

50377
1993
215

50377
1993
215

N°d'ordre : 1128E

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

spécialité : Sciences de l'Education

par

Daniel SCACHE



**REFERENCE TECHNIQUE
ET
CLASSE-LABORATOIRE
DE SCIENCES PHYSIQUES EN LYCEE PROFESSIONNEL**

Contribution à la didactique en formation professionnelle

soutenue le 17 juin 1993 devant la Commission d'Examen :

Président	M. MIGEON	Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille
Rapporteurs	J.L. MARTINAND	Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan
	M. CAILLOT	Professeur à l'Université de Picardie
Examineurs	D. POISSON	Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille
	P. DEMUNTER	Professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille

SCD LILLE 1



D 030 301136 2

50377
1993
215

N°d'ordre : 1128E

50377
1993
215

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

spécialité : Sciences de l'Education

par

Daniel SCACHE



A RETOURNER LE

7 NOV. 1997

21 NOV. 1997

Feb 20 1994

CHNIQUE

RATOIRE

LYCEE PROFESSIONNEL

formation professionnelle

en :

université des Sciences et Technologies de Lille
le Normale Supérieure de Cachan

université de Picardie

université des Sciences et Technologies de Lille

université des Sciences et Technologies de Lille

" Le défi de la complexité nous fait renoncer à jamais au mythe de l'élucidation totale de l'univers, mais il nous encourage à poursuivre l'aventure de la connaissance qui est dialogue avec l'univers."

Lettre internationale, 1987

Edgar MORIN

J'ai préparé un doctorat de troisième cycle au Laboratoire de Cinétique et de Chimie de la Combustion de Monsieur le professeur LUCQUIN. Soutenu en juin 1984, cette thèse soulignait alors, en préambule, l'impact qu'avait eu ce travail de recherche sur le métier de formateur que j'exerçais : le climat de motivation dans le laboratoire et les méthodes originales employées m'ont persuadé ensuite de la nécessité pour tout enseignant de bénéficier des apports de la recherche.

Le germe d'une formation des enseignants par la recherche a fait naître ensuite la mise en place de situations d'apprentissage pour que les élèves empruntent à leur tour cette voie fructueuse. Parallèlement, les travaux effectués à l'Université de Valenciennes sur un moteur à allumage commandé m'ont incité à combiner, dans mon enseignement, les effets valorisants de la recherche à ceux de l'exploitation scientifique d'une situation technologique.

Monsieur MIGEON, professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, a accepté de diriger mes travaux; dès le début, il m'a encouragé à poursuivre un sujet de recherche qui correspondait à mon souci de mettre en place une stratégie de remédiation face à des élèves en difficulté scolaire. Les encouragements qu'il m'a procurés m'ont incité à approfondir certaines notions abordées dans le thème d'étude; je le remercie de l'honneur qu'il me fait de présider le jury de cette thèse.

Cependant, mes lacunes sur le plan didactique nuisaient à l'émergence d'une proposition méthodologique équilibrée. Monsieur MARTINAND, professeur de Didactique des Sciences et Techniques à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, m'a initié à cette discipline par ses conseils et ses critiques. Au niveau de l'élaboration de la méthode, des conditions de sa mise en oeuvre puis de la validation de celle-ci, les exigences qu'il a manifestées ont installé des "ruptures" dans l'approche que j'avais des situations d'apprentissage et dans l'utilisation de certains outils pédagogiques ; en particulier, en plaçant l'élève au centre du dispositif, il m'a indiqué dans quel sens je devais orienter mes recherches, modifiant ainsi progressivement le modèle pédagogique initial. Je remercie Monsieur le professeur MARTINAND de m'avoir guidé dans cette étude.

Que Monsieur CAILLOT, professeur de Sciences de l'Education à l'Université de Picardie Jules Verne, veuille bien trouver ici l'expression de mes remerciements pour avoir bien voulu s'intéresser à cette recherche et avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur POISSON, directeur du Centre Université-Economie d'Education Permanente, et Monsieur DEMUNTER, professeur à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, ont accepté de participer au jury de cette thèse ; je les remercie vivement.

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur ROSIAUX, proviseur du Lycée "HENRI D'ARRAS" à Liévin ainsi qu'à Monsieur FOURNIER, professeur de Sciences Physiques, qui m'ont toujours réservé un accueil chaleureux pour la mise en place de l'enquête et son exploitation.

Notre travail a été facilité pour la frappe par Madame DEROCH et Mademoiselle DHERBOMETZ ; je remercie particulièrement Monsieur PETRISOT, formateur au Centre Académique de Formation Informatique Pédagogique de Douai, pour l'assistance technique qu'il m'a procurée.

RESUME DE LA PREMIERE PARTIE

Thèse de troisième cycle soutenue le 29 juin 1984

Etude du cliquetis sur un moteur à taux de compression réglable.
Mesure des caractéristiques de combustion des carburants : Indices d'octane et de
cétane.

Nous avons entrepris une étude du cliquetis sur un moteur à allumage commandé à taux de compression réglable. Nous avons procédé ensuite à une estimation simple de ce phénomène en affectant un indice d'octane à certains hydrocarbures et carburants à partir de certaines manifestations liées à l'explosion froide.

Dans un premier temps, à l'aide d'un moteur expérimental, nous avons d'abord identifié le phénomène de cliquetis ; puis, nous avons repéré les limites d'inflammabilité et de cliquetis dans des conditions paramétriques déterminées ; l'influence de certains facteurs mécaniques et chimiques sur ces limites a été également envisagée ; il s'agit notamment du taux de compression, de la richesse, de la vitesse de rotation, de l'avance à l'allumage et de la nature de carburant. Le fait que le domaine d'existence de la zone de cliquetis soit localisé vers les taux de compression élevés et pour des richesses voisines du stoechiométrique montre que les conditions auto-inflammation sont favorablement réunies lorsque la pression, et donc la température, des gaz frais est suffisante en fin de compression. A partir de l'existence d'un minimum du domaine de cliquetis et en modifiant la proportion des hydrocarbures de référence^(*), il a été possible d'élaborer une méthode quantitative de détermination du phénomène de cliquetis : l'accord avec les indices d'octane "Recherche" s'est avéré très satisfaisant.

La seconde partie de cette étude a été consacrée à la détermination d'un indice d'octane et d'un indice de cétane pour certains hydrocarbures, essences et gas-oils ; la méthode est basée sur la quantification d'une caractéristique de la flamme froide. Des analyses chimiques ont permis de rendre compte de l'évolution de certains produits résultant de l'oxydation froide.

(*) isooctane et *n*-heptane

L'examen des résultats obtenus pour la détermination de l'indice octane par cette méthode montre que l'accord avec l'indice "Recherche" est satisfaisant pour un certain nombre d'hydrocarbures et essences. Les différences constatées peuvent s'expliquer par le fait que :

- la méthode utilisée pour déterminer l'indice "Recherche" est modifiée lorsque ces indices dépassent 100,
- le cliquetis ne se manifeste et donc l'indice "Recherche" ne se mesure pas dans des conditions de température, de pression et de richesse identiques pour tous les hydrocarbures ; or, les essais effectués ont tous eu lieu dans les mêmes conditions expérimentales.

En ce qui concerne la détermination de l'indice de cétane, l'ordre d'introduction des réactifs joue un rôle important par suite des phénomènes liés à la vaporisation ; l'absence de données numériques ne nous a pas permis d'établir des comparaisons en nombre suffisant pour tester l'efficacité de la méthode.

Une amélioration de la méthode consisterait avec le même appareillage :

- à prendre en compte, dans des conditions expérimentales données, simultanément l'indice d'octane "limite" (IO_L), l'indice d'octane "intensité lumineuse" (IO_I) et l'indice d'octane "période d'induction" (IO_T) ; par une méthode statistique et en augmentant le nombre de mesures, on attribuerait un "poids" statistique à chacun de ces indices en appréciant l'écart-type par rapport à l'indice "Recherche".
- à effectuer plusieurs séries de mesures à des pressions, températures et richesses différentes en essayant "d'encadrer" le mieux possible les conditions paramétriques régnant dans la chambre du moteur : température et richesse.

Le suivi de certains produits de combustion comme le formaldéhyde, le peroxyde d'hydrogène, le monoxyde et le dioxyde de carbone ainsi que l'acétone montre que l'oxydation du n-heptane et de l'isooctane s'effectue selon des mécanismes différents, la période d'induction courte relative à l'oxydation du n-heptane et des hydrocarbures aliphatiques aboutit à des indices d'octane faibles tandis qu'à l'oxydation de l'isooctane et des hydrocarbures "ramifiés" correspondent des périodes d'induction longues et des indices d'octane élevés.

Dans le cas des moteurs à allumage commandé, un indice d'octane élevé correspond à un carburant qui s'autoenflamme difficilement dans la chambre, permettant ainsi la propagation du seul front de flamme normal.

Pour parvenir à ce résultat, du côté de la conception de la chambre comme du choix du carburant, on cherche :

- à favoriser thermodynamiquement et cinétiquement la réaction conduisant à une déflagration laminaire,
- à retarder l'auto-inflammation responsable du phénomène de cliquetis.

Pour les gas-oils, un indice de cétane élevé correspond à un carburant qui s'auto-enflamme rapidement après pulvérisation dans la chambre, limitant ainsi la combustion non contrôlée.

RESUME et BUTS DE LA PROPOSITION DIDACTIQUE

Notre ambition est d'élaborer une méthode d'apprentissage des sciences physiques tenant compte des élèves, de la discipline et de la finalité générale de l'enseignement en lycée professionnel (L.P) ; à plus long terme, la proposition vise une amélioration :

- des accès aux diplômes (C.A.P, B.E.P., Bacc.Prof.).
- de la poursuite des études en formation initiale et continue.
- de la qualification professionnelle donc des chances d'accéder à un emploi.

Des constats effectués sur les plans du taux de réussite aux examens, de l'intérêt des élèves pour les sciences physiques et des compétences exigées par le secteur industriel, il résulte que cette discipline n'est pas ressentie comme nécessaire par les élèves qui n'y trouvent ni sens, ni intérêt. La question est donc de savoir s'il faut, avec ces élèves et dans cette discipline, prolonger ou non, les méthodes du collège, ce qui est le cas le plus fréquent encore actuellement.

Des recherches, des enquêtes, des évaluations et des "constructions" faites, il ressort que c'est d'abord en considérant les sciences physiques comme une discipline de service et en faisant appel à une motivation extrinsèque qu'on risque le plus d'accéder à "la discipline d'ouverture" et à la motivation intrinsèque, celle-ci mobilisant des "outils intellectuels" de l'élève face à une tâche donnée ; nous montrerons que l'objet technique, objet structuré et fonctionnel, y est bien adapté lorsqu'il est issu du champ professionnel. Nous découvrirons ensuite que l'utilisation d'une méthode hypothético-constructive qui fait appel aux acquis de l'élève et les intègre aux connaissances nouvelles en vue de résoudre un problème est mieux adaptée, dans ce cas, que la méthode inductive recommandée pourtant par les instructions officielles. Objet technique et méthode hypothético-constructive seront gérés selon la technique de la classe-laboratoire : la situation-problème posée par l'objet technique en fonctionnement est progressivement résolue scientifiquement à partir de la mise en place par les élèves d'expériences, validant ou non leur hypothèse de départ ; les élèves accèdent ainsi simultanément à la loi et à la compréhension scientifique du problème technologique initial, donnant ainsi du sens à la discipline. Les valeurs prédictives et explicatives du modèle ainsi construit sont ensuite testées et étendues à d'autres situations expérimentales et technologiques.

La proposition qui suit s'adresse donc en un premier temps, à des professeurs de lycée professionnel face à des élèves momentanément en difficulté ; elle prend appui sur des situations déclenchantes qui favorisent des confrontations et permet de s'affranchir partiellement de la lenteur des processus d'apprentissage ainsi que de la complexité des cheminements individuels. Nous montrerons qu'en utilisant des ensembles technologiques communs à des enseignements différents, la stratégie proposée peut permettre à l'élève :

- de donner du sens à l'enseignement des sciences physiques dans le cadre de la totalité du champ technologique.
- de s'appropriier le savoir scientifique et la structure de ce savoir.
- d'assurer des reprises et des restructurations avec réaménagement du savoir initial.
- de garantir la cohérence des savoirs construits parce qu'ils sont intégrés dans un ensemble fonctionnel.
- de prendre conscience des démarches intellectuelles qu'il entreprend, de l'entraîner à les mettre en oeuvre en les transférant à d'autres situations et donc de le rendre plus autonome.

PLAN

A - INTRODUCTION

I - Problématique générale

II - Plan de l'étude

B - CONSTATS ET PREOCCUPATIONS

I - Du point de vue des objectifs fixés et de la méthode préconisée par les instructions officielles dans l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel.

I-1) Technique employée pour l'élaboration des référentiels

I-2) Objectifs et méthode recommandée par les instructions officielles

I-2.1) Objectifs

I-2.2) Méthode

I-3) Premières préoccupations

II - Du point de vue de ce qu'on peut espérer voir accomplir par l'élève à l'issue d'un apprentissage

II-1) Les activités proposées

II-2) Résultats

III - Du point de vue des résultats aux examens

IV - Du point de vue des compétences exigées par le secteur industriel

IV-1) Le suivi des stages des élèves en entreprise

IV-2) Nouvelles préoccupations

V - Conclusions

V-1) Bilan

V-2) Problématique générale

C - ELABORATION DE LA PROPOSITION DIDACTIQUE

I - Vers une approche des problèmes scientifiques à partir de dispositifs techniques

I-1) Informations apportées par le suivi de trois classes dans toutes les disciplines enseignées

I-1.1) Le dispositif

I-1.2) Les résultats

I-1.3) Analyse des réponses-questions des élèves

I-1.4) Prise en compte didactique des résultats de l'analyse

I-2) Informations apportées par la construction et l'utilisation d'objets techniques en classe

I-3) Conclusions et nouvelles perspectives

II - Choix des objets techniques

II-1) Les deux premiers critères retenus

II-2) Trois exemples d'objets techniques utilisés dans des situations d'apprentissage

II-2.1) Machine à courant continu

II-2.2) Moteur à allumage commandé

II-2.3) Pompe à chaleur eau-eau

II-3) Conclusion

III - Elaboration conceptuelle de la méthode

III-1) Du modèle pédagogique "incitatif" (pour l'élève) au modèle pédagogique "appropriatif" (par l'élève)

III-2) D'une démarche inductive à une démarche hypothético-constructive

III-3) Du constat de la méthode à son appropriation réfléchie par les élèves

D - GESTION DIDACTIQUE DE LA METHODE : LA CLASSE-LABORATOIRE

I - Les apprentissages au laboratoire et en classe

I-1) Au laboratoire

I-2) En classe complète

I-3) Conclusions

II - Les apprentissages en classe-laboratoire

II-1) Mise en oeuvre pédagogique de la classe-laboratoire

II-2) Mise en oeuvre pratique de la classe-laboratoire

III - Conclusion

E - DISCUSSION

I - Attitude, méthode ou technique ?

II - Recherche de crédibilité de la méthode

II-1) Les références

II-2) Evaluation à priori de la méthode

II-2.1) Cohérence interne de la méthode

II-2.2) Cohérence externe de la méthode

II-3) Evaluation à posteriori de la méthode

II-3.1) Analyse de productions d'élèves à l'issue d'une série de classes-laboratoires

II-3.2) Enquête d'opinions

III - Conclusion

F - CONCLUSION GENERALE

A - INTRODUCTION

I - Problématique générale

Si on compare les orientations actuelles et les instructions du Ministère relatives d'une part à l'enseignement technique et d'autre part, à l'enseignement en lycée professionnel(L.P), on peut constater que les finalités et les méthodes préconisées diffèrent peu. Il est vrai que, dans les deux cas, les élèves aspirent à une formation et une culture technologiques ; cependant, deux différences essentielles existent entre les deux systèmes : d'une part, en L.P, les élèves sont en majorité en situation d'échec pendant la formation initiale, notamment dans les disciplines scientifiques, d'autre part, la professionnalisation y est le principal enjeu à court terme.

Faut-il donc confondre une situation ponctuelle difficile avec une situation permanente d'échec ? Faut-il continuer à employer les mêmes méthodes dans les deux systèmes, voire prolonger en lycée professionnel celles du collège ? Faudrait-il, au contraire, utiliser des méthodes mieux adaptées au profil des élèves et au type d'enseignement sur le double plan de la formation et de la pré professionnalisation ? Ces questions sont au centre de notre étude.

II - Plan de l'étude

Notre expérience d'enseignement et de formation des futurs professeurs en lycée professionnel dans le domaine des sciences physiques nous a conduit à dresser un certain nombre de constats non seulement par rapport aux recommandations et aux programmes ministériels, mais aussi au niveau du vécu réel de l'élève, en classe, dans cette discipline, du degré de raisonnement scientifique atteint par celui-ci et enfin des modes de compétences exigées par le milieu professionnel, dans les disciplines technologiques et après la scolarité.

Il nous est ainsi progressivement apparu, à travers ces constats, qu'il était vain et illusoire d'espérer atteindre les objectifs fixés et les qualifications requises en prolongeant ou en utilisant en sciences physiques des stratégies pédagogiques inadaptées au profil des élèves de lycée professionnel et à leur devenir. En nous appuyant sur ces constats, nous avons mis en place depuis une décennie une méthode d'apprentissage des savoirs et savoir-faire à partir d'un objet technique, en fonctionnement devant les élèves ; celui-ci joue un rôle central dans l'appropriation des connaissances et des attitudes scientifiques.

Après l'élaboration conceptuelle puis pratique de la méthode et la mise en oeuvre de celle-ci, à travers un type de gestion des activités de l'élève, à savoir la classe-laboratoire, nous mettrons cette méthode à l'épreuve par une enquête.

La proposition didactique étant ainsi établie, nous dégagerons ensuite sa portée et ses limites ainsi que son éventuel impact sur la formation des professeurs.

B - CONSTATS ET PREOCCUPATIONS

Les constats effectués résultent de quatre types de situations auxquelles nous avons participé :

- Elaboration de référentiels en baccalauréats professionnels avec les "professionnels" de la spécialité.
- Suivi d'élèves en situations d'apprentissage, en milieu scolaire, dans toutes les disciplines enseignées.
- Analyse des résultats aux examens.
- Suivi des élèves en stages dans les entreprises.

I - Du point de vue des objectifs fixés et de la méthode préconisée par les instructions officielles dans l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel.

I-1) Technique employée pour l'élaboration des référentiels.

Nous avons consulté les vingt-cinq référentiels parus correspondant aux différents baccalauréats professionnels effectivement créés en 1989, dans les domaines industriels et commerciaux ; ces référentiels précisent les capacités et les compétences que les candidats doivent posséder, les savoirs et savoir-faire qui doivent être acquis ainsi que les niveaux d'exigences requis pour l'obtention de ce diplôme ; chaque référentiel industriel comporte quatre domaines : A₁, A₂, A₃ et A₄. Les sciences physiques appartiennent au domaine A₁ : formation professionnelle, technologique et scientifique.

Nous avons participé à l'élaboration de certains référentiels industriels ; la technique utilisée a été la suivante :

- discussions et échanges avec les partenaires de l'enseignement général, de l'enseignement professionnel et du milieu industriel sur le plan des contenus à acquérir et des compétences à atteindre.
- élaboration d'une première ébauche disciplinaire.
- mises à l'épreuve et réajustements éventuels des propositions avec l'ensemble des partenaires impliqués.

- rédaction définitive du référentiel disciplinaire.

I-2) Objectifs et méthodes recommandés par les instructions officielles.

I-2.1) Objectifs.

"L'enseignement des sciences physiques est étroitement lié à la formation du technicien.

Il puise ses objets d'études dans le domaine professionnel pour apporter à l'élève :

- les connaissances scientifiques indispensables à la compréhension des problèmes technologiques.
- l'esprit et les méthodes scientifiques par modélisation progressive d'objets techniques.
- la possibilité de réinvestir ces connaissances et savoir-faire dans des situations voisines ou différentes de celles étudiées."

I-2.2) Méthode

"La méthode inductive est une composante fondamentale de la formation de l'esprit scientifique ; elle pourra être privilégiée. De plus, elle paraît bien adaptée à l'exploitation de thèmes technologiques.

L'acquisition des connaissances et des savoir-faire implique une démarche expérimentale. Les expériences seront réalisées par les élèves en utilisant le plus possible du matériel industriel à côté des appareils de laboratoire."

I-3) Premières préoccupations.

Le terme "objet technique" dans les objectifs est-il assimilable aux "thèmes technologiques" dans la méthode ?

La méthode inductive est recommandée : qu'est-ce-qu'une méthode inductive ? Est-elle la mieux adaptée pour les élèves ?

Comment peut-on concrètement envisager le matériel industriel "à côté" des appareils de laboratoire ?

II - Du point de vue de ce qu'on peut espérer voir accomplir par l'élève à l'issue d'un apprentissage

II-1) Les activités proposées.

Trois contenus ont été abordés avec des élèves de niveaux et de spécialités différents :

- module d'électricité avec des élèves de baccalauréat professionnel, productique mécanique : forces électromagnétiques.
- module de froid et climatisation avec des élèves de baccalauréat professionnel, maintenance et gestion en génie climatique : transferts de chaleur au cours d'un changement d'état d'un corps pur, à pression constante.
- module de combustion avec des élèves de brevet d'études professionnels (B.E.P) : déflagration en régime laminaire.

Le même professeur intervient dans les trois classes dont les effectifs varient entre 25 et 30 élèves ; chaque module comporte huit séances à raison d'une séance hebdomadaire d'une durée prévue de 2 heures.

La même structure de séance pour chaque contenu est utilisée avec les mêmes pratiques pédagogiques. Chaque activité ou groupe d'activités est précédée d'une information et suivie d'un bilan ; elle comprend :

- l'information, c'est-à-dire les indications que donne le professeur sous forme de consignes d'actions pour exécuter tel ou tel montage prévu à l'avance par ce professeur en vue d'induire une loi.
- l'activité manipulative (*) de l'élève où le rôle du professeur se limite à l'observation des élèves : il n'intervient qu'à la demande de l'élève.
- le bilan en deux temps :
 - expression individuelle des résultats ou des conclusions.
 - discussion collective des résultats guidée par le professeur; l'intervention de celui-ci se limite dans cette phase à poser des questions pour inviter l'élève à s'exprimer.
- mise en relation des paramètres expérimentaux actifs et "omniprésents" dans l'expérimentation, pour accéder au modèle ou à la loi.

A l'issue des troisième, sixième et huitième séances, nous avons proposé un questionnaire écrit ; après la huitième séance, chaque élève avait

* Nous insisterons essentiellement sur l'expérimentation, son rôle et son statut qui sont au coeur du débat dans notre étude.

eu de plus un entretien oral avec le professeur. Le questionnaire, l'entretien et l'évaluation portaient essentiellement sur :

- les motivations des élèves pour les sciences : intérêt, réponses à des besoins ...
- le sens de cet enseignement par rapport à ce que l'élève fait en lycée professionnel, aux ateliers en particulier, dans les stages industriels...
- l'aptitude de l'élève à décontextualiser, à transférer à d'autres situations les savoirs et savoir-faire acquis dans une situation particulière, l'analyse et l'approche d'une situation voisine ou nouvelle ...

II-2) Résultats

Sur le plan psychologique :

- les élèves n'éprouvent ni motivation, ni intérêt pour les sciences physiques.

Sur le plan cognitif :

- les représentations résistent et persistent à l'enseignement expérimental structuré; celles-ci sont issues de situations réelles, très "présentes" chez les élèves de lycée professionnel.
- la démarche scientifique inculquée à été souvent assimilée intuitivement : elle n'a pas pris le "pas" sur celle effectivement présente dans l'esprit de l'élève.
- les deux "systèmes", modèle et préconceptions coexistent, entraînant souvent un conflit dans leur utilisation à la fois alternative et simultanée, les élèves utilisant tantôt l'un ou tantôt l'autre dans une explication ou les deux dans une même réponse.

Comment rendre les sciences physiques plus motivantes ?

Faut-il s'appuyer sur les représentations des élèves pour qu'ils puissent construire leur propre savoir structuré ? Dans ce cas, la méthode inductiviste laisse-t-elle place à l'expression des représentations des élèves ?

Sur le plan pédagogique :

- les acquis restent "collés" au contexte de la leçon et restent donc peu mobilisables vers d'autres situations voisines.
- les situations d'apprentissage proposées conduisent rarement à une opérationnalisation des savoirs et savoir-faire qui restent cloisonnés.

Comment rendre les connaissances plus opérationnelles ?

Comment décontextualiser les acquis et rendre ainsi leur appropriation plus complète ?

Sur le plan du raisonnement scientifique :

- les élèves ne ressentent pas la nécessité d'utiliser un modèle pour expliquer et prévoir.
- les élèves confondent formule et modèle.
- les élèves confondent expérience et modèle.

Comment convaincre les élèves de la nécessité de construire un modèle pour l'utiliser à bon escient par la suite ?

Comment éviter des refrains de formule telle que : "c'est parce que : $P = UI$ que" ?

III Du point de vue des résultats aux examens

Si le B.E.P débouche encore en 1990 six fois sur dix sur une entrée dans la vie active (1), la proportion d'élèves qui poursuivent actuellement leur scolarité après avoir préparé cet examen s'est fortement accrue ces dernières années : elle a presque quadruplé en sept ans (1). Ces poursuites d'études donnent lieu soit à une intégration en second cycle général et technologique au niveau de la première ou, plus rarement, de la seconde, soit à un autre diplôme d'enseignement professionnel : 22 % des élèves de B.E.P entrent en première, 9% préparent un baccalauréat professionnel et 6% un autre diplôme d'enseignement professionnel (mention complémentaire au B.E.P).

Pour les 12 206 candidats présents dans les baccalauréats professionnels industriels en 1990, contre 7758 en 1989, le pourcentage d'admis sur le plan national s'est élevé à 76,2 en 1990 contre 74,2 en 1989 (2).

Pour le baccalauréat "productique mécanique", dans l'Académie de Lille, en 1990 la répartition entre les treize centres a été la suivante (3) :

Statistique sur le BAC PRO : PRODUCTIQUE MECANIQUE

Centre	Inscrits	Présents	Admis	% Admis
1	20	20	12	60
2	19	18	15	83,33
3	15	15	9	60
4	9	9	6	66,67
5	13	13	9	69,23
6	9	9	8	88,89
7	19	19	12	63,16
8	21	21	12	57,14
9	14	14	6	42,86
10	14	14	6	42,86
11	7	7	3	42,86
12	12	12	9	75
13	24	24	12	50
	202	201	130	64,68

Qu'en est-il des moyennes obtenues en mathématiques-sciences physiques(*) (E1 B) ?

BAC PRO : PRODUCTIQUE MECANIQUE

Centre	A1						A2		A3	A4
	E1A	E1B	E2A	E3A	E3B	E3C	E4	E5	E6	E7
1	4,21	3,50	6,46	15,60	11,86	12,60	12,05	7,50	13,30	14,45
2	6,92	4,77	9,66	14,72	13,31	14,72	8,55	10,18	16,29	14,18
3	5,66	5,33	6,95	15,40	13,86	9,33	8,66	6,80	14,26	13,66
4	7,06	3,88	9,44	16,33	17,60	10,77	8,00	7,88	14,11	12,00
5	6,33	5,00	6,21	14,84	13,40	9,96	11,69	9,87	12,76	13,72
6	4,60	5,86	5,70	13,50	13,55	13,44	10,44	11,44	12,75	13,62
7	5,41	4,31	6,55	15,21	14,38	11,26	8,73	9,00	12,31	13,47
8	6,06	5,19	5,79	14,47	11,44	13,09	8,42	10,42	10,95	11,52
9	5,11	5,14	7,28	13,57	9,54	11,25	13,28	7,85	10,64	14,09
10	5,38	4,71	6,57	16,42	14,08	13,00	10,14	7,50	14,25	14,40
11	3,85	6,71	4,40	16,50	13,48	14,07	8,14	6,71	15,00	15,57
12	4,91	3,83	6,62	14,41	13,91	12,12	8,91	10,33	13,33	14,16
13	3,94	4,70	5,00	14,47	12,30	12,58	8,28	9,29	15,50	14,50
	5,32	4,73	6,64	14,96	13,03	12,24	9,62	8,90	13,47	13,82

- dans le domaine A1, la moyenne obtenue en sciences physiques dans cette Académie est la plus basse par rapport aux autres épreuves :

- E1A, étude d'un système de production.
- E2A, épreuve technologique avec préparation d'une production.
- E3A, E3B et E3C, épreuves pratiques prenant en compte la formation en milieu professionnel et les technologies nouvelles.

- les mêmes constatations sont faites sur l'ensemble des baccalauréats professionnels (4) et (1).

- dans le domaine A1 mais dans l'épreuve pratique E3A, les résultats sont bons et les meilleurs de toute la série A1.

A quoi peut-on attribuer ces mauvais résultats dans l'enseignement scientifique ? Contenu des programmes trop lourd ou (et) trop ambitieux ? Intérêt, niveau et travail de l'élève insuffisants ? Méthode de travail inadaptée ? Elaboration des sujets inadéquates ?

Pourquoi ces bons résultats dans les épreuves de technologie ?

(*) les deux disciplines, enseignées souvent par un même professeur, constituent une seule épreuve de deux heures à l'examen.

IV - Du point de vue des compétences exigées par le secteur industriel.

IV-1) Le suivi des stages des élèves en entreprise

La structure des entreprises connaît une évolution importante ; cette évolution est inhérente à la complexité croissante des matériels et des équipements de production et à l'automatisation de la gestion des informations.

Au cours de leurs stages en entreprise et des situations d'apprentissage professionnel proposées, les élèves ont pu constater que les activités de maintenance, par exemple, se traduisaient souvent par des interventions sur des matériels pluritechnologiques ; ces interventions supposent des connaissances techniques et scientifiques aux niveaux des matériels, des équipements, des processus de fonctionnement et des principes qui assurent la cohésion de l'ensemble. En production mécanique, par exemple, cette ingénierie implique la nécessité :

- de savoir repérer et diagnostiquer les causes du dysfonctionnement d'une chaîne de fabrication puis d'y remédier.
- d'assurer le suivi et la gestion des produits.

Dans ce cadre, il est donc impératif de posséder les compétences qui permettent l'adaptabilité permanente aux technologies mises en oeuvre et l'accès facile à la documentation. Nous assistons ainsi à une évolution rapide des structures de l'emploi, à une élévation du niveau moyen de la technicité des qualifications et à un élargissement des compétences professionnelles à des domaines non directement techniques : on peut donc à juste titre s'inquiéter de l'avenir que notre société réserve dans les prochaines décennies aux jeunes sortant du système scolaire avec peu ou pas de qualification professionnelle.

Au cours du suivi de ces stages en entreprise, nous avons pu constater que les élèves rencontraient des difficultés essentiellement au niveau de la compréhension de certaines machines, telles les machines-outils ou les machines à commandes numériques qu'ils sont amenés à utiliser dans différents processus de production, voire dépanner dans certains cas. De plus l'examen ultérieur de leurs cahiers de stages montre que certains élèves ne savent pas saisir ce qui est général dans la somme des particularités de ces différentes machines. Pourquoi ? Les a-t-on préparés à ce processus d'abstraction à partir d'une situation réelle ? N'était-ce pas déjà à partir d'une situation dépouillée et épurée du réel ?

IV-2) Nouvelles préoccupations

Qui sont ces élèves ? Leurs profils sont très variés mais ils ont une caractéristique commune, c'est de ne pas avoir progressé "normalement" dans leurs études, d'être en difficulté scolaire. Mais notre système scolaire n'est-il pas, lui aussi, en difficulté face à ces jeunes qui ne répondent pas aux normes établies ? Quelles évolutions faut-il envisager, tant sur le plan des structures que sur celui des pédagogies pour que notre système éducatif, au lieu de marginaliser ceux qui ne s'adaptent pas à lui, soit, au contraire, mieux capable de s'adapter lui-même aux différents problèmes des jeunes ?

En résumé, comment prendre en compte les aspirations et les intérêts des élèves pour que les finalités de l'enseignement en lycée professionnel, à savoir compréhension du réel "technologique" et accès à la professionnalisation, soient atteints ?

V - Conclusions

V-1) Bilan

Des élèves de L.P qui ne ressentent pas la nécessité de faire des sciences physiques parce qu'ils n'en voient pas l'intérêt, ni les finalités en amont et en aval ... alors qu'ils sont motivés dans les disciplines technologiques et qu'ils y réussissent, disciplines qui foisonnent de problèmes scientifiques.

Des élèves de L.P qui, en classe, lors des contrôles, devant une question, un problème théorique ou une situation-problème expérimentale ne cherchent pas à le (les) résoudre en mobilisant des acquis anciens et des méthodes élaborés en cours ; c'est essentiellement par intuition et en faisant d'abord appel à un vécu personnel, hors du champ scolaire, qu'ils cherchent à surmonter l'obstacle ; tout se passe donc comme si ces acquis scolaires étaient simplement juxtaposés, à ceux de leur expérience personnelle, les premiers étant rarement réinvestis ...

Des élèves de L.P en difficulté dès l'entrée en classe de certificat d'aptitude professionnelle (C.A.P.) après les classes de sixième et de cinquième des collèges, essentiellement au niveau du degré d'abstraction souhaité et effectivement atteint :

- les modèles inculqués ne sont pas opérationnels : explication à partir de formules, modèle méconnu ou non ressenti comme

indispensable, processus de modélisation incohérent, confusions entre les modèles...

- les notions sur les repères fondamentaux en physique ne sont pas maîtrisées : conservation et permanence d'une part, transformation et vitesse de transformation d'autre part.

Des élèves de L.P., réputés faibles en enseignement général, qui trouvent un horaire plus léger dans cet enseignement et qui se trouvent donc de nouveau privés d'une poursuite d'études possible.

Des élèves de L.P. qui ne bénéficieront pas d'un enseignement long pour la plupart d'entre eux et qui vont donc arriver sur le marché du travail, dans l'industrie en particulier, plus rapidement que les autres, donc plus démunis que les autres ; or, dans le monde économique actuel, on constate une croissance des besoins en personnel qualifié et la persistance d'un taux de chômage élevé chez les jeunes ayant peu de qualification ; les industriels déplorent le manque de flexibilité des anciens élèves de lycée professionnel face à des situations technologiques nouvelles : les possibilités de transfert restent très et trop limitées.

V. 2) Problématique générale :

Compte tenu de ce bilan, nous pensons que les lacunes du système éducatif en lycée professionnel se situe essentiellement aux niveaux :

- de l'aspect souvent ségrégatif de ce système où la sélection se fait par échec.
- de l'élève et de l'orientation scolaire qu'il a subie, orientation qui tient insuffisamment compte tenu des besoins de l'économie actuelle et future et n'est pratiquement fonction que du dispositif éducatif lui-même.
- de la méthode employée en lycée professionnel, méthode qui prolonge souvent celle des collèges et qui a conduit l'élève à une situation d'échec.

Par rapport à l'élève, nous ne pouvons agir en classe que sur la méthode et nous nous posons les quatre questions suivantes :

- Comment donner du sens à l'enseignement des sciences physiques dans un contexte professionnel où l'élève trouve de l'intérêt ?
- Comment rendre plus opérationnels les savoirs et les savoir-faire en formation initiale et en matière d'emploi futur ?

- La méthode inductive, méthode souvent employée en L.P, et l'expérimentation quasi-épurée du réel sont-elles adaptées pour finaliser les sciences physiques et développer l'esprit scientifique dans le cadre largement technologique des L.P. ? L'enseignement d'un modèle entraîne-t-il la modélisation ?
- Comment favoriser chez les élèves des attitudes et des comportements qui permettront au futur technicien de tenir sa place et d'évoluer dans la société industrielle sans complexe d'infériorité ?

C - ELABORATION DE LA PROPOSITION DIDACTIQUE

- Quelles solutions peut-on apporter ?

- C'est à dire :

Comment situer les sciences physiques pour les élèves dans le champ des enseignements dispensés ?

Quel dispositif peut-on envisager face aux élèves pour mettre en oeuvre une stratégie mieux adaptée à leurs préoccupations ?

I - Vers une approche des problèmes scientifiques à partir de dispositifs techniques

I-1) Informations apportées par le suivi de trois classes dans toutes les disciplines enseignées.

I-1.1) Le dispositif.

Nous avons suivi tous les enseignements dans les trois disciplines citées antérieurement (*) pendant cinq ans (1984, 1985, 1986, 1987 et 1988) ; ce travail a été réalisé avec la collaboration des professeurs stagiaires de l'Ecole Normale d'Apprentissage de VILLENEUVE D'ASCQ. Chaque année, dans chacune des trois sections suivantes, un groupe de trois professeurs-stagiaires(**) appartenant aux spécialités :

- mathématiques - sciences physiques.
- électricité - génie électrique.
- maintenance et gestion en génie climatique.

(*) Paragraphe B II-1) : modules d'électromagnétisme, de froid et de climatisation et de combustion.

(**) Chaque groupe comprenait un professeur de mathématiques -sciences physiques, un professeur de génie électrique et un professeur de froid et de climatisation.

a participé, sans intervenir directement devant les élèves, aux travaux de la classe entière, dans toutes les disciplines, pendant huit semaines consécutives correspondant sensiblement à l'enseignement d'un module disciplinaire ou d'un thème d'exploitation. A l'issue de chaque séquence, chaque groupe a dressé un tableau-bilan relatif :

- aux thèmes abordés.
- aux situations d'apprentissage proposées.
- aux évaluations effectuées.
- aux entretiens particuliers ou par groupes avec les élèves.

Nous avons préalablement demandé aux professeurs responsables institutionnellement devant la classe de nous préciser :

- les pré-requis au niveau des contenus des programmes.
- les objectifs à atteindre.
- les moyens proposés.
- les contrôles à mettre en place aux différents stades de la progression.

Nos objectifs, au cours de ce suivi, se situaient au niveau :

- de l'intérêt comparé de l'élève pour les différentes disciplines.
- des relations interdisciplinaires vues du côté élève.
- du rôle que pourraient jouer les sciences physiques par rapport aux autres disciplines (la physique, discipline de service) et pour la formation de l'esprit (la physique, discipline d'ouverture).
- de l'analyse de l'interaction professeur-élève - savoir dans le cadre de la situation d'apprentissage proposée.

I-1.2) Les résultats

Sur le plan professoral, les contenus des programmes sont souvent soigneusement découpés tenant compte, à juste titre d'ailleurs, des pré-requis, des conditions dans lesquelles le travail peut être fait (notamment les lieux et les moyens), des résultats spécifiques attendus ; chacun de ces professeurs, à l'intérieur de son champ d'application, définit, à l'aide du référentiel, ce que le candidat potentiel devra atteindre à l'examen pour chaque compétence et situation d'évaluation terminale associée.

Sur le plan de l'élève, tous les contrôles et toutes les enquêtes effectués montrent que l'approche et la compréhension d'une même phénomène apparaissent comme très diverses et même dans certains cas comme cloisonnées. Comment l'élève ressent-il ces interprétations différentes ? Est-ce heureux ? Pourrait-il en être autrement ?

Ainsi, en "maintenance et gestion et génie climatique" le professeur de sciences physiques, au moment de l'étude des changements d'état des corps purs, à pression constante, limite souvent le champ de ses interventions au caractère isotherme de cette transformation physique. Pour les professeurs de froid et climatisation, c'est l'échange de chaleur accompagnant ces transformations qui est l'enjeu principal ; quant au professeur de maintenance, il privilégie, lui, les grandeurs intensives, pression et température à laquelle s'effectuent ces transformations !

Il est certes légitime que :

- le professeur de physique y voit ultérieurement un critère d'identification des corps purs.
- le professeur de thermodynamique appliquée recherche le fluide le mieux adapté, c'est-à-dire qui libérera, dans le cas d'une pompe à chaleur par exemple, une chaleur de "condensation" importante, ou, dans un réfrigérateur, prélèvera une énergie calorifique élevée à la source froide au moment de la vaporisation.
- le professeur de résistance des matériaux adapte les sous-ensembles de la machine aux contraintes thermiques et de pression auxquelles ces derniers sont soumis, par exemple aux niveaux du compresseur et du détendeur.

Mais qu'en est-il pour l'élève ? En ressent-il les finalités, toutes les finalités qui lui permettraient d'accéder à une véritable culture technologique, ce qu'on lui conteste le plus ? Ces notions ont-elles du sens pour l'élève ?

A l'issue de ce suivi, à l'aide des tableaux-bilans composés avec les élèves de chacune des trois classes, nous avons dressé des constats puis élaboré avec l'ensemble des professeurs des

grilles comparatives prenant en compte pour les différentes situations d'apprentissage :

- le taux de participation aux exercices proposés (opération réalisée à l'aide de questionnaires anonymes).
- le repérage des obstacles majeurs au niveau des savoirs et des méthodes au moment des évaluations collectives et individuelles.
- le réinvestissement dans le champ professionnel.

Nous rapportons ici quelques entretiens, remarques et suggestions d'élèves :

Question : "l'approche du changement d'état d'un corps pur, et notamment la vaporisation et la condensation vous semble-t-elle former un "tout" à travers les explications de vos trois professeurs" ?

Une réponse : "Certainement pas, et à la limite, on ne sait plus qui croire quand ils (les professeurs) parlent d'un même "truc" !

Le "prof" de physique nous fait une expérience "parachutée" en cours et nous dit : vous voyez, cela se passe comme ça dans une pompe à chaleur (le condenseur cède de la chaleur au milieu extérieur) ou dans un réfrigérateur (l'évaporation prélève de la chaleur à l'intérieur de ce réfrigérateur) ; nous, on veut bien mais on ne voit pas pourquoi la température est aussi basse dans le réfrigérateur. Alors à quoi ça nous sert les grandes théories et les grosses formules qu'on applique seulement en sciences physiques, qui ne nous servent plus ailleurs ou qu'on ne sait pas appliquer ? Ca n'a pas de "sens" pour nous et on ne sait plus pourquoi on fait de la physique puisque ça ne nous sert pas ailleurs !

Le "prof de thermo" nous fait consulter et étudier des diagrammes et des abaques : y-a-t-il un rapport avec ce qu'on fait en physique où on exécute des expériences "clés en mains" et qui "marchent" (presque) toujours, avec des tubes en verre alors que les canalisations de nos installations sont en cuivre ? Y a-t-il vraiment un lien avec la physique ? S'il y en a un, pourquoi certains "prof" se renvoient-ils toujours la "balle" en disant "vous le verrez en sciences physiques", ou l'inverse

"vous le verrez en technologie" ? Et on n'en entend plus parler par la suite ... Ne pourrait-on pas nous montrer de temps en temps un ensemble, un tout qu'on étudierait de A à Z avec tous les "prof" concernés ? Dans d'autres circonstances, cela pourrait être un projet pour nous. Ça, ça nous servirait et on saurait pourquoi on fait de la physique !

Le "prof" de résistance des matériaux, lui, nous dit qu'il faut tel ou tel alliage à l'évaporateur et au condenseur avec telle longueur et telle épaisseur pour l'un et telle longueur et telle épaisseur pour l'autre ; mais le "prof" de physique nous a dit que vaporisation et condensation d'un corps pur se faisaient à la même température ! Qui croire ? Histoire de pression, peut-être ?

Une autre réponse : il faudrait peut-être qu'ils (les professeurs) se mettent d'accord avant ! Nous, on veut bien que l'un dise ceci ou cela pour un même "truc" (fait), mais alors quand on est à un contrôle, on est obligé de dire ceci ou cela en fonction de la couleur de leur blouse ... Il y a une réponse par "prof" pour un même truc !

Une autre réponse encore : nous, pendant notre stage en situation, on ne nous demande pas si c'est le "prof" de physique ou de thermo ou de résistance des matériaux qui a fait le cours sur les échanges de chaleur ; quand il y a une panne par exemple ou lorsqu'il s'agit de savoir pourquoi la pompe à chaleur libère moins de chaleur qu'auparavant, il faut qu'on se débrouille tout seul avec ce qu'on a appris pour en trouver la raison : le patron et le client exigent que la pompe fonctionne dans les meilleures conditions ! Et c'est tout !"

I-1.3) Analyse des réponses-questions des élèves

Comment les réponses pourraient-elles être autres en l'absence de concertations entre professeurs ? Comment donner du sens, pour les élèves, aux expériences et aux modèles "élaborés" en sciences physiques ? Comment espérer que le futur technicien ait une attitude constructive face à une situation technologique complexe, c'est-à-dire s'informe, mobilise, réorganise des acquis anciens, les oriente vers le problème particulier posé en vue d'une solution, enfin critique celle-ci ?

Deux considérations essentielles se dégagent de cette analyse sur lesquelles nous nous appuierons pour bâtir notre proposition didactique. Il s'agit :

- de donner du sens pour les élèves à cette discipline en la rendant indispensable à la compréhension, la maintenance et l'amélioration d'objets techniques.
- d'établir un mode d'activité adapté incluant l'équipe pédagogique, les élèves et les savoirs à acquérir.

I-1.4) Prise en compte didactique des résultats de l'analyse

De nombreux travaux concernant l'éducation insistent sur l'importance du véritable intérêt qui est celui qui reconnaît la correspondance d'un fait ou d'une action avec l'appétit du "moi" (5).

L'un des enjeux essentiels, et en même temps, l'une des difficultés principales de l'enseignement de cette discipline est donc que ce qui est enseigné doit être chargé de signification. On peut, à ce titre, transposer assez aisément aux sciences physiques les réflexions de G. Brousseau à propos des mathématiques (6). "Le sens d'une connaissance mathématique se définit :

- non seulement par la collection des situations où cette connaissance est réalisée en tant que théorie mathématique, non seulement par la collection des situations où le sujet l'a rencontrée comme moyen de solutions,
- mais aussi par l'ensemble des conceptions qu'elle rejette, des erreurs qu'elle évite, des économies qu'elle procure, des formulations qu'elle reprend..."

Les sciences physiques se prêtent-elles à un enseignement chargé de sens pour les élèves de lycée professionnel ? Chaque discipline a des activités spécifiques liées à son champ d'action ; les sciences physiques y ont une situation privilégiée en lycée professionnel dans la mesure où elles se situent à la charnière entre l'enseignement général et des enseignements de type industriel : structures métalliques, industries du bois et du bâtiment, productives... Le contenu des programmes permet aussi d'explorer les disciplines "frontières" (aux sciences physiques) : la résolution du problème posé par le morcellement des connaissances auquel se trouve souvent confronté l'élève peut donc trouver solution. Citons PIAGET dans ce domaine : "Il s'agit que les enseignants soient eux-mêmes pénétrés d'un esprit épistémologique assez large pour que,

sans négliger pour autant le terrain de leur spécialité, l'étudiant voie de façon continue les rapports avec l'ensemble du système des sciences. Or, de tels hommes sont actuellement rares" (7).

En ce qui concerne la construction de la signification d'une connaissance, nous l'envisagerons à deux niveaux :

- un niveau "externe" : quel est le champ d'utilisation de cette connaissance et quelles sont les limites de ce champ ? Ce qui donne du sens aux concepts ou théories, en sciences physiques, ce sont les problèmes qu'ils ou elles permettent de poser ou (et) de résoudre dans le champ disciplinaire et hors de celui-ci. Comme nous l'avons vu, l'élève maîtrise mal les savoir-faire et accumule les obstacles disciplinaires et interdisciplinaires qu'il fuit ; à la connaissance morcelée des éléments d'une discipline s'ajoutent donc celles des disciplines frontières ou liées, au lycée professionnel, aux champs des diverses situations professionnelles. Il s'agit donc de donner, à travers les éléments disciplinaires du programme, une vision plus générale de ces champs notionnels et des trames conceptuelles qu'ils sous-tendent. Même si les outils du savoir en train de se concevoir et de la réalité en train de se construire sont différents d'une discipline à une autre, il s'agit d'entrevoir la discipline (comme les sciences physiques) non pas comme un "patchwork" sans unité, mais "comme une mosaïque" expressive de concepts en liaison les uns avec les autres (8) ; la construction de ces réseaux de concepts revêt un caractère primordial dans la recherche d'une situation d'apprentissage adaptée : nous allons tenter de mettre en place un moyen de construire ces réseaux à partir d'une situation qui ait du sens pour l'élève.

- un niveau "interne" : comment fonctionne tel ou tel outil et pourquoi fonctionne-t-il ? Comment fonctionne un modèle et pourquoi conduit-il au résultat ?

Notre hypothèse fondamentale est que c'est d'abord en faisant apparaître les notions physiques acquises comme des outils pour résoudre des problèmes qu'on permettra aux élèves de construire "du sens" ; ce n'est qu'ensuite que ces outils pourront être étudiés pour eux-mêmes. Dans ce cas, pourquoi ne pas introduire alors les sciences physiques à partir de situations motivantes pour les élèves, à savoir les situations technologiques, et réinvestir ensuite les acquis scientifiques dans le cadre d'un enseignement professionnel ? L'ensemble des professeurs n'y trouverait-il pas du même coup un instrument de cohésion interne ?

I. 2) Informations apportées par la construction et l'utilisation d'objets techniques.

Les concepts sont donc souvent perçus isolément par les élèves dans une même discipline et un même concept peut avoir des résonances différentes dans des disciplines pourtant complémentaires ; ces résonances déroutent l'élève et rendent le concept correspondant inopérant si un dispositif n'est pas mis en place pour gérer et réguler efficacement les obstacles, souvent d'origine interdisciplinaire, pour les transformer en savoirs opérationnalisables ; il faut donc plutôt mettre en place des champs de concepts reliés entre eux et qui se consolident mutuellement ; d'où l'idée de proposer des champs de situations-problèmes permettant de construire ces réseaux de concepts ou les différentes "formes" d'un même concept dans différents champs notionnels. Il nous a donc semblé indispensable, surtout dans un enseignement professionnel de type court que l'élève puisse participer, effectivement participer, à des analyses et des synthèses complètes en ce sens qu'elles mobilisent des savoir-faire de différentes disciplines. Sinon, qui le fera ? L'élève seul, le hasard ou personne ? Il reste donc à rechercher cette situation dont la connaissance présente du sens pour l'élève et dont la logique propre comporte l'intégration ou l'emboîtement de concepts voisins mais perçus isolément par les élèves. Sachant que le technicien potentiel que constitue l'élève intervient ou devra intervenir sur des "produits" technologiques, pourquoi là encore, ne pas alors exploiter directement en classe certaines de ces situations réelles ?

Parallèlement donc aux suivis d'élèves en classe, nous avons participé avec eux à la réalisation de projets individuels et collectifs :

- un Projet d'Actions Educatives (P.A.E. en 1983), centré sur l'énergétique.
- l'élaboration d'une "Valise Energétique" (1986), en collaboration avec l'Association Lilloise d'Informations et d'Actions Scientifiques (A.L.I.A.S.).
- des réalisations technologiques interdisciplinaires telles que aérogénérateur (1985), capteur solaire (1986) et chaîne de capteurs pour le comptage d'objets (1987), avec le concours d'industriels et de l'Association Française pour la Maîtrise de l'Energie (A.F.M.E.).

Nous avons pu alors constater :

- à travers les erreurs effectuées, telles que pour la pompe à chaleur, par exemple :
 - Choix du diamètre et de la longueur des éléments du condenseur et de l'évaporateur, c'est-à-dire des échangeurs,

- Conduites en cuivre pour celle-ci et échanges de chaleur dans un compartiment en zinc aboutissant à un non fonctionnement de la pompe ou à sa destruction par corrosion (phénomène de pile cuivre/zinc), que certains élèves se posaient des questions du type "Pouvait-on prévoir ? Y a t il une discipline qui aurait pu nous aider ? Comment y remédier maintenant pour "que ça ne se reproduise plus et que la pompe fonctionne enfin !".

- et au niveau des contraintes technologiques des éléments essentiels (compresseur et détendeur ici par rapport à l'ensemble de la chaîne énergétique) que les problèmes posés par l'imbrication des composants et des maillons ainsi que leur adéquation pouvaient se résoudre préalablement. "Et si on avait pu calculer la surface des échangeurs..., et si on s'intéressait à la nature du fluide et à ses caractéristiques... pour choisir le compresseur" ?

Cinq critères nous ont donc retenus au cours de la construction de ces objets techniques :

- La motivation des élèves (et des professeurs) qui y trouvent du sens : "au moins on sait pourquoi ici on fait des sciences physiques et où on va". En effet, les activités manipulatoires et intellectuelles y sont intégrées dans un projet organisé et structuré orienté vers un produit ; le modèle "s'impose" progressivement dans la démarche pour coordonner des actions et des acquisitions variées, démarche qui trouve immédiatement sa validation auprès de l'élève : le moteur électrique tourne (ou non) entraînant une génératrice qui produit (ou non) du courant électrique : "Les problèmes en technologie sont différents de ceux rencontrés en sciences physiques, mais on sent qu'il y a un lien... "et encore "les sciences physiques permettent d'expliquer beaucoup de choses quand on construit une machine... et quand elle est en panne ! La preuve que c'est bon, ce n'est pas le "prof" qui tranche ici mais le résultat ! La pompe fonctionne ou ne fonctionne pas..." Engagé dans un tel projet où il se sent acteur et responsable, l'élève transforme progressivement cette motivation externe en un défi intellectuel permanent face à un problème, dont la solution est sanctionnée par lui-même.

- L'attitude de questionnement des élèves face à une erreur, une contrainte ou un problème qui mobilise, réorganise et oriente les acquis anciens : "Avant je ne me posais jamais de questions, je pensais que c'était évident..., que d'autres allaient le faire pour moi...!. Le petit moteur électrique que j'ai construit ici ne fonctionne pas, pas assez de fils dans les bobines ? Bobines non alimentées ? Coupure quelque part ? Je cherche..."

- Le niveau de conceptualisation atteint par l'élève qui doit agir pour construire un concept : action individuelle ou collective, action finalisée, problématisée et supposant une dialectique pensée-action très différente d'une simple manipulation guidée aboutissant à une tâche de simple constat (9). Cette action "mère de la pensée" et sa réciproque (10) sont motrices dans "l'activité de recherche que

constituent le questionnement, la curiosité et le désir de chercher des réponses par investigation propre et les échanges entre pairs" (8). L'indispensable anticipation en technologie" et si on.. peut être que... oui, mais... "relative à l'élaboration d'une stratégie, d'une procédure permettant de pressentir le résultat d'une action non encore réalisée annonce une des fonctions du modèle : prévoir.

- Le contrat instauré au cours de ces réalisations conçues, préparées et concrétisées par les professeurs, les élèves et la participation d'entreprises. Nous avons pu, en effet, constater que ces situations de production, où chacun se sentait incapable de construire un tout, aidaient à mettre en place un tel contrat : le projet pédagogique que constitue l'élaboration de l'objet technique constitue pour les élèves et les professeurs un acte d'engagement volontaire à deux niveaux :

- Entre les membres de l'équipe pédagogique qui s'engagent à mener une action concertée et coordonnée de formation auprès des élèves,
- Entre les membres de l'équipe pédagogique et les élèves où l'engagement porte sur la mise en oeuvre d'une formation individualisée et personnalisée afin de créer les conditions optimales de réussite pour tous.

- Les "capacités transversales" prises en compte lors de la mise en oeuvre du "produit" technique et notamment : observer, s'informer, analyser, exploiter et critiquer, rendre compte ; la maîtrise de ces capacités permettra au futur technicien de mieux s'adapter au changement.

I. 3) Conclusions et nouvelles perspectives.

Les objets techniques mis en place et construits avec le concours d'élèves, d'équipes de professeurs d'enseignement général et technique, d'industriels et d'associations ont montré qu'en pénétrant dans leur "logique", on peut contribuer à la formation de l'esprit scientifique et développer une stratégie adaptée au profils des lycées professionnels actuels. Face à cette élaboration d'un produit industriel, la motivation des élèves et l'esprit de recherche qui les anime peuvent constituer un moyen d'approche de l'enseignement des sciences physiques en lycée professionnel.

En facilitant l'accès à la formation générale sur les plans conceptuel et professionnel l'objet technique :

- concourt avec l'ensemble des autres disciplines au développement nécessaire à la poursuite d'études ultérieures.
- contribue à la mise en place de projets techniques au sein d'un projet défini par l'équipe pédagogique.

- apporte aux élèves des compétences générales et technologiques adaptées et complémentaires, facilitant ainsi leur réussite future face à l'essor industriel.

Les activités de recherche, d'ingénierie et de production servent de référence à des activités scientifiques pendant la formation. Cette idée de pratiques sociales de référence dans la transposition envisagée (11) prend en compte trois facteurs : un champ empirique, un problème scientifique à étudier parmi d'autres liés à ce champ et un savoir à construire.

Reste à engager cet objet technique porteur d'une situation technologique dans une situation d'apprentissage qui ait elle même du sens pour l'élève ; pour cela :

- Quel objet technique choisir ? Qui le choisit ?
- Cet objet devra-t-il être construit par les élèves pendant l'apprentissage ou déjà construit préalablement ?
- Comment l'intégrer dans la formation et à quel moment ? Quelle stratégie pédagogique mettre en place ? Comment apprécier l'efficacité de la démarche ?
- Quelle forme de pensée est-il souhaitable d'adopter ? Pensées inductive, déductive, divergente, dialectique ?
- L'intériorisation de la démarche par les élèves peut-elle permettre de prendre de la distance par rapport à l'apprentissage ? Est-ce souhaitable ? Si oui, comment ?

II - Choix des objets techniques

II - 1) Les deux premiers critères retenus

Dans le cadre des contenus disciplinaires du programme, le professeur dégage des savoirs et savoir-faire qui seront évalués au cours de la formation et à l'examen^(*) ; en amont de l'apprentissage, l'étude de ces contenus implique quelques réflexions :

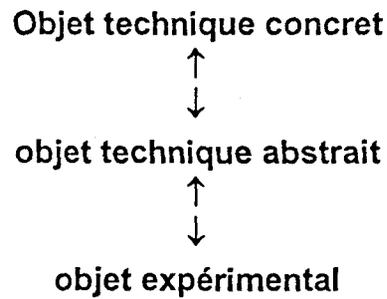
- Quel problème choisir et quel est l'objectif à atteindre ? Quel niveau de formulation adopter ?
- Pourquoi ce contenu et pas un autre pour un objectif donné ? Quel est son intérêt sur les plans scientifique d'une part et technologique d'autre part ? (Les programmes de lycée professionnel sont organisés en "modules" liés à la spécialité).
- Comment atteindre cet objectif ? Quels sont les instruments matériels et intellectuels nécessaires ? Quelles activités sont à proposer aux élèves et comment les mettre en oeuvre ?

^(*) sauf pour les lycées professionnels régis par le contrôle continu

- Qu'attend-on des tâches et des productions des élèves ?
- Quels sont les critères de réussite pour les élèves ?
- Quel objet technique mettre en place ? L'étude de la situation technologique, du problème technologique qu'elle sous-tend doit orienter les recherches de l'élève vers un problème scientifique que l'élève devra résoudre pour accéder à la compréhension du problème technologique. Sachant que l'objet technique pose souvent plusieurs problèmes scientifiques : lequel choisir et qui choisit ? En effet, d'une part cet objet est lui-même constitué de sous-ensembles ayant des fonctions propres s'emboîtant dans un système cohérent et fonctionnel mais souvent complexe et, d'autre part, toutes les variables intervenant dans la loi visée doivent pouvoir être recensées dans cet objet ; or, certaines de celles-ci sont technologiquement bloquées compte tenu des performances souhaitées par le constructeur ; de plus, dans certains cas, l'accès à la mesure directe peut y être lui-même rendu techniquement délicat. Comme nous le verrons ultérieurement, la mise en oeuvre complète d'un objet technique, sa construction au laboratoire et aux ateliers sont lourdes dans un cadre institutionnel classique; nous avons procédé de cette manière pour construire une pompe à chaleur et un aérogénérateur ; les années suivantes, nous avons ensuite étudié en classe ces objets techniques construits, auxquels nous avons ajouté quelques compléments. Parallèlement, nous avons utilisé des objets techniques issus directement du milieu industriel, comme un moteur électrique et un moteur thermique. Nous avons appelé les deux premiers objets, objets techniques "théoriques" et les deux derniers, objets techniques "concrets" (12).
- Dans le type théorique, chaque organe avec sa structure réalise une fonction et une seule orientée vers le système final : il y a peu d'interactions entre chaque sous-ensemble : c'est le cas de l'échangeur de la source froide de la pompe à chaleur où ne se réalise que la vaporisation du liquide thermodynamique provoquant une absorption de chaleur au niveau de cette source.
- Dans le type concret, chaque organe essentiel peut réaliser plusieurs fonctions réagissant entr'elles et sur le système général : ailettes nervurées solidaires de la culasse dans le cas du moteur à allumage commandé (seule la chambre de combustion joue un rôle pratiquement "monofonctionnel") ; le rotor du moteur à courant continu remplit une fonction essentiellement mécanique au cours de la rotation, mais, des organes annexes, comme le ventilateur, lui sont solidaires.

L'objet technique théorique est donc logiquement plus simple mais en fait techniquement plus compliqué car il est fait du rapprochement de plusieurs systèmes "complets" intrinsèquement ; "l'intégration à l'ensemble offre dans ce cas une série de problèmes à résoudre qui sont dits techniques et qui, en fait sont des problèmes de compatibilité entre des ensembles déjà donnés" (12). Dans le processus d'abstraction progressive vers la loi, l'objet technique

construit se trouve donc plus proche de l'objet expérimental, sur lequel on agit et on mesure les réactions avec des appareils de laboratoire ; c'est ce cheminement réversible



que nous avons suivi avec certaines classes de baccalauréat professionnel lorsque nous disposions des deux types d'objets techniques ; dans la plupart des cas, c'est l'un ou l'autre qui amenait la situation pédagogique et le problème technologique.

Par l'étude des sciences physiques, les élèves doivent acquérir des connaissances et des savoir-faire, mais aussi des méthodes générales permettant la réussite professionnelle ; la possibilité d'acquérir ultérieurement des connaissances et des méthodes nouvelles dépend du caractère opérationnel des compétences mises en place au cours de l'apprentissage. La construction puis l'utilisation des objets techniques en situation d'apprentissage nous a permis de regrouper en quatre classes, les différentes capacités mises en oeuvre lors de l'exploitation scientifique d'une situation technologique, pendant le suivi des élèves dans les disciplines professionnelles ainsi qu'au cours des stages en entreprise. Pour mettre en oeuvre puis valider ces capacités, nous avons mis en place une grille des productions attendues des élèves, grilles explicitées aux élèves avec énoncé des critères de réussite. Complétant les référentiels de l'emploi et du diplôme existant dans chaque domaine professionnel, le tableau suivant met en relation les capacités et les situations d'évaluation associées, en termes de production des élèves. Au cours des différentes séquences d'apprentissage^(*), nous avons affiné le dispositif en fixant le niveau à atteindre pour chaque compétence et situation d'évaluation associée; les grilles proposées comportent donc :

- ce que le candidat doit être capable d'effectuer (on demande).
- les conditions définies (on donne).
- les indicateurs d'évaluation.

^(*) non représentées ici

CAPACITES	PRODUCTIONS ATTENDUES
<ul style="list-style-type: none"> - observer - s'informer - mobiliser des connaissances antérieures 	<ul style="list-style-type: none"> - nommer l'objet technique - désigner sa fonction (ou ses fonctions) - envisager les sous-ensembles en les identifiant si possible, émettre des hypothèses sur leurs fonctions propres et leur intégration dans l'ensemble
<ul style="list-style-type: none"> - anticiper - réaliser 	<ul style="list-style-type: none"> - élaborer un plan de travail à partir de l'analyse des sous-ensembles ou de l'ensemble pour comprendre son fonctionnement - faire apparaître par rapport à l'objectif choisi les essais et les mesures à effectuer - choisir un matériel adapté - faire un dessin puis un schéma du sous-ensemble envisagé - réaliser ou "extraire" ce sous-ensemble
<p>Exploiter et critiquer</p>	<ul style="list-style-type: none"> - réorganiser les paramètres étudiés dans l'objet expérimental en vue de la compréhension du fonctionnement de l'objet technique - proposer une explication scientifique du rôle de ce sous-ensemble ou de l'ensemble
<p>Rendre compte</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sélectionner les informations générales identifier les informations relatives au problème étudié, à partir de documents de constructeurs en particulier. - rédiger un document en langage "naturel" et en langage codé (graphique, schéma normalisé...)

Outre les contraintes de programme, de matériel et de temps disponible, deux critères essentiels nous ont donc d'abord retenus quant au choix des objets techniques :

- la situation technologique, la nature et le niveau du problème scientifique qu'elle "cristallise" ; l'utilisation de nombreux objets techniques en classe nous a permis de constater qu'il n'était pas souhaitable d'employer des objets trop "élaborés", éloignés des problèmes scientifiques à étudier en dépit de l'attrait qu'ils présentent parfois pour les élèves : la longue liste des questions

soulevées pour amener le problème scientifique est inexploitable pédagogiquement et les élèves, à juste titre, ne comprennent pas qu'elles ne soient pas toutes prises en compte ; l'écart problème technologique/problème scientifique doit être tel que tous les élèves doivent pouvoir accéder aux deux problèmes. Dans la plupart des choix effectués, c'est souvent le problème scientifique, dans le cadre des contenus des programmes et de l'apprentissage visés, qui a orienté notre choix vers des situations technologiques appropriées. En accord avec les professeurs de technologie, le problème scientifique devrait pouvoir être formulé et posé par tous les élèves de la classe amorçant ainsi pour tous, les étapes ultérieures ; la "résistance" de la situation technologique pendant la formation qui impose au futur technicien de s'adapter au progrès technique est une composante importante de la formation en lycée professionnel, mais pas la seule en sciences physiques.

- les capacités transversales que ces diverses situations mobilisent chez l'apprenant, capacités listées préalablement en termes de productions de celui-ci.

II-2) Trois exemples d'objets techniques utilisés dans des situations d'apprentissage.

Il s'agit :

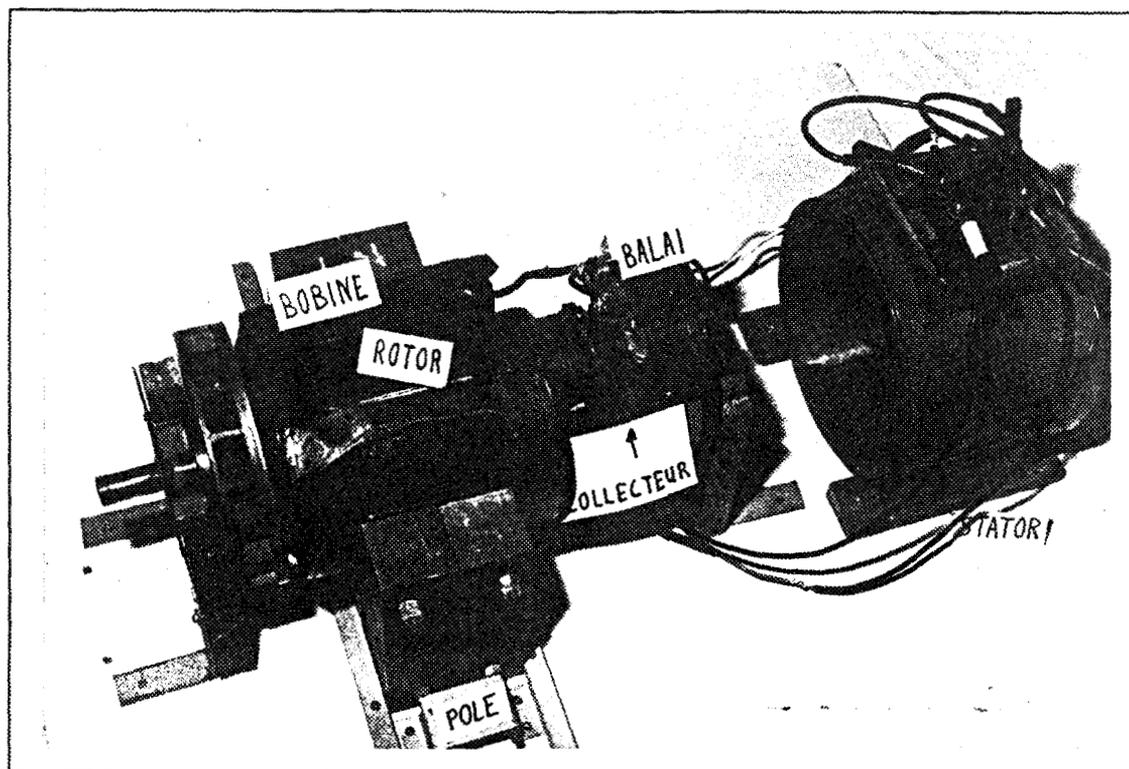
- d'un moteur électrique à courant continu en électricité.
- d'un moteur à allumage commandé pour l'étude des combustions.
- d'une pompe à chaleur pour l'étude des changements d'états et des échanges de chaleur qui les accompagnent.

Les deux premiers objets techniques proviennent directement du secteur industriel ; le troisième a été construit au laboratoire et aux ateliers de l'Ecole Normale d'Apprentissage de VILLENEUVE D'ASCQ.

Le même objet technique sert à l'ensemble de la progression dans un module, soit 7 ou 8 séquences pédagogiques.

Le choix de cet objet résulte de :

- de la stratégie de l'équipe pédagogique par rapport aux objectifs et aux contenus du programme : cours, travaux pratiques, travaux pratiques-cours, classe-laboratoire.
- du niveau d'abstraction à atteindre et donc essentiellement de l'écart acceptable et nécessaire entre la situation technologique et scientifique.
- de son intérêt et de son actualité constatés du point de vue industriel.
- des ressources du lycée professionnel.



Machine à courant continu "éclatée".

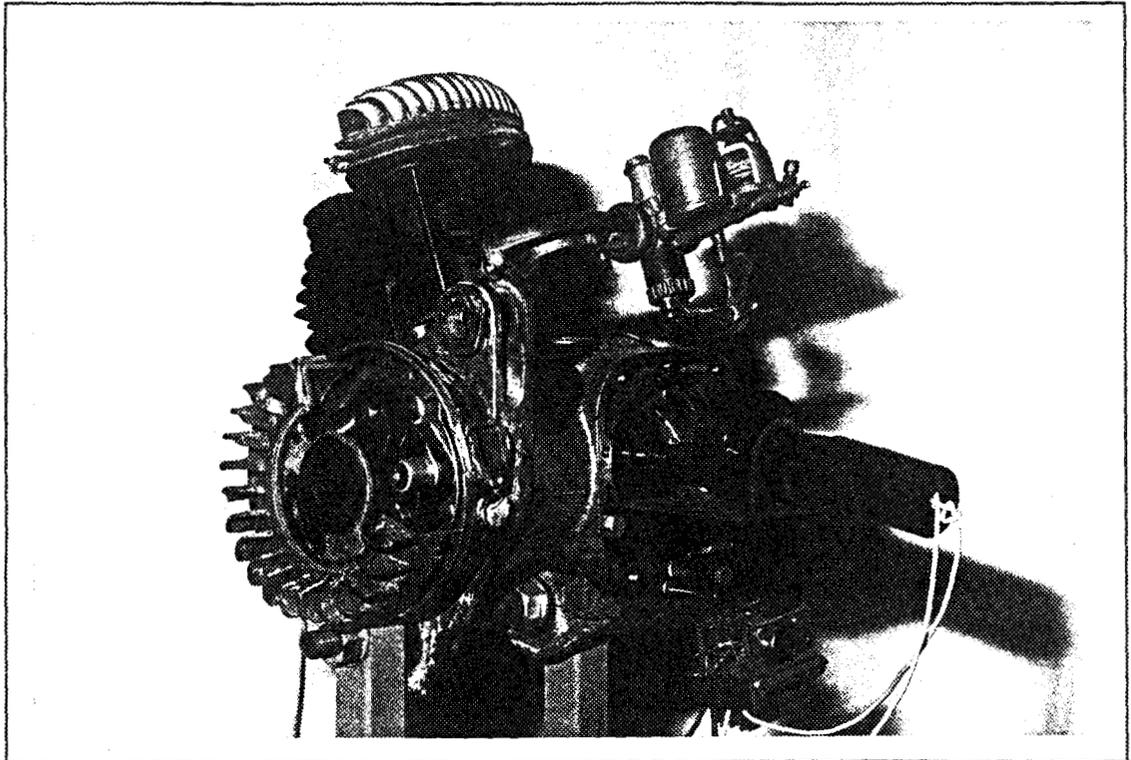
Le moteur a été "découpé" et éclaté pour mieux visualiser les organes essentiels et leurs fonctions associées ; nous nous sommes attachés à conserver la structure d'ensemble de telle manière qu'il puisse encore tourner ; cependant, compte tenu de la modification de ses caractéristiques essentielles, des mesures quantitatives s'avèrent dorénavant impossibles ; cependant, l'entrefer élargi permet maintenant d'y loger la sonde d'un teslamètre, d'étudier dans ces conditions la répartition des champs, moteur arrêté puis en rotation, enfin de comparer résultats expérimentaux et théoriques.

Toute la progression en électromagnétisme sera centrée sur la compréhension du fonctionnement de ce moteur :

- hypothèses sur le fonctionnement d'ensemble du moteur.
- hypothèses sur le rôle du stator ; théorème d'Ampère.
- hypothèses concernant la rotation du rotor ; loi de Laplace.
- étude des caractéristiques d'une machine ; prévision des modes de fonctionnement en fonction de la charge puis vérifications expérimentales.

- activités expérimentales et théoriques de synthèse ;
retour à l'ensemble des hypothèses émises.

II-2.2) Moteur à allumage commandé

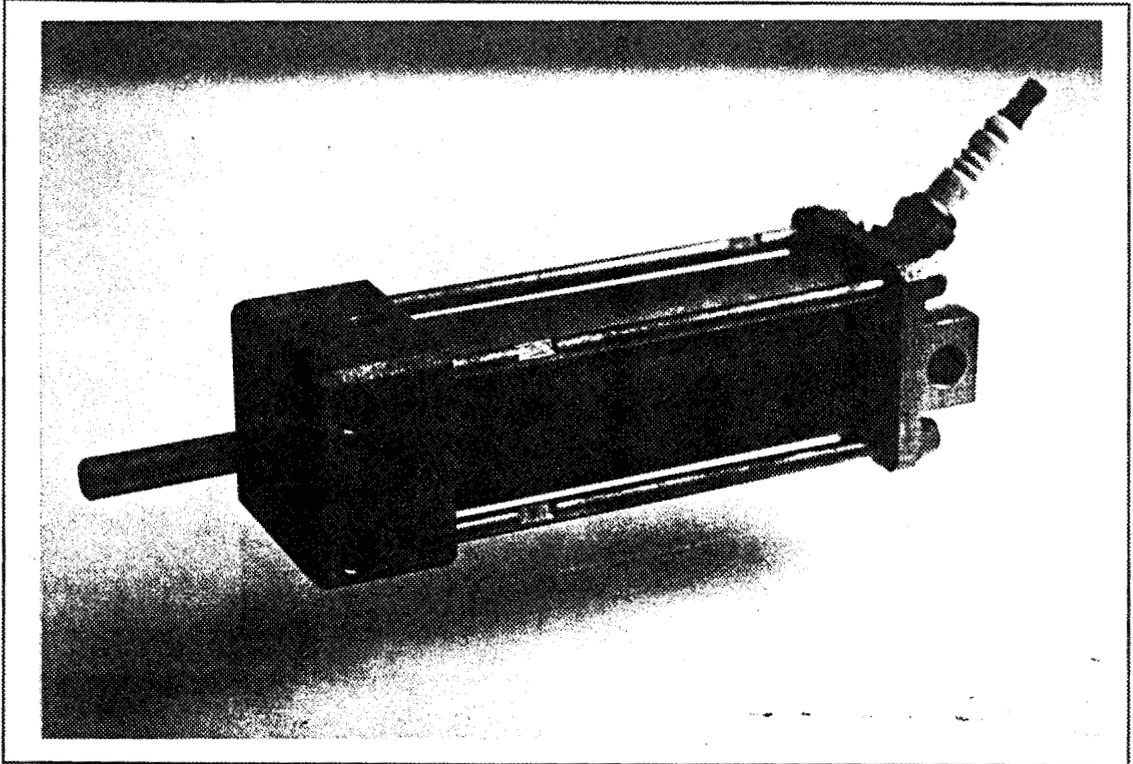


Moteur à allumage commandé "découpé".

Le moteur à allumage commandé, de type Vespa, à deux temps, a été partiellement découpé de manière à visualiser les différentes parties et les phases du mouvement du piston ; le fonctionnement autonome de ce moteur par injection de gaz frais puis allumage par étincelle n'a pas encore pu être réalisé ; cependant :

- un panneau solaire peut alimenter un petit moteur électrique (visible sur la partie inférieure droite de la photographie) dont le rotor entraîne le vilebrequin du moteur thermique : la visualisation du mouvement au ralenti du piston et de certains organes annexes est ainsi rendue possible.
- un ensemble "cylindre-chambre de combustion" a été construit, avec le concours d'élèves et de professeurs de "mécanique automobile". L'allumage par étincelle délivrée par une bougie (visible sur la droite de la photographie ci-après) est provoquée par une bobine de Ruhmkorff. Une bille en acier placée devant le "piston" et reposant sur un rail est propulsée vers l'avant par la combustion-détente des gaz. La mesure de la vitesse atteinte par la bille à une distance aussi proche que possible du "piston" (nous avons pris 50 cm) permet de calculer l'énergie cinétique acquise; la comparaison avec le pouvoir calorifique du

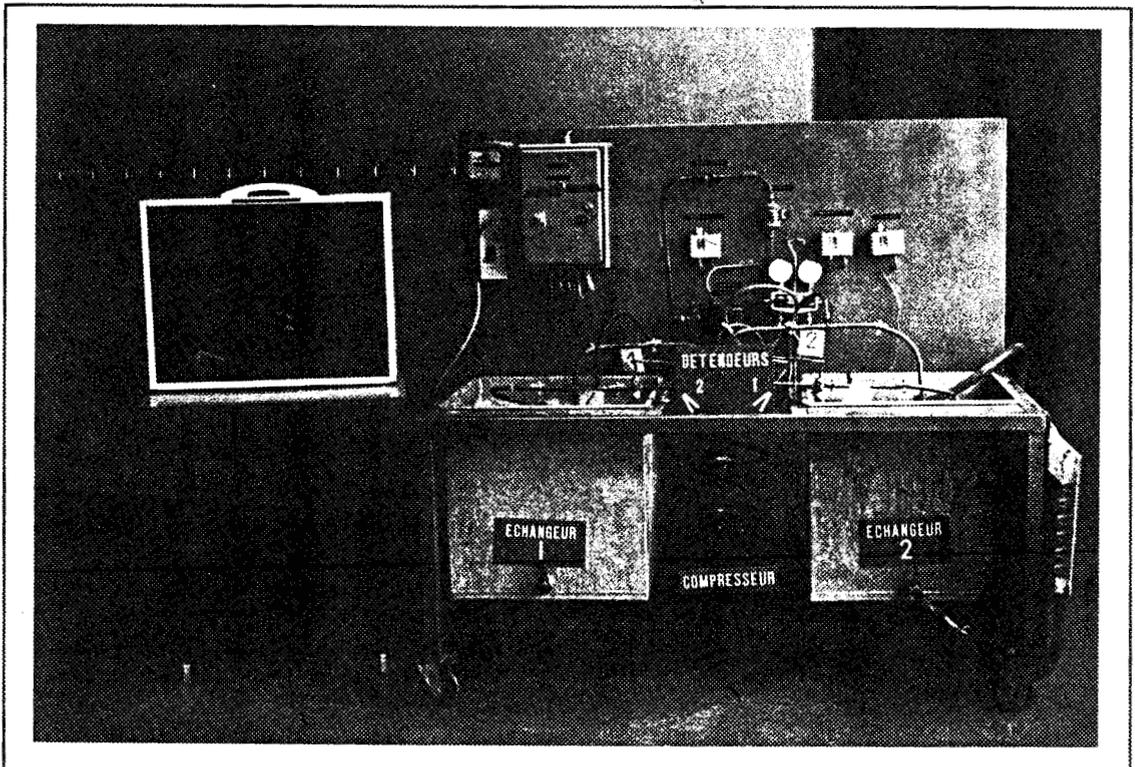
mélange combustible utilisé donne un rendement de 0,20; rappelons que celui d'un moteur allumage commandé se situe vers 0,28.



Ensemble "cylindre - chambre de combustion" construit

Toute la progression sur les réactions de combustions a été orienté vers la compréhension du fonctionnement de ce moteur thermique.

II-2.3) Pompe à chaleur eau-eau



Prototype de pompe à chaleur eau-eau construite au cours d'un projet.

Le dispositif :

- l'éclatement en quatre sous-ensembles permet de repérer les organes essentiels et leurs fonctions associées.

évaporateur }
condenseur } échangeurs
compresseur
détendeur

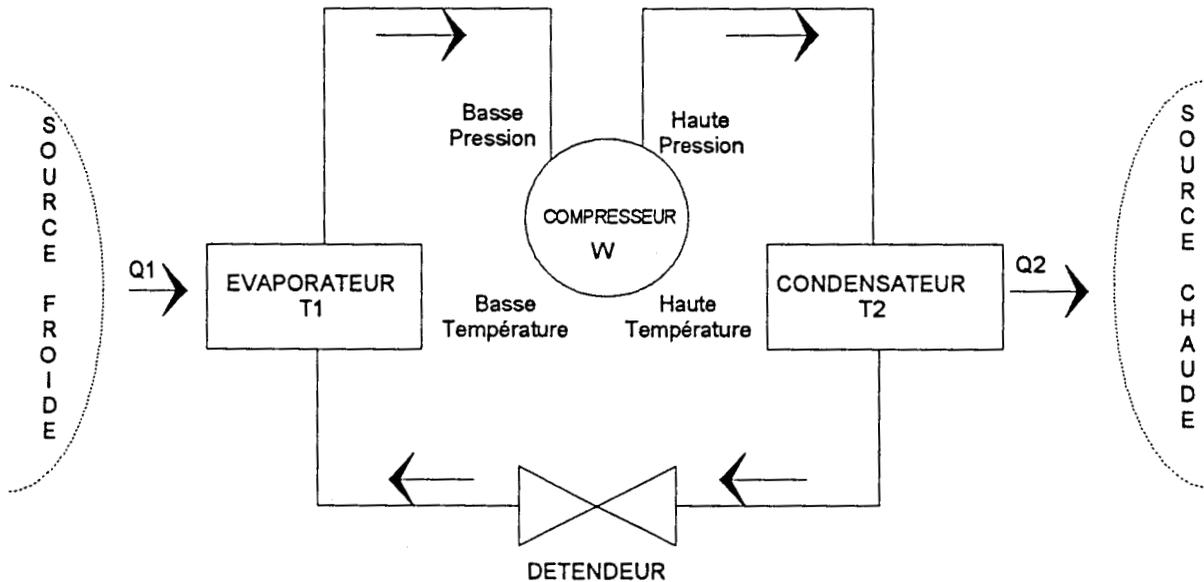


Schéma de la pompe à chaleur

- l'installation est complétée par :

- quatre manomètres qui permettent de comparer quantitativement le cycle réel au cycle théorique.
- un compteur d'énergie active qui permet d'évaluer le coefficient de performance (C.O.P.) de la machine.
- un chenillard (à gauche) couplé électriquement avec la pompe qui simule la circulation du fluide thermodynamique à l'intérieur des "canalisations".
- un radiateur, au niveau de la source chaude qui concrétise la fonction essentielle de la pompe : le transfert de chaleur de la source froide vers la source chaude.

La pompe à chaleur a été construite au cours d'un P.A.E. (1983) ; les élèves y travaillaient par groupes de 4, alternativement aux ateliers et au laboratoire d'une part, en classe d'autre part : à l'étude technologique complète aux ateliers s'est jointe une étude scientifique sur le plan énergétique. Les années suivantes, la pompe

construite a fait l'objet de ces deux études en "maintenance et gestion en génie climatique", en relation avec les disciplines technologiques où les professeurs ont aussi utilisé la pompe construite avec d'autres dispositifs industriels complémentaires et plus élaborés.

II-3) Conclusion

Complétant l'analyse du suivi des élèves en classe(*) la construction d'objets techniques confirme et renforce nos hypothèses sur la nécessité de prendre en compte la dimension d'un réel non épuré, en amont des situations d'apprentissage ; de plus, l'attitude de questionnement des élèves face au problème technologique apporte la garantie de la finalité accordée par les élèves à l'enseignement des sciences physiques et favorise l'éclosion des problèmes scientifiques, aussi bien du côté des prévisions que du côté des applications.

III - Elaboration conceptuelle de la méthode

III-1) Du modèle pédagogique "incitatif" (pour l'élève) au modèle pédagogique "appropriatif" (par l'élève)).**

Le choix d'un objet technique étant fait sur les plans technologique, scientifique et pédagogique, reste à engager celui-ci, dans une méthode adaptée au profil de l'élève et répondant aussi aux finalités de l'enseignement en lycée professionnel.

Initialement(***) , nous avons opté pour un enseignement se rapprochant des "méthodes actives" type Freinet, ou centre d'intérêt de Decroly, étayant ce choix à partir :

- des résultats obtenus aux cours élémentaires première et deuxième années ainsi qu'au cours moyen première année comme enseignant dans ces classes de 1955 à 1959.
- de la nécessité de "remotiver" les élèves pour les sciences physiques en adaptant le modèle "incitatif", centré sur l'élève de l'école élémentaire vers celui du lycée professionnel. En effet, à partir de l'objet technique, nous sollicitons aisément les motivations des élèves, leurs intérêts, leurs besoins propres et surtout leur "environnement technologique" ; compte tenu de l'âge des élèves et leur scolarité antérieure au collège, cette transposition se fait essentiellement au niveau de l'environnement, intégrant ainsi les

(*) (B II-1) et (CI-1)

(**) Modèles et modélisation, ASTER N°7, 1988

(***)) Années 1980-1981

objectifs spécifiques en lycée professionnel : la substitution des situations "naturelles" de l'école élémentaire (et surtout hors de celle-ci puisque la méthode à partir de centres d'intérêts puise largement hors des murs de la classe pour ramener ensuite ses "objets" dans la classe) par des situations technologiques, plus faciles d'accès et surtout moins "occasionnelles" ; l'objet technique, saisi hors de la classe, servait alors d'élément suscitant la curiosité, de situation motivante par rapport à la profession future vis à vis d'un élève devenu alors "un demandeur actif, curieux de connaissances fonctionnellement utiles" (13).

Les expérimentations en classe ont apporté effectivement des résultats sur les plans du regain d'intérêt pour les sciences physiques et de la construction de certains outils d'apprentissage ; mais la décontextualisation et les incidences sur les transferts à l'intérieur des sciences physiques et vers les disciplines technologiques ne se sont pas mieux opérées : l'objet technique était et restait un thème, un simple thème, une motivation externe ... dont on se lassait assez vite et les représentations des élèves persistaient dans les évaluations, toujours scientifiquement inopérantes sur le plan cognitif.

Maintenir et surtout prolonger ces motivations mais aussi faire exprimer et mettre à l'épreuve les préconceptions des élèves pour les remettre en cause, les transformer, construire ensuite de nouveaux outils, tel a été ensuite notre premier souci. Pour cela, il nous fallait savoir comment les élèves apprennent, comment le savoir s'acquiert. Les études psychologiques et notamment celles de Piaget ont montré que les connaissances ne s'entassent pas mais passent par "des états d'équilibre à des états de déséquilibre au cours desquelles les connaissances antérieures sont mises en défaut". Une nouvelle phase d'équilibre correspond alors à une phase de réorganisation des connaissances où les nouveaux savoirs sont intégrés au savoir ancien, lui-même parfois modifié.

Tout apprentissage vient donc interférer avec un "déjà-là" conceptuel (14) (15) (16). Les nombreuses recherches en didactique (17) (18) ont montré que "tout projet d'acculturation scientifique doit, d'une manière ou d'une autre, composer" ... Autrement dit, un véritable savoir se définit autant par les transformations conceptuelles qu'il produit chez l'individu que par le produit du savoir qui lui est dispensé (8). Comment repérer ces représentations pour agir sur elles ? Comment installer ces ruptures face à la non-linéarité de la progression du savoir ?

L'attitude de questionnement de Bachelard vis à vis de la science d'une part, les travaux de J.L Martinand sur les objectifs-obstacles (11) et de P.

Mérieu sur les situations-problèmes (19) d'autre part, ont apporté des éléments déterminants comportant des réponses quant à la stratégie à adopter, notamment sur la nécessité d'apprendre par la résolution de problème. C'est ce que nous avons tenté de faire par la suite avec les objets techniques déjà construits à l'époque et ceux que nous avons élaborés par la suite. Pour qu'il en soit ainsi, nous avons essentiellement effectué deux modifications importantes à partir de nos conceptions sur les "méthodes actives" :

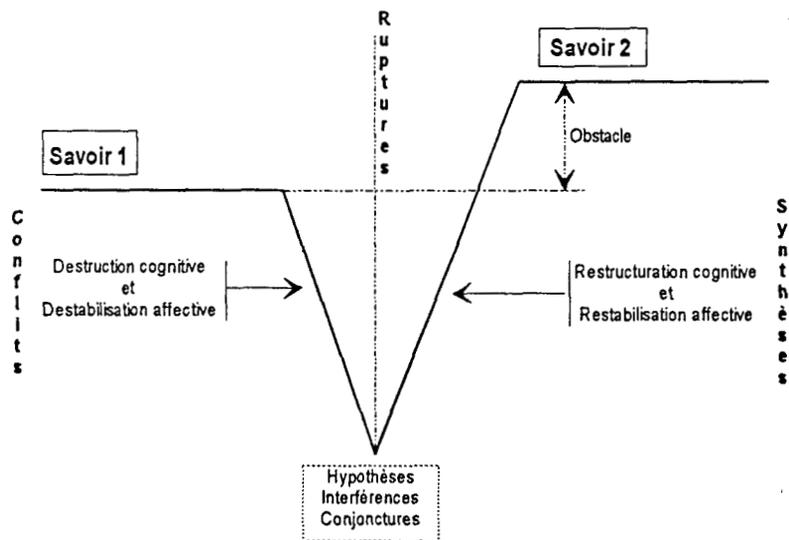
- d'une démarche source d'activité à une démarche formative où l'élève **se construit** de nouvelles conceptions à partir des précédentes, spontanées ou même élaborées scientifiquement et intériorise les exigences de la tâche à accomplir. Dans cet esprit, au niveau des trois pôles, professeur, élèves et savoir :

- le professeur propose une situation expérimentale à partir de l'objet technique, en fonction de l'objectif à atteindre ; il place l'obstacle à franchir au coeur de ce dispositif puis suggère la tâche à réaliser par l'élève de telle manière qu'en l'accomplissant il surmonte l'obstacle et résolve ainsi le problème initial (19).
- le professeur gère ensuite les différentes phases telles que recherche, validation et institutionnalisation et apporte le moment venu certains éléments conventionnels du savoir.
- l'élève émet des hypothèses en fonction de ses préconceptions, propose des solutions, les confronte à l'expérience et aux autres élèves, argumente, conteste ; le professeur fait en sorte que les élèves qui ne se posaient pas de questions s'en posent maintenant.
- au savoir lié aux nécessités de la vie, de l'environnement, nous souhaitons intégrer l'appropriation par les élèves de la structure même de ce savoir, celui-ci contenant ainsi les germes de sa propre évolution ("et si on ...").

- du centre d'intérêt ou du thème vers la situation-problème où l'élève cherche une procédure de résolution du problème en la mettant à l'épreuve. L'adéquation avec l'hypothèse formulée est confirmée ou non ; dans ce dernier cas, une nouvelle situation avec des contraintes différentes apparaît et l'élève devra en effectuant une nouvelle tâche franchir un autre obstacle ... jusqu'à validation expérimentale. En somme, le problème, comme **mobile** de l'apprentissage dans les méthodes actives, est remplacé par le problème comme **moyen** d'apprentissage.

Dans cette nouvelle perspective, c'est donc au travers de la résolution d'un problème choisi par l'enseignant que l'élève construit son savoir : c'est la résistance à cette situation-problème qui oblige l'élève à s'accommoder, à remettre en cause ou à percevoir les limites de ses connaissances anciennes et élaborer de nouveaux outils ou de nouveaux savoirs. A la "déstructuration

cognitive et la déstabilisation affective provoquées par les ruptures épistémologique et psychologique succèdent une restructuration cognitive et une restabilisation affective conduisant à un savoir plus élaboré^(*)



III-2. D'une démarche inductive à une démarche hypothético-constructive.

Pour comprendre le fonctionnement de l'objet technique (ceci constituant la situation pédagogique qui est, dans ce cas, une situation-problème) l'élève devra mobiliser des acquis scientifiques anciens, construire, puis appliquer des lois physico-chimiques (ceci est l'objectif).

Pour :

- tenir compte des représentations des élèves et les faire évoluer.
- que le modèle ou la loi soit véritablement construit(e) par les élèves et ne soit pas seulement enseigné(e) comme tel ou telle.
- que l'expérience ne soit pas déconnectée du réel vécu de l'élève et qu'elle ne soit pas ainsi confondue avec le modèle, nous avons utilisé une méthode s'appuyant sur une démarche hypothético-constructive de l'élève (20) : à partir d'hypothèses émises par les élèves à propos du fonctionnement d'un objet technique, ceux-ci vont élaborer des expériences permettant de les tester ; du succès ou de l'échec de ces dernières dépend la validité ou non de ces hypothèses.

Conséquence sur le plan expérimental :

le rôle et le statut de l'expérience sont profondément modifiés par rapport à la place qu'elle occupe dans la méthode inductiviste. A l'expérience prototypique qui colle au modèle, qui est perçu par les élèves comme un gadget hors du champ de leurs préoccupations, donc sans intérêt pour eux, on substitue une expérimentation qui

^(*) D'après M. DEVELAY, stage des inspecteurs à Paris en 1990

intègre leur acquis, qui nécessite la prise en compte du réel, de tout le réel et non pas seulement d'un réel artificiellement dépouillé, donc de leur réel : l'acquis s'installe par confrontation avec des préjugés rendus scientifiquement caducs et devient progressivement seul mobilisé et opérationnel au lieu de cohabiter avec des représentations erronées.

La construction d'un modèle, c'est à dire la modélisation, à partir d'une situation technologique favorise la mise en place d'un véritable raisonnement scientifique alors que la méthode inductive se réduit souvent à l'enseignement d'un modèle, enseignement court-circuitant les étapes fondamentales indispensables à la formation de l'esprit scientifique.

On propose donc aux élèves de s'engager d'emblée dans une démarche active de construction des connaissances. Ce n'est que lorsque ces élèves se sont engagés dans cette voie qu'on leur soumet une démarche d'appropriation.

III-3) Du constat de la méthode à son appropriation réfléchie par les élèves.

Nous avons situé le problème scientifique par rapport au problème technologique, induisant le choix d'un objet technique approprié à la tâche à accomplir par l'élève pour atteindre les objectifs scientifiques d'ordre cognitif fixés par le professeur ; nous souhaitons aussi que l'élève puisse questionner et identifier sa propre stratégie en mettant en place dans l'apprentissage des situations où il pourra et devra prendre de la distance par rapport à cet apprentissage, en somme qu'il "voit" l'activité pour elle-même ; cette "prise de conscience" (21) facilite la décontextualisation à court terme et une méthodologie adaptée face aux situations technologiques complexes, notamment dans l'étude des processus en chaînes comme les chaînes de comptage, d'emboutissage, de capteurs. Le professeur met en place ces situations (cas du rotor dans l'étude des forces électromagnétiques dans l'exemple choisi par la suite) et incite les élèves à effectuer des recherches dans ce sens à partir de documents constructeurs, de revues techniques, des comptes-rendus de stages industriels ; exploitées didactiquement par la suite, certaines de ces situations ont d'ailleurs induit l'étude d'autres objets techniques : benne de grue en statique, résines échangeuses d'ions pour l'étude des équilibres chimiques ioniques et leurs déplacements.

Que doit faire l'élève pour qu'il en soit ainsi ?

- Avec M. DEVELAY(*) nous prendrons en compte trois critères, correspondant à 3 pôles d'activités de l'élève propices à cette auto-analyse (métacognition) (22) :

- la tâche à accomplir et le critère de réussite associé.
- le problème à résoudre et le critère de structure.
- la situation proposée par le professeur et dans laquelle se trouve le problème (et du même coup l'élève) et le critère de correspondance.

- Comment expliciter ces critères et que renferment-ils, vus du côté élève ? Qu'en est-il en électricité, par exemple dans la compréhension du problème technologique qu'est le fonctionnement du rotor et du problème scientifique lié à l'origine des forces électromagnétiques ?

du point de vue de la tâche.

Comment saurai-je que j'ai réussi ?

- Le rotor tourne ou ne tourne pas.
- Le fil conducteur parcouru par un courant se déplace ou non.

Qu'est-ce que j'ai à faire pour cela ?

- Concevoir et réaliser une expérience où un fil conducteur du courant est susceptible de se déplacer lorsqu'il est soumis à certains facteurs "interne" (courant) et "externe" (champ magnétique).

du point de vue du problème à résoudre.

Pour mieux réussir cette tâche, quels problèmes ai-je à résoudre ?

- Faire un schéma du dispositif que je me propose de réaliser, Dresser une liste de matériel

En ai-je déjà résolu des voisins ou même des identiques ?

- Où ai-je déjà rencontré la notion de mouvement . En mécanique ? Dans l'étude des forces ... ? Alors,...

Si oui, comment m'y étais-je pris ?

- Recherches sur cahiers de cours, documents, échanges avec les autres (professeurs et élèves).

du point de vue de la situation

(*) D'après M. DEVELAY, stage des inspecteurs à Paris en 1990

Quelle est pour moi la meilleure façon de travailler ?

- Observer le rotor : qu'il y a-t-il dans ce rotor ? Comment sont logés les conducteurs ? Sont-ils parcourus par un courant ? Comment le vérifier ?

Quelles règles d'action me sont imposées ? Comment articuler ce que je dois faire avec ces règles ?

- J'ai du matériel à ma disposition. ? Qu'est-ce que je dois en faire ? L'ai-je déjà utilisé ? Quand ?

D - GESTION DIDACTIQUE DE LA METHODE : LA CLASSE-LABORATOIRE

Quelle démarche pédagogique peut-on proposer pour que les objectifs précédents soient atteints ? Comment faire en sorte que la méthode elle-même puisse être prise en compte puis réinvestie par les élèves seuls face à d'autres situations technologiques ? Autrement dit, comment peut-on articuler concrètement les objectifs scientifiques avec les finalités pédagogiques en L.P.

Dans le cadre de la recherche d'une réponse à ces questions, nous avons mis en place à travers de nombreux essais pédagogiques une stratégie : la classe-laboratoire, compromis entre une situation d'apprentissage au laboratoire et en cours "magistral".

I - Les apprentissages au laboratoire et en classe.

I-1) Au laboratoire

Les essais ont duré trois ans ; chacun d'entre eux s'est déroulé pendant les deux premiers mois de chaque année scolaire. Nous avons constitué quatre groupes de quatre élèves, chaque groupe travaillant à tour de rôle au laboratoire.

Le but de cet essai était :

- de déterminer les conditions d'apprentissage permettant une évolution des connaissances spontanées des élèves (conflits cognitifs).
- de tester les activités ainsi retenues et d'évaluer dans quelle mesure elles permettent d'atteindre les objectifs fixés.
- d'analyser le langage utilisé par les élèves et d'y corriger certaines ambiguïtés.

L'observation des réactions individuelles des élèves, effectuée avec le support d'un enregistrement au magnétoscope et l'analyse des notes et relevés de l'élève permettent de hiérarchiser aisément les niveaux de difficulté de l'apprentissage. Aucune indication n'était donnée à l'élève en ce qui concerne la présentation des conclusions.

Pour analyser cet essai, nous avons considéré :

- les interprétations par les élèves des différentes situations proposées.
- l'analyse des cassettes vidéo.
- les traces écrites au moment de l'expérimentation et les résultats aux contrôles ponctuels et finals.

I-2) En classe complète

L'expérimentation a duré également trois ans sur huit séances de deux heures chaque année, avec le même horaire global pour chaque élève qu'en situation d'apprentissage au laboratoire ; le même thème au même niveau était envisagé avec le même professeur, une année sur deux (alternance en laboratoire et en classe).

Le but était :

- d'adapter les activités à une autre situation didactique : la classe entière (matériel, laboratoire, durée de chaque séquence ...).
- d'élucider les activités qui permettent une meilleure compréhension des notions étudiées par les élèves et d'apprécier l'évolution de l'attitude de l'élève pour résoudre un problème (conflits socio-cognitifs).

I-3) Conclusions

Satisfaisant sur le plan de l'évolution des concepts, l'apprentissage au laboratoire est d'une gestion difficile pour le professeur : peu ou pas de laboratoire en lycée professionnel, maintien d'un groupe au laboratoire et parallèlement activités didactiques insuffisamment soutenues pour le reste des élèves de la classe considérée ... Nous l'avons proposé essentiellement en soutien et au cours des P.A.E..

L'apprentissage en classe est souvent bâti autour d'un cours magistral avec expérience unique pour chaque groupe d'élèves, la même pour tous, afin de vérifier ou tester telle ou telle hypothèse émise, souvent celle qui allait être positivement validée expérimentalement ultérieurement. Les enquêtes menées

ont donné des résultats globaux meilleurs que par l'emploi d'une méthode inductiviste, au niveau de la conceptualisation ; cependant, 40% des élèves se montraient encore incapables de décontextualiser après apprentissage ; nous avons cependant continué à opérer avec cette stratégie dans certains cas : gestion du temps, du matériel, de la salle de classe, inadaptabilité de la classe-laboratoire à certains contenus du programme comme atomes ou molécules, électrostatique ...

II - Les apprentissages en classe-laboratoire

Nous avons articulé les progressions autour de classes-laboratoires ; les douze élèves de la classe étaient répartis en six groupes.

II-1) Mise en oeuvre pédagogique de la classe-laboratoire

1ère séquence : *la situation problème posée par le fonctionnement de l'objet technique : hypothèses émises par les élèves.*

- L'objet technique choisi par l'équipe pédagogique est présent et en fonctionnement.

- Les élèves se posent des questions en vue d'apporter leur solution personnelle au problème posé :

- Pourquoi le moteur électrique tourne-t-il? Pourquoi y a-t-il des étincelles aux balais ? Est-ce lié ? ...
- Pourquoi dans la pompe à chaleur la température de la source froide a-t-elle tendance à diminuer et celle de la source chaude à augmenter, en régime dynamique ? "Même que de la glace apparaît au niveau des canalisations de l'évaporateur !". Pourquoi de la chaleur est-elle transférée de la source froide vers la source chaude à l'inverse d'une transformation spontanée ? " La pompe à chaleur est un réfrigérateur qui fonctionne à l'envers... On l'a dit souvent à la télé ! "
- Pourquoi dans un moteur thermique le piston se déplace-t-il ? Quel est le rôle de la chambre de combustion dans ce moteur ?

- Les élèves sont ensuite amenés à émettre des hypothèses d'explications ; l'inventaire de toutes leurs propositions permet de repérer leurs représentations spontanées persistantes ou des modélisations tâtonnantes. Selon le type de classe, le temps dont on dispose et le style pédagogique adopté, on classe ces hypothèses^(*) et on opère un choix soit dirigé, soit après

^(*) Ce classement peut constituer le cheminement ou la progression pour l'ensemble des cours autour du sujet traité.

un débat contradictoire pour repérer celles qui vont donner lieu ultérieurement à la construction d'une situation explicative satisfaisante. Dans cet esprit, une seule hypothèse peut donc être retenue après débat, ou bien, on peut, au contraire, favoriser la construction de situations explicatives différentes à partir d'hypothèses contradictoires en stimulant la mise en place d'équipes "rivaux", c'est ce que nous avons fait dans la plupart des cas, pour trancher un éventuel différend.

- Cette phase peut donc être considérée comme situation de production des représentations des élèves à travers leurs hypothèses émises. Pour qu'il en soit ainsi et que l'efficacité de l'ensemble de la méthode ici envisagée soit optimale, l'activité proposée aux élèves doit :

- reposer sur un véritable problème à résoudre.
- être comprise par tous.
- permettre un engagement des connaissances antérieures de l'élève.
- présenter une résistance suffisante pour faire évoluer ces connaissances antérieures.

2ème séquence : L'expérimentation, test des hypothèses et phase initiale de la modélisation.

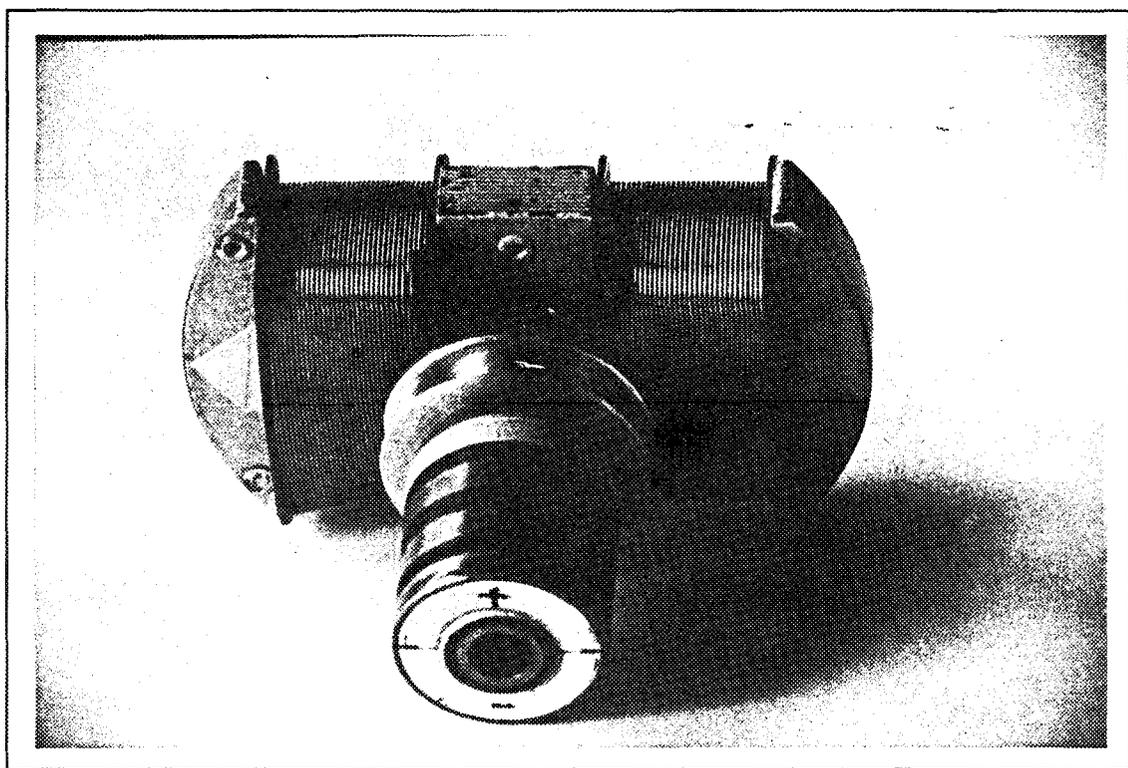
- Comment passer d'un problème technologique à un problème scientifique ? Quelles expériences choisir et qui les choisit ? L'élève seul ? Comment faut-il les mener ? Que faire des résultats de ces expériences ? Qui sanctionne ?

- Les expériences doivent permettre de tester les hypothèses émises par les élèves, hypothèses renfermant leurs représentations sur lesquelles nous prétendons agir, en les faisant évoluer. Les expériences s'effectuent sur un objet expérimental tel que :

- fil conducteur parcouru par un courant électrique et soumis à un champ magnétique pour les forces électromagnétiques.
- vaporisation et condensation d'un corps pur et échanges correspondants de chaleur avec le milieu extérieur.
- réactions de combustions et caractère exothermique de celles-ci.

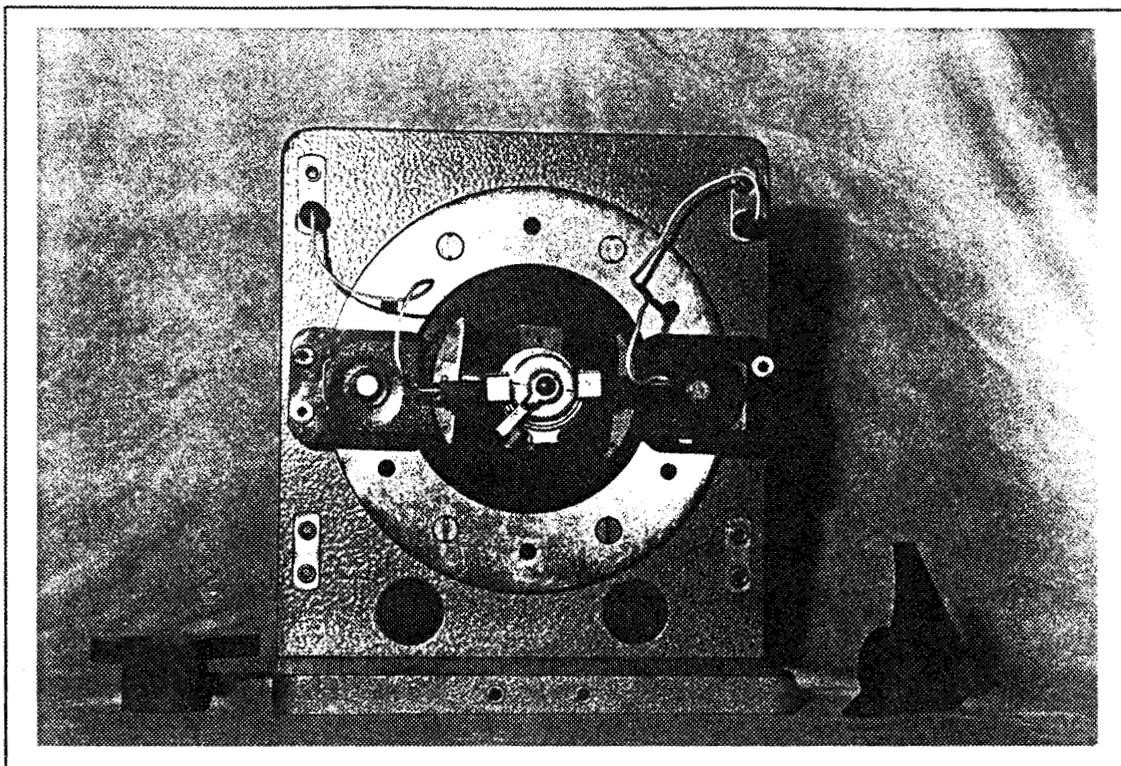
- Comment passer de l'objet technique ou d'un sous-ensemble de celui-ci à l'objet expérimental à travers les hypothèses émises ? L'élève peut-il concevoir seul les situations expérimentales correspondant aux situations technologiques ? Certes, il existe des exemples où le passage de l'un à l'autre

est relativement facile comme dans les chaleurs de combustion. Mais au niveau par exemple de la nécessité pour l'élève de concevoir l'étude expérimentale de la loi de Laplace à partir d'un moteur électrique, l'élève peut-il franchir seul cet écart ? Certes non, car il suffit de nous rappeler lorsque, élèves nous-mêmes dans le secondaire, le professeur nous faisait passer allègrement de l'étude de cette loi de Laplace aux fameuses " applications à un moteur " ; il fallait alors beaucoup d'imagination pour comprendre le fonctionnement d'un tel moteur à partir du dispositif "épuré" présent sur la paillasse du professeur ! Après tâtonnements, essais, nous proposons alors des aides aux élèves, des étapes intermédiaires constituées, dans cet exemple, de deux machines didactiques simplifiées ayant le même rotor :

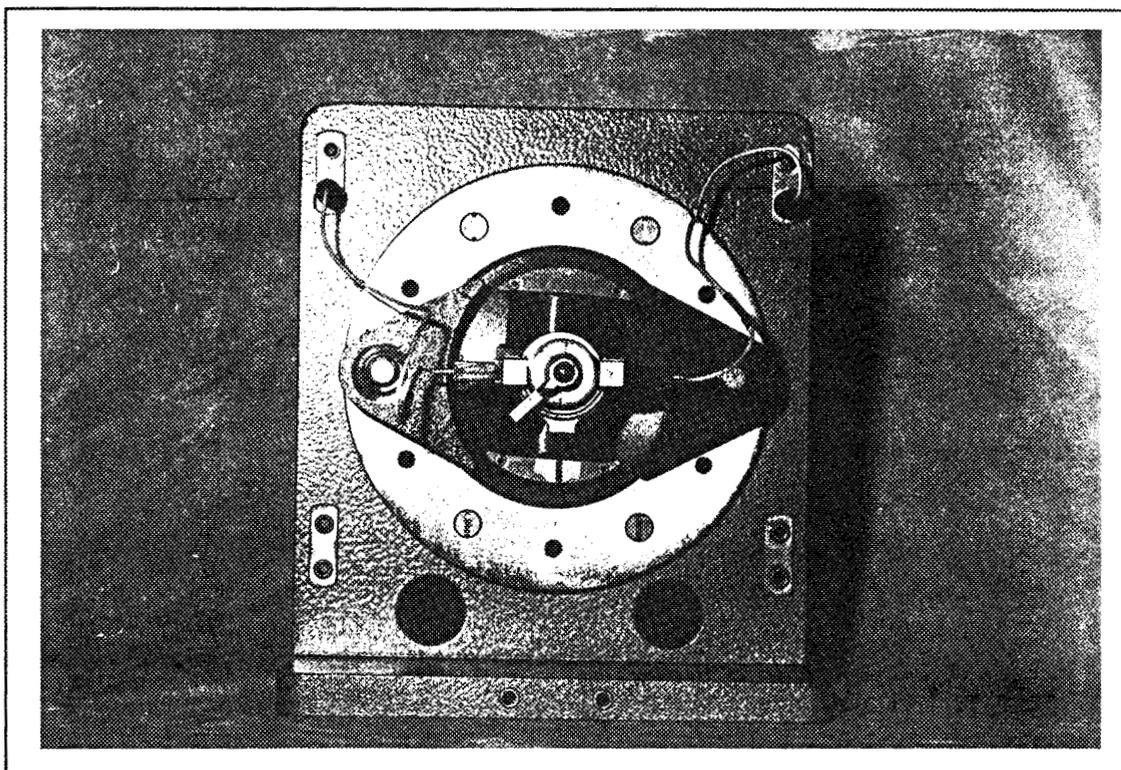


Le rotor

- Il revient à l'élève seul de prendre en compte ces informations et de les transformer ensuite en connaissances ; le professeur veille à cette appropriation en faisant prendre conscience à l'élève de l'itinéraire suivi puis en engageant ultérieurement ces acquis dans d'autres situations.

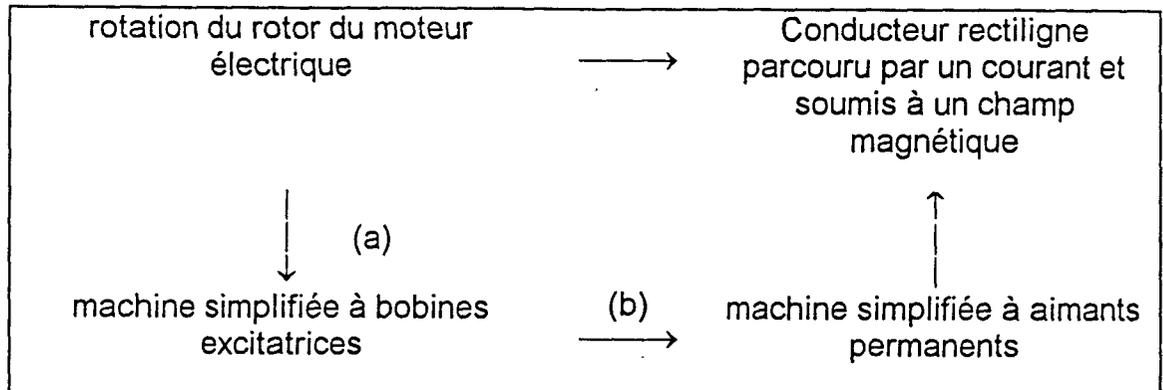


l'une dont le stator est constitué de **deux bobines**,
comme dans un moteur réel



l'autre dont le stator est constitué de **deux aimants permanents**

- En ce qui concerne ces deux machines simplifiées, la première est plus proche de l'objet technique tandis que la seconde(*) se rapproche davantage de la conception de l'objet expérimental. Deux cheminements ont donc été proposés et étudiés avec des groupes d'élèves différents.



- Pour les phases (a) et (b), d'autres aides sont aussi proposées aux élèves en "amont" du conducteur rectiligne; il s'agit de bobines réelles de transformateurs démontables, de wattmètres puis de bobines "simplifiées", géométriques, enfin la spire et le fil conducteur rectiligne.
- Selon le niveau de la classe, le choix de l'objet technique, "l'écart" entre celui-ci et l'objet expérimental, le professeur pourra donc faire envisager différents itinéraires.

- La réussite de l'expérience a valeur de confirmation de l'hypothèse émise ; dans la construction du modèle scientifique, la première phase de la tâche à accomplir par l'élève pour résoudre le problème posé est remplie. Si, par contre, l'essai expérimental n'est pas concluant, l'élève est alors conduit à remodeler l'hypothèse émise à propos du fonctionnement de l'objet technique ; c'est donc vers lui qu'il faudra se tourner de nouveau pour modifier cette hypothèse ou pour en reprendre une autre non retenue initialement et dont il faudra à nouveau tester la pertinence, "programmant" d'autres types d'exercices. A ce niveau, l'élève adopte donc une démarche où les hypothèses se vérifient par l'échec ou la réussite des expériences élaborées à partir d'elles. La validation et la sanction ne viennent donc pas de l'enseignant, mais de l'expérience elle-même ; les apports de celui-ci aux niveaux des aides didactiques et des savoirs sont distincts des preuves qu'il appartient aux élèves d'apporter par l'expérimentation.

- C'est donc un va et vient permanent qui s'installe entre l'objet technique, les hypothèses soulevées et l'expérimentation correspondante. Indispensable sur le plan scientifique, ce va et vient s'impose aussi sur le plan

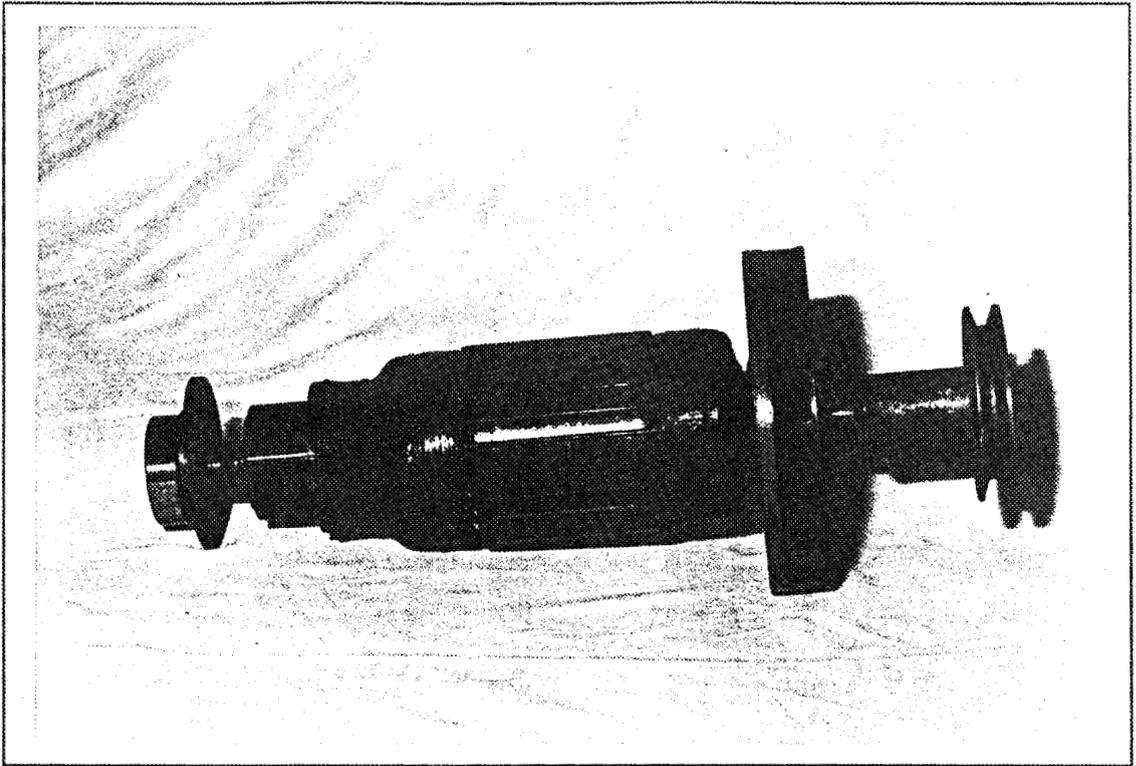
(*) Le moteur "réel", à aimants permanents, existe, notamment dans les petites machines (moteur d'essuie-glace) et dans certains moteurs pas à pas.

méthodologique pour que l'élève comprenne, apprenne et s'approprie la méthode. Pour y parvenir, il faudra donc "replacer" la situation expérimentale, après son étude, dans l'objet technique ; par exemple, lors de l'étude de la loi de Laplace à partir de la rotation du rotor dans le champ magnétique du stator du moteur industriel, le fil conducteur (ou l'ensemble des fils conducteurs logés dans une encoche) doit être :

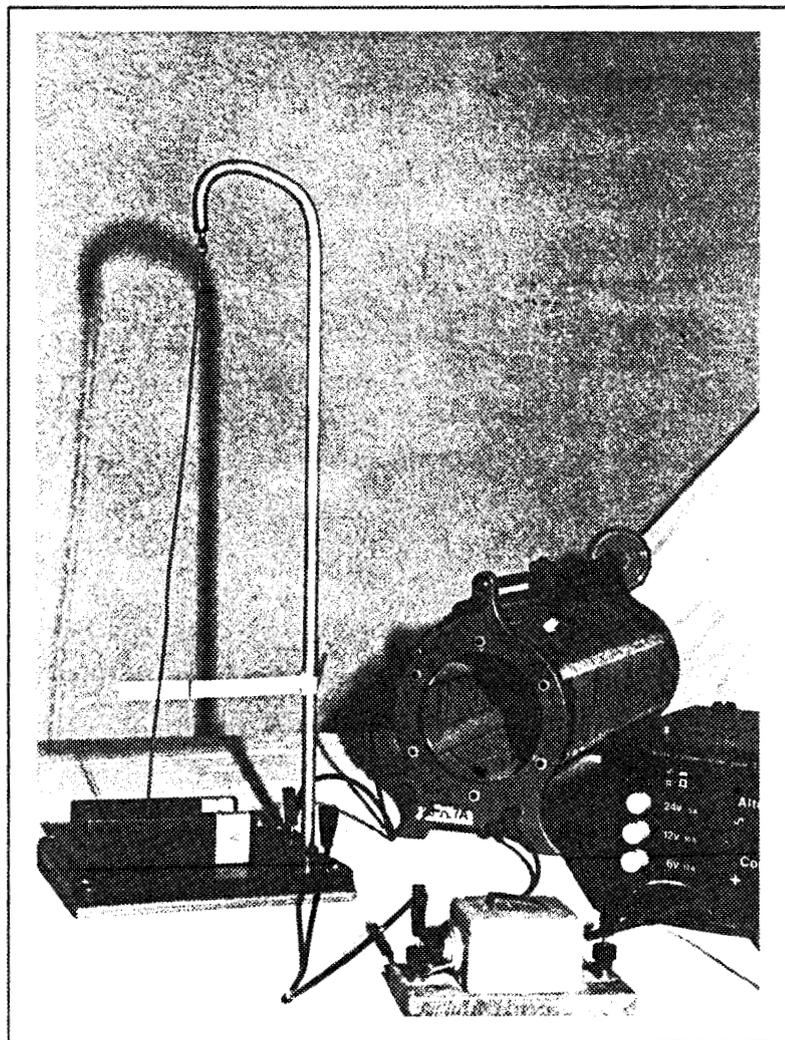
- "extrait" du rotor lui-même.
- soumis à un champ magnétique autre que celui du stator de ce moteur : bobines de transformateur (par exemple) ou aimants permanents.
- réintroduit dans le rotor initial, lequel, mis de nouveau sous tension, sera capable de fonctionner (tourner dans ce cas).

- Qui décide de cette démarche ? Le choix des activités réparties entre les différents groupes de la classe-laboratoire permet de gérer cette situation. Certains élèves ont travaillé sur un rotor donné et placé dans des champs magnétiques d'origines différentes (courants ou aimants, bobines de formes variables, ...) ; d'autres ont étudié le comportement de différents rotors dans un champ magnétique imposé pendant que certains groupes testaient leurs hypothèses sur des objets expérimentaux : roue de Barlow, rails ... Les élèves, aidés du professeur reprennent ensuite ensemble expérimentalement le cheminement depuis le rotor, notent, relèvent les moments où ils ont pris leur décision devant le choix de l'objet expérimental, de l'appareil de mesure adéquat ... Nous souhaitons, donc à travers ces essais, que l'élève s'approprie son "itinéraire" par un questionnement de ses choix. "Pourquoi ai-je fait telle ou telle expérience ? Qu'est-ce qui m'a amené à cette décision ? Pourquoi l'autre groupe a-t-il préféré une autre expérience alors que nous avons émis les mêmes hypothèses à propos du fonctionnement du rotor ? Y a-t-il un lien entre l'expérience que je fais et la leur ? Est-ce que je pourrais construire un rotor à partir de l'expérience que je fais actuellement ? Que faudrait-il modifier ou ajouter pour que cet élément "tourne" ? Aurai-je ainsi répondu au problème de départ, à savoir "Pourquoi le moteur "vrai" que le professeur a présenté tourne-t-il ? ... Je vais aller m'informer de ce qu'il y a d'identique et /ou de différent entre ce que je viens de réaliser et le "vrai" moteur ... Peut-être que j'ai construit un véritable moteur!".

- Les expériences sont menées par les groupes d'élèves selon les hypothèses qu'ils ont émises ; ils choisissent progressivement dans le temps, de manière autonome le matériel et le montage adéquats, chaque équipe



Un rotor avec fils conducteurs dans les encoches



Etude expérimentale de la loi de Laplace à partir d'un des conducteurs actif du rotor

tâchant de prouver la supériorité de l'hypothèse qu'elle a retenue (choix du matériel et des équipements, montage, pertinence des paramètres choisis ...). La matérialisation ou la concrétisation d'une entité conceptuelle devient donc possible à ce stade ; en modifiant un aspect ou un paramètre du phénomène étudié et en visualisant avec un appareil approprié la modification ou la variation concomitante de la grandeur correspondante, on se donne les moyens d'une maîtrise qualitative et quantitative des phénomènes physiques, autrement flous, abstraits, sans liens entre eux.

- Ce test expérimental installe donc des ruptures ou, dans certains cas, confirme scientifiquement les préconceptions des élèves. Ce n'est qu'à ce prix que l'élève appréciera ou non l'efficacité de la démarche pédagogique, et, du même coup, la validité du modèle à construire. L'apprentissage de la conduite consciente de sa propre pensée, (vécue dans l'exemple précédent à travers le fil conducteur "extrait" du rotor, soumis à l'expérimentation puis replacé dans la position initiale,) lui permettra de surmonter les difficultés posées par les situations technologiques complexes qu'il rencontrera dans la vie professionnelle, si l'équipe pédagogique a su mettre en place concrètement cette "décentration métacognitive" (22)

3ème séquence : *Exploitation des données numériques fournies par les mesures sur l'objet expérimental ; élaboration du modèle.*

- Que doit faire l'élève avec les résultats expérimentaux fournis par les appareils de mesure ? Peut-il seul les exploiter et les ordonner pour accéder à la loi ? Faut-il le guider ? Comment ? L'objet technique en fonctionnement peut-il l'aider dans l'organisation de ces données ? Le problème posé et la tâche à accomplir peuvent-ils l'orienter ? Existe-t-il des moyens pour prendre en compte à la fois les paramètres de la situation réelle et faciliter l'accès à la modélisation avec des élèves en difficulté d'abstraction ?.

- Des observations que nous avons faites, il découle deux constatations :

- d'une part, la dépendance variationnelle des grandeurs mesurables prises deux à deux, les autres étant bloquées, est loin d'être acquise : la construction personnelle doit donc être guidée en vue de son appropriation.
- d'autre part, il est souvent illusoire de s'attendre à ce que l'élève puisse analyser seul l'ensemble des résultats de mesures : ce traitement implique en effet l'utilisation de signifiants mathématiques que les élèves de L.P ne maîtrisent pas suffisamment sur le plan

formel, essentiellement du point de vue de la schématisation, géométrisation et de l'algébrisation.

- Des remarques des élèves :

- Le moteur électrique semble toujours tourner à vitesse constante ... même sans charge ! Si je modifie l'intensité du courant qui alimente les bobines du stator, la vitesse est modifiée dans le même sens ... Pourquoi ? Y a-t-il une limite ? Pourquoi ? Comment pourrais-je en tenir compte sans détériorer la machine ? Et pourquoi, d'ailleurs, y aurait-il un risque pour celle-ci, dans ce cas ? Quelle en serait la cause ?

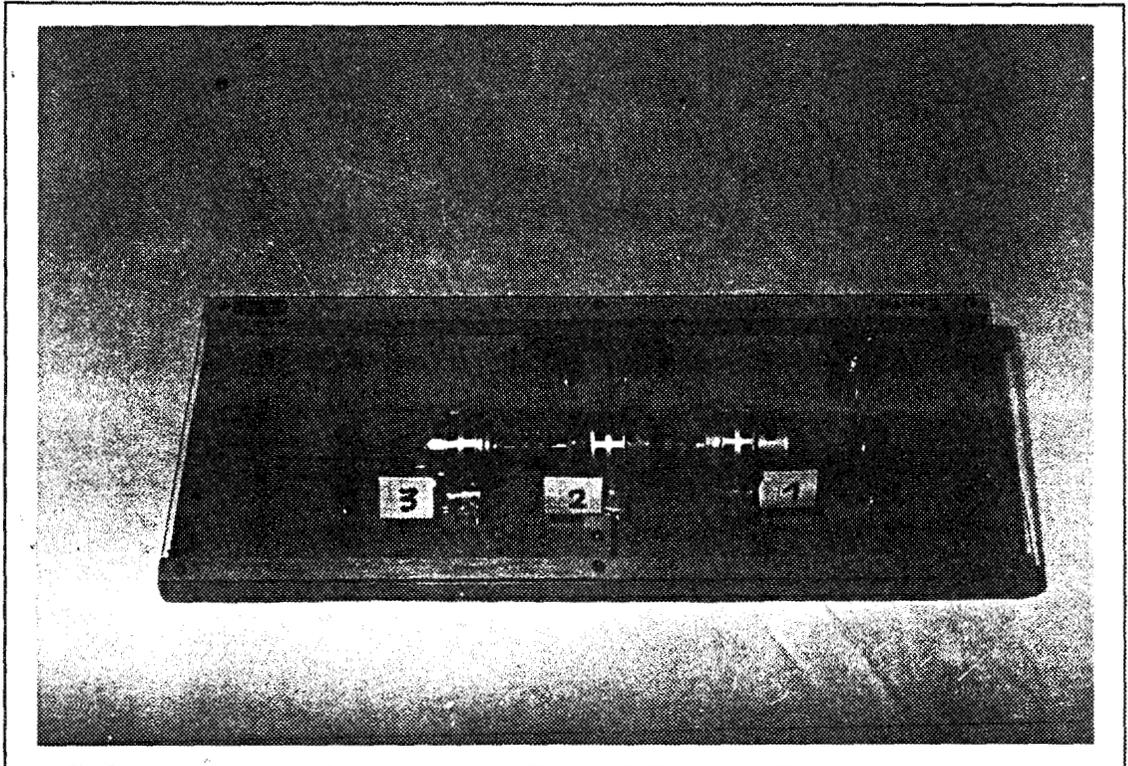
- Dans l'expérience que je fais sur la table, je peux aussi modifier la vitesse de déplacement de la roue ou du rail, en faisant varier l'intensité du courant, le champ magnétique ... De même, si j'augmente la longueur du (des) fil(s) conducteur(s), je constate que la vitesse de rotation augmente aussi ... Y a-t-il alors un lien entre le bobinage du rotor et/ou du stator et les caractéristiques lues sur la plaque signalétique de la machine. Comment pourrais-je expérimentalement étudier l'influence du diamètre de l'arbre du rotor sur le couple moteur d'origine électromagnétique ? Est-ce qu'un "gros" (volumineux) moteur tourne plus vite qu'un moteur plus "petit" ? Y a-t-il une relation entre la vitesse et la puissance ? Je ne peux le vérifier sur l'expérience que je fais ! A quoi ça sert alors l'expérience si je ne peux pas prévoir qu'il faut tel ou tel moteur pour accomplir telle ou telle tâche dans le stage industriel ! Est-ce que dans l'expérience, il manque des "choses" par rapport au moteur vrai ? Et s'il manque ces choses, comment pourrais-je comprendre et plus tard dépanner !

- A ce stade, les confrontations entre les groupes d'élèves travaillant sur le même sujet avec des expériences différentes et le décodage de la plaque signalétique ont permis à l'élève de faire un premier tri parmi les nombreuses informations reçues et l'orienter vers la découverte de la solution, c'est à dire, ici, en un premier temps, la pertinence des variables retenues, l'organisation du "tableau de mesures" et son exploitation.

- Cependant, l'écart entre objet technique et objet expérimental reste important et l'activité de modélisation délicate pour ces élèves de L.P en difficulté sur le plan de l'abstraction. Comment alors concilier notre souci de traiter des situations réelles donc complexes et de ne plus aborder dès les premières étapes des situations épurées, plus proches des mathématiques que des sciences physiques ? De quel moyen dispose-t-on pour aider l'élève à prendre en compte tous les paramètres, à savoir dans le cas d'une machine électrique la tension, le courant et la vitesse de rotation ? Pour tenter de trouver une solution, nous avons apporté aux élèves des informations concrètes sur le plan expérimental ; là aussi, l'élève, par son action propre,

devait transformer ces informations en connaissances. Trois types d'apports ont été envisagés au cours de l'étude de ce moteur :

- Nous avons tout d'abord construit un banc d'essais composé de trois machines identiques, l'une fonctionnant en moteur, l'autre en dynamo et la dernière entraînée par les deux autres en dynamo tachymétrique ; d'une part la vitesse de rotation de celle-ci peut être mesurée et, d'autre part, son signal de sortie, réinjecté à l'entrée permet de réguler la vitesse de rotation quand la charge du moteur varie, par asservissement.



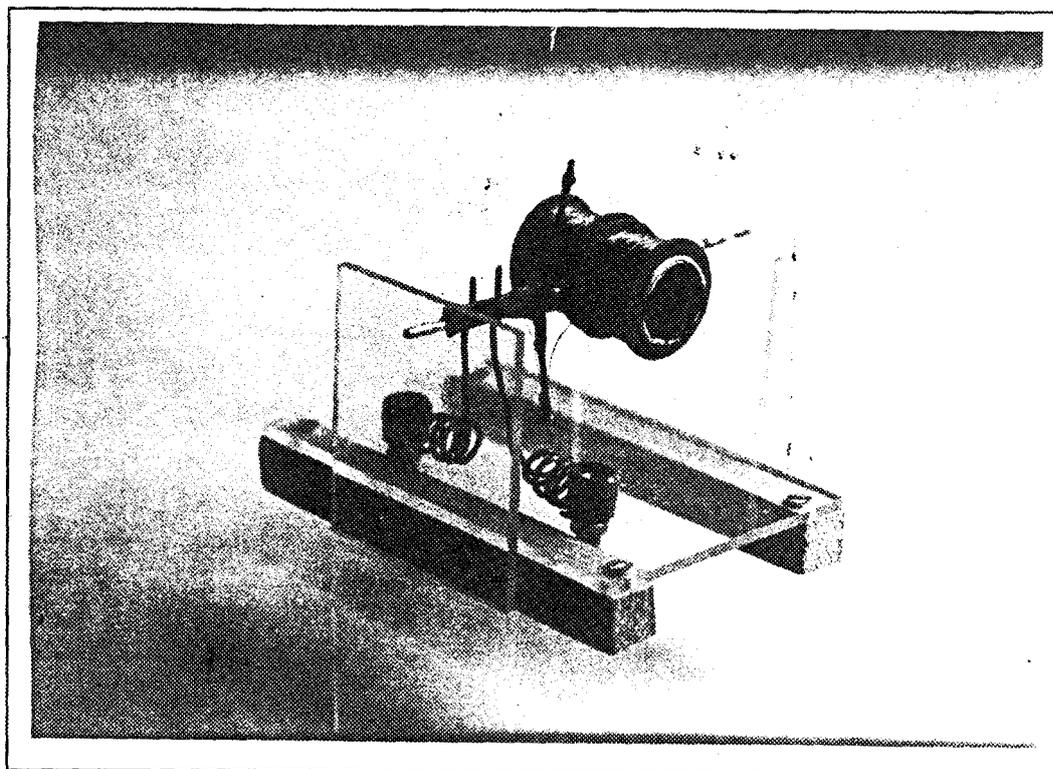
Banc d'essai construit

- Nous avons ensuite informatisé ce banc ; cette informatisation, c'est à dire ici le traitement automatisé des résultats a permis aux élèves, sur le montage réel lui-même, de faire varier les trois paramètres et d'en analyser ensuite les effets : l'approche des caractéristiques tension/courant à vitesse donnée, leur sens physique sur le plan de l'explication et de la prévision des résultats ont trouvé plus aisément leur justification : le point de fonctionnement établi à partir des réseaux de caractéristiques a pu être vérifié à l'aide d'appareils de mesures et ce point de fonctionnement a été, à son tour, à l'origine de la redécouverte de l'essentiel des caractéristiques nominales du moteur lues sur sa plaque signalétique. Cet apport de l'informatique à la fois pour mieux maîtriser des situations complexes, réduire l'écart entre objet technique et expérimental et comparer les modèles théoriques aux résultats expérimentaux par un va-et-vient permanent nous a semblé efficace pour les élèves de L.P ; nous l'avons mis en place dans deux des trois cas étudiés dans la proposition :

* le moteur

* la pompe à chaleur pour la régulation des températures aux niveaux des sources.

• La construction, enfin, d'un petit moteur électrique par les élèves en atelier a permis de valider le choix des paramètres retenus dans l'expression de la force de Laplace : cette opération de synthèse mobilise des compétences parmi le champ de ressources théoriques et concrètes de l'élève en vue de résoudre une tâche ; elle conforte là aussi, auprès des élèves, le rôle des sciences physiques.



Moteur électrique construit

- C'est donc un travail d'élaboration du modèle expérimental puis théorique, donc de modélisation et non pas d'enseignement d'un modèle que sous-tend la démarche adoptée. Loin de rejeter les tâtonnements et les erreurs, elle les mobilise au contraire dans la participation à la construction du modèle : l'élève se trouve alors dans une réelle situation de recherche et pas simplement dans un travail de simple exécutant de consignes totalement préparées à l'avance.

4ème séquence : Décontextualisations scientifique et méthodologique.

La loi étant finalement construite, il s'agit d'en éprouver la valeur explicative et prédictive en l'étendant à des champs d'investigations plus larges ou différents du contexte qui a permis de l'établir. Là encore, le contrôle sera essentiellement expérimental et il permettra de définir les limites et la portée

d'une loi qui "n'est ni vraie, ni fausse mais valable dans le cadre d'une approximation donnée" (23).

Les types d'exercices proposés sont nombreux ; citons par exemple :

- La découverte avec l'aide de documents du fonctionnement d'objets techniques de conceptions voisines ou complémentaires où l'élève sera amené à utiliser la démarche précédente et mobiliser des savoirs et savoir-faire acquis :
 - appareils de mesures de type magnétoélectrique pour les forces de Laplace.
 - réfrigérateur en thermodynamique pour les échanges de chaleur avec sources chaude et froide et comparaison des cycles.
 - principe de fonctionnement du moteur DIESEL où, dans ce cas, c'est le phénomène parasite et incontrôlé du moteur à allumage commandé, à savoir l'autoinflammation, qui joue ici le rôle utile et essentiel d'où l'absence de bougie d'allumage pour les petites cylindrées, en DIESEL.
- La prévision par le calcul d'une chaleur de réaction à partir des énergies de liaison et la vérification concrète à l'aide d'un calorimètre ou d'une bombe calorimétrique.

Ces exercices constituent des modes d'évaluation privilégiés au cours d'une classe-laboratoire ; le contrat didactique instauré par la méthode y prend une nouvelle dimension sur les plans psychologique, cognitif et social.

II-2) Mise en oeuvre pratique de la classe-laboratoire.

Une disposition de la salle de classe

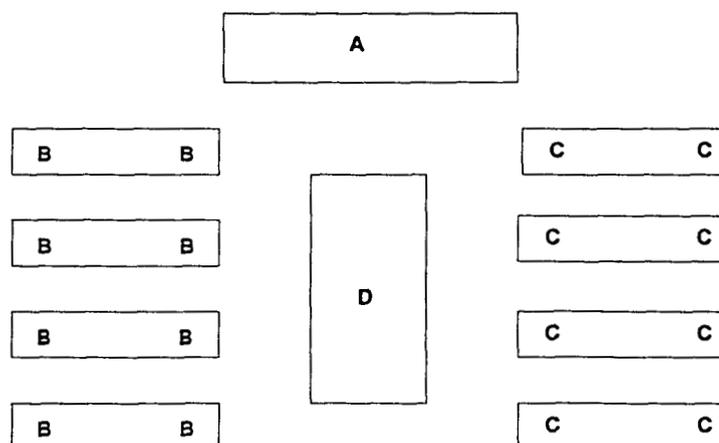


Table "A" pour l'objet technique en fonctionnement : dimension élèves-professeur et situation-problème.

Tables "B" occupées par les élèves pendant l'expérimentation et les exercices expérimentaux ; elles disposent de sources d'énergie(*) : dimension élèves-expérimentations en aval des hypothèses, en amont et en aval de la modélisation.

Tables "C" occupées par les élèves pendant la synthèse-interprétation ; pas de matériel, pas de source d'énergie : dimensions élèves-élèves, élèves-savoir, élèves-professeur.

Tables "D" avec du matériel scientifique préparé par le professeur, matériel présenté "en vrac".

Intérêts de la disposition :

Le professeur peut s'adresser à toute la section pendant la mise en place de la situation - problème autour de l'objet technique, pendant la synthèse et la conclusion : les interrogations collectives et individuelles d'une part, le contrôle et l'évaluation d'autre part en sont facilitées.

Le professeur peut conseiller, aider voire rectifier pendant les phases expérimentales en B ; progressivement, selon leur rythme de travail et les difficultés à surmonter, les élèves évoluent de B en C et de C en B : les groupes ayant beaucoup d'autonomie par rapport au champ notionnel et ceux qui nécessitent un soutien sont ainsi repérés ; cette disposition évite donc aux élèves en difficulté de "traverser" les situations d'apprentissage en spectateurs passifs ou d'être relégués à un rôle d'exécutants de tâches définies par d'autres.

Les élèves peuvent et doivent choisir librement le matériel scientifique en D après avoir construit une liste écrite des appareils nécessaires en fonction d'une expérimentation donnée.

Un déroulement "temporel" des quatre séquences pour une classe-laboratoire de "deux heures".

- 15 minutes pour la première phase.
- 45 minutes pour la seconde.
- 20 minutes pour la troisième.
- 30 minutes pour la dernière phase.

(*) (*) eau, gaz, électricité

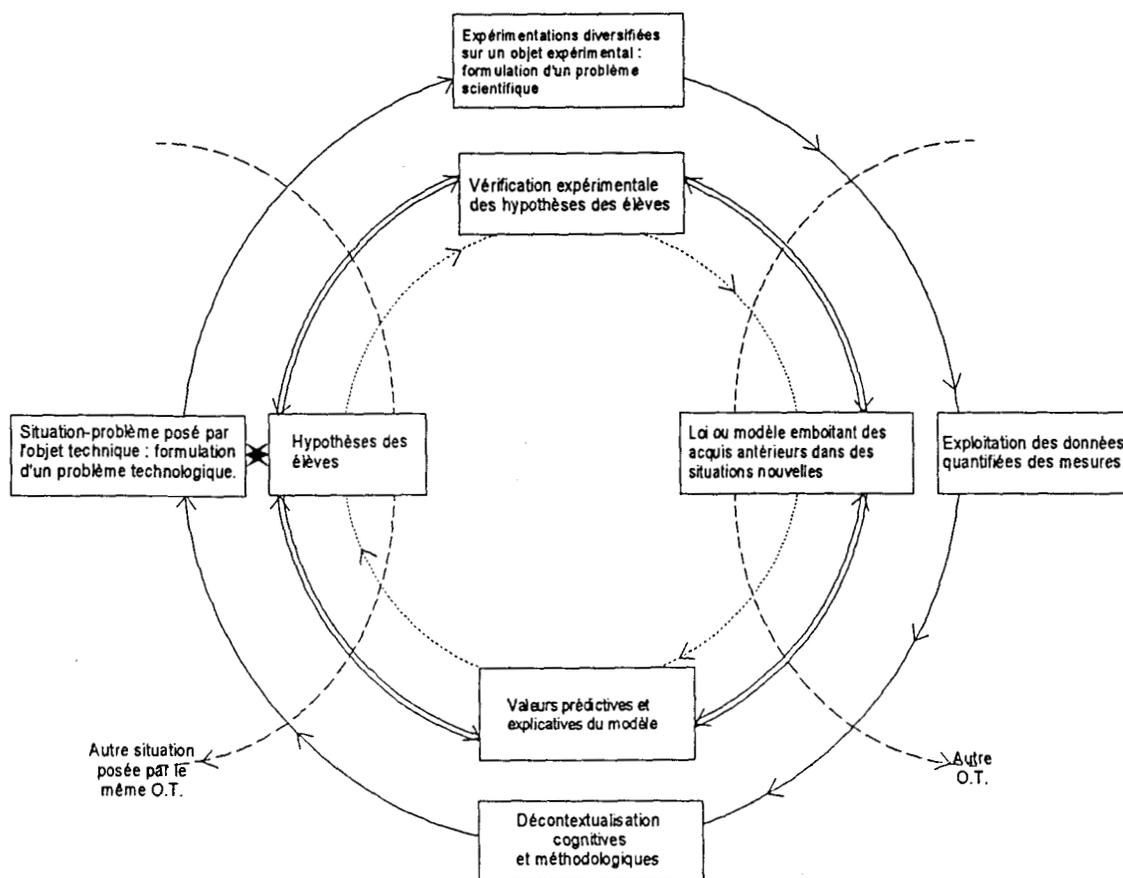
III - Conclusion

Nous proposons donc dans cette classe-laboratoire une démarche hypothético-constructive à partir d'une situation technologique posée par l'objet technique en fonctionnement devant les élèves.

La gestion de ces activités, dans le cadre de la classe-laboratoire :

- prend en compte les représentations des élèves et leur donne la possibilité d'intégrer des informations nouvelles à leur système de connaissances.
- contribue à la construction d'un modèle à partir d'une situation réelle (et pas simplement concrète).
- installe un contrat didactique et précise ce qui peut être fait, ce qui est attendu dans l'évaluation pour montrer ce que l'on sait, donc les règles du jeu.
- développe un apprentissage méthodologique des situations technologiques, préparant ainsi le devenir professionnel.
- instaure un système de ressources pour les élèves en leur donnant la possibilité de remodeler leur savoir en fonction du problème à résoudre.

Nous résumons ci-dessous les différentes séquences de la classe-laboratoire où figurent les processus de régulation permettant l'appropriation de la méthode et son extension.



E - DISCUSSION

Il convient maintenant de s'interroger sur le statut de la proposition, sur ses avantages réels et sur ses limites.

I - Attitude, méthode ou technique ?

Se pose en un premier temps la question de savoir si la proposition est réductible à :

- une attitude de l'enseignant lui-même face au programme, comportement qu'il cherche à transmettre à ses élèves au niveau de l'approche d'un objet expérimental à partir d'un objet technique, un des objectifs étant la compréhension de ce dernier, répondant ainsi à une des finalités de la formation en L.P.
- une méthode proprement dite qui implique une organisation raisonnée et rationnelle entre les trois pôles du champ pédagogique : élèves, professeur et savoir ; dans le cas présent, la relation élèves - savoir est privilégiée par le biais de l'objet technique.
- une technique, c'est-à-dire un moyen choisi parmi d'autres pour atteindre en lycée professionnel les objectifs de la formation générale en milieu professionnel.

Il nous semble que la proposition est porteuse de ces trois aspects, avec pourtant un renforcement pour le second point de vue :

- pour l'avoir fait expérimenter en mathématiques financières en B.E.P., il nous est apparu que dans ce domaine aussi l'approche globale des processus relatifs au domaine de la vente et du commerce aidait à la mise en place et à l'exploitation de situations d'apprentissages jusque là de portée limitée pour les élèves ; ce "savoir - être" de l'enseignant ou de l'élève face à un contenu ou une notion est pris en compte dans notre proposition.
- le projet est mis en place à partir de la situation-problème posée par l'objet technique ; ce projet installe l'expérience d'abord comme test des hypothèses formulées par les élèves puis comme sources d'accès la généralisation. Dans ce choix conscient que nous avons fait parmi d'autres "méthodes" existantes, il assure une certaine "prévisibilité" des effets attendus ; la cohérence du projet, son homogénéité lors de l'étude d'un objet technique donné et son caractère reproductible pour la série des objets techniques utilisés permettent aux élèves l'accès au savoir scientifique et à la compréhension de situations technologiques ainsi qu'à la méthode elle-même.
- le projet ainsi élaboré est une médiation entre les différents acteurs, les contenus et l'objet technique par l'intermédiaire de la classe - laboratoire.

La proposition se rapproche donc plutôt d'une méthode. Il importe ensuite de se poser la question de ses conditions de fonctionnement. Enfin est-il possible

d'envisager l'enseignement des sciences physiques en L.P., à tous les niveaux à travers notre proposition ? Et si cela est possible, est-ce souhaitable ?

II - Recherche de crédibilité de la méthode

II-1) Les références

La méthode utilisée est plutôt l'aboutissement de tâtonnements empiriques que la conséquence de principes à priori ; même si nous avons choisi d'analyser ses fondements en suivant les différentes phases de sa mise en oeuvre, il reste cependant qu'une méthode pédagogique se présente d'abord comme une théorie et toute théorie n'est qu'hypothèse ou "système d'hypothèses" tant qu'elle n'a pas été confirmée : c'est l'objet de ce chapitre.

Il ne nous semble pas cependant qu'il faille se prononcer sur les critères de vérité de la méthode en tant que théorie comme c'est le cas lorsqu'on cherche à établir la vérité d'une hypothèse dans les sciences formelles ou empiriques ; dans la mesure où une méthode pédagogique vise essentiellement à exercer une action sur un apprenant, nous pensons qu'il s'agit plutôt de montrer que cette action est applicable et efficace, c'est à dire qu'elle produit ce pourquoi elle est engagée ; il importe donc de savoir si la méthode présente les conditions requises pour produire son effet et si elle le produit réellement : ce sont donc davantage les critères de validité qu'il nous faut rechercher.

Pour évaluer la crédibilité de la méthode, nous utiliserons les critères définis par S.Watanabe (24) : "Le degré de crédibilité d'une théorie appartenant à une classe donnée de théories (qui jouent en quelque sorte le rôle d'hypothèses plausibles par rapport à un domaine donné de phénomènes) est déterminé en tenant compte, à la fois, d'éléments à priori (c'est à dire de critères qui ne dépendent pas de l'expérience : cohérence interne, accord avec d'autres théories déjà éprouvées, simplicité, maniabilité, etc ...) et d'éléments à postériori (appuis apportés à la théorie sous forme de confirmation ou de corroboration). Le concept est construit de telle sorte que le degré de crédibilité d'une hypothèse varie en fonction des degrés de crédibilité des hypothèses rivales."

Nous évaluerons donc la méthode d'une part à travers sa cohérence sur les plans psychocognitif et pédagogique et, d'autre part, en analysant des productions d'élèves dans un champ disciplinaire donné : l'électricité.

II-2) Evaluation à priori de la méthode.

II-2.1) Cohérence interne de la méthode

La méthode s'appuie sur les représentations des élèves, représentations contenues dans les hypothèses émises pour expliquer le réel ; la validation de celles-ci naît de leur confrontation avec l'expérience choisie par l'élève ; l'expérience :

- réfute ou valide les représentations des élèves.
- confirme ou non l'hypothèse émise.
- constitue une interprétation possible du fonctionnement d'un des sous-ensembles de l'objet technique.

L'élève s'approprie non seulement des savoirs mais aussi des procédés de pensée qui permettent la construction du modèle et, du même coup, limitent les mémorisations additives, peu opérantes.

Les interactions élèves-expérimentation - objet technique permettent d'ajuster les objectifs finalisés du professeur aux effets produits par les activités qu'il propose : la progression se trouve ainsi réglée à partir des actions et des réactions des élèves et non pas de l'extérieur.

L'enseignement dispensé par le professeur répond aux besoins de l'apprentissage ; les informations transmises aux élèves par le professeur sont transformées en connaissances par l'action propre de ceux-ci quand l'obstacle posé par la situation-problème est franchi. Les aides apportées sur les plans théorique, expérimental et méthodologique constituent des apprentissages complémentaires pour lever des incompréhensions ou des obstacles éventuels ; elles permettent une réduction progressive du décalage entre l'effet attendu et l'effet produit.

II-2.2) Cohérence externe de la méthode.

Sur le plan de la motivation de l'élève et du sens de la discipline par rapport aux finalités de l'enseignement professionnel.

Le travail proposé, au contact de l'objet technique et à travers la classe-laboratoire laisse une grande part d'initiatives à l'élève, initiatives qui entretiennent une dynamique de l'action.

La stratégie utilisée favorise la réussite du projet initial ; l'évaluation formative, au cours de l'apprentissage, permet de se rendre compte des besoins de l'élève et oriente donc son action.

Les sciences physiques sont perçues, à travers l'objet technique, comme une discipline qui permet, en lycée professionnel, d'accéder à la compréhension d'un système fonctionnel ; la méthode utilisée en cours est aisément transférable à d'autres situations technologiques et devrait aider l'insertion professionnelle des élèves.

Sur le plan du développement intellectuel.

- Le problème posé par la situation technologique va favoriser l'instauration de nouveaux rapports dans le champ des ressources de l'élève entraînant des ruptures d'équilibre avec recherches de nouveaux équilibres. Le choix par l'enseignant de situations plus complexes, comme par exemple dans le moteur électrique la prise en compte de phénomènes électriques et mécaniques et thermiques, ou dans une situation donnée, la levée de certaines hypothèses initiales, va entraîner des déstabilisations puis des restructurations plus profondes, aboutissant à des équilibres de niveau plus élevé.

- L'exploration d'une situation à des niveaux différents et le passage réciproque d'un niveau à un autre, notamment au cours de la synthèse - interprétation dans la classe-laboratoire, activent les conflits sociocognitifs : les potentialités sont ainsi constamment réactualisées, développées par l'intégration à des actes qu'il faut approprier à de nouvelles situations.

II-3) Evaluation à postériori de la méthode.

Nous l'envisagerons à travers l'examen de productions d'élèves à la suite de séquences d'apprentissage et une enquête d'opinions auprès de professeurs et d'industriels.

II-3.1) Analyse de productions d'élèves à l'issue d'une série de classes-laboratoires.

Lieu de l'essai	Lycée professionnel "Le Caron" à Arras (62). Classe de B.E.P. terminales électriciens
Durée de l'essai	5 heures

Objectifs	Identifier et nommer les organes essentiels du moteur. Désigner leur fonction. Emettre le principe de fonctionnement du moteur Valider cette hypothèse par confrontation avec le réel : construction d'un moteur à partir de matériel didactique Enoncer les lois mises en oeuvre à cet effet. Repérer les analogies et les différences entre les types de moteurs utilisés par l'ensemble des groupes
Prérequis	Lois générales du courant alternatif. Terminologie générale sur les moteurs (stator, rotor, arbre, plaques à bornes ...) Machine à courant continu. Alternateur

Déroulement des séquences d'apprentissage

La méthode : classe-laboratoire

Le professeur a utilisé quatre objets techniques : des moteurs à courant alternatif. L'ensemble des machines comporte un "tronc commun" sur le plan des savoirs et savoir-faire ; chacun a sa spécificité.

- la classe est répartie en 4 groupes de 2 ou 3 élèves.

Les moyens :

- chaque groupe dispose d'un moteur électrique différent.
- chaque groupe possède en plus de son cours d'une documentation générale sur les moteurs électriques, fournie par le professeur.
- chaque groupe peut accéder librement à l'atelier annexe.

Les informations du professeur aux élèves :

- les objectifs.
- les prérequis.
- les moyens.

Les attentes et les productions :

un compte rendu, par groupe, dans lequel devra figurer le principe de fonctionnement du moteur, le schéma correspondant et le procédé de "démarrage" (ce dernier est différent d'un moteur à un autre). Les élèves disposent d'une documentation générale, de leurs cours et de leurs livres.

un questionnaire sous forme de Q.C.M. qui devrait permettre de vérifier le degré de compétence atteint quant à la connaissance des quatre types de machines proposées. Il a été demandé anonymement et individuellement, sans document et dans un temps limité.

un questionnaire "Etude du moteur" à partir duquel certaines capacités seront testées (le lycée d'accueil est en contrôle continu des connaissances). Le but était de dégager les capacités développées par la méthode employée ; les capacités à mettre en oeuvre majoritairement étaient : observer, s'informer, analyser et réaliser.

la construction d'un moteur de même type avec du matériel didactique, en ateliers.

Analyse des productions des élèves.

a) Les comptes-rendus d'élèves.

Un exemple^(*) :

Il s'agit d'un moteur de machine à laver asynchrone.

Il est constitué d'un stator et d'un rotor à "cage d'écureuil".

Le champ du stator, s'étendant d'abord diminue, il provoque dans le stator^(**) des courants induits.

L'opposition des deux champs exerce une force de rotation sur les parties supérieure et inférieure du rotor qui tend à le faire tourner de 180°. Puisque ces forces sont exercées à travers le centre du rotor, la force de rotation est la même dans les deux directions. Par conséquent, le rotor ne tourne pas.

Cependant, si l'on lance le rotor, il continue à tourner dans le sens selon lequel, on l'a lancé, car la force de rotation dans ce sens est renforcé.

Différents démarrages :

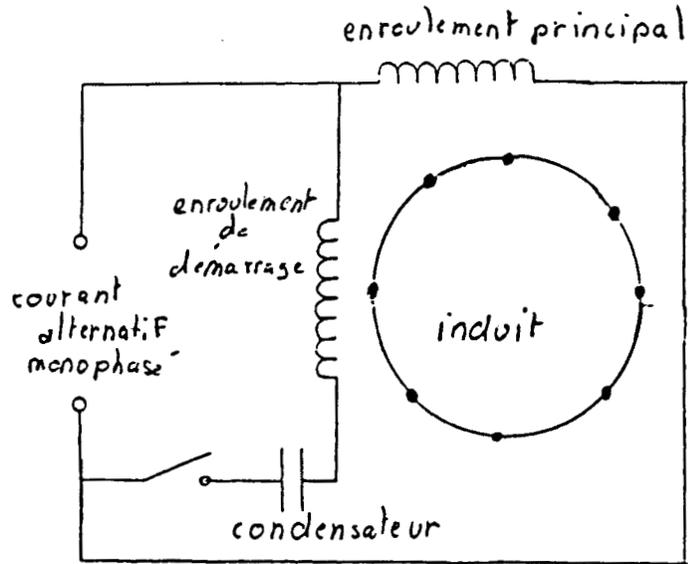
Par condensateur...

Démarrage en résistance ...

^(*) extrait d'un compte rendu d'élèves

^(**) correction du professeur : stator -> rotor

Moteur asynchrone à démarrage par condensateur

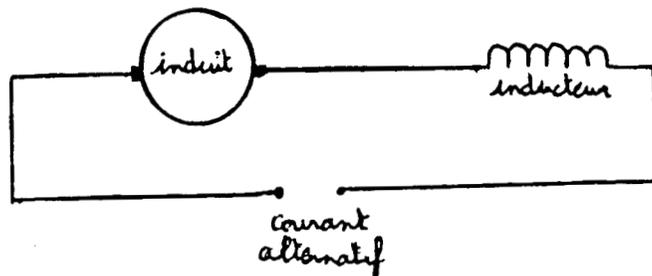


Dans ce cas là, notre moteur fonctionne par condensateur.

Il est impossible pour le rotor à cage d'écureuil d'un moteur synchrone de tourner à la même vitesse que le champ magnétique tournant. Si ... glissement.

Dans cette étude, il s'agit d'un moteur asynchrone monophasé."

Schema de principe
du Moteur Serie
à courant alternatif



L'analyse des comptes-rendus.

- La description des sous-systèmes est souvent correcte (une erreur à propos des courants induits ... dans le rotor).
- La distinction pour les moteurs à courants alternatifs entre moteurs synchrone et asynchrone n'apparaît pas : aucun élève n'a fait la remarque que, dans le second cas, le rotor de leur moteur n'était relié à aucune source de tension.
- Tous les comptes-rendus soulignent les conditions de création d'un champ tournant : un groupe d'élèves a même rappelé le théorème de Leblanc.
- Aucun groupe n'a rappelé et utilisé la loi de Lenz pour "prévoir", dans le cas du moteur asynchrone, le sens de rotation du rotor par rapport à la direction du champ du stator.
- Les schémas de principe sont correctement établis à partir de l'objet technique et de la documentation.

Les conclusions partielles.

- On retrouve les difficultés d'utiliser, en L.P, le modèle préalablement construit pour prévoir les phénomènes ou le sens de leur évolution.
- On constate que l'ensemble des élèves franchit assez aisément le "seuil" du réel au schéma, étape vers l'abstraction ; l'expérimentation a pourtant été "court-circuitée". De la discussion avec le professeur, il apparaît que des modèles antérieurs ont été habilement mobilisés, permettant ainsi de situer relativement les éléments les uns par rapport aux autres (position par rapport à la bobine principale du condensateur de démarrage, rappels sur l'alternateur ...) : le futur technicien, le futur dépanneur, sollicité par une démarche complexe sera ainsi en mesure de comprendre ce qu'il y a de général face au problème technologique posé.
- Les élèves restent largement tributaires des informations extérieures lorsqu'ils rencontrent des difficultés ; dans le cas présent, ces dernières sont surtout apparues lors de la différenciation des divers types de moteurs alternatifs et leur procédé de démarrage.

b) Le questionnaire "Moteurs à courant alternatif monophasé" (récapitulatif).

Ce questionnaire a été réalisé sous forme de Q.C.M.

ζ) Le moteur série en courant alternatif monophasé possède un rotor bobiné avec balais et collecteur, comme pour les moteurs à courant continu, mais pourrait-il fonctionner en courant continu ?

- 60% oui, en principe mais non prévu pour cela
- 10% oui, sans difficulté
- 30% non, car le principe est différent

Le bilan

Erreurs	0	1	2	3
%	20	20	30	30

Les conclusions partielles

20 % des élèves n'ont pas commis d'erreur, 50 % d'entre-eux en ont commis 1 ou 2 ; ce questionnaire n'ayant pas pour objectif de réinvestir qualitativement des lois, le taux de réussite est correct.

une question pour différencier moteurs synchrone et asynchrone aurait été souhaitable ; de même, une question comportant (méthode préconisée/moteur) et une autre (méthode usuelle/moteur) auraient pu être posées permettant comparativement d'apprécier l'efficacité de l'une ou l'autre méthode face à un problème donné.

c) *Le questionnaire "Etude des moteurs" (récapitulatif).* (Les pourcentages figurant en caractères accentués à gauche du questionnaire représentent la tendance majoritaire).

Les capacités testées.

α) Partie relative à l'observation et à l'examen du moteur

Capacité : "Observer"

1) On vous a demandé de démonter et d'observer l'intérieur d'un moteur à courant alternatif monophasé, ceci afin d'en donner le schéma de principe :

- Est-ce la première fois que vous examinez l'intérieur d'un moteur électrique à courant alternatif ?

- Non oui non
- 80% 20% 80%

- Avez-vous déjà réalisé une opération identique avant cette séance ?

• à l'école :

Oui	oui	non	Pas de réponse
40%	40%	50%	10%

• en dehors de l'école :

Oui	oui	non	Pas de réponse
70%	70%	20%	10%

• (si oui) dans quelles conditions ? :

(60%) dans l'ensemble pour réparation de matériel électroménager

- Vouloir observer les différentes pièces du moteur, vous parait-il une situation intéressante dans votre formation ?

Oui	oui	non
100%	100%	0%

• Pourquoi ?

pour manipuler les pièces du moteur

2) On vous a demandé de séparer et d'examiner les pièces du moteur,

- Avez-vous été surpris par le nombre de pièces ?

Non	oui	non
60%	40%	60%

- Avez-vous été surpris par leur complexité ?

Oui	oui	non
60%	60%	40%

- Le fait de démonter ces pièces vous a-t-il permis de comprendre leur fonction ?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

- Le fait de démonter ce moteur et de l'observer a-t-il suffi pour en donner le principe de fonctionnement ?

Oui	oui	non
80%	80%	20%

• Pourquoi ?

pour l'observation des pièces

β) Partie relative à l'information : utilisation de la documentation.

Capacité : "S'informer"

1) On vous a demandé d'identifier, de caractériser les pièces essentielles trouvées dans le moteur.

- L'utilisation d'une documentation spécifique d'appoint vous a-t-il été nécessaire ?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

- Auriez-vous pu identifier le type de moteur, sans documentation ?

Non	oui	non
70%	30%	70%

- Auriez-vous pu comprendre le fonctionnement sans ces documents ?

Oui	oui	non
70%	70%	30%

2) A propos de cette documentation.

- L'avez-vous trouvée trop importante ?

Non	oui	non
80%	20%	80%

- L'avez-vous trouvée précise, facilement compréhensible ?

Oui	oui	non
80%	80%	20%

- Vous a-t-elle suffi pour comprendre le principe de fonctionnement du moteur ?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

- Où avez-vous puisé l'information complémentaire ?
dans les livres

γ) Partie relative au questionnement sur les organes du moteur.

1) Capacité : "**Analyser**"

Un certain nombre de questions ont été posées afin de vous aider à comprendre le fonctionnement du moteur :

- Ces questions vous ont-elles servi à comprendre ?

Oui	oui	non
80%	80%	20%

- Ces questions vous ont-elles paru difficiles ?

Non	oui	non
90%	10%	90%

- Ces questions vous ont-elles paru logiques?

Oui	oui	non
80%	80%	20%

- Ces questions vous ont-elles obligé à rechercher dans la documentation ?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

2) Capacité : "**Rendre compte**"

Ces questions avaient pour but d'imposer une réponse rédigée.

- Le fait de transcrire les explications sur papier vous permet-il de mieux comprendre les fonctions des organes essentiels du moteur?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

- Le schéma de principe vous semble-t-il primordial pour la compréhension du moteur ?

Oui	oui	non
60%	60%	40%

δ) Partie réalisation du moteur avec du matériel pédagogique

Capacité "Réaliser"

1) On vous a demandé de construire un moteur fonctionnant comme celui étudié avec le matériel du professeur.

- A-t-il tourné comme vous le souhaitiez ?

Oui	oui	non	pas de réponse
60%	60%	10%	30%

• sinon Pourquoi ? :

pas de réponse de la part des élèves

- Avez-vous éprouvé des difficultés pour réaliser le même moteur ?

Non	oui	non	pas de réponse
40%	30%	40%	30%

2) Cette opération avait pour but de prouver concrètement votre analyse.

- Cette phase vous a-t-elle paru nécessaire pour comprendre le fonctionnement du moteur ?

Oui	oui	non	pas de réponse
60%	60%	20%	20%

- Si le moteur construit à partir du matériel didactique ne tourne pas, cela vous renseigne-t-il sur les problèmes liés à conception du moteur ?

Oui	oui	non	pas de réponse
50%	50%	30%	20%

- Finalement le moteur tourne, êtes-vous satisfait :

• qu'il fonctionne ?

Oui	oui	non	pas de réponse
70%	70%	10%	20%

- d'avoir compris le fonctionnement ?

Oui	oui	non	pas de réponse
70%	70%	10%	20%

ε) Conclusion

Vous avez été sollicité par une démarche pédagogique.

- Etait-ce vraiment nouveau pour vous ?

oui	non
50%	50%

- Au début de l'année, nous avons commencé l'étude du moteur à courant continu par les lois de l'électricité et la construction d'un moteur éclaté ; était-ce mieux de commencer comme cela ?

Oui	oui	non
90%	90%	10%

- Pourquoi ? **pas de réponse de la part des élèves.**

- La méthode d'examen d'un objet technique pour ensuite comprendre le principe de fonctionnement du moteur, vous semble-t-elle judicieuse ?

Oui	oui	non	pas de réponse
50%	50%	40%	10%

- Pourquoi ? **Le travail est fait à partir du concret (le moteur).**

Les conclusions partielles

"Observer"

80% ont déjà démonté un moteur, la majorité hors école, sur moteurs électroménagers.

75% ont estimé cette démarche importante pour leur formation.

80% n'ont pas été surpris par la complexité des pièces et leur nombre.

"S'informer"

Au départ la documentation semble ne pas intéresser les élèves, dans le fait de comprendre le fonctionnement (60%).

Pourtant 80% estiment nécessaire la documentation au moment du compte-rendu.

"Analyser"

Le questionnement semble les aider à la grande majorité (90%), ce qui se justifie par le besoin d'être guidé : l'autonomie totale n'existe pas à ce niveau.

Le compte-rendu facilite leur compréhension mais le schéma de principe ne les intéresse pas (40%).

"Réaliser"

60% ont pu faire tourner leur moteur.

90% admettent nécessaire cette opération pour comprendre le fonctionnement du moteur, surtout si celui-ci ne tourne pas de suite : le "pourquoi" les stimule.

Enfin 90% sont satisfaits que leur moteur tourne plus que d'avoir compris le principe. Paradoxalement, en comparaison avec les cours précédents, cette méthode n'est pas "appréciée" majoritairement (50%).

d) Examen critique

- La stratégie mise en place par le professeur est celle de la classe-laboratoire : elle comprend la situation technologique, la situation-problème, les objectifs communs aux différents groupes (lois générales du courant alternatif, bobines inductives, champ magnétique créé par le stator, aspect mécanique du système et, notamment, couple moteur d'origine électromagnétique exercé sur le rotor) et des objectifs spécifiques pour chaque groupe (conception du rotor en "cage d'écureuil" ou bobiné, processus de démarrage du moteur). C'est celle que nous avons toujours tenté de mettre en place parce qu'elle a souvent donné les meilleurs résultats à court terme (paragraphe C, élaboration de la méthode) et à long terme (paragraphe E, enquêtes d'opinions en II-3.2) et qu'elle satisfaisait le mieux les "exigences" de la formation en instaurant des conflits sociocognitifs au niveau du groupe et des groupes entre eux : la synthèse interprétation (paragraphe D, les apprentissages en classe-laboratoire) constitue un des moments forts de la séquence d'apprentissage. Parallèlement, la possibilité de mettre en place une pédagogie différenciée et une évaluation formative au niveau du groupe, par rapport à la situation technologique proposée, augmente encore l'efficacité de la méthode : les performances obtenues confirment ce point de vue.
- La méthode préconisée a-t-elle pu être testée à travers les derniers essais proposés ? Il ne s'agissait évidemment pas de découvrir les lois

des courants alternatifs à travers les objets techniques étudiés : leur niveau de complexité dans les machines est tel qu'il est vain d'en faire un objectif en B.E.P. Est-il concevable, par exemple, de faire découvrir les lois du courant alternatif à partir de la spire de FRAGER, ? Par contre, la recherche des facteurs de la loi de Laplace et son étude dans le cadre de l'étude de la machine à courant continu, constituaient un des objectifs de la situation d'apprentissage proposée (paragraphe C, élaboration de la méthode).

- Nous avons pensé pouvoir effectuer une comparaison entre la méthode classique qui procède des lois aux applications et celle préconisée ici. Pouvait-on employer les deux méthodes avec le même groupe d'élèves face à la même situation-problème ? Etait-ce déontologiquement soutenable d'employer telle méthode avec certains élèves et une autre avec d'autres, sachant que nous préjugions de l'excellence de l'une ? Sur quels critères déterminer les élèves de chaque groupe ? Le fait même d'admettre qu'il peut y avoir une différence d'efficacité entre (les) deux méthodes, n'est ce pas admettre implicitement qu'elles peuvent entraîner un décalage dans les rythmes d'apprentissage et, du même coup, des conditions différentes dans les deux groupes, ce que nous voulions éviter ?

- Sur le plan des contenus (moteurs électriques), à l'ensemble des moteurs asynchrones proposés, avec leur spécificité au niveau démarrage, il eût été souhaitable de joindre un exemple de moteur synchrone (comme celui utilisé dans certain servomécanisme) afin d'étendre le champ de l'évaluation de la méthode. Sur le plan du choix de la classe d'intervention, c'est avec des élèves non "spécialistes" en électricité, appartenant, par exemple aux sections *Installations Sanitaires et Thermiques* ou *Structures métalliques*, mais qui comportent le moteur électrique à leur programme, qu'il eût été plus judicieux d'étudier ce moteur : leur absence de prérequis scolaire dans ce domaine aurait mieux permis de tester l'efficacité de la méthode. Nos travaux s'orientent actuellement dans ce sens.

II-3.2 Enquête d'opinions

a) Mise en place de l'enquête

Nous avons procédé à une série d'enquêtes annuelles auprès de professeurs de lycées professionnels appartenant à des disciplines d'enseignement général et technologique, ayant participé à l'E.N.N.A. à des travaux de préparations, de mises en oeuvre théoriques et pratiques de la méthode. Parallèlement, nous avons mené des entretiens avec des industriels ayant contribué à des réalisations comme la pompe à chaleur et l'aérogénérateur ; certains avaient d'ailleurs employé par la suite des élèves pendant leurs stages industriels ou définitivement dans la vie professionnelle.

Notre étude s'est limitée à des réflexions et des constats des professeurs et des industriels concernés. Nous rassemblons les réponses de l'enquête autour de trois rubriques :

- L'utilisation d'un objet technique en sciences physiques permet-elle de mieux répondre aux finalités de cet enseignement en lycée professionnel ?
- Une méthode hypothético-constructive, associant dans ce contexte, un problème et une tâche, est-elle mieux adaptée qu'une autre méthode face à des élèves en difficulté scolaire ?
- La classe-laboratoire, incluant l'utilisation d'un objet technique, permet-elle l'appropriation réfléchie de la méthode constructive ?

b) Les réponses

Les réponses des professeurs d'enseignement général et technologique d'une part, et les entretiens avec les industriels concernés, d'autre part, confirment le rôle positif de la situation technologique dans la formation initiale pour l'enseignement des sciences physiques.

Citons dans ce sens, quelques remarques de professeurs :

- "Les progressions s'articulent et se gèrent mieux car les notions théoriques acquises avant ou dans d'autres disciplines viennent lever (dans certains cas) une incompréhension momentanée des élèves et donnent donc du sens à la discipline.
- Dans la discipline elle-même, chaque tranche de cours n'est plus perçue isolément par l'élève et les connaissances répondent à un besoin de coordination pour l'élève ; par exemple, dans la pile "Leclanché", après avoir montré expérimentalement qu'elle présentait à vide, une tension et une polarité, nous avons fait découper une pile neuve et une pile usagée, noter les différences des points de vue chimique (consommation du zinc et augmentation des ions Zn^{2+}) et électrique (résistance interne de la pile usagée plus grande que celle de la pile neuve, d'où polarisation et donc rôle du dépolarisant, dioxyde de manganèse, ... qui a donc une double fonction) ; après l'étude simultanée et complémentaire des aspects énergétique, chimique et électrique sur une pile "expérimentale" (type Daniell), nous avons fait fabriquer des piles "Leclanché" en classe-laboratoire : quelle joie lorsqu'ils ont pu faire tourner un moteur électrique, qu'ils avaient eux-mêmes construit, en faisant entre eux des associations série-parallèle de leurs piles ! Il n'était pas alors nécessaire de démontrer la légitimité des sciences physiques ... face à la pile commerciale !
- Comment faire avec des contenus abstraits comme atomes et molécules, ions ..., où il n'existe pas d'objet technique approprié ? On ne sait comment enseigner ces notions qui

ne trouvent un "investissement" que dans les leçons futures et ... éloignées pour l'élève ?

- Dans ce cas, répond un autre professeur, j'ai pu atteindre les objectifs fixés par ces connaissances théoriques en faisant d'abord appel dans le même programme à des contenus plus concrets pour les élèves tels que :

- matières plastiques et relations entre structure et propriétés physico-chimiques de la matière.
- résines échangeuses d'ions ...

- Le temps nous manque pour mettre en place maintenant des objets techniques dans notre lycée ! A l'E.N.N.A., il y avait beaucoup de moyens à notre disposition ... !

- C'est intéressant parce que nous-mêmes nous apprenons quelque chose et autrement ... Nous sommes donc plus motivés pour transmettre certaines notions ... la statique, par exemple".

Les réponses ayant trait à la seconde problématique bénéficieront d'un recul moins important : la mise en place de la pensée hypothético-constructive dans une situation technologique ne remonte qu'à 1985. La première séquence de la classe-laboratoire se limitait alors à un simple questionnement concernant le fonctionnement de l'objet technique sans chercher à tenir compte des hypothèses émises par les élèves : ni la transposition du problème technologique vers le problème scientifique, ni l'expérimentation comme test des hypothèses émises par l'élève n'apparaissent. Depuis, les évaluations que nous avons faites auprès des élèves chaque année dans les différents lycées professionnels d'accueil des professeurs stagiaires nous ont montré que la méthode hypothético-constructive, en plaçant ces élèves devant une situation de confrontation personnelle avec des obstacles technologiques, expérimentaux ou théoriques, modifiait leur comportement et leur appréhension des faits ; de plus, en classe, nous avons pu voir se transformer progressivement les motivations externes, telles celles de l'apport de l'objet technique en classe (apport décidé par le professeur) en motivations propres, où le problème est alors perçu comme une sorte de défi intellectuel, ce que nous n'avions jamais constaté en pratiquant une méthode inductiviste.

La classe-laboratoire, comme panacée pédagogique ?

Elle a ses détracteurs :

- sur le fond :

"il s'agit en quelque sorte d'un enseignement thématique, comme les centres d'intérêt à l'école primaire ; on recherche des motivations et c'est tout !".

"c'est de l'enseignement technologique qui n'a pas sa place dans l'enseignement général ; si on souhaite se rapprocher davantage de la profession, il suffit de développer un peu plus les applications à la fin du cours !".

"c'est une leçon de choses et de vocabulaire, comme l'observation d'une plante ou d'un oiseau !".

- sur la forme :

"c'est bien beau, mais avec les programmes, le nombre d'élèves et le matériel qu'on a en lycée professionnel, on ne s'en sort plus!"...

et ses partisans...

". l'élève est plus motivé par ce genre de situation où il comprend l'intérêt des sciences physiques.

- l'élève maîtrise mieux les savoir-faire puisqu'on lui montre et permet la construction de la méthode.
- aux ateliers, l'élève sait choisir la connaissance et la méthode les plus adaptées pour découvrir ce qu'il y a de général dans une situation technologique complexe et peut ainsi répondre à de nouvelles exigences professionnelles correspondant aux nouveaux modes de fabrication, de maintenance et de communications".

c) Discussion

Au cours de cette enquête, nous n'avons pas pu prendre en compte tous les objectifs mis en jeu dans la situation d'apprentissage et dans la période de stage industriel.

Néanmoins, si le rôle de l'objet technique ne paraît plus discuté en lycée professionnel, le statut de l'expérience ne paraît pas avoir encore évolué et donc la méthode hypothético-constructive y occupe une place peu importante, faisant ainsi persister souvent des représentations inopérantes.

Par les confusions qu'elle entraîne parfois dans ses pratiques et les difficultés qu'elle présente lors de sa mise en oeuvre, la classe-laboratoire, telle que nous la concevons, ne bénéficie pas du consensus général; il est certain qu'il serait vain de penser que tous les contenus des programmes et toutes les capacités associées puissent être exploités à partir du seul objet technique, même convenablement choisi, en particulier, dans certains cas, le "cycle" pourra être décrit dans l'autre sens de même que des classes-laboratoires pourront être envisagées sans objet technique (25) (26).

III) - Conclusion

La validation de la méthode préconisée repose donc sur des éléments de crédibilité à priori, notamment sur les critères de cohérence interne, et sur des

tâches d'évaluation proposées aux élèves, en classe. Aux difficultés rencontrées pour choisir, mettre en place et testés des indicateurs d'évaluation performants s'ajoutent celles qui résultent de la construction et de l'utilisation d'outils aptes à "mesurer" l'écart entre la performance attendue et celle effectivement atteinte ; ainsi, si nous avons pu apprécier l'acquisition d'un contenu ou non, nous n'avons pas toujours su mesurer le niveau cognitif de cette acquisition ; nous sommes là aussi conscients des insuffisances de l'évaluation mise en place.

Tenant compte de ces remarques, les objectifs fixés au début de la proposition ont-ils été atteints ? Nous avons montré que la démarche respectait les stratégies d'apprentissage des élèves et qu'elle leur permettait d'apprécier les effets de leur propre action, en particulier, d'essayer de comprendre pourquoi "ça" fonctionne ou pas et de recommencer si nécessaire ; dans l'élaboration de la méthode, en particulier, nous avons veillé à ce que les élèves prennent résolument en compte les processus cognitifs impliqués dans la construction de leur savoir par un choix adapté des objets techniques. Parfois, nous avons abordé le même objet technique à différents niveaux de complexité au cours des deux années du B.E.P. ou en baccalauréat professionnel ; c'est le cas pour le moteur thermique : de la simple combustion des hydrocarbures à la propagation du front de flamme dans le milieu réactionnel (la chambre de combustion) puis à une approche thermodynamique et cinétique des phénomènes et, enfin, aux mécanismes sous-tendus. L'expérimentation a été concluante et souligne l'intérêt que l'élève peut porter à la modélisation s'il participe à la construction du modèle si on lui montre, comme nous l'avons fait, les différents degrés d'abstraction, le chemin suivi pour y parvenir, et, si on procède à un va-et-vient réel/modèle. Cette manière de lier les modèles à leur utilisation ne cède pas à une approche utilitariste mais permet à l'élève **de voir comment et pourquoi la théorisation a du sens.**

Les enquêtes précédentes confirment ces résultats et montrent que l'organisation de l'apprentissage autour d'un objet technique dans le cadre de la classe-laboratoire apporte des éléments de réponse à nos préoccupations du début, notamment par l'attitude de questionnement qu'elle induit dans le comportement des élèves. Sans doute, ce n'est pas encore la panacée pédagogique, mais une approche "macroscopique" des phénomènes dans un cadre interdisciplinaire ne peut que faciliter l'insertion professionnelle de l'élève.

Quant à la portée et l'application de la méthode dans les autres disciplines, hors de la classe, nous travaillons actuellement sur une grille de capacités communes, grille qui permettrait de mieux situer l'efficacité de la méthode hors des champs où elle a été conçue.

F CONCLUSION GENERALE

Nous avons montré que des objets techniques intégrés dans les situations d'apprentissage pouvaient contribuer à donner du sens aux sciences physiques ; la motivation et l'esprit de recherche qui animent les élèves autour de ceux-ci sont la garantie d'un apport fécond à la démarche scientifique. En incitant les élèves à découvrir, mettre en relation et finaliser les structures visibles ou cachées qui s'y trouvent, on contribue à tisser des trames conceptuelles et à élaborer des outils pour construire d'autres réseaux conceptuels. Les convergences constatées lors de visites combinées entre techniciens et généralistes dans différents lycées professionnels confirment cette évolution, fruit d'une démarche qui lie le faire et le savoir, le savoir à l'activité qui permet de l'acquérir.

L'approche pluridisciplinaire permet aux élèves d'appréhender et de résoudre des problèmes plus complexes qu'une étude limitée à un seul champ d'action, en tirant profit de l'éclairage de plusieurs disciplines, de la complémentarité de leurs méthodes et de leurs techniques. Nous avons également montré que la compréhension, la construction et l'utilisation rationnelle d'un objet technique permettent d'intégrer plus aisément les contributions de chaque discipline : une véritable pluridisciplinarité ne peut naître de la juxtaposition de plusieurs disciplines mais doit résulter d'une organisation finalisée rendue nécessaire par la résolution de problèmes. Notre expérience, dans ce domaine, nous autorise à témoigner que cette coopération est plus efficace dans la conception (convergence des disciplines) que dans l'analyse (divergence des disciplines). Les situations d'apprentissages diversifiées développées autour de l'objet technique et le choix de leur degré de complexité facilitent ainsi l'insertion sociale et professionnelle: nous répondons donc à une des finalités de l'enseignement professionnel.

La classe-laboratoire puise dans le dispositif technique la tâche à accomplir par l'élève; elle semble parfois délicate à mettre en oeuvre pendant la formation initiale par les contraintes qu'elle présente sur le fond et la forme. Peut-on alors modifier l'organisation des séquences d'apprentissage si on admet que

- l'analyse d'une situation globale et le "découpage" de cette dernière en blocs fonctionnels,
- la transposition d'un problème technologique en un problème scientifique,
- la prise en compte des hypothèses émises et leur validation expérimentale,
- la réponse scientifique proposée au problème technologique,

sont des attitudes qui s'accrochent au profil de l'élève et à son devenir professionnel ?

Il nous est pourtant apparu qu'en insérant les sciences physiques dans une dynamique qui leur donnait du sens, l'émergence des motivations préprofessionnelles était souvent facilitée. Il ne s'agit résolument pas de considérer les ressources technologiques comme de simples remèdes face à des élèves en difficulté, entraînant "une image de la technologie associée à celle de l'échec scolaire" ; "la problématique de la formation générale doit intégrer les disciplines dites technologiques et professionnelles, celle de la formation professionnelle doit intégrer les disciplines générales".(27)

Il nous semble actuellement difficile de gérer l'ensemble objet technique/classe-laboratoire au-delà des collèges et des lycées professionnels. Cependant, il serait certainement souhaitable d'avoir recours plus fréquemment, dans le secondaire, à une approche globale de situations proposées par le professeur ; ensuite par une démarche analytique et à partir des hypothèses émises par les élèves, ceux-ci pourraient accéder expérimentalement à la loi et expliquer un réel non épuré.

Dans la complexité du réel qui, nous entoure, peut-on encore se contenter de la seule démarche analytique qui isole les éléments et les variables afin de les envisager un par un ? Pour "connaître" un système, ne pourrait-on :

- envisager d'abord une appréhension globale plutôt que de s'attacher de suite à la précision des détails ?
- se concentrer sur le jeu des interactions entre les éléments plutôt que sur la nature de ceux-ci ?
- modifier des groupes de variables à la fois au lieu de les changer une à une ?
- valider les hypothèses par confrontation du modèle avec le réel plutôt que de rechercher la preuve expérimentale ?

Cette approche plus systémique, nous l'avons partiellement mise en oeuvre au moment de la présentation de certains objets techniques (moteurs par exemples), compte tenu de leur complexité, du niveau et de la spécialité de la classe. Plutôt que l'approche linéaire des faits, à savoir détailler A pour comprendre B, détailler ensuite B pour comprendre C..., nous avons progressivement accédé à la compréhension du fonctionnement de l'ensemble de l'objet technique à des niveaux différents en y injectant successivement un acquis, un détail ou une difficulté. Nous l'avons également utilisée lorsque la complexité du système impliquait nécessairement l'intervention d'autres disciplines que les sciences-physiques, notamment au stade de l'interdépendance des sous-systèmes.

Néanmoins, dans la mesure où l'un de nos objectifs était de dégager du sous-ensemble un objet expérimental puis une loi et un modèle rigoureux, il n'a jamais

été concevable d'envisager quantitativement le changement simultané de plusieurs variables... avec des élèves en difficulté d'abstraction.

Il reste cependant qu'avec d'autres situations d'enseignement, d'autres objectifs et en utilisant les ressources de l'informatique pour confronter le modèle au réel par un processus itératif, lors de la simulation par exemple, cette approche pourrait constituer une piste de réflexion.

NOTES et REFERENCES

- (1) Repères et références statistiques sur les enseignements et la formation ; Direction de l'Evaluation et de la Prospective ; Ministère de l'Education Nationale ; (1990).
- (2) Note d'information 90.30 ; Direction de l'Evaluation et de la Prospective ; Ministère de l'Education Nationale (1990).
- (3) Service des examens de l'Académie de LILLE ; (1990).
- (4) Publication de l'Institut de Recherche et d'Enseignement des Mathématiques (I.R.E.M.). Académie d'AMIENS (1991).
- (5) DEWEY J. ; l'intérêt et l'effort ; Delachaux et Niestlé ; Neuchâtel (1970).
- (6) BROUSSEAU G. ; les obstacles épistémologiques et les problèmes de l'enseignement ; Recherche en didactique des mathématiques; la Pensée Sauvage ; Grenoble (1986).
- (7) PIAGET J. ; Où va l'éducation ? ; Collection Médiations ; (1972).
- (8) ASTOLFI J.P et DEVELAY M. ; La didactique des sciences ; Presses Universitaires de France (P.U.F.) ; (1989).
- (9) ULLMO J. ; Logique et Connaissances scientifiques ; Encyclopédie de la Pléiade ; Editions Gallimard (1967).
- (10) OLERON P. ; Les activités intellectuelles ; Presses universitaires de France (P.U.F.) Paris (1964).
- (11) MARTINAND J.L. ; Connaître et transformer la matière, des objectifs pour l'initiation aux sciences et aux techniques ; Peter LANG ; Berne (1986).
- (12) SIMONDON G. ; Du mode d'existence des objets techniques ; Editions Aubier ; Paris (1958).
- (13) CHAMPAGNOL R. ; Aperçus sur la pédagogie de l'apprentissage par résolution de problèmes ; Revue Française de Pédagogie, n° 28 ; Paris (1983).
- (14) VIENNOT L. ; Raisonnement spontané en dynamique élémentaire, Editions Hermann, Paris (1979).
- (15) HALBWACHS F. ; La pensée physique chez l'enfant et le savant ; Delachaux et Niestlé ; Neuchâtel (1974).
- (16) ASTOLFI J.P. ; Revue Française de Pédagogie, n° 68 ; Paris (1984).
- (17) BACHELARD G. ; La formation de l'esprit scientifique ; Editions Vrin ; Paris (1938).

- (18) GIORDAN A. et DE VECCHI C. ; Les origines du savoir ; Editions Delachaux et Niestlé ; Neuchâtel (1987).
- (19) MEIRIEU P. ; Apprendre ... oui, mais comment ? Edition Sociale Française (E.S.F) ; Paris (1988).
- (20) ROBARDET G. ; Enseigner les sciences physiques à partir de situations problèmes ; Bulletin de l'Union des Physiciens (B.U.P) n° 720 ; Paris (1990).
- (21) PIAGET J. ; La prise de conscience ; Presses Universitaires de France (P.U.F.) ; Paris (1987).
- (22) BARTH B. M. ; L'apprentissage de l'abstraction ; Editions Retz ; Paris (1987).
- (23) LEBOUTET L. ; L'enseignement de la physique ; Presses Universitaires de France (P.U.F.) ; Paris (1973).
- (24) WATANABE S. ; Knowing and Guessing. A quantitative Study of Inférence and Information ; New-York, Londres (1969).
- (25) SCACHE D. ; La classe-laboratoire en chimie au lycée professionnel. Bulletin de l'Union des Physiciens (B.U.P.), n° 626 ; Paris (1986).
- (26) SCACHE D. ; Pour l'introduction d'une composante technologique au lycée professionnel ; Bulletin de l'Union des Physiciens (B.U.P.) n° 680 ; Paris (1986).
- (27) Rapport du Conseil National des Programmes sur l'évolution des Lycées ; Ministère de l'Education Nationale ; mars 1991.



