement de l'électrotechnique, en France, en classe terminale de lycée. Communication. VIème colloque international de la section portugaise de l'AIPELF/AFIRSE. Lisbonne : Facudalde de Psicologia e de Ciêncas da Educaçao.

Calmettes, B. (1996 à paraître). Utilisation de quelques concepts de didactique aux fins d'analyses de situations d'enseignement en physique appliquée (électrotechnique). Les Cahiers du CeRF. Toulouse : IUFM.

Calvez, J.-P. (1990). Spécification et conception des systèmes. Une méthodologie. Paris : Masson.

Camilleri, C. (1993). Les conditions structurelles de l'interculturel. Revue Française de Pédagogie n° 103. pp. 43/50.

Canonge, F. et Ducel, R. (1969, 1975). La pédagogie devant le progrès technique. Paris : PUF.

Cégélec. (1992) Le variateur numérique triphasé vectoriel. Étude par Antoine Borgne sous la direction de J.-C. Mauclerc (IPR)

Centre National de Ressources en Électrotechnique (1992). Transgerbeur. Toulouse : CRDP. Collection Génélec.

Cépec sous la direction de Gillet, P. (1991). Construire la formation. Paris. ESF éditeur.

Chalmers, A. (1987). Qu'est-ce que la science ? Paris : Éditions La Découverte.

Chanaron, J.-J et al. (1988). Les liaisons enseignement / recherche / industrie dans les pôles technologiques français. Culture Technique n° 18.

Charlot A. et Pigelet J.-L. (1989). L'après-bac : itinéraires et réussite après trois ans d'études. Paris : Céreq. Collection des Études. n° 52.

Chassaing, J.-P. (1988). Étude de systèmes : des concepts autour du réel ! (1ère partie). Technologie et Formation n° 19.

Chassaing, J.-P.. et Trochet, J.-L. (sd>1992). Génie électrotechnique. Base didactique et méthodologique pour l'étude des Systèmes Techniques Industriels (première partie). Vanves : CNED.

Chatel, E. (1994). Constructions à tout faire : les programmes de sciences économiques et sociales *in* Collectif coordonnée par Demonque, C. et Larue, R.. Qu'est-ce qu'un programme d'enseignement ? Paris : Hachette éducation et CNDP pp. 50/66.

Chervel, A. (1988). L'histoire des disciplines scolaires. Réflexion sur un domaine de la recherche. Histoire de l'Éducation n° 38. Paris : INRP. pp. 59/119.

Chevallard, Y. (1985, 2ème éd. 1991). La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble : La Pensée Sauvage Éditions.

Collectif sous la direction de Morali, D. et al. (1991). Culture technique et formation. Actes du colloque organisé par l'AECSE. 17/18 décembre 1987. Nancy : Presses Universitaires de Nancy.

Collectif (EDF-GDF et Gimelec). (1992). La vitesse variable. L'électronique maîtrise le mouvement . Paris : Techno-Nathan.

Collectif sous la direction de Prades, J. (1992). La technoscience. Les fractures des discours. Paris : L'harmattan.

Collectif coordonné par Demonque, C. et Larue, R. (1994). Qu'est-ce qu'un programme d'enseignement ? Paris : Hachette éducation et CNDP.

Collectif sous la direction de Guimelli, C. (1994). Structures et transformations des représentations sociales. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé.

Collectif sous la direction de Ropé, F. et Tanguy, L. (1994). Savoirs et compétences. De l'usage de ces notions dans l'école et l'entreprise. Paris : L'Harmattan.

Collins, H.-M. (1991). Les sept sexes : étude sociologique de la détection des ondes gravitationnelles *in* collectif sous la direction de Callon, M. et Latour, B. La science telle qu'elle se fait. Paris : La Découverte. pp. 263/283

Combarnous, M. (1984). Les techniques et la technicité. Paris : Messidor. Éditions sociales.

Crozier, M. et Friedberg, E. (1977). L'acteur et le système. Les contraintes de l'action collective. Paris: Éditions du Seuil. Points Essais n° 248.

Cruz, G.. Rapport d'activité de l'unité "Processus cognitifs et didactiques des enseignements technologiques". Paris : INRP.

Dalle, B. (1990). Des matériaux pour l'électrotechnique *in* Revue Générale d'Électricité n° 11/90. pp. 2/12.

Dalmaso, J.-L. (1985). Cours d'électrotechnique. 1. Machines tournantes à courants alternatifs. Paris : Belin. Collection DIA, Technique Supérieur.

Dalmaso, J.-L. (1985). Cours d'électrotechnique. 2. Traitement de l'énergie électrique. Paris : Belin. Collection DIA, Technique Supérieur.

De Bonnafos, G. (1987). L'interaction entre les individus et des facteurs sociaux d'entreprise *in* L'analyse des contenus d'activité. Document de travail. Céreq. pp. 97/100.

De Corte, E. et al. (1979, 2ème éd. française 1990). Les fondements de l'action didactique. Bruxelles : De Boeck-Wesmael s.a. Traduction française par Van Cutsem, V. Paris : Éditions Universitaires.

Deforge, Y. (1970). L'éducation technologique. Paris : Casterman.

Deforge, Y. (1989). Postface de Simondon, G. (1958, 3ème éd. 1989). Du mode d'existence des objets techniques. Paris : Aubier. pp. 269/331.

Deforge, Y. (1991). Rapports entre systèmes de production et systèmes d'acquisition *in* Collectif sous la direction de Morali, D. et al.. Culture technique et formation. Actes du colloque organisé par l'AECSE. 17/18 décembre 1987. Nancy : Presses Universitaires de Nancy.

Deforge, Y. (1993). De l'éducation technologique à la culture technique. Paris : ESF éditeur.

De Fornel, B. (1986). Association Machine asynchrone/convertisseur statique *in* Actes des journées EEA. 30/31 janvier 1986. Cachan.

De Fornel, B. (1989). Alimentation des machines asynchrones *in* Techniques de l'Ingénieur D3620 1/20 ; D 3621 1/20.

De Fornel, B. et col. (1991). Méthodes d'estimation et d'observation des variables non mesurables pour le contrôle des machines à courant alternatif *in* Actes des journées EEA. 14/15 mars 1991. Toulouse.

De Landsheere, G. (1979). Dictionnaire de l'évaluation et de la recherche en éducation. Paris : PUF.

Delattre, P. (éd. 1992). La théorie des systèmes : quelques questions philosophiques *in* Thesaurus de l'Encyclopedia Universalis. pp. 751/758.

Demonque, C. (1994). Programmes officiels et identités disciplinaires : <Ètats_naturels> ou constructions ? : Présentation *in* Collectif coordonnée par Demonque, C. et Larue, R.. Qu'est-ce qu'un programme d'enseignement ? Paris : Hachette éducation et CNDP. pp. 9/13.

De Rosnay, J. (1975). Le macroscope. Vers une vision globale. Paris : Éditions du Seuil. Collection Points Essais n° 80.

Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. Aster n°8 : expérimenter, modéliser. Paris : INRP. pp. 3/15.

D'Hainaut, L. (5ème éd. 1988). Des fins aux objectifs de l'éducation. Un cadre conceptuel et une méthode générale pour établir les résultats attendus d'une formation. Bruxelles : Éditions Labor.

Dhers, J. (1987). Moteurs électriques : une extension rapide de leurs domaines d'utilisation. Revue Générale d'Électricité n° 3/87.

D'Iribarne, A. (1989). Enjeux sociaux autour de l'accès aux professions. Pour. n° 122/133. pp. 23/33.

Domenc, M. et Gilly, J.-P. (1977). Les IUT, ouverture et idéologie. Les techniciens supérieurs : cadres ou ouvriers. Paris : Les éditions du CERF.

Drouin, A.-M. (1988). Le modèle en question. Aster n° 7 : Modèles et modélisations. Paris : INRP, pp. 1/20.

Durand, D. (1990). La systémique. Paris : PUF. Collection Que sais-je ? n° 1795.

Durey, A. (1987). Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs. Exemples : trajectoires, frappés et rebonds de balles en rotation. Thèse d'État. Université Paris 7.

Durey, A. et Martinand, J.-L. (1994). Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de référence et activités scolaires *in* ouvrage coordonné par Arsac, G. et al. La transposition didactique à l'épreuve. Grenoble : La Pensée Sauvage éditions. pp. 73/104.

Équipe INRP-Lirest (1992). Enseignement et apprentissage de la modélisation. Paris : INRP.

Équipe INRP-Lirest (1994). Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences. Paris : INRP.

Faïta, D. (1986). Industrie humaine et travail symbolique : une démarche de recherche in Technologies, Idéologies, Pratiques. Vol. V n° 4 et vol. VI n° 1. pp. 3/9.

Faucher, J. ; Grandpierre, M. (1991). Quelques aspects de l'étude de la commande des machines électriques et des convertisseurs statiques à partir des schémas informationnels *in* Actes des journées EEA. 14/15 mars 1991. Toulouse.

Foch, H. et al. (1989). Électronique de puissance *in* Techniques de l'Ingénieur.
Introduction générale : D 3150. pp. 1/2.
Principes fondamentaux. Outils de base de l'électronicien de puissance : D 3151. pp. 1/14.
Principes fondamentaux. Éléments constitutifs et synthèse des convertisseurs statiques : D 3152. pp. 1/17.
Principes fondamentaux. Commutation dans les convertisseurs statiques: D 3153. pp. 1/19
Principes fondamentaux. Dualité dans les convertisseurs statiques : D 3154. pp. 1/8

Fischer, G.-N. (1987). Les concepts fondamentaux de la psychologie sociale. Paris : Dunod, Bordas ; Montréal : Presses de l'Université de Montréal.

Gauthier, C. et al. (1994). La révision des programmes et leur impact sur la formation et le rôle des enseignants au Québec de 1861 à nos jours. Cahiers de la recherche en éducation vol. 1 n°1. Université de Sherbrooks (Québec, Canada). pp. 87/116.

Gille, D. et Stengers, I. (1986). Culture technique et transmission des savoirs. Éducation Permanente, 82 . pp. 7/15.

Girondeau, P. (1983). Étude des machines électriques. Bulletin de l'Union des Physiciens. n° 657. pp. 5/36.

Goffi, J.-Y. (1988). La philosophie de la technique. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2405.

Granger, G.-G. (1993). La science et les sciences. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2710.

Grawitz, M. (9ème éd. 1993). Méthodes des sciences sociales. Paris : Éditions Dalloz.

Gréa, J. (1993). Modèle, niveaux de formulation et explicitation *in* Actes du 3ème Séminaire National de Didactique des Sciences Physiques. Toulouse : UPS/LEMME.

Grellet, G. (1993). Les pertes dans les machines électriques et les incidences constructives *in* Actes des journées électrotechniques du club EEA : construction de machines électriques.

Guillon, R. (1986). Un exemple d'approche catégorielle de la formation : les recherches sur les techniciens *in* Tanguy, L. et al. L'introuvable relation formation/emploi. Paris : La Documentation française. pp. 148/151.

Guimelli, C. (1994). Présentation *in* Collectif sous la direction de Guimelli, C. Structures et transformations des représentations sociales. Neuchâtel et Paris : Delachaux et Niestlé. pp. 11/24.

Hameline, D. (9ème éd. 1991). Les objectifs pédagogiques en formation initiale et en formation continue. Paris : ESF éditeur. Collection Pédagogies.

Hautier, H. (1991). Cadres de fonctionnement des connaissances mathématiques chez les différents bacheliers inscrits en Deug sciences. Recherches en didactique des mathématiques vol. 10/2.3. Grenoble : La Pensée Sauvage éditions. pp. 171/204.

Hautier, J.-P. ; Grandpierre, M. (1991). Dispositifs de commande dans les systèmes électrotechniques. Méthodes. Solutions. *in* Actes des journées EEA. 14/15 mars 1991. Toulouse.

Hautier, J.-P. ; Caron, J.-P.. (1993). Modélisation et commande de la machine asynchrone *in* Actes des journées de l'Enseignement de l'Électrotechnique et de l'Électronique Industrielle. "3 EI 93". Commande des machines asynchrones . 18 et 19 mars 1993. École Supérieure d'Électricité. Gif sur Yvette.

Hillau, B. (1987). Compétence et sémiologie de l'action *in* L'analyse des contenus d'activité Document de travail. Paris : Céreq. pp. 101/111.

Hulin, N. (1993). Faire une histoire de l'enseignement scientifique. Le cas de la physique en France, du XIXème siècle à nos jours. Didaskalia n° 2. pp. 61/72.

IGL Technology. (1989). SADT. Un langage pour communiquer. Paris : Eyrolles.

INSEE (1992). Les transformations du paysage social 1982-1990. INSEE première. Paris : INSEE. n° 213.

INSEE (1994). La conjoncture dans les différents secteurs de l'économie. Paris : INSEE.

Inspection Pédagogique Régionale d'Aix-Marseille (1989). Construction de modèles adaptés à l'analyse des systèmes automatisés à partir du formalisme SADT. Technologies, Sciences et Techniques Industrielles. n° 23.

Isambert-Jamati, V. (1990). Les savoirs scolaires. Enjeux sociaux des contenus d'enseignement et de leurs réformes. Paris : Éditions Universitaires. Collection "Savoir et formation".

Jacomy, B. (1990). Une histoire des techniques. Paris : Éditions du Seuil.

Jarroson, B. (1992). Invitation à la philosophie des sciences. Paris : Éditions du Seuil.

Johsua, S. (1992). Construction et gestion du sens par les élèves. Quelques problèmes issus des travaux en didactique des sciences *in* Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres. Actes du colloque. Paris : 13-14-15 février 1992. Paris : INRP. éditeur : Collomb, J.. pp. 99/106.

Johsua, S. et Dupin, J.-J. (1993). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. Paris : PUF. Collection premier cycle.

Jonnaert, P. (1988). Conflits de savoir et didactique. Bruxelles : De Boeck.

Kedous-Lebouc, A. et col. (1988). Éléments nouveaux dans la modélisation des pertes magnétiques dans les machines électriques *in* Actes des journées EEA. 10/11 mars 1988. Cachan.

Kirsch, J.-L. (1993). Table ronde : Qui sont les techniciens et agents de maîtrise ? Aspects qualitatifs et quantitatifs *in* Les techniciens : la voie technicienne, la voie professionnelle au sein du service public d'enseignement. Voie de réussite, de qualification pour l'emploi. Actes du Colloque des 14 et 15 mai 1993. Paris : Adapt/Snes. pp. 8/9.

Kuhn, T. (1983). La structure des révolutions scientifiques. Paris : Flammarion. Collection Champs n° 115.

Lambert, J. (1992). Vingt ans d'enseignement des automatismes dans l'enseignement secondaire technique et professionnel ou la production concertée d'un savoir technique à finalité didactique. Mémoire de DEA sous la direction de A. Terrisse. Toulouse : UPS/Lemme.

Lambert, J. (1993). Quelques aspects des relations entre éducation et milieux professionnels *in* Les cahiers du CeRF n° 2. pp. 13/20. Toulouse : IUFM.

Lambert, J. (1994).Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences et techniques industrielles. Communication. Deuxième biennale de l'éducation et de la formation. Université de Paris X, Paris Sorbonne, 9-12 avril 1994.

Larcher, C. (1994). Étude comparative de démarches de modélisation. Quelles sont les caractéristiques des démarches de modélisation *in* Équipe INRP/Lirest. Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences. Paris : INRP-Lirest. pp. 115/125

Latour, B. (1992). Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée… Petite philosophie des techniques *in* collectif sous la direction de Prades, J. La technoscience, les fractures du discours. Paris : L'Harmattan.

Lebeaume, J. (1994). Logique d'authenticité et logique de compatibilité dans la formation professionnelle des enseignants en technologie. Les Sciences de l'éducation n°1/1994. pp. 25/38.

Le Doeuff, R. ; Iung, C. (1982). Méthodes de calcul numérique en électrotechnique. Application aux machines électriques. Problèmes de simulation numérique d'ensembles convertisseur - machine - commande. Revue Générale d'Électricité n° 10/82.

Lefèvre, R. (1988). Contribution à l'étude des conceptions des étudiants de l'Université sur le thème de l'Optique. Thèse. Paris : Université de Paris VII.

Le Goff, R. (1992).Utilisation d'un ordinateur pour l'enseignement des machines électriques. Bulletin de l'Union des Physiciens. n° 745. pp. 849-862

Le Moigne, J.-L. (1977, 2ème éd. 1983). La théorie du système général . Paris : PUF.

Le Moigne, J.-L. (1990). La modélisation des systèmes complexes. Paris : Dunod.

Leroy Somer. (1987). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Notices techniques. Machines de 300 W.

Leroy Somer.(1988a). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Machines électriques tournantes. 300 W série "S". Matériel didactique.

Leroy-Somer (1988b). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Machines électriques tournantes. Matériel didactique.

Leroy Somer.(1989a). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Banc d'essais et de mesures avec dispositif d'acquisition de données pour l'étude des machines tournantes. Notice d'utilisation.

Leroy Somer. (1989b). LS FMV 1003. Moteur asynchrone à modulation de vitesse conversationnel. Notice de mise en service et entretien .

Leroy Somer. (1992a). Matériel pédagogique pour laboratoire de machines tournantes. Banc d'essais et de mesures avec dispositif d'acquisition de données pour l'étude des machines tournantes. Notice d'utilisation des logiciels pour compatible PC.

Leroy Somer. (1992b) Moteurs asynchrones triphasés fermés. Carter d'alliage d'aluminium. 0,09 à 160 kW. Catalogue technique.

Leroy Somer. (1993). Matériel pédagogique. Catalogue technique.

Lesourne, J. (1988). Éducation et société. Les défis de l'an 2000. Paris : La découverte. Le Monde de l'Éducation.

Levrat, R. (documents réunis par) (1992). Technologie. Textes de référence. Rapport Copret I sous la présidence de Géminard, L. ; Rapport Copret II sous la présidence de Combarnous, M.. Sèvres : Centre International d'Études Pédagogiques (CIEP).

Lévy, P. (1992). Vers une citoyenneté cosmopolite *in* collectif sous la direction de Prades, J. La technoscience. Les fractures du discours. Paris : L'harmattan. Logiques sociales. pp. 229/245.

Linard, M. (1992). Les nouvelles technologies, moyen de repenser la formation des enseignants *in* Actes du colloque : L'intégration de l'informatique dans l'enseignement et la formation des enseignants. Paris : INRP. pp. 26/44.

Lirest (1991). Rapport scientifique. Paris : Lirest.

Loubet Del Bayle, J.-L. (1989). Introduction aux méthodes des sciences sociales. Toulouse : Privat.

Lugan, J.-C. (1993). La systémique sociale. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2738.

Mager, R.-F. (1969, 2ème éd. 1977). Comment définir les objectifs pédagogiques. Paris : Bordas.

Malglaive, G. (1990). Enseigner à des adultes. Paris : PUF. Pédagogie d'aujourd'hui.

Martinand, J.-L. (1981). Pratiques sociales de référence et compétences techniques *in* Actes des 3ème JIES . Chamonix : A. Giordan et J.-L. Martinand éditeurs.

Martinand, J.-L. (1983). Questions pour la recherche : la référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires *in* Atelier International d'été : Recherche en didactique de la Physique. Actes du 1er atelier d'été de didactique de la physique. La Londe les Maures : CNRS. pp. 227/249.

Martinand, J.-L. (1986). Connaître et transformer la matière. Berne : Peter Lang.

Martinand, J.-L. (1989a). Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques *in* Les Sciences de l'Éducation n°2/1989. pp. 23/29.

Martinand, J.-L. (1989b). Questions actuelles de la didactique des sciences *in* Psychogénétique et didactique des Sciences sous la direction de Giordan, A. Berne : Peter Lang. Collection Exploration. Cours et contributions pour les Sciences de l'Éducation. pp. 93/105.

Martinand, J.-L. (1992). Organisation et mise en œuvre des contenus d'enseignement. Esquisse problématique *in* Actes du colloque "Recherches en didactiques : contribution à la formation des maîtres". 13-14-15 février 1992. Paris : INRP. pp. 135/147.

Martinand, J.-L. (1994). Quels enseignements peut-on tirer des travaux dans la perspective du développement de curriculum ? Notes pour la recherche *in* Équipe INRP/Lirest. Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences. Paris : INRP-Lirest. pp. 115/125

Marty, M. (1991). La place du génie électrique dans l'économie *in* Actes des journées EEA. . 14/15 mars 1991. Toulouse.

Marty, M. (1992). Formation des Ingénieurs en Électrotechnique *in* Electrical and Information Engineering. Conférence de l'European Association for Éducation. Stafford, U K. 14/16 octobre 1992.

Maurin, T. (1993). Quelques réflexions sur l'enseignement de l'électronique ? Communication au Séminaire de DEA de didactique de la technologie. Paris : Lirest.

Merouge, G. (1993). Les règles générales de dimensionnement des machines électriques tournantes *in* Actes des journées électrotechniques du club EEA : construction de machines électriques.

Monteil, J.-M. (1993). Soi et le contexte. Paris : Armand Colin.

Monaco, A. (1993). L'alternance école-production. Paris : PUF.

Morali, D. (1991). La culture technique, un projet culturel ?*in* collectif sous la direction de Morali, D. et al.. Culture technique et formation. Actes du colloque organisé par l'AECSE. 17/18 décembre 1987. Nancy : Presses Universitaires de Nancy. pp. 26/32.

Moreau, R. (1982). L'enseignement de l'électricité dans les sections F. Bulletin de l'Union des Physiciens. n° 647. pp. 1/37.

Morin, E. (1990). Introduction à la pensée complexe. Paris : ESF éditeur.

Morin, E. (1993). Terre-Patrie. Paris : Éditions du Seuil.

Pelpel, P. ; Troger, V. (1993). Histoire de l'enseignement technique. Paris : Hachette Éducation.

Perrenoud, P. (1990). Curriculum : le formel, le réel, le caché *in* collectif sous la direction de Houssaye, J. La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui. Paris : ESF éditeur. pp. 61/76.

Perret-Clermont, A.-N. (1982). Décontextualisation et recontextualisation du savoir dans l'enseignement des mathématiques à de jeunes élèves. Genève : Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation.

Piaget, J. (1968, 1992). Le structuralisme. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 1311.

Pocztar, J. (1989). L'analyse systémique de l'éducation. Paris : ESF éditeur.

Poincaré H. (1968) La science et l'hypothèse. Paris : Éditions Champs Flammarion.

Postic, M. ; De Ketele, J.-M. (1988). Observer les situations éducatives. Paris : PUF. Pédagogie d'aujourd'hui.

Prost, A. (sous la direction de) (1983). Les lycées et leurs études au seuil du XXIème siècle . Rapport du Groupe de Travail National sur les seconds cycles présidé par Antoine Prost. Paris : MEN. Service d'information.

Reinert, M. (1990). Alceste, une méthode d'analyse de données textuelles et une application : Aurélia de Gérard de Nerval. Bulletin de méthodologie sociologique. n° 26. pp. 24/54.

Reinert, M. (1992). Notice du logiciel Alceste. version 8.1.

Réseau National de Ressources en Électrotechnique. (1994). Système de distribution d'eau asservi en pression (station d'irrigation). Paris : MEN. DLC.

Reuchlin, M. (1977, 9ème éd. 1991). Psychologie. Paris : PUF fondamental.

Ropé, F. et Tanguy, L. (1994). Conclusion générale *in* collectif sous la direction de Ropé, F. et Tanguy, L. Savoirs et compétences. De l'usage de ces notions dans l'école et l'entreprise. Paris : L'Harmattan. pp. 237/243.

Roqueplo, P. (1983). Penser la technique. Paris : Éditions du Seuil.

Ruelle, G. (1993). Évolution des performances des machines électriques tournantes *in* Actes des journées électrotechniques du club EEA : construction de machines électriques.

Russo, F. (1986). Introduction à l'histoire des techniques. Paris : Librairie scientifique et technique.

Sabonnadière, J.-C. (1982). Conception des machines électriques : la modélisation facilite l'optimisation. Revue Générale d'Électricité n°3/82.

Sabonnadière, J.-C. (1982). Méthodes de calcul numérique en électrotechnique. Application aux machines électriques. Modèles, méthodes et logiciels d'aide à la conception de systèmes électromécaniques. Revue Générale d'Électricité n°10/82.

Scardigli, V. (1992). Les sens de la technique. Paris : PUF. Sociologie d'aujourd'hui.

Séguier, G. et Notelet, F. (1977, 2ème éd. revue et augmentée 1990). Électrotechnique Industrielle. Paris : Lavoisier. Technique et Documentation.

Serres, M. (1991). Le tiers-instruit. Paris : François Bourin.

Sfez, L. (1984, 2ème éd. 1988). La décision. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2181.

Sperber, D. ; Wilson, D. (1986, traduction française 1989). La pertinence : communication et cognition. Paris : Éditions de Minuit.

Télémécanique. Groupe Schneider. (1992). Commande de puissance électronique des moteurs. Mémento technique.

Tanguy, L. (1986). Contenus de formation et savoir. Un exemple de renouvellement des problématiques *in* Tanguy, L. et al.. L'introuvable relation formation/emploi. Paris : La Documentation française. pp. 153/166.

Tanguy, L. (1994). Rationalisation pédagogique et légitimité politique *in* collectif sous la direction de Ropé, F. et Tanguy, L. Savoirs et compétences. De l'usage de ces notions dans l'école et l'entreprise. Paris : L'Harmattan. pp. 23/62.

Testard-Vaillant P. (1992). Sciences et Technologie : dialogue de sourds dans l'institution scolaire. Science et Vie Hors-série n°180. Sciences à l'école : les raisons du malaise. pp. 114/118.

Thévenet, M. (1993). La culture d'entreprise. Paris : PUF. Que sais-je ? n° 2756.

Tiberghien, A. (1989). Transposition didactique. Le cas de la physique *in* Arsac, G. ; Develay, M. et Tiberghien, A. La transposition didactique en mathématiques, en physique et en biologie. Lyon : IREM et LIRDIS. pp. 37/57.

Vergnaud, G.. (1987). Les fonctions de l'action et de la symbolisation dans la formation des connaissances chez l'enfant. *in* Piaget, J. et al. (Éditeurs). Psychologie. Paris : Encyclopédie de la Pléiade. Gallimard.

Vergnaud, G. (1994). Homomorphismes réel-représentation et signifié-signifiant. Exemples en mathématiques. Didaskalia. n° 5 . INRP et Université de Laval. pp. 22/34.

Walliser, B. (1977). Systèmes et modèles. Introduction critique à l'analyse de systèmes. Paris : Éditions du Seuil.

Zarifian, P. (1986). Les approches les plus récentes de la qualification *in* Tanguy, L. et al. L'introuvable relation formation/emploi. Paris : La Documentation française. pp. 233/247.

RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.

Ces références sont classées par ordre chronologique.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1961). Le recrutement du personnel enseignant des établissements d'enseignement technique. Fascicule de documentation administrative. Recueil pratique. Paris : Institut Pédagogique National. pp. 40 et 56/71.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1961). Admission des élèves dans les différentes classes des établissements scolaires. Fascicule de documentation administrative. Recueil pratique. Paris : Institut Pédagogique National. pp. 139/143.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1967). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Programmes d'études, d'examens et de concours. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1968). Encart : délivrance du titre de bachelier technicien. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1968). Arrêté du 20 novembre 1968. BOEN n° 42. pp. 3130/3138.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1968). Arrêté du 5 décembre 1969. BOEN n° 47. pp. 3590/3594.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1969). Règlement d'examen pour l'obtention du baccalauréat de technicien en novembre électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1970). Encart : Arrêté du 13 février 1969. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1971). Loi d'orientation sur l'enseignement technologique. BOEN n° 31. pp. 1987/1990.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1971). Participation des employeurs au financement des premières formations technologiques et professionnelles. BOEN n° 31. pp. 1990/19??.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1971). Accueil des élèves dans les établissements d'enseignement technologique du second cycle. BOEN n° 31. pp. 2043/2047.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1972). Arrêté du 25 mai 1972. Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré en sciences physiques. BOEN n° 24. p. 1674.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1972). rectificatif à l'arrêté du 25 mai 1972. Certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré en sciences physiques. BOEN n° 28. p. 2006.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1973). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Allégements de programmes. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN

Ministère de l'Éducation Nationale. (1974). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1975). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1978). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1980). Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Encart n°6. Modification des programmes de sciences physiques. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1981). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1982). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1982). Organisation des classes de première et terminales des lycées. Option technologique. BOEN n° 3. pp. 246/252.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1982). Préparation de la rentrée scolaire 1982 dans les lycées et les lycées d'enseignement professionnel. BOEN spécial n° 21. pp. 43/50.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1983). Lycées techniques. Baccalauréat de technicien. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1983). Encart : Rectificatif d'horaires. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1984). Classes passerelles. Filière électronique. Préparation de la rentrée scolaire 1987 dans les lycées. Recueil des textes et règlements V - vol. 2. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN. 520 - 1 : pp. 36/47 et 51. 523 - 0 : pp. 44 et 52.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1985). Encart : Rectificatif d'horaires. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1985). Préparation de la rentrée 1985. BOEN spécial n° 1. pp. 21/28.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1986). Décret de création du baccalauréat technologique. Diplôme. Livret scolaire. Règlements. Organisation et horaires. Lycées techniques. Baccalauréat technologique. Électrotechnique. Paris : Service d'édition et de vente des productions de l'Éducation Nationale. MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1986). Règlement général du baccalauréat professionnel. BOEN n° 13. pp. 1247/1251.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1986). Règlement général du brevet de technicien supérieur. BOEN n° 13. pp. 1251/1255.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1987). Organisation des enseignements en classe de seconde. BOEN spécial n° 1. pp. 4/5 ; 84/89 ; 114/127.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1987). Modifications relatives au brevet de technicien supérieur en électrotechnique et annexe : référentiel du diplôme. BOEN n° 24. pp. 1356/1363.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1988). Baccalauréat F3, électrotechnique : programmes de technologie. Supplément au BOEN n° 18. pp. 110/159.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1989). Baccalauréat F3, électrotechnique : commentaires des programmes de technologie. BOEN spécial n° 1. pp. 35/51.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1989). Horaires et programmes d'enseignement. BOEN spécial n° 5. pp. 73/79.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1990). Propositions du Conseil National des Programmes sur l'évolution des lycées. Synthèse. Conclusions.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1990). Nouveaux programmes d'enseignement en sciences physiques des classes de première et des classes terminales conduisant aux baccalauréats technologiques : F1, F2, F3, F4, F9, F10 (options : appareillage et optique), F12, ainsi que des classes de seconde, première et de la classe terminale conduisant au baccalauréat technologique F11 (options : instrument et danse). BOEN spécial n° 10. pp. 669/703.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux (1990). Circulaire. Objectifs de référence en classes de première F2 et F3.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1990). Règlement général du baccalauréat technologique, définition des épreuves. BOEN n° 35. pp. 2159/2177.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux (1990). Circulaire. Travaux Pratiques de physique appliquée dans les filières F2 et F3.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1991). Le référentiel des activités professionnelles. Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Documents méthodologiques.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux (1991). Circulaire. Objectifs de référence en classes de terminales F2 et F3.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1991). Programme de mathématiques des classes de première et terminales F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F7', F8, F9, F10, F12. BOEN spécial n° 2. pp. 5/24.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1991). Sections et modalités d'organisation des concours du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement du second degré et du certificat d'aptitude au professorat de l'enseignement technique. BOEN spécial n° 36. pp. 3/55.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Documents méthodologiques. Dossier d'opportunité. Paris : MEN.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Document des Commissions Professionnelles Consultatives. Les diplômes technologiques et professionnels. Modalités d'élaboration et d'actualisation. Paris : MEN.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux. (1992). Prise en compte des connaissances expérimentales dans l'évaluation des élèves.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Déclaration du Conseil national des programmes sur l'enseignement des sciences expérimentales. BOEN n° 8. pp. 478/487.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Charte des programmes. BOEN n° 8. pp. 487/492.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Programmes des enseignements des classes de première et terminale des lycées, conduisant au baccalauréat technologique de la série : Sciences et technologies industrielles (STI). Organisation et horaires des enseignements dans les classes de première et terminale des lycées, sanctionnés par le baccalauréat technologique, série : Sciences et technologies industrielles (STI). BOEN n° 32. pp. 2226/2235.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1992). Objectifs du baccalauréat technologique série "Sciences et technologies industrielles" (STI). Programmes d'enseignement. BOEN Hors-série du 24 septembre 1992. pp. 91/101 ; 299/383.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux. (1992). Rôle du professeur de physique appliquée dans les filières préparant au baccalauréat technologique, série STI.

Inspection Pédagogique Régionale de Bordeaux. (1992). Évaluation en physique appliquée.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1993). La rénovation pédagogique du lycée (voies générale, technologique et professionnelle) à partir de la rentrée 1993 : organisation des cursus, orientation des élèves, programmes d'enseignement. BOEN n° 11. pp. 1144/1173.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1993). Organisation et horaires des enseignements des classes de première et terminales des lycées, sanctionnés par le baccalauréat technologique,

séries SMS, STI, STL et STT. Modification de la dénomination des matières obligatoires enseignées dans les classes de première et terminales des séries SMS, STI, STL, STT. BOEN spécial n° 4. pp. 11/13 ; 16/17 ; 24 ; 29/33 ; 35/38.

MEN, Direction de l'enseignement et de la prospective. Centre de documentation (1993). Statistiques baccalauréat 92 et 93.

Rectorat de l'Académie de Toulouse (1993). Statistiques diverses, élèves de Terminale et bacheliers de l'Académie de Toulouse. Mission Stat'Etudes.

SAIO de Toulouse (1993). La demande par série de bac d'origine. BTn F et G. Racines 93.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1994). Épreuves du baccalauréat technologique - session 1995. BOEN n° 16. pp. 1191/1196.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1994). Technologie : une discipline de pointe. BOEN n° 21. pp. 1502/1503.

Ministère de l'Éducation Nationale. (1994). Programmes de mathématiques dans les classes de terminale STI. BOEN n° 8. pp. 14/34.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités. . 5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25

2 - 3 - L’évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L’ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L’ENSEIGNEMENT DE L’ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE”.....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les “compétences”.....53
4 - 1 - De la “qualification” à la “compétence”.....53
4 - 2 - La “compétence”.....54
4 - 2 - 1 - La “compétence” comme notion commune à deux mondes sociaux ?.....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une “compétence” ?.....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d’un construit social.....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.....56
5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61

2 - Généralités.....61
2 - 1 - Présentation.....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
2 - 1 - Les documents utilisés.....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus.....65
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires".....66
3 - 1 - 2 - de la section.....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale.....67
3 - 1 - 4 - des disciplines.....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.....70
3 - 4 - 1 - Finalités.....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental.....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner.....74
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.....76
3 - 5 - 1 - Finalités.....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI.....80
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines.....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais.....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques.....86
3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96

5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner..... 109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ? 116
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux "UCE" par "racines".....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux "UC" par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L'analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail…….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140

3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des “mots”….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des “émetteurs” et des “récepteurs”.....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - “Mondes de référence” et “pratiques sociales de référence”.....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l’hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L’enseignement de l’électrotechnique aujourd’hui.....145
4 - L’enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.…146
4 - 2 - Penser l’enseignement en terme de “continuité”.....147
5 - À propos du “technicien d’école”.....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L’ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l’enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D’ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d’essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l’utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L’utilisation de bancs de mesure dans l’industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 4 - Les apports de l’ensemble didactisé.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques “classiques”.....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique “moteurs”.....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183

3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227

2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 6 - Un élève “auteur”.....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 2 - Essai d’interprétation des faits observés.....262
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l’utilisation des modèles dans l’enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d’une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

PREMIÈRE PARTIE :
L'ÉLECTROTECHNIQUE DANS L'INDUSTRIE, LA RECHERCHE ET L'ENSEIGNEMENT

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités. . 5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L'évolution des machines….....25

2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.....26
2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.....27
2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.....28
2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.....31
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53
4 - 1 - De la "qualification" à la "compétence".....53
4 - 2 - La "compétence".....54
4 - 2 - 1 - La "compétence" comme notion commune à deux mondes sociaux ?.....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une "compétence" ?.....55
4 - 2 - 2 - 1 - Dans l'Éducation Nationale.....55
4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises.....55
4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?.....55

4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d'un construit social....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves....56
5 - À propos du référentiel....57
CONCLUSIONS....58
INTRODUCTION....61
1 - Objectifs généraux....61
2 - Généralités....61
2 - 1 - Présentation....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus....64
2 - Préanalyse....64
2 - 1 - Les documents utilisés....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus....65
3 - Description systématique des textes institutionnels....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires"....66
3 - 1 - 2 - de la section....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale....67
3 - 1 - 4 - des disciplines....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée....70
3 - 4 - 1 - Finalités....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner....74
3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus....74
3 - 4 - 3 - 2 - "Notion", "loi", "principe" et "modèle" en PA....76
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles....76
3 - 5 - 1 - Finalités....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI....80
3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI....80
3 - 5 - 2 - 2 - "Système", "Notion", "fonction", "principe" et "modélisation" en STI....82
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques....86
3 - 6 - 3 - Mécanique....88

3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.....89
3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.…90
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.....104
5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.....106
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner.…109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ?.....116
6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?.....116
6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.....117
6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?.....118
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.....119
6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.....120
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121

6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.....121
6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.....124
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.....125
6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.....126
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux "UCE" par "racines".....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux "UC" par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L'analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).....136
2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).... 136
2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical). 137
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des "mots"….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145
4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.….146

4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".....147
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.....177
2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.....177
2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.....177
2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques..... 178
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.....179
2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique "moteurs".....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186

4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.....213
1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.… 215
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229

2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?.....238
2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?.....238
2 - 6 - Un élève “auteur”.....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 1 - 1 - Qu’est-ce qu’une caractéristique ?.....259
2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.....260
2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs..… 262
2 - 3 - 2 - Essai d’interprétation des faits observés.....262
2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.....263
2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?.....263
2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.....265
2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.… 267
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l’utilisation des modèles dans l’enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272

1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS....297
TABLE DES MATIÈRES....303

PRÉSENTATION GÉNÉRALE....2
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons....12
Bruno Latour....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…"....12
INTRODUCTION....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS....16
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE....39
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE"....47
CONCLUSIONS....58
INTRODUCTION....61
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE....64
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE....127
CONCLUSIONS....144
INTRODUCTION....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT....154
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES....165
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS....192
PRÉSENTATION....204
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES....208
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE....243
CONCLUSIONS....269
CONCLUSION GÉNÉRALE....272
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS....297
TABLE DES MATIÈRES....303

DEUXIÈME PARTIE :

ÉTUDE GÉNÉRALE DES CURRICULUMS FORMELS/PRESCRITS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités. . 5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L'évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26

2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.....26
2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.....27
2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.....28
2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.....31
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53
4 - 1 - De la "qualification" à la "compétence".....53
4 - 2 - La "compétence".....54
4 - 2 - 1 - La "compétence" comme notion commune à deux mondes sociaux ?.....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une "compétence" ?.....55
4 - 2 - 2 - 1 - Dans l'Éducation Nationale.....55
4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises.....55
4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?.....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d'un construit social.....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.....56

5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61
2 - Généralités.....61
2 - 1 - Présentation.....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
2 - 1 - Les documents utilisés.....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus.....65
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires".....66
3 - 1 - 2 - de la section.....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale.....67
3 - 1 - 4 - des disciplines.....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.....70
3 - 4 - 1 - Finalités.....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental.....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner.....74
3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus.....74
3 - 4 - 3 - 2 - "Notion", "loi", "principe" et "modèle" en PA.....76
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.....76
3 - 5 - 1 - Finalités.....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI.....80
3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI.....80
3 - 5 - 2 - 2 - "Système", "Notion", "fonction", "principe" et "modélisation" en STI.....82
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines.....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais.....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques.....86
3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.....89

3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.… 90
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.....104
5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.....106
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner..... 109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ? 116
6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?.....116
6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.....117
6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?.....118
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.....119
6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.....120
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.....121
6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.....124
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125

6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.....125
6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.....126
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux "UCE" par "racines".....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux "UC" par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L'analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).....136
2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).... 136
2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical). 137
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des "mots"….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145
4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.….146
4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".....147
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149

INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.....177
2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.....177
2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.....177
2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques..... 178
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.....179
2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique "moteurs".....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188

4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.....213
1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.… 215
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237

2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?.....238
2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?.....238
2 - 6 - Un élève “auteur”.....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 1 - 1 - Qu’est-ce qu’une caractéristique ?.....259
2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.....260
2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs..… 262
2 - 3 - 2 - Essai d’interprétation des faits observés.....262
2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.....263
2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?.....263
2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.....265
2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.… 267
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l’utilisation des modèles dans l’enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277

1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 3 - L'évolution des machines….....25
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électrotechniques.....33
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39

1 - 1 - Généralités.....39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE”.....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les “compétences”.....53
4 - 1 - De la “qualification” à la “compétence”.....53
4 - 2 - La “compétence”.....54
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d’un construit social.....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.....56
5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61
2 - Généralités.....61
2 - 1 - Présentation.....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.....61
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D’ENSEIGNEMENT DE L’ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d’analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
2 - 1 - Les documents utilisés.....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus.....65
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.....66
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.....70
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.....76
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d’autres disciplines.....84
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89

3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner..... 109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des "mots"….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145
4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.….146
4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".....147
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153

CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206

3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 6 - Un élève "auteur".....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l'utilisation des graphiques..... 259
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l'utilisation des modèles dans l'enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

TROISIÈME PARTIE : ÉTUDE DE CAS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités. . 5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L'évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.....26
2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.....27
2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.....28
2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.....31

2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles industriels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53
4 - 1 - De la "qualification" à la "compétence".....53
4 - 2 - La "compétence".....54
4 - 2 - 1 - La "compétence" comme notion commune à deux mondes sociaux ?.....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une "compétence" ?.....55
4 - 2 - 2 - 1 - Dans l'Éducation Nationale.....55
4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises.....55
4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?.....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d'un construit social.....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.....56
5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61
2 - Généralités.....61

2 - 1 - Présentation.....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
2 - 1 - Les documents utilisés.....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus.....65
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires".....66
3 - 1 - 2 - de la section.....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale.....67
3 - 1 - 4 - des disciplines.....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.....70
3 - 4 - 1 - Finalités.....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental.....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner.....74
3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus.....74
3 - 4 - 3 - 2 - "Notion", "loi", "principe" et "modèle" en PA.....76
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.....76
3 - 5 - 1 - Finalités.....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI.....80
3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI.....80
3 - 5 - 2 - 2 - "Système", "Notion", "fonction", "principe" et "modélisation" en STI.....82
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines.....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais.....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques.....86
3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.....89
3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.…90
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91

3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.....104
5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.....106
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner..... 109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ? 116
6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?.....116
6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.....117
6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?.....118
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.....119
6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.....120
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.....121
6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.....124
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.....125
6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.....126
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127

1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux “UCE” par “racines”.....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux “UC” par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L’analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des “mondes de pensée” à nos hypothèses de travail…….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L’enseignement de l’électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).....136
2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).... 136
2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical). 137
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les “mots” les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l’utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des “mots”….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des “émetteurs” et des “récepteurs”.....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - “Mondes de référence” et “pratiques sociales de référence”.....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l’hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L’enseignement de l’électrotechnique aujourd’hui.....145
4 - L’enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.….146
4 - 2 - Penser l’enseignement en terme de “continuité”.....147
5 - À propos du “technicien d’école”.....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L’ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l’enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156

2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.....177
2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.....177
2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.....177
2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques..... 178
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.....179
2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique "moteurs".....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192

2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.....213
1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.… 215
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?.....238
2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?.....238

2 - 6 - Un élève “auteur”.....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 1 - 1 - Qu’est-ce qu’une caractéristique ?.....259
2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.....260
2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs..... 262
2 - 3 - 2 - Essai d’interprétation des faits observés.....262
2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.....263
2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?.....263
2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.....265
2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.… 267
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l’utilisation des modèles dans l’enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d’une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284

RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

QUATRIÈME PARTIE :

CURRICULUMS RÉELS - OBSERVATIONS DE SÉQUENCES DE CLASSE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels...5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités..5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20

2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L'évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.....26
2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.....27
2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.....28
2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.....31
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53
4 - 1 - De la "qualification" à la "compétence".....53
4 - 2 - La "compétence".....54
4 - 2 - 1 - La "compétence" comme notion commune à deux mondes sociaux ?.....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une "compétence" ?.....55

4 - 2 - 2 - 1 - Dans l'Éducation Nationale.....55
4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises.....55
4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?.....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d'un construit social.....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves.....56
5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61
2 - Généralités.....61
2 - 1 - Présentation.....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement.....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique.....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
2 - 1 - Les documents utilisés.....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus.....65
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques.....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires".....66
3 - 1 - 2 - de la section.....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale.....67
3 - 1 - 4 - des disciplines.....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines.....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée.....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section.....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée.....70
3 - 4 - 1 - Finalités.....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l'expérimental.....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner.....74
3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus.....74
3 - 4 - 3 - 2 - "Notion", "loi", "principe" et "modèle" en PA.....76
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles.....76
3 - 5 - 1 - Finalités.....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI.....80
3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI.....80
3 - 5 - 2 - 2 - "Système", "Notion", "fonction", "principe" et "modélisation" en STI.....82
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d'autres disciplines.....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais.....84

3 - 6 - 2 - Mathématiques.....86
3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.....89
3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.…90
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.....104
5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.....106
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner.…109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ? 116
6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?.....116
6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.....117
6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?.....118
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.....119

6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.....120
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.....121
6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.....124
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.....125
6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.....126
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux "UCE" par "racines".....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux "UC" par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L'analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).....136
2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).... 136
2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical). 137
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des "mots"….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145

4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.....146
4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".....147
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.....177
2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.....177
2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.....177
2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques..... 178
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.....179
2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique "moteurs".....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185

4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.....213
1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.…215
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227

2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?.....238
2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?.....238
2 - 6 - Un élève “auteur”.....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d’un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l’utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 1 - 1 - Qu’est-ce qu’une caractéristique ?.....259
2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.....260
2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs..… 262
2 - 3 - 2 - Essai d’interprétation des faits observés.....262
2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.....263
2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?.....263
2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.....265
2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.… 267
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l’utilisation des modèles dans l’enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272

1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels.. .5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités. . 5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu'est-ce que l'électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l'emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l'étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19

2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L'évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 2 - 1 - Modèles et modélisations.....26
2 - 3 - 2 - 2 - Modélisation électromagnétique des machines.....27
2 - 3 - 2 - 3 - Détermination des pertes.....28
2 - 3 - 2 - 4 - La simulation.....31
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53
4 - 1 - De la "qualification" à la "compétence".....53
4 - 2 - La "compétence".....54

4 - 2 - 1 - La “compétence” comme notion commune à deux mondes sociaux ?....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une “compétence” ?....55
4 - 2 - 2 - 1 - Dans l’Éducation Nationale....55
4 - 2 - 2 - 2 - Dans les entreprises....55
4 - 2 - 2 - 3 - Paradoxe ?....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d’un construit social....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves....56
5 - À propos du référentiel....57
CONCLUSIONS....58
INTRODUCTION....61
1 - Objectifs généraux....61
2 - Généralités....61
2 - 1 - Présentation....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D’ENSEIGNEMENT DE L’ÉLECTROTECHNIQUE....64
1 - Méthodologie : éléments d’analyse de contenus....64
2 - Préanalyse....64
2 - 1 - Les documents utilisés....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus....65
3 - Description systématique des textes institutionnels....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires"....66
3 - 1 - 2 - de la section....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale....67
3 - 1 - 4 - des disciplines....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée....70
3 - 4 - 1 - Finalités....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l’expérimental....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner....74
3 - 4 - 3 - 1 - Comparaison de contenus....74
3 - 4 - 3 - 2 - “Notion”, “loi”, “principe” et “modèle” en PA....76
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles....76
3 - 5 - 1 - Finalités....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI....80
3 - 5 - 2 - 1 - Méthodologie en STI....80

3 - 5 - 2 - 2 - “Système”, “Notion”, “fonction”, “principe” et “modélisation” en STI.....82
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d’autres disciplines.....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais.....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques.....86
3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 1 - 1 - En Physique Appliquée.....89
3 - 7 - 1 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.…90
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d’explicitation des contenus et des aides à l’enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d’évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L’évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d’interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 2 - 3 - 1 - Orientations générales.....104
5 - 2 - 3 - 2 - Des conséquences pour le baccalauréat de technicien.....106
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d’explicitation des contenus et des aides à l’enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l’action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner.…109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d’évolution au niveau de l’enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L’étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d’autres ? 116
6 - 2 - 2 - 1 - Quelles évolutions matérielles ?.....116
6 - 2 - 2 - 2 - La didactisation des machines.....117

6 - 2 - 2 - 3 - Des contraintes institutionnelles… ou des changements plus profonds de finalité ?.....118
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 1 - 1 - En 1978, académie de Besançon.....119
6 - 3 - 1 - 2 - En 1993, académie de Toulouse.....120
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 2 - 1 - En 1986.....121
6 - 3 - 2 - 2 - En 1994, académie de Toulouse.....124
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
6 - 3 - 3 - 1 - Par rapport aux résultats précédemment établis.....125
6 - 3 - 3 - 2 - En perspective avec la recherche sur les curriculums réels.....126
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130
1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux "UCE" par "racines".....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux "UC" par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L'analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des "mondes de pensée" à nos hypothèses de travail….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 2 - 1 - 1 - Premier facteur (axe horizontal).....136
2 - 2 - 1 - 2 - Deuxième facteur (premier axe vertical).... 136
2 - 2 - 1 - 3 - Troisième facteur (deuxième axe vertical). 137
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les "mots" les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des "mots"….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des "émetteurs" et des "récepteurs".....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143

CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145
4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.....146
4 - 2 - Penser l'enseignement en terme de "continuité".....147
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168
2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives.....176
2 - 3 - 3 - 1 - Le rendement des machines.....177
2 - 3 - 3 - 2 - Le coût.....177
2 - 3 - 3 - 3 - Le cadre d'utilisation du banc.....177
2 - 3 - 3 - 4 - À propos des tracés de caractéristiques..... 178
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
2 - 3 - 4 - 1 - Une meilleure gestion du temps et l'apport de l'expérimental.....179
2 - 3 - 4 - 2 - La possibilité d'aborder plus facilement certaines notions et certains concepts.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182

3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique “moteurs”.....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L’utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l’analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d’enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d’essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l’analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d’observation.....206
3 - Plan de l’exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d’étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 2 - 1 - Dépannage transgerbeur.....213

1 - 3 - 2 - 2 - Motorisation de l'axe z du transgerbeur.…215
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 5 - 2 - 1 - Le baccalauréat comme référence interne ?.....238
2 - 5 - 2 - 2 - Le baccalauréat, élément de curriculum formel/prescrit ?.....238
2 - 6 - Un élève "auteur".....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l'utilisation des graphiques.....259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 1 - 1 - Qu'est-ce qu'une caractéristique ?.....259
2 - 3 - 1 - 2 - Les graphiques tracés par les élèves.....260
2 - 3 - 1 - 3 - La préparation des tableaux de valeurs.…262
2 - 3 - 2 - Essai d'interprétation des faits observés.....262
2 - 3 - 2 - 1 - La modélisation du MAS.....263
2 - 3 - 2 - 2 - Repérage des faits observés : quel référent en jeu ?.....263
2 - 3 - 2 - 3 - Le tracé de la caractéristique : un savoir-faire expérimental modélisable.....265
2 - 3 - 2 - 4 - Interprétation des difficultés des élèves.…267

CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l'utilisation des modèles dans l'enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - "Pratique sociale de référence".....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique.....51
4 - Les "compétences".....53

5 - À propos du référentiel.....57
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
1 - Objectifs généraux.....61
2 - Généralités.....61
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
1 - Méthodologie : éléments d'analyse de contenus.....64
2 - Préanalyse.....64
3 - Description systématique des textes institutionnels.....66
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
2 - L'enseignement de l'électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
3 - Réflexions sur l'utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
4 - "Mondes de référence" et "pratiques sociales de référence".....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l'hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L'enseignement de l'électrotechnique aujourd'hui.....145
4 - L'enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
5 - À propos du "technicien d'école".....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l'enseignement.....156
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
2 - Du point de vue matériel.....170
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208

1 - Observations.....208
2 - Analyse.....227
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
2 - Analyse.....257
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l'utilisation des modèles dans l'enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

CONCLUSION GÉNÉRALE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
1 - Les changements dans le monde du travail nécessitent des modifications dans les systèmes de formation.....2
2 - Curriculum. Un état de la recherche.....3
2 - 1 - Quelques propositions.....3
2 - 2 - Curriculum formel/prescrit et curriculum réel.....4
2 - 3 - Quelques résultats de recherches sur les curriculums formels...5
2 - 3 - 1 - L'influence des contextes sociaux, économiques et politiques.....5
2 - 3 - 2 - Une double interprétation des variations de finalités..5
2 - 3 - 3 - L'autonomie des savoirs scolaires. La créativité didactique.....6
2 - 3 - 4 - L'autonomie des acteurs.....6
2 - 4 - Remarque : "Institution" et "autonomie", deux notions compatibles.....7
2 - 5 - Les curriculums comme production d'une "organisation".....7
3 - Hypothèse. Les orientations de la recherche.....8
3 - 1 - Hypothèse.....8
3 - 2 - Les orientations de la recherche.....9
4 - Limites de la recherche.....9
5 - Structure de l'exposé de la recherche.....10
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12

INTRODUCTION.....13
1 - Présentation.....13
2 - “Pratique sociale de référence”.....13
CHAPITRE 1 : L’ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
1 - Généralités.....16
1 - 1 - Qu’est-ce que l’électrotechnique ?.....16
1 - 2 - Quelques données macro-économiques.....16
1 - 3 - Sur le marché de l’emploi.....17
2 - Électrotechnique : réalisations et pratiques.....18
2 - 1 - Objectifs de l’étude.....18
2 - 2 - Les évolutions en électrotechnique.....19
2 - 2 - 1 - Méthodologie.....19
2 - 2 - 2 - Approche historique.....20
2 - 2 - 3 - Le sens des évolutions. 21
2 - 2 - 4 - Les moteurs.....25
2 - 3 - L’évolution des machines….....25
2 - 3 - 1 - Les conditions de la recherche sur les matériels en électrotechnique.....25
2 - 3 - 2 - Modélisation, modèles et simulation.....26
2 - 3 - 3 - Dimensionnement des machines.....32
2 - 4 - Les projets industriels mettant en œuvre les matériels électro-techniques.....33
2 - 4 - 1 - De la demande à la réalisation des ensembles indus-triels.....33
2 - 4 - 2 - Modèles et méthodologies.....35
2 - 4 - 3 - Définition de la réalisation et réalisation.....36
3 - Quelques éléments de réflexion à propos des modèles dans la recherche en électrotechnique et dans la conception des ensembles industriels.....37
CHAPITRE 2 : L’ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L’ENSEIGNEMENT DE L’ÉLECTROTECHNIQUE.....39
1 - Éléments d'histoire des Enseignements Technique et Professionnel français.....39
1 - 1 - Généralités.....39
1 - 1 - 1 - Le sens général des évolutions.....39
1 - 1 - 2 - l'Enseignement Technique, une histoire de conflits.…39
1 - 2 - Quelques faits.....40
2 - Enseignement de l'électrotechnique.....43
2 - 1 - Structure générale.....43
2 - 2 - Les études post-bac des élèves de Terminale F3.....45
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE”.....47
1 - Le choix de la pratique du technicien supérieur.....47
2 - Le processus de fabrication et d'actualisation des diplômes :.....47
Vers le "technicien d'école".....47
2 - 1 - Le travail des Commissions Professionnelles Consultatives.. .47
2 - 2 - Le dossier professionnel d'opportunité.....48
2 - 3 - Le référentiel des activités professionnelles.....48
2 - 4 - Le référentiel du diplôme.....49
2 - 5 - Synthèse : du technicien dans l'entreprise au "technicien d'école".....49

3 - Étude du référentiel du diplôme de technicien supérieur en électrotechnique....51
4 - Les “compétences”....53
4 - 1 - De la “qualification” à la “compétence”....53
4 - 2 - La “compétence”....54
4 - 2 - 1 - La “compétence” comme notion commune à deux mondes sociaux ?....54
4 - 2 - 2 - Pourquoi une “compétence” ?....55
4 - 3 - Les référentiels et les compétences comme résultats d’un construit social....56
4 - 4 - La construction de compétences chez les élèves....56
5 - À propos du référentiel....57
CONCLUSIONS....58
INTRODUCTION....61
1 - Objectifs généraux....61
2 - Généralités....61
2 - 1 - Présentation....61
2 - 2 - Premier aperçu des contenus à enseigner actuellement....61
2 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....61
2 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....62
2 - 3 - Les élèves des classes Terminale de la section Génie Électrotechnique....63
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D’ENSEIGNEMENT DE L’ÉLECTROTECHNIQUE....64
1 - Méthodologie : éléments d’analyse de contenus....64
2 - Préanalyse....64
2 - 1 - Les documents utilisés....64
2 - 2 - Les indicateurs retenus....65
3 - Description systématique des textes institutionnels....66
3 - 1 - Des évolutions dans les dénominations spécifiques....66
3 - 1 - 1 - des "groupements disciplinaires"....66
3 - 1 - 2 - de la section....67
3 - 1 - 3 - de l'épreuve finale....67
3 - 1 - 4 - des disciplines....67
3 - 2 - Des modifications dans les horaires dédiés aux différentes disciplines....68
3 - 2 - 1 - En Physique Appliquée....68
3 - 2 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles....68
3 - 3 - Des changements de finalités globales pour la section....68
3 - 4 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Physique Appliquée....70
3 - 4 - 1 - Finalités....70
3 - 4 - 2 - Rôle de l’expérimental....71
3 - 4 - 3 - Les contenus à enseigner....74
3 - 5 - Des évolutions dans les finalités et les contenus en Sciences et Techniques Industrielles....76
3 - 5 - 1 - Finalités....77
3 - 5 - 2 - Contenus en STI....80
3 - 6 - Des évolutions dans les contenus d’autres disciplines....84
3 - 6 - 1 - Mesures et essais....84
3 - 6 - 2 - Mathématiques....86

3 - 6 - 3 - Mécanique.....88
3 - 7 - Des changements pour les matériels utilisés en classe et leur mode d'acquisition.....89
3 - 7 - 1 - Les matériels utilisés en classe.....89
3 - 7 - 2 - Les modes de financement.....91
3 - 8 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....91
3 - 9 - Les dispositifs d'évaluation actuels.....92
3 - 9 - 1 - En Physique Appliquée.....92
3 - 9 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....93
3 - 10 - L'évolution des modes de recrutement et de formation des enseignants.....94
3 - 10 - 1 - En Sciences et Techniques Industrielles.....94
3 - 10 - 2 - En Physique Appliquée.....94
4 - Synthèse des investigations.....96
5 - Interprétations.....100
5 - 1 - Présentation.....100
5 - 1 - 1 - Le temps et les évolutions.....100
5 - 1 - 2 - Les grandes lignes d'interprétation.....100
5 - 2 - Du monde socio-économique aux finalités éducatives.....101
5 - 2 - 1 - Dans les années 60.....101
5 - 2 - 2 - Dans les années 70.....102
5 - 2 - 3 - Dans les années 80.....104
5 - 3 - Des modifications dans les modes de présentation et d'explicitation des contenus et des aides à l'enseignement.....107
5 - 3 - 1 - La structuration des programmes.....107
5 - 3 - 2 - Les rapports avec la pédagogie par objectifs.....108
5 - 3 - 3 - Des objectifs pour l'action.....109
5 - 4 - L'évolution des objets techniques et des savoirs à enseigner..... 109
5 - 5 - Des compromis internes ?.....111
6 - Deux exemples d'évolution au niveau de l'enseignement.....112
6 - 1 - Présentation.....112
6 - 2 - L'étude du moteur asynchrone.....112
6 - 2 - 1 - Faits et premiers commentaires.....112
6 - 2 - 2 - Pourquoi ces évolutions… et pourquoi pas d'autres ? 116
6 - 3 - Des sujets de baccalauréat.....118
6 - 3 - 1 - En Physique Appliquée.....118
6 - 3 - 2 - En Sciences et Techniques Industrielles.....121
6 - 3 - 3 - Quels enseignements tirer de cette étude ?.....125
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
1 - Généralités.....127
1 - 1 - Sigles utilisés.....127
1 - 2 - Objectifs et principes.....127
1 - 2 - 1 - Objectifs de notre étude.....127
1 - 2 - 2 - Méthodologie : principe général.....128
1 - 3 - Les procédures de préparation des données textuelles.....129
1 - 4 - Ce que fait le logiciel.....130
1 - 4 - 1 - Le formatage du corpus et le calcul des UCE.....130

1 - 4 - 2 - Le classement et la réduction du lexique.....130
1 - 4 - 3 - Calcul des tableaux “UCE” par “racines”.....131
1 - 4 - 4 - Calcul des tableaux “UC” par racines et classification descendante hiérarchique (CDH).....132
1 - 4 - 5 - L’analyse factorielle des correspondances (AFC)..... 132
1 - 5 - Des “mondes de pensée” à nos hypothèses de travail…….....132
1 - 6 - Les résultats présentés.....133
2 - L’enseignement de l’électrotechnique en 1995 (textes de 1992).....134
2 - 1 - Les AFC.....134
2 - 2 - Analyse des résultats obtenus.....136
2 - 2 - 1 - Reconnaissance des facteurs.....136
2 - 3 - Conclusions.....137
2 - 4 - Les “mots” les plus utilisés dans les programmes.....140
3 - Réflexions sur l’utilisation du logiciel et sur les résultats obtenus.....140
3 - 1 - Le choc des photos….....141
3 - 2 - Une étude simplement avec Alceste ?.....141
3 - 3 - Le poids des “mots”….....141
3 - 4 - Et les absents ?.....141
3 - 5 - La marque des “émetteurs” et des “récepteurs”.....142
3 - 6 - En guise de conclusion….....142
4 - “Mondes de référence” et “pratiques sociales de référence”.....143
CONCLUSIONS.....144
1 - Retour sur l’hypothèse de départ.....144
2 - Le sens général des évolutions observées.....144
3 - L’enseignement de l’électrotechnique aujourd’hui.....145
4 - L’enseignement en terminale : une formation professionnelle initiale ?..... 146
4 - 1 - Un élément pour la réflexion : les registres de technicité.….146
4 - 2 - Penser l’enseignement en terme de “continuité”.....147
5 - À propos du “technicien d’école”.....149
6 - Remarque.....149
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L’ENSEIGNEMENT.....154
1 - Principes généraux de la méthode.....154
2 - SADT dans l’enseignement.....156
2 - 1 - La mise en place de SADT.....156
2 - 2 - Des difficultés.....160
2 - 3 - Le formalisme SADT en STI, génie électrotechnique.....161
3 - Remarques sur les applications.....162
4 - Conclusion.....164
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D’ESSAIS ET DE MESURES.....165
1 - Présentation.....165
1 - 1 - Généralités.....165
1 - 1 - 1 - La place du banc dans les programmes.....167
1 - 1 - 2 - La place du banc dans les manuels et les revues professionnelles.....167
1 - 1 - 3 - La place du banc dans les épreuves du Capes.....167
1 - 2 - Questionnement.....168
1 - 3 - Méthodologie.....168

2 - Du point de vue matériel.....170
2 - 1 - Pourquoi un banc d'essais et de mesures ?.....170
2 - 2 - Du cahier des charges au développement de l'utilisation du banc.....171
2 - 3 - La didactisation du banc et ses conséquences.....173
2 - 3 - 1 - L'utilisation de bancs de mesure dans l'industrie..... 173
2 - 3 - 2 - Une comparaison matériel industriel / matériel didactique.....174
2 - 3 - 3 - Quelques conséquences plutôt négatives….....176
2 - 3 - 4 - Les apports de l'ensemble didactisé.....179
3 - Du point de vue des documentations écrites.....180
3 - 1 - Les documentations techniques "classiques".....182
3 - 1 - 1 - Le cas du catalogue technique "moteurs".....182
3 - 1 - 2 - Le cas de la documentation sur le variateur.....183
3 - 2 - Les documentations à destination des enseignants.....183
3 - 3 - Synthèse.....185
4 - L'utilisation du banc en classe : deux exemples.....186
4 - 1 - Une variété de protocoles.....186
4 - 2 - Description de deux protocoles.....186
4 - 2 - 1 - Situation A (fiche 4).....187
4 - 2 - 2 - Situation B (fiche 1).....187
4 - 3 - Un élément pour l'analyse : modèle et modélisation.....188
4 - 4 - Analyse des deux situations.....189
4 - 4 - 1 - Situation A.....189
4 - 4 - 2 - Situation B.....190
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
1 - Résumé des études.....192
2 - Des écarts entre objets issus de la pratique de référence et objets d'enseignement.....193
2 - 1 - Les finalités générales.....193
2 - 2 - La définition des programmes et référentiels.....193
2 - 3 - Les matériels.....195
2 - 4 - Apprendre.....196
2 - 5 - Apprendre dans une classe.....198
3 - Transposition, contre-transposition et créativité didactiques.....198
3 - 1 - Les notions en jeu.....198
3 - 2 - Le cas du banc d'essai de machines.....199
3 - 3 - Le cas de l'analyse fonctionnelle descendante.....200
3 - 4 - Remarque : les processus en jeu.....200
4 - À propos de la continuité Terminale/STS.....201
PRÉSENTATION.....204
1- Objectifs généraux. Limites de cette partie de la recherche.....204
2 - Méthodologie.....204
2 - 1 - La classe.....204
2 - 2 - Les enseignants.....205
2 - 3 - Les rapports du chercheur avec les enseignants.....205
2 - 4 - Les séquences observées.....205
2 - 5 - Le dispositif d'observation.....206
3 - Plan de l'exposé.....207
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208

SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
1 - Observations.....208
1 - 1 - Lieux.....208
1 - 1 - 1 - Généralités.....208
1 - 1 - 2 - Dans le cas de nos observations.....209
1 - 2 - Matériel.....210
1 - 2 - 1 - Étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 2 - 2 - Automatisme et informatique industrielle.....210
1 - 3 - La séquence d'étude des systèmes techniques industriels.....210
1 - 3 - 1 - Remarques.....210
1 - 3 - 2 - Les fiches de travaux pratiques.....213
1 - 3 - 3 - Déroulement temporel des activités.....217
1 - 4 - Les autres séquences (AII et cours d'ESTI).....226
2 - Analyse.....227
2 - 1 - La durée des différentes phases.....227
2 - 2 - Les cloisonnements disciplinaires.....227
2 - 3 - Des relations possibles avec la Physique Appliquée ?.....229
2 - 4 - Les représentations utilisées… et SADT ?.....230
2 - 5 - Le rôle du baccalauréat.....237
2 - 5 - 1 - Quelle évaluation ?.....237
2 - 5 - 2 - Par rapport aux curriculums.....238
2 - 6 - Un élève "auteur".....238
2 - 8 - Les symboles et les unités des grandeurs physiques.....241
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
1 - Observations.....243
1 - 1 - Lieux.....243
1 - 2 - Matériel.....243
1 - 3 - Déroulement général.....245
1 - 4 - Remarques.....246
1 - 5 - Les fiches de travaux pratiques.....247
1 - 5 - 1 - Groupe 1 : caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par des tensions de fréquences fixes (50 Hz).....247
1 - 5 - 2 - Groupe 2 : caractéristique de couple d'un moteur asynchrone, MAS alimenté par un onduleur à U/f = Cte.....248
1 - 6 - Déroulement temporel des activités.....249
2 - Analyse.....257
2 - 1 - Des écarts curriculum réel/formel : stabilité et instabilité du MAS.....257
2 - 2 - À propos de la mesure du couple avec la dynamo balance.…258
2 - 3 - À propos de la construction et de l'utilisation des graphiques..... 259
2 - 3 - 1 - Les observations.....259
2 - 3 - 2 - Essai d'interprétation des faits observés.....262
CONCLUSIONS.....269
1 - Curriculum formel / curriculum réel.....269
2 - À propos de l'utilisation des modèles dans l'enseignement.....269
3 - À propos des attitudes observées chez les élèves.....270
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
1 - Les travaux réalisés.....272

1 - 1 - Les résultats de la recherche.....272
1 - 1 - 1 - Curriculums formels et pratiques sociales de référence.....272
1 - 1 - 2 - Curriculum réel.....277
1 - 1 - 3 - Les curriculums comme productions d'une organisation.....278
1 - 2 - Aspects méthodologiques.....279
2 - Des limites de notre étude… vers des perspectives pour de nouvelles recherches et des propositions.....280
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
CONCLUSIONS.....144
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
PRÉSENTATION.....204
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
CONCLUSIONS.....269
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303

TABLE DES MATIÈRES

PRÉSENTATION GÉNÉRALE.....2
l'objet nous est rendu avec les êtres qu'il tient et qui le tiennent, alors nous comprenons le monde où nous vivons.....12
Bruno Latour.....12
"Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée…".....12
INTRODUCTION.....13
CHAPITRE 1 : L'ÉLECTROTECHNIQUE ET SES ÉVOLUTIONS.....16
CHAPITRE 2 : L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE -.....39
L'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....39
CHAPITRE 3 : DES PRATIQUES PROFESSIONNELLES.....47
AU "TECHNICIEN D'ÉCOLE".....47
CONCLUSIONS.....58
INTRODUCTION.....61
CHAPITRE 1 - ÉTUDE SYSTÉMATIQUE DES ÉVOLUTIONS DES CURRICULUMS D'ENSEIGNEMENT DE L'ÉLECTROTECHNIQUE.....64
CHAPITRE 2 : ÉTUDE DES CONTENUS DES PROGRAMMES D'ENSEIGNEMENT PAR UN LOGICIEL D'ANALYSE LEXICALE.....127
CONCLUSIONS.....144
INTRODUCTION.....153
CHAPITRE 1 - ANALYSE FONCTIONNELLE DESCENDANTE.....154
DE LA RÉFÉRENCE AUX UTILISATIONS DANS L'ENSEIGNEMENT.....154
CHAPITRE 2 - AUTOUR DU BANC D'ESSAIS ET DE MESURES.....165
CHAPITRE 3 - ANALYSES ET RÉFLEXIONS.....192
PRÉSENTATION.....204
CHAPITRE 1 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....208
SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES.....208
CHAPITRE 2 - OBSERVATIONS ET ÉTUDE EN.....243
PHYSIQUE APPLIQUÉE.....243
CONCLUSIONS.....269
CONCLUSION GÉNÉRALE.....272
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....284
RÉFÉRENCES DES TEXTES OFFICIELS.....297
TABLE DES MATIÈRES.....303