

CONTRIBUTION À L'ANALYSE DES SITUATIONS D'ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE D'INSTRUMENTS SÉMIOTIQUES DE COMMUNICATION TECHNIQUE

Colette Andreucci
Jean-Pierre Froment
Pierre Vérillon

À l'aide d'une modélisation psychologique des situations d'utilisation d'instruments de communication et de représentation techniques, on s'interroge sur les difficultés que posent l'enseignement et l'apprentissage de trois graphismes techniques : le schéma cinématique, le Grafcet et le dessin technique. Des situations de formation sont examinées en fonction des différentes interactions possibles dans les situations de communication de référence entre les sujets interlocuteurs, l'instrument sémiotique ainsi que le référent et la tâche concernés. Des propositions cherchant à favoriser un enseignement centré sur la fonctionnalité et la générativité de l'instrument pour l'élève sont formulées.

Dans le domaine des enseignements technologiques, techniques et professionnels, l'approche par la psychologie des processus cognitifs de l'élève (représentations, apprentissages, résolutions de problèmes...) est, sinon négligeable, nettement moins développée que dans les disciplines mathématiques et scientifiques (Vergnaud, 1994). Plusieurs raisons peuvent rendre compte de ce retard :

- le statut social particulier du "technique" dans l'univers scolaire,
- le caractère récent et encore peu massif de l'investissement de ce champ par la didactique,
- le statut épistémologique complexe des savoirs du domaine.

Une autre raison, suggérée par Norman (1991), tiendrait au fait que les cadres théoriques et méthodologiques qui dominent en psychologie sont partiellement inadéquats pour penser le sujet dans les situations techniques. Selon cet auteur, ces modèles privilégient l'approche de "l'individu isolé, dépourvu de moyens instrumentaux, et étudié presque exclusivement dans un laboratoire universitaire", c'est-à-dire dans des conditions écologiquement très éloignées des contextes "naturels" de l'activité humaine. En s'imposant dans le champ, ces paradigmes ont marginalisé d'autres traditions qui, à l'instar de celle de Vygotsky, tentèrent, à l'opposé, de penser le développement et le fonctionnement cognitif du sujet en liaison avec son contexte culturel (idéel et matériel).

un concept
théorique
pour penser
les processus
d'outillage
du corps et
de la pensée...

... l'instrument

Le modèle d'analyse du fonctionnement cognitif dans les activités instrumentées que nous présentons dans cet article constitue une tentative pour renouer avec cette approche "anthropologique" en psychologie qui a reconnu le rôle fondamental de la médiation (par le langage et de l'outillage) dans les rapports du sujet au monde (1). Sans renier les apports féconds des théories dominantes (2), il se propose de substituer aux cadres dyadiques habituels en psychologie (rapports sujet-objet, élève-savoir, homme-machine, etc.) un cadre ternaire qui ménage, entre le sujet et l'objet avec lequel il interagit, un espace pour un élément médiateur : l'instrument.

À l'aide de ce modèle, nous tenterons d'abord de mettre en perspective la dimension médiatrice et instrumentale des graphismes techniques. Ensuite, analysant de ce point de vue des situations d'enseignement, nous réfléchirons aux conditions, didactiques notamment, qui permettraient aux élèves de s'approprier effectivement ces graphismes comme des outils au sens le plus fort.

1. UN MODÈLE D'ANALYSE DE L'ACTIVITÉ INSTRUMENTÉE

1.1. L'instrumentation de l'activité matérielle et mentale en technologie

Les objets fabriqués sont au centre des enseignements à caractère technologique, technique ou professionnel. Souvent étudiés pour eux-mêmes, c'est-à-dire pour les phénomènes dont ils sont le siège et, qui plus est, en fonction d'un point de vue privilégié (celui de leur conception, de leur utilisation, de leur production,...), ces objets ne sont pas véritablement traités en tant qu'outils qui instrumentent l'activité.

Au même titre que les objets fabriqués, le langage est lui-même un instrument, en liaison génétique et fonctionnelle avec l'ensemble des activités pratiques de l'homme en société (Leroi-Gourhan, 1965, Shaff, 1967). Pour autant, le langage naturel s'est depuis longtemps révélé insuffisant pour communiquer à propos de ces objets fabriqués d'une manière qui soit la plus économe et la plus univoque possible, compte tenu des enjeux que la communication entre opérateurs revêt dans les situations industrielles. Les codes spécialisés et normalisés de représentation et de communication techniques ont connu en conséquence un développement particulier qui justifie la place occupée par les

les graphismes
techniques sont
des outils

-
- (1) "Le fait central dans notre psychologie, affirmait Vygotsky, est le fait de la médiation."
 (2) Les conceptions constructivistes, par exemple.

graphismes techniques au sein des enseignements technologiques. À cela s'ajoute le fait que, plus encore que les autres, les enseignants de technologie semblent voir des aides à l'apprentissage (Vézin 1972, 1984) dans les graphismes en tout genre qui arrivent ainsi à occuper autant de place que le texte dans les manuels scolaires (Deforge, 1987 ; Doulin, 1996).

Aussi, les activités mettant en œuvre des outils matériels et sémiotiques (les codes de communication technique) paraissent-elles difficilement contournables dans les enseignements technologiques. Comment rendre compte du fonctionnement et des acquis de l'élève dans ces activités ? C'est une question qui s'adresse à la psychologie et à laquelle la problématique de l'instrument tente de répondre.

1.2. Le concept d'instrument

Aucun des grands courants fondateurs de la psychologie moderne (associationnisme américain, réflexologie russe, interactionnisme genevois...) n'accorde de place décisive à la notion d'instrument, hormis celui de Vygotsky. Celui-ci se démarque de manière critique des approches naturalistes et anhistoriques de ses contemporains en affirmant *"qu'à côté des actes et des processus de comportement naturel, il est nécessaire de distinguer des fonctions et des formes de comportement artificiel ou instrumental"* (Vygotsky, 1985, p. 40). Ce comportement ne peut être décrit *"à l'intérieur d'un rapport unique stimulus-réponse"* car l'instrument, qu'il soit matériel (outil, machine, véhicule...) ou "psychique" (langage, dessin, nombre...), constitue *"un nouvel élément intermédiaire s'intercalant entre l'objet et l'opération psychique dirigée sur celui-ci"* (p. 42).

Le rapport artificiel que l'outil matériel permet au sujet d'instaurer avec la nature, et que l'instrument psychique permet d'instaurer avec autrui ou avec soi-même, est ainsi fondamentalement différent du rapport non médiatisé. L'éventail des objets accessibles à l'action et le répertoire des actions permises grâce à l'usage de médiateurs matériels et sémiotiques s'en trouvent notamment élargis. Parallèlement, ce rapport impose de nouvelles contraintes à l'activité cognitive au niveau de la prise d'information, des anticipations, des opérations, des objets de pensée à mobiliser, des schèmes moteurs à générer, etc. (Vérillon & Rabardel, 1995).

En situation, l'association par le sujet d'un instrument à son action est motivée par certaines propriétés de cet objet, fonctionnellement pertinentes par rapport à la classe de transformations à réaliser. Ce peut être aussi bien un bâton pour faire levier qu'une scie pour découper du bois. Dans ce dernier cas, l'outil est un objet fabriqué – un artefact, au sens anthropologique du terme. Il est par conception finalisé pour cette transformation, ses propriétés ayant été agencées intentionnellement dans l'artefact par son concepteur.

tout instrument
comporte...

...une
composante
artefactuelle...

L'artefact apparaît à ce titre comme un ensemble construit d'invariants (physico-chimiques, relationnels, conventionnels...) organisé pour effectuer un traitement anticipé de l'environnement matériel ou social.

En lui-même, l'artefact ne constitue qu'une composante partielle de l'action technique instrumentée, l'autre composante relevant de l'apport propre de l'utilisateur. Ainsi, il existe des outils dont le mode d'emploi a disparu avec leurs derniers utilisateurs et qui, de ce fait, ne sont plus instrumentables. Leur nature artefactuelle persiste mais ils ne peuvent plus être constitués en instruments : seule l'inscription de l'artefact dans un système de schèmes, de représentations, de connaissances, d'opérations intellectuelles et motrices, permet d'actualiser sa fonction. De ce point de vue, un objet, pour acquérir le statut d'instrument, requiert donc nécessairement l'engagement psychologique et moteur d'un utilisateur, de sorte que l'on peut affirmer avec Rabardel (1995) que "*l'instrument est à proprement parler une entité mixte, psychologique et artefactuelle*". Or, c'est souvent à la dimension artefactuelle que l'on semble accorder le plus d'importance dans les situations d'enseignement, alors que la dimension instrumentale paraît au contraire négligée. Concernant les techniques de communication, par exemple, une perspective instrumentale impliquerait que les outils graphiques enseignés ne soient pas ramenés à de simples formalismes constitués en objets de savoir à acquérir, mais que les élèves puissent les faire fonctionner dans des situations leur donnant du sens. Enfin, il faut noter que l'instrument, en tant qu'entité psychologique, résulte chez le sujet d'une véritable construction, aux aspects génétiques de laquelle il convient d'être attentif en situation d'enseignement (3).

...et une
composante
psychologique

1.3. La structure quadripolaire des situations instrumentées par des outils sémiotiques

Vérillon et Rabardel (1995) ont proposé une modélisation tripolaire des situations d'activités instrumentées par des outils matériels (fig. 1). Elle montre qu'outre les interactions directes sujet-objet (s-o), les situations d'usage d'instruments impliquent aussi trois autres types de relations : celles que le sujet entretient avec l'instrument (s-i), celles que l'instrument entretient avec l'objet de l'action instrumentée (i-o) et celles que le sujet entretient avec cet objet par l'intermédiaire de l'instrument (s(i)-o). Le plan de la tâche souligne l'influence du contexte sur les activités instrumentées.

les situations
d'activité
instrumentée...

(3) Dans ce processus de genèse instrumentale, Rabardel (1995) distingue une composante *instrumentation*, orientée vers la constitution des schèmes d'utilisation, et une composante *instrumentalisation* qui concerne la constitution des propriétés fonctionnelles et structurales de l'artefact par rapport à ce sur quoi il agit.

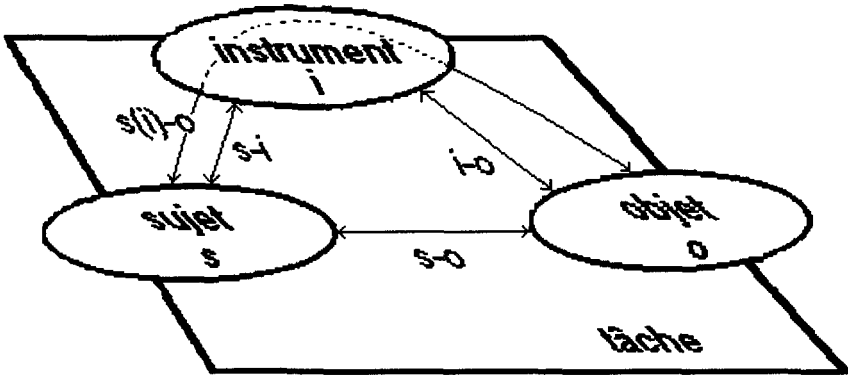


Figure 1. Modèle SAI

...par des outils matériels ou sémiotiques...

Cette représentation tripolaire ne paraît pas entièrement adéquate pour rendre compte de la mise en œuvre d'instruments sémiotiques du fait que, pour cette classe d'instruments, l'action vise, non pas un objet, mais un autre sujet (le destinataire du message) (4). En outre, le fait que ce type d'instrument vise à modifier l'état d'information ou de représentation d'un destinataire rend nécessaire l'introduction d'un quatrième terme : ce à propos de quoi il y a information ou représentation – le référent (r). Le référent est l'objet (ou la classe d'objets) du réel auquel se réfère l'action instrumentée (de communication) du destinataire (s') sur le destinataire (s"). Dans ces conditions, le modèle proposé ici (fig. 2) met davantage en évidence la double fonction que doivent assurer les instruments sémiotiques : une fonction de stimulation sensorielle et cognitive du destinataire et une fonction de référenciation à un objet du réel. Autrement dit, il montre que dans les situations instrumentées par des outils sémiotiques la médiation est double : médiation de l'action du destinataire sur le destinataire, médiation par rapport à un objet de référence commun au destinataire et au destinataire.

...instaurent un rapport complexe au réel

Un nouvel ensemble de relations apparaît. La relation $i-r$ renvoie à la dimension codage, c'est-à-dire aux solutions sémiotiques qui permettent de régler les relations entre la classe des signifiés relatifs au référent et l'ensemble des unités signifiantes (les traces graphiques). Les relations $s'(i)-r$ et $s''(i)-r$ renvoient aux rapports du destinataire et du destinataire aux aspects référentiels en situation de codage et décodage. Les relations directes $s'-r$ et $s''-r$ renvoient aux connaissances, aux représentations, voire aux perceptions actuelles, que les sujets entretiennent par rapport au référent. Enfin, l'indication "tâche" rappelle que les graphismes

(4) Ce sont des instruments "psychiques" au sens de Vygotsky.

techniques sont des aides que les opérateurs associent étroitement à la conduite de leur travail et que la nature des tâches détermine largement l'existence et la forme des dispositifs graphiques.

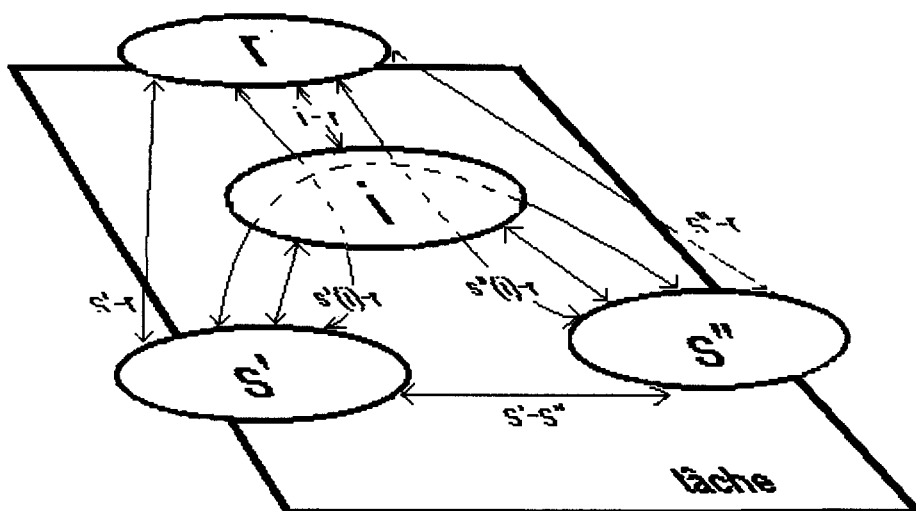


Figure 2. SAI avec instrument sémiotique

Dans le contexte de la classe, quelles formes prennent ces diverses composantes, et les relations qui existent entre elles ? Comment se constituent-elles chez l'élève ? En ce qui concerne l'apprentissage du dessin technique, la littérature à caractère empirique et théorique est relativement abondante. Des éléments de réponse qu'elle apporte à ces interrogations ne seront donc que brièvement évoqués en fin d'article dans la discussion. Comme, en revanche, les conditions d'apprentissage des autres graphismes enseignés dans les disciplines technologiques sont beaucoup moins connues, on présentera d'abord un premier point de vue descriptif issu d'observations de situations d'enseignement du schéma cinématique en classes de TSA (5), OTI (6), et filière STI (7) option électrotechnique, et du Grafcet en classe de TSA.

-
- (5) Technologie des Systèmes Automatisés, enseignement optionnel en Seconde des lycées.
 - (6) Option Technologie Industrielle, enseignement optionnel en Première et Terminale des lycées.
 - (7) Sciences et Techniques Industrielles, filière de préparation du baccalauréat technologique.

2. LES COMPOSANTES DU MODÈLE : À PROPOS DU SCHÉMA CINÉMATIQUE

le schéma
cinématique
rend compte
de l'organisation
des mécanismes

Le schéma cinématique est utilisé pour rendre compte de l'organisation des différentes parties mobiles d'un mécanisme, les unes par rapport aux autres. Par contraste avec le dessin d'ensemble qui donne les détails morphologiques et dimensionnels des pièces, il représente en quelque sorte le squelette du mécanisme, du point de vue fonctionnel. Il en caractérise les différents types de liaisons (liaisons pivot, pivot glissant, hélicoïdale, etc.) et en donne l'agencement. À un certain niveau, le code permet aussi de conserver les distances entre les centres de rotation, par rapport à l'échelle considérée. L'étude cinématique d'un mécanisme (8), qui vise à définir les trajectoires, les vitesses, les accélérations de points caractéristiques des éléments en mouvement, est effectuée à partir du schéma cinématique. C'est dire son importance en formation, du moins là où il s'agit d'acquérir des compétences en vue de justifier les choix du constructeur en fonction du cahier des charges, de modifier un mécanisme pour le rendre plus performant, d'élaborer un projet, etc.

2.1. Le pôle du référent R

dans les situations
scolaires...

Dans les situations d'enseignement étudiées, le système qui sera le référent du schéma cinématique est présenté aux élèves sous des formes très différentes (objet réel dans certains cas, évoqué et représenté dans d'autres cas : maquette, dossier technique) et généralement composites (systèmes avec carters translucides, mallettes qui regroupent les différentes pièces détachées, dessins en perspective distinguant les différentes parties les unes des autres). En somme, les élèves sont en général mis en présence d'un ensemble d'objets didactisés ou transposés, dérivés d'objets du milieu socio-technique de référence en fonction d'un projet d'apprentissage, plutôt que d'objets réellement issus de ce milieu. Par exemple, le store automatique "Somfy" est en fait une maquette qui rassemble tous les éléments constitutifs d'un automatisme, notamment pour ce qui concerne la simulation des sollicitations extérieures (vent, soleil).

...le référent
du travail de
schématisation...

Dans le cadre des examens, le référent se présente sous la forme d'un dossier. Par exemple, l'épreuve de l'option de technologie industrielle du baccalauréat a trait à un système automatisé décrit dans un dossier technique d'une douzaine de pages, qui comporte du texte mais également de multiples graphismes (schémas, dessins, diagrammes,...) dont certains sont normalisés (dessin technique) tandis que d'autres, fournis à titre d'illustration (d'une chaîne d'assemblage, d'un détail de fonctionnement) le sont moins.

(8) Cf. exemple donné en annexe I d'un mécanisme d'ouverture de phare sur véhicule de tourisme.

...n'est pas
toujours un objet
réellement
présent

En cours de formation, la nature et le rôle du système référent évoluent et engagent des activités de complexité croissante. En Seconde TSA, on demandera par exemple aux élèves de commander différents mouvements d'un robot manipulateur et d'observer son fonctionnement (identification des actionneurs, des mouvements relatifs des pièces...). En Première OTI, on proposera, à partir d'un système comme l'unité de perçage Portix, un travail dans une perspective pluritechnique comprenant l'utilisation d'instruments (pied à coulisse, tachymètre), la manipulation d'éléments séparés (roulements à billes, glissière à bille, moteur) et du système, l'application de diverses connaissances (moteur pas à pas, définition du pas de vis et du pas de moteur), la construction du schéma cinématique. En Terminale, les dossiers apparaissent, les annales du bac sont utilisées, les quelques travaux organisés à partir de systèmes ont valeur de révision : dessin assisté par ordinateur, mesures électriques, mesures électroniques, programmation d'automates. Dans l'optique de la filière STI, la base constituée par les travaux pratiques demeure jusqu'en Terminale, en regard d'un programme plus conséquent et surtout orienté différemment.

2.2. En toile de fond : la tâche

L'apprentissage relève de situations qui intègrent souvent plusieurs activités, comme le montre l'exemple suivant d'une séance en première scientifique, option OTI.

La séance est organisée en deux phases. La première phase (observation), sur logiciel Autocad, doit permettre à l'élève de suivre à l'écran la progression et les différentes étapes qui conduisent à la réalisation du schéma cinématique : distinguer les différentes classes d'équivalence, définir et positionner les liaisons, réaliser le schéma. L'animation dure un quart d'heure. Une fois le processus visionné, l'élève doit s'entraîner à reproduire l'ensemble de la "démarche" en revoyant si nécessaire certaines parties de la démonstration. La seconde phase (application) doit permettre à l'élève de réaliser le schéma cinématique d'un autre mécanisme à partir d'un dessin d'ensemble. L'exercice comporte quatre tâches : colorier sur toutes les vues du plan les quatre classes d'équivalence cinématique indiquées (corps, piston, galet, ressort) ; réaliser le graphe sagittal ; compléter le tableau cartésien des liaisons ; réaliser le schéma cinématique.

Grâce à une telle organisation des tâches le pédagogue espère :

- créer un apprentissage interactif grâce à l'utilisation d'un outil informatique qui permet à l'élève de reprendre à sa guise chaque partie de la démonstration ;
- amener l'élève à acquérir la méthode conduisant au schéma cinématique ;
- placer l'élève en situation de travail autonome.

L'observation montre cependant que :

- peu d'élèves réalisent la totalité de l'exercice ;
- que certains font preuve d'une compréhension rapide, en déplorant ainsi de ne pas travailler sur des ensembles plus complexes ; que d'autres demandent au contraire la totalité du temps disponible du fait qu'ils prennent en notes la partie démonstration ;
- que d'autres encore se laissent distraire en naviguant dans le logiciel, sans accorder beaucoup d'importance à l'application qu'il convient ensuite d'en faire.

selon l'option
enseignée...

Indépendamment des critiques opposables à cette planification des tâches qui ne semble pas convenir à une majorité d'élèves, cet exemple montre un éventail des activités proposées dans l'apprentissage du schéma cinématique. On peut encore citer des tâches de montage-démontage pour observer l'organisation cinématique, ou encore des tâches de mesure de vitesses de déplacement, de fréquences de rotation. Outre la diversité des tâches d'apprentissage, on note que les relations entre tâche prescrite, tâche réalisée et production effectuée vont rarement de soi. Il semble en résulter des acquisitions assez contrastées d'un élève à un autre.

...le contenu
des tâches
d'évaluation
varie...

Regardons maintenant ce qu'il en est au niveau du contenu d'épreuves d'examen. Dans l'épreuve OTI du baccalauréat, on adjoint au dossier technique un volumineux dossier d'évaluation. Pour ce qui concerne l'étude des parties opératives, les questions relèvent le plus souvent d'un simple rappel de connaissances. En particulier, la tâche qui consiste à caractériser les liaisons mécaniques (9) relève d'une "question de cours". Par exemple, il est demandé, dans le sujet proposé à la session de 1994, de caractériser une liaison sphérique. Par définition, celle-ci admet trois degrés de mobilité : une rotation selon chacun des trois axes du référentiel. Or, ce n'est pas le cas dans le système décrit, le schéma cinématique montre que ces mouvements n'ont pas lieu. Il faut néanmoins en rester à la définition, soit en ne se posant pas la question, soit en sachant que cette liaison se justifie pour des raisons de montage telles que le rattrapage d'alignement entre les deux parties reliées. L'épreuve de la session 1995 semble viser des compétences plus étendues (mesurer des caractéristiques de fonctionnement et valider le choix des composants d'une chaîne cinématique) mais jusqu'ici, les tâches de l'épreuve d'OTI sont apparues succinctes, morcelées et répétitives, du moins pour cette partie. Succinctes parce qu'elles portent sur une question de cours (il ne s'agit pas vraiment de comprendre le fonctionnement d'un mécanisme) et que le schéma cinématique est donné (il ne s'agit ni de compléter, ni *a fortiori* de construire un schéma). Morcelées car il n'y a pas de liens opératoires entre le schéma et la cinématique, c'est-à-dire entre l'étude des liaisons et l'étude mécanique. Répétitives : elles reviennent d'année en année sous la même forme, surtout en ce qui concerne l'étude des liaisons.

...rappel de
connaissances...

Il en va tout autrement de l'épreuve de construction en STI. Si, comme précédemment, un dossier spécifique est adjoint au dossier technique, celui-ci est dénommé "dossier de travail". La nuance est de taille, s'agissant maintenant de tâches de résolution de problèmes en cinématique, en statique. Dans ce cadre, le graphisme du schéma cinématique constitue une aide indéniable à la compréhension, il n'est

(9) Le degré de liberté d'une liaison est le nombre de déplacements élémentaires indépendants autorisés par cette liaison (six au plus, mouvements de rotation ou de translation repérés sur trois axes).

...ou résolution
de problèmes

pas possible de réussir l'étude d'un mécanisme si son fonctionnement n'est pas tout à fait compris, le schéma cinématique est un outil de compréhension du fonctionnement. Les sujets donnés en STI électrotechnique portent sur la vérification des performances d'un actionneur (ou sur le choix d'un moteur, d'un réducteur) en fonction du comportement statique, cinématique et énergétique d'un système donné. À la session de 1996, par exemple, le système étudié est un robot ("Nokia R350") destiné à gérer des bobines de fils dans une chaîne de fabrication de câbles électriques. Le schéma cinématique spatial du robot est donné avec le dossier. La première tâche consiste à repérer les sous-ensembles sur le schéma cinématique à partir du dessin d'ensemble, cette tâche incitant les candidats à rentrer dans le détail du fonctionnement pour une compréhension satisfaisante. La seconde partie consiste à vérifier les paramètres d'un moteur du robot par rapport aux caractéristiques mécaniques du système actionné (définition des efforts, etc.). Une troisième partie concerne l'étude d'un dispositif particulier de tension de chaîne, sous la forme d'un schéma cinématique à produire, mettant en jeu à la fois des connaissances technologiques et une maîtrise du schéma. Dans cette dernière partie, c'est un avant-projet qui est demandé, ce qui signifie que plusieurs solutions peuvent convenir, l'aspect qualitatif intervenant dans l'examen des productions réalisées.

2.3. Le pôle des sujets S' et S"

Ce qui vient d'être dit incite à penser que le référent et la tâche vont peser très fortement sur les situations d'intercommunication entre élèves, entre élèves et professeurs. Quelques observations faites en STI électrotechnique pour le schéma cinématique montrent que les situations d'intercommunication changent en cours d'année. Elles sont très scolaires dans un premier temps, lorsqu'il s'agit d'acquérir les bases et de réaliser les premiers graphismes, sous la forme d'exercices d'application (référent facile d'accès, tâche simplifiée). Peu à peu, le schéma cinématique s'impose comme solution appropriée à des besoins spécifiques de représentation fonctionnelle des mécanismes. Les échanges qui ont lieu en cours, en travaux dirigés, en travaux pratiques prennent souvent l'allure de traitement d'un problème particulier. Par exemple, un élève ayant envisagé une solution particulière pour schématiser le fonctionnement d'un mécanisme sera invité à l'exposer et à justifier son analyse. Les changements observés vont de pair avec deux traits caractéristiques : d'une part, l'utilité de l'instrument schéma cinématique pour faciliter la lecture de dessins, la compréhension de mécanismes, l'étude statique analytique et l'étude cinématique, d'autre part, l'importance prise pour ces élèves par l'objet et par la production : faire une analyse, résoudre un problème de mécanique.

le schéma
cinématique
s'impose
progressivement...

Dans un contexte comme celui de l'option OTI, les résultats peuvent être tout différents. Une observation systématique a été faite au cours de plusieurs rotations sur un même poste de travail de l'ensemble des 18 élèves d'une section de Première scientifique. Dans la plupart des cas, chacun des binômes collabore assez peu, mais ceux qui le font semblent progresser plus facilement, les échanges portant aussi bien sur la prise en compte du référent que de la tâche. Au sein de chaque binôme, on peut observer une distinction systématique entre un élève, plus actif, et l'autre, plus inactif.

C'est dans le cadre de l'option TSA que la variété des comportements semble la plus manifeste. Le niveau de participation est souvent très différent, certains se lancent à l'eau, d'autres restent en retrait. Dans le premier cas, l'élève agira sur le système, de sa propre initiative, en l'absence du professeur (essai-erreur) ou en sa présence (recherche de confirmation). Le résultat de cette approche "en faisant" est souvent immédiat, l'élève se rend compte qu'il apprend de cette manière, son camarade pouvant soit y participer, soit rester en retrait et jouer à celui qui n'y comprend rien. Très vite l'un peut adopter une attitude de "novice" tandis que l'autre adoptera une attitude d'expert. Il peut en résulter un climat de tension entre les deux partenaires. Cette différence est assez apparente dans le cas d'un travail à partir du système "Shrader" : celui qui manipule a bien vu que les vérins sont commandés par deux actions dans le cas de vérins à double effet, et par une seule dans le cas de vérins à simple effet. L'autre élève est resté plus ignorant de la question. Les différences entre les élèves d'un même binôme peuvent s'exprimer de bien d'autres manières. On peut observer des situations inverses, par exemple, dans un travail de nature plutôt conceptuelle sur le micro-tour, l'un des élèves se montre pressé de manipuler, de faire, d'agir. Il cherche à limiter au strict minimum ce qui est demandé, tout en ayant tendance à s'imposer sur le système, son objectif étant moins de s'installer dans la situation prescrite (pour décrire) que d'installer une situation à sa convenance (pour faire). En définitive, la tâche réelle est inverse de la tâche prescrite. Cela se traduit par des réponses succinctes, voire erronées et finalement corrigées sous l'influence plus ou moins directe de son camarade et de l'intervention du professeur, mais sans que le processus d'acquisition ait été réellement efficace.

...comme une solution appropriée à des besoins spécifiques de représentation fonctionnelle de mécanismes

Mais c'est probablement au niveau de l'intercommunication élèves et professeurs que l'interaction tâche-référent a le plus d'incidence. Dans un travail sur le Portix réalisé en Première OTI, les tâches (faire un schéma en perspective de la partie horizontale du Portix pour mettre en évidence les déplacements, mesurer la vitesse de rotation du moteur, mesurer le pas de vis, trouver la vitesse de translation du chariot, faire un schéma cinématique) relèvent volontairement de problèmes plus ou moins nouveaux pour les élèves dans l'intention de les amener à se poser des questions. Des

exemples différents pourraient être évoqués en STI, où les interactions prennent une part importante, notamment dans la résolution de problèmes de construction.

2.4. Le pôle de l'instrument sémiotique

Les connaissances visées au travers des formations technologiques sont très variées, elles touchent aussi bien la construction mécanique, l'automatique, l'informatique industrielle, l'électrotechnique et l'électronique. Les dispositifs graphiques se présentent sous de nombreux aspects, chacun ayant ses spécificités. Dans le seul domaine de la mécanique, on a recours à des schémas aussi bien en hydraulique, qu'en pneumatique et en cinématique. Sans prétendre être exhaustif, la schématisation cinématique constitue un exemple qui permet de montrer la nature des difficultés que soulève l'appropriation d'instruments de représentation mentale, et de préciser les conditions nécessaires pour qu'il y ait véritablement instrumentation.

D'abord, l'action instrumentée devrait avoir ici, pour objectif, la production de connaissance relative à un objet. Plus précisément, on s'attendrait à ce que le schéma cinématique facilite la compréhension du fonctionnement des mécanismes et la lecture de dessins du point de vue fonctionnel. Ces premiers résultats d'une étude en cours montre qu'il en est bien ainsi, du moins chez les élèves pour lesquels la signification instrumentale s'est opérée dans de bonnes conditions. On peut parler dans ce cas de construction par les élèves d'un rapport réellement instrumental aux outils graphiques enseignés. À l'inverse, d'autres élèves se trouvent en difficulté à la fois pour expliquer d'une manière ou d'une autre le fonctionnement d'un mécanisme, et pour réaliser le schéma cinématique. En particulier, les schémas réalisés dans ce cas laissent apparaître des impossibilités de fonctionnement, comme si le schéma cinématique restait sans signification particulière, sinon d'exercice scolaire, un de plus.

Ensuite, l'instrument a pour fonction de modifier l'état psychique ou le comportement d'un sujet, soi-même ou autrui. Si on se réfère aux différents contextes d'apprentissage évoqués, les élèves concernés ici reçoivent les mêmes connaissances de base, mais dans des perspectives bien différentes. Les bases communes concernent les symboles utilisés pour représenter les différentes liaisons, la réalisation de schémas pour des mécanismes assez simples, le repérage des classes d'équivalence cinématique, c'est-à-dire des différents ensembles de pièces solidaires les unes des autres, sans mouvements relatifs entre elles. Les perspectives divergent fortement. Pour l'option TSA et OTI qui fait suite, il s'agit d'acquérir des bases notionnelles, le schéma cinématique apparaissant alors comme un objet de connaissance en soi. Pour la filière STI, c'est davantage un outil de modélisation qui sert de base au développement d'études statiques et

l'instrument
sémiotique doit
permettre...

...la compréhension
du fonctionnement
d'un mécanisme...

...et sa
représentation
pour soi-même
ou autrui

dynamiques, une aide que les sujets associent étroitement à la réalisation de leur tâche, ainsi que pour communiquer.

Enfin, l'expertise sémiotique est étroitement liée à une expertise dans le domaine d'application, c'est en quelque sorte une conséquence, mais qui a son importance. On a vu qu'en STI un élève suffisamment avancé dans sa formation acquiert une représentation exacte et détaillée de la classe de tâches qui motive l'existence de ce graphisme et de la façon dont le référent s'inscrit dans cette tâche. Un élève avancé, qui maîtrise le schéma cinématique, sait en même temps que le système qu'il étudie est doué de propriétés fonctionnelles, statiques et dynamiques particulières, et qu'il peut faire appel au schéma dans sa démarche de résolution de problème.

3. LES RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTS PÔLES DU MODÈLE : À PROPOS DU GRAFCET

Divers travaux (Morais & Visser, 1987 ; Ginestié, 1992) attestent que le Grafcet (rapidement présenté en annexe II) revêt une fonctionnalité limitée chez les élèves débutants. Une étude menée sur l'apprentissage du Grafcet en classe de Seconde TSA (Andreucci, 1993) apporte un nouvel éclairage sur l'acquisition (ses modalités et ses résultats) de ce graphisme. Les élèves ont été soumis à des épreuves élaborées en commun par des professeurs de TSA de divers établissements en vue de dresser un bilan des connaissances acquises en fin d'année. Le contenu des tâches proposées, de même que la grille d'évaluation qui leur est associée, offrent ainsi une bonne image des attentes et des exigences des enseignants quant à la maîtrise de ce graphisme. Celles-ci concernent essentiellement l'acquisition de compétences relatives à la lecture et à l'écriture du Grafcet pour lesquelles les élèves reçoivent un guidage important, tout en étant confrontés à des descriptions très détaillées du cahier des charges et du processus à décrire. Aussi élémentaires que puissent sembler l'acquisition des notions de base et du formalisme du Grafcet, ainsi que la distinction des spécifications relatives à ses différents points de vue, leur simple transfert à l'appréhension de systèmes qu'il s'agit de se représenter mentalement soulève déjà des questions quant au caractère opératoire de ces premières acquisitions.

C'est ce point qu'on se propose ici d'illustrer, tout en donnant un aperçu des interactions entre les différents pôles du modèle présenté plus haut.

3.1. Les relations sujet-instrument sémiotique

On s'intéressera surtout ici aux relations que les enseignants entretiennent avec le Grafcet, sachant que le rapport que les élèves construisent avec cet outil dépend lui-même, dans une assez large mesure, des conceptions épistémiques,

le Grafcet : les connaissances acquises en TSA sont-elles opératoires ?

pédagogiques et didactiques des enseignants à son égard, de la même façon que celles-ci sont influencées par les choix conceptuels et méthodologiques que reflète l'élaboration de ce graphisme (10).

les enseignants
ont des vues
divergentes...

Ces relations ne sont pas homogènes. Elles diffèrent au sein de la population des professeurs de TSA puisqu'en raison de leur double spécialité d'origine ou de leur ancienneté, certains ont reçu une formation, parfois approfondie, au Grafcet alors que d'autres l'ont appris sur le tas. En outre, et bien que l'on ne puisse pas vraiment parler ici d'obsolescence externe du savoir (même si, à notre sens, ce genre d'usure frappe beaucoup plus vite les connaissances dans les enseignements technologiques que dans les autres disciplines), il s'avère que le Grafcet a évolué depuis l'origine de sa conception et encore récemment (11), soulevant le problème de la réactualisation des connaissances à enseigner.

...quant aux
caractéristiques
du code à
enseigner

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant d'observer des divergences dans les normes des savoirs que les enseignants privilégient ou jugent pertinentes. Par exemple, ils ne sont pas tous d'accord sur la nature des spécifications à prendre en compte au niveau du Grafcet partie opérative (PO), ou sur la simultanéité existant ou non, lors du franchissement d'une transition, entre l'activation de l'étape ultérieure et la désactivation de l'étape précédente. Aux normes publiques établies qui peuvent être plus ou moins bien respectées, se superposent donc des normes privées et officieuses, qui peuvent être totalement personnelles à tel ou tel enseignant, mais dont l'extension peut aussi dépasser le cadre strict de la classe.

- Certaines valent par exemple (12) à l'échelle de l'établissement, ce qui peut s'expliquer par le fait, qu'aussi bien les dossiers d'apprentissage que les maquettes de systèmes servant de supports aux travaux pratiques, sont restés, pour

(10) Il paraît clair, par exemple, que les termes retenus pour désigner les Grafcets réalisés selon différents points de vue (système, partie opérative, partie commande plutôt qu'utilisateur, concepteur et automatisé) confirment le constat dressé par Rabardel (1995) à propos de la domination d'une vision techniciste (centrée sur la structure de la machine) plutôt qu'anthropocentrique (reflétant les rapports du sujet à l'objet) sur les artefacts. Il apparaît en outre que l'on propose à l'apprenant une logique d'apprentissage qui est directement calquée sur la progression que ces différents points de vue représentent dans la démarche de conception de l'expert.

(11) Cf. les nouveaux concepts de "macro-étape" et de "forçage" définis par l'AFCEC depuis Juin 1993.

(12) Tel est le cas de la numérotation des étapes pour les séquences alternatives ou simultanées, qui selon les cas consiste - soit à ne pas rompre l'ordre de numérotation (après une étape 1, on aura par exemple dans la branche de gauche les étapes 2 et 3, dans celle de droite les étapes 3 et 4 puis une étape 5 à l'issue de la convergence) - soit à l'interrompre (étapes 10 et 11 dans la branche de gauche, 20 et 21 dans celle de droite, puis une étape 2 après convergence).

l'essentiel et pendant longtemps, des produits "maison", élaborés par les équipes pédagogiques en place au démarrage de l'option.

- Dans d'autres cas, ces normes (13) semblent faire l'objet d'un consensus plus large (inter-établissements), sans doute en raison des justifications pédagogiques qui paraissent pouvoir les sous-tendre, mais qui dans un tel cas demanderaient à être vérifiées.

des normes
dont le caractère
"scolaire" est
souvent ignoré
des élèves

Ce qui fait problème, ce n'est pas le fait que ces normes "scolaires" du Grafcet n'aient pas de légitimité en dehors de la classe mais, qu'à de rares exceptions près (14), les élèves ne soient pas prévenus qu'il s'agit d'exigences pédagogiques propres à leur enseignant, ou liées à leur statut d'apprenant. N'étant pas justifiées en tant que telles, mais servant de critères d'évaluation de leurs productions, ces exigences passent au contraire, aux yeux des élèves, pour des normes qui sont liées au code.

- Enfin, les exigences des enseignants quant à l'appropriation de cet instrument (et des autres acquisitions au programme) varient aussi sensiblement selon la politique des établissements, en fonction de la variété des vocations assignées à l'option TSA (Froment, 1992 ; Andreucci, 1995). Selon les enjeux que cette matière revêt quant à l'orientation ultérieure (tremplin vers la filière scientifique, ouverture vers les filières techniques, ou option à vocation culturelle très large), le profil attendu des élèves n'est pas le même et s'avère de fait différent à l'arrivée.

En somme, selon les professeurs et les contextes, il ne s'agit donc pas tout à fait du même instrument. Par voie de consé-

(13) Par exemple le fait de libeller les actions par un verbe à l'infinitif ("amener une dose de café" "malaxer") plutôt que par des substantifs ("amenage", "malaxage"). S'agit-il ainsi de permettre à l'élève de mieux distinguer actions et réceptivités, souvent désignées, quant à elles, par un participe passé ("dose amenée") ? Mais, dans ce cas, pourquoi ne pas faire appel aussi à des signifiants distincts pour marquer la différence qu'il y a d'un Grafcet à l'autre entre le fait d'associer des tâches, des actions ou des ordres aux étapes ?

(14) Exemple, ces deux présentations divergentes du codage de l'étape initiale ; (1) : "Il y a des cases vides. Elles ne sont pas franchement vides. On les numérote. La première, on va l'appeler 0, la deuxième 1, la troisième 2, etc. Et a priori, quand je remets le système en route, on est toujours dans la même case. C'est pour cela qu'il y a une case qui est privilégiée par rapport aux autres. Alors on double la case. La case 0 on la double..." (2) : "Une étape est un carré comme ceci avec un numéro à l'intérieur. Le numéro n'a aucune importance, mais ce qu'il faut c'est qu'il n'y ait pas deux numéros identiques dans un même Grafcet. L'habitude nous donne comme méthode de commencer à 1 ou 0, et puis de numéroter successivement les étapes dans l'ordre 1, 2, 3, 4, etc., jusqu'au nombre d'étapes qu'il faut pour analyser le système, en commençant soit par 1 soit par 0. Il y a une étape spéciale qui s'appelle l'étape initiale (...). J'ai pour habitude d'indiquer l'étape initiale par 0. On pourrait l'appeler 1 si on voulait, moi je commence par 0..."

quence, celui-ci ne présente pas non plus les mêmes caractéristiques formelles pour les élèves, ce qui porte d'autant plus à conséquence que le Grafcet se réduit souvent pour eux à une forme. Si la maîtrise du formalisme est indispensable pour établir ou lire un Grafcet, elle est largement insuffisante pour comprendre ou conceptualiser le fonctionnement d'un automatisme. Le fait que la plupart des élèves n'accède qu'à une maîtrise approximative du formalisme (15), malgré le primat que les enseignants accordent à cet aspect, semble ainsi lui-même être le signe d'une compréhension insuffisante du caractère opératoire des notions de base et des premières règles d'évolution du Grafcet.

3.2. Les relations sujet-référent(s)

Elles sont à l'origine de nombreuses difficultés rencontrées par les élèves, bien que les enseignants n'aient pas toujours l'occasion d'en prendre conscience dès lors que la plupart des activités réalisées en cours d'année portent sur des systèmes maquetés présents dans les classes. Les observations évoquées ici portent au contraire sur l'étude complète d'un système réel. Elles montrent les limites du caractère transférable des connaissances acquises dans le contexte de ces travaux dirigés ou pratiques, dès lors qu'il s'agit d'un automatisme que les élèves doivent se représenter à partir d'une description. Elles soulèvent aussi la question de la transposition que les enseignants ont dû faire subir à ce système réel pour faciliter son appréhension par leurs élèves.

• **Construire un référent didactique
est une opération délicate et complexe**

Le choix d'un support de nature industrielle, ou de type grand public, est problématique en ce sens qu'il doit satisfaire au départ à certains critères (pas d'intervention de l'homme dans la machine, si ce n'est au niveau du départ du cycle pour ne pas compliquer l'identification de la matière d'œuvre, relative facilité de distinction des différents composants, évolution séquentielle suffisamment conséquente, degré de familiarité des élèves avec le système, etc.).

Partant de là, les enseignants sont conduits à concevoir un système didactisé moins complexe dont le fonctionnement puisse être à la portée de l'élève. En l'occurrence, il s'agit d'un distributeur automatique de boissons qui ne peut préparer que du café ou du chocolat. Pour autant, il faudra

le référent
est souvent
une création
scolaire...

...qui tente
de réaliser
un compromis...

...entre
la préservation
d'une cohérence
technique...

(15) En témoigne l'échantillon d'expressions suivant : "Il n'y a pas de cases qui indiquent les actions après les barres de côtés." "Il ne peut y avoir deux tirets entre chaque case, car dans les cases il y a un ordre et un tiret pour chaque ordre." "Dans une bifurcation les chiffres ne doivent pas se suivre, il aurait fallu mettre 10." "Il y a une erreur de branchement car on passe de 3 à 5." "Il manque le cadre pour donner une demande."

encore épurer ce dispositif, en éliminant le problème de la reconnaissance des pièces de monnaie. En revanche, il ne faut pas qu'à force de simplification, le problème ne présente plus de difficulté, aussi le pupitre comportera-t-il un bouton poussoir (non accessible de l'extérieur de la machine) donnant lieu à une boisson gratuite. Ceci évite de faire complètement abstraction des problèmes d'entretien de la machine (16), et permet surtout de proposer à l'élève l'étude d'une réceptivité de départ combinant trois informations (machine en service et – présence de monnaie ou boisson gratuite) grâce à deux opérateurs logiques (multiplication et disjonction). Ce travail de transposition d'un référent réel ne va pas de soi, puisqu'il s'agit de réaliser un compromis entre la préservation d'une cohérence technique du processus et l'intérêt cognitif qu'il offre au plan du travail de l'élève qu'il permet. Il est clair qu'une fois son élaboration achevée, le système décrit par le dossier technique devient en revanche le seul référent auquel l'activité de l'élève est supposée devoir et pouvoir se référer.

Pour autant, les enseignants ne jugent pas toujours nécessaire d'informer les élèves sur les contingences didactiques qui font qu'ils ont été amenés à recourir ainsi à un référent qui peut faire figure de "cas d'école" par rapport au système plus complexe dont ils ont pu se construire une représentation en tant qu'utilisateurs.

• **Une logique de la machine qui occulte la logique du sujet**

Dans l'épreuve proposée, les élèves sont tout d'abord invités à étudier la réceptivité (machine en service et – présence de monnaie ou boisson gratuite) associée à la transition entre l'étape initiale et l'étape 1 afin de déterminer à quelle condition le Grafset évolue de l'une à l'autre. Cette condition est satisfaite si la première variable d'entrée est vraie (égale à 1) et que simultanément l'une ou l'autre ou les deux autres le sont aussi. Les enseignants prévoient que de nombreux élèves omettront de prendre en compte cette dernière combinaison (111), excluant par là le fait que les deux conditions (paiement ou gratuité de la boisson) puissent être satisfaites en même temps en raison de leur signification empirique apparemment contradictoire. Les résultats révèlent pourtant que la combinaison en question donne lieu à très peu d'erreurs. Les enseignants en déduisent qu'en dépit de leurs craintes "la proposition présence de monnaie ou boisson gratuite a été bien comprise sous la forme d'un ou inclusif" (plutôt qu'exclusif). Or, de fait, le dispositif de réponse proposé aux élèves n'autorise pas une telle conclusion car, en réalité, la table de vérité qu'ils devaient remplir lors de l'étude de réceptivité leur fournissait déjà le nombre de combinaisons

(16) qui seront ainsi réglés en indiquant que ce bouton permet à la personne chargée de l'entretien de tester le fonctionnement sans avoir à mettre une pièce.

...et l'intérêt
cognitif
de l'activité
pour l'élève

il peut exister
des distorsions
importantes...

...génératrices de
difficultés de
compréhension...

à définir. Là où les enseignants pensent pouvoir déceler des erreurs en termes de relations sujet-référent, il arrive ainsi qu'ils se privent de la possibilité de le faire en fournissant implicitement aux élèves des informations qui limitent les questions qu'ils pourraient se poser quant à la signification empirique ou logique des données qu'ils ont à traiter.

Un peu plus loin, dans l'exercice, l'étape 1 étant active (machine en service, pièce de monnaie introduite, gobelet tombé sur le plateau), les élèves sont invités à analyser ce qui se passe du point de vue de l'évolution du Grafcet selon que les deux réceptivités "choix café et non chocolat" et "choix chocolat" sont – indépendamment l'une de l'autre ou simultanément – fausses ou vraies. La difficulté majeure est évidemment offerte par cette dernière situation de double sélection qui représente pour les enseignants un "cas d'es-pèce", tandis qu'elle représente pour la plupart des élèves une cause de dysfonctionnement si ce n'est un non sens (17). Très peu d'entre eux s'avèrent ainsi capables de voir que dans ce cas c'est la préparation du chocolat qui, selon le Grafcet, serait privilégiée du fait que la réceptivité antérieure n'intègre pas la condition "non chocolat". En revanche, un certain nombre d'élèves estiment qu'il s'agit en définitive d'un faux problème dans la mesure où la machine devrait pouvoir détecter, à leur sens, une absence de simultanéité parfaite : *"On ne peut pas sélectionner deux boissons en même temps. Si s1 a été demandé en premier on aura du café et si c'est s2 on aura du chocolat"*. Le fait que les enseignants ne soient pas unanimes quant à l'évaluation positive ou négative qu'il convient d'apporter à ces réponses tendrait par ailleurs à prouver qu'ils ne sont pas toujours eux-mêmes totalement au clair sur les propriétés de l'objet réel, ou sur celles de l'objet didactisé, qu'il convient de privilégier.

...entre le
système réel
que l'élève
connaît en tant
qu'utilisateur...

Pour les élèves, il est difficile de ne pas se situer en tant qu'utilisateurs du système réel lorsque le système pseudo-réel qu'ils ont à étudier en vient à ne plus faire sens pour eux. Il est rare cependant que leurs erreurs soient reliées aux conflits qu'introduit la transposition d'un référent familier. Ainsi, pour définir les actions associées aux étapes ou les réceptivités associées aux transitions, les élèves proposent souvent des réponses que les enseignants qualifient de "formulations incorrectes" comme si seule la forme du texte proposé s'avérait répréhensible, indépendamment du sens qu'il peut avoir. Au lieu de dire par exemple "dose de café transférée" les élèves diront "présence de café" ou "poudre de café dans le bac 1", ce qui paraît insuffisant, tout au moins au plan didactique, c'est-à-dire en référence à

(17) Cf. ces commentaires *"soit on obtient un mélange, soit la machine ne fonctionne pas"* ; *"la machine ne prépare rien car la solution est impossible"* *"ça ne peut pas marcher car on doit choisir le café ou le chocolat, sinon on risque de mettre en panne la machine"* *"la machine ne fonctionne pas car il n'y a qu'une pièce de monnaie introduite"...*

l'énoncé du cahier des charges. Au plan empirique, c'est une autre chose, car si on se réfère à l'expérience que chacun peut avoir des distributeurs automatiques de boissons auxquels il arrive de servir du café ayant la couleur du thé, on peut se demander si on est vraiment en droit d'exiger des élèves une performance (en termes de précision) qui dépasse les limites de la performance habituelle de ce genre de machine.

D'autres erreurs montrent que les élèves ont aussi tendance, dans certaines situations, à substituer des actions du système par des actions de l'utilisateur. Ainsi, ayant notamment du mal à concevoir que l'état d'attente du système, à une étape du fonctionnement, puisse correspondre à une action associée, certains introduisent à cette occasion des actions du type "retirer le gobelet". Dans d'autres cas, on assiste aussi à des raisonnements par analogie avec la réalisation manuelle du procédé (ce que Morais et Visser, 1987, constatent aussi de leur côté). Ainsi, bien que le procédé décrit fasse référence à un "moteur de malaxage et d'amenage du café liquide", nombreux sont les élèves qui jugent pertinent de coupler l'action de malaxage avec l'amenage de la poudre considérant semble-t-il par là, que le mélange s'effectue d'autant mieux qu'il faut "verser en remuant" ainsi que le préconisent d'ailleurs bien des recettes de cuisine.

...et sa version
didactisée

En définitive, dans l'enseignement des graphismes, il semble qu'on tienne souvent pour acquis que les choses à représenter font l'objet de significations claires, communes et partagées dès l'instant qu'elles se réfèrent à des entités matérielles bien concrètes et manipulables. Concernant le Grafcet, ceci n'a déjà rien d'évident en ce qui concerne les maquettes de systèmes dont la présence en classe permet de disséquer le fonctionnement. Il en va *a fortiori* de même de la façon dont les élèves sont susceptibles de se représenter le fonctionnement d'un automatisme en l'absence d'un dispositif matériel concret. On a vu que dans ce cas, contrairement à une idée répandue, il n'est pas certain que la familiarité des élèves avec le système à appréhender soit alors d'une quelconque aide pour eux, car il peut exister des distorsions importantes (génératrices de difficultés cognitives supplémentaires) entre le système réel que l'élève connaît en tant qu'utilisateur, et sa version didactisée qu'on lui propose d'étudier.

4. DISCUSSION ET PROPOSITIONS : PROBLÉMATISER LES SITUATIONS D'APPRENTISSAGE DES GRAPHISMES TECHNIQUES

les situations
d'enseignement
des graphismes
techniques...

Les études que l'on vient très succinctement d'exposer relatives au schéma cinématique et au Grafcet rejoignent un constat que l'on a pu faire en ce qui concerne l'enseignement du dessin technique au lycée professionnel (Rabardel, Rak & Vérillon, 1988). C'est celui d'un risque de dérive transpositive réductrice qui tend à privilégier dans l'enseignement un rapport normatif à ces graphismes techniques, sans accorder une importance équivalente à leur signification instrumentale pour l'apprenant. Il est vrai que c'est cet aspect normatif que les ouvrages de référence et les manuels mettent au premier plan, or, au regard du modèle, il ne concerne – et encore seulement de manière partielle – que les relations i-r.

...devraient
permettre de
situer les normes
et les solutions à
acquérir...

Tout se passe comme si ces approches didactiques ne retenir des situations de communication technique de référence que les solutions actuellement utilisées et normalisées en ignorant les conditions historiques et écologiques dans lesquelles elles ont été constituées. À notre sens, la didactisation des graphismes techniques – et notamment du dessin, en raison de sa dimension historique (Deforge, 1981) – nécessite que soient transposées dans l'enseignement, non seulement les solutions et les normes en vigueur, mais les conditions problématiques qui les ont engendrées et leur donnent leur sens.

...dans
les conditions
problématiques
qui leur donnent
sens

À cet égard, le modèle permet de dégager trois niveaux de problématisation dont pourrait tenir compte un enseignement visant à favoriser des acquis de type fonctionnels :

- le problème général de la communication au moyen de signes (qui concerne plus particulièrement le sous-ensemble s'-i-s") ;
- le problème, spécifique à la communication technique, de la tâche en tant qu'elle détermine la relation du sujet au référent (centré sur les interactions au sein du sous-ensemble tâche-s'-r-s") ;
- le problème du code technique comme solution fonctionnelle à des besoins spécifiques de représentation et de communication (relatif au sous-ensemble s'-s"-i-r).

4.1. Le problème de la communication

Le premier niveau concerne la transposition de la dimension "communication" qui dans notre modèle concerne le sous-ensemble d'interactions représenté en fig. 3.

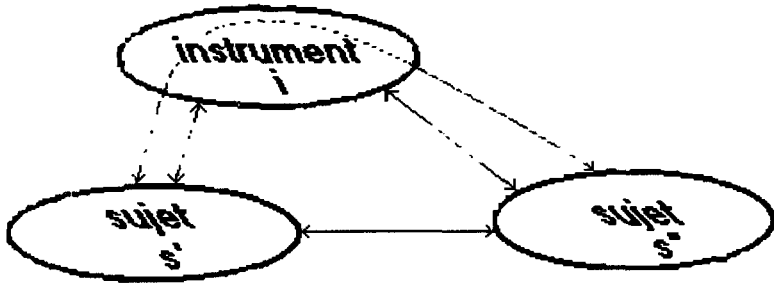


Figure 3. La dimension communication

Rares sont les situations didactiques où le problème général de la transmission d'information par signes (dont la communication technique constitue un cas particulier) est concrètement posé aux élèves, c'est-à-dire où ils ont à assumer réellement (ou en pensée) les places de s' et s'' et à s'interroger pratiquement sur un processus de communication réel dans lequel ils sont impliqués et qu'ils ont à gérer. Le plus souvent, l'enseignant et les élèves occupent alternativement les deux positions. Ainsi, c'est l'enseignant qui propose aux élèves l'essentiel sinon la totalité des productions graphiques qu'ils vont devoir décoder et travailler. Inversement lorsqu'il y a production graphique par les élèves, c'est lui qui en est effectivement le destinataire mais le traitement qu'il en fait porte sur la correction syntaxique et non sur le contenu qu'il connaît par définition déjà. Dans ces conditions, il y a confusion entre, d'une part, la situation de communication comme objet transposé, avec ses contraintes et problèmes spécifiques, et, d'autre part, la relation maître-élève au sein du procès didactique dont les enjeux et le contrat sont bien entendu de nature complètement différente.

C'est ce type de didactisation qui contribue à donner aux acquis des élèves le caractère scolaire, désincarné et peu opératoire que l'on a évoqué. À l'inverse, il conviendrait, semble-t-il, d'ancrer l'apprentissage des graphismes techniques dans un rapport effectif et réaliste aux processus et aux problèmes de communication. L'objectif serait, en situation réelle ou simulée, de sensibiliser les élèves à – et de leur faire prendre conscience de – certaines caractéristiques générales de ces processus. Parallèlement, il conviendrait de leur proposer des concepts leur permettant d'élaborer un cadre notionnel pour penser et décrire les phénomènes de communication, phénomènes dont ils ont d'ailleurs une connaissance "en acte" et dont il faudrait favoriser une approche réfléchie et verbalisable (notions d'information, de code, de signe, de message, etc.).

Dans des propositions didactiques élaborées pour l'enseignement du dessin technique (Vérillon *et al.*, à paraître), on

à l'origine
des situations de
communication
technique...

...des besoins
d'information
qu'il faut satisfaire

engage la problématique des graphismes techniques par une situation de besoin d'information (circuler dans une ville inconnue, préparer un plat compliqué, utiliser un nouvel appareil). Elle peut être dévolue aux élèves avec la consigne d'élaborer des documents visant délibérément à réduire ce manque d'information. On peut ensuite évaluer les solutions élaborées (les critiquer du point de vue du destinataire, qui peut, en l'occurrence, être un sous-groupe d'élèves), les comparer à des documents existant : plans, recettes, modes d'emploi. Ce travail conduit à distinguer des catégories qui sont transversales aux graphismes techniques et fondamentales dans la perspective d'un "génie graphique" : ce dont on parle (le référent), ce qu'on en dit (le signifié) et les moyens pour le dire (les signifiants). Il ne s'agit bien entendu pas de faire aux élèves un cours de sémiologie, c'est le côté opératoire et pragmatique de ces concepts pour caractériser les situations et les phénomènes de communication technique qui doit gouverner leur découverte et leur utilisation.

4.2. La tâche et le référent comme déterminants de la communication technique

ce sont
les tâches...

Un second sous-ensemble problématique est mis en relief par le modèle. Il s'agit du rapport du sujet au référent et de la manière dont ce rapport est déterminé par la tâche dans laquelle ce référent s'inscrit (fig. 4).

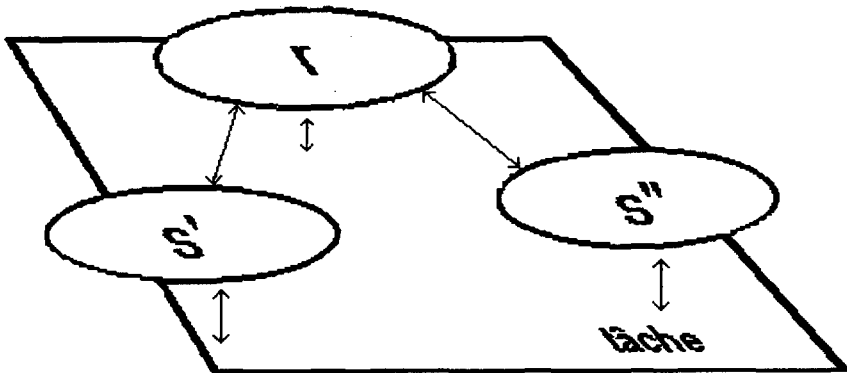


Figure 4. La relation au référent est déterminée par la tâche

...avec leurs
caractéristiques...

Le plus souvent dans les situations d'enseignement, la classe des objets décrits par un code graphique donné est présentée comme allant de soi. Ainsi, le dessin technique sert à représenter des pièces ou ensembles de pièces mécaniques, le Grafcet décrit le comportement d'automatismes programmables, le schéma cinématique décrit en termes de liaisons les relations internes aux mécanismes, etc. Ici

...qui déterminent
les besoins en
information
des opérateurs

encore, ce qui est transposé relève davantage de l'ordre de la solution que de l'ordre du problème. Or il est clair qu'il n'existe des graphismes techniques que parce qu'il existe des tâches techniques spécifiques à effectuer et que les opérateurs ont besoin d'informations – prescriptives et descriptives – pour les réaliser. Dans les situations professionnelles de référence, la nature, les contraintes et les objectifs de la tâche déterminent profondément les rapports du technicien au référent. Le plus souvent le référent est au centre de la tâche : c'est l'objet à concevoir, à fabriquer, à monter, à programmer, à dépanner, etc. De sorte que, comme le souligne Lebahar (1994), l'expertise sémiotique des opérateurs est étroitement liée à une expertise dans le domaine de la tâche. Par exemple, en fabrication mécanique, pour une pièce donnée, un projeteur expert, outre la maîtrise du dessin, possède une connaissance approfondie des conditions de son usinage en atelier, des propriétés fonctionnelles de ses surfaces et par conséquent des descripteurs pertinents pour la tâche du fabricant, chez lequel il présuppose l'existence de connaissances analogues.

les besoins
spécifiques
d'information
déterminent
en retour
les propriétés
des descripteurs
pertinents
du référent

La transposition didactique devrait donc permettre à l'élève de se former une représentation suffisamment détaillée et juste de la classe de tâches qui motive l'existence du graphisme enseigné et de la façon dont les référents s'inscrivent dans ces tâches. L'enjeu ici est celui de la construction par l'élève de descripteurs pertinents de l'objet référent. Par descripteur pertinent, nous entendons l'ensemble des variables qui permettent de décrire l'objet référent dans un "langage" cohérent avec la logique de la classe de tâches, c'est-à-dire en fonction des besoins d'information des opérateurs pour réaliser leur tâche. Par exemple, en fabrication mécanique, les opérateurs – concepteurs, usineurs, réglés, monteurs – dans leur rapport aux objets à fabriquer, manipulent essentiellement des données relatives aux formes des surfaces, aux dimensions, à la matière, voire au positionnement relatif d'ensemble de pièces. Forme, dimension, matière, position relative constituent des descripteurs pertinents du domaine et spécifient ce que seront les classes de signifiés des modes de représentation adéquats (p. ex., dessin de définition ou dessin d'ensemble).

Les signifiés propres à la schématisation cinématique et au Grafset reflètent également ces contraintes de description pertinente. En conception mécanique, l'information porte notamment sur l'agencement fonctionnel des pièces entre elles, donc en termes de degrés de liberté, de classes d'équivalence cinématique, etc. En revanche, en conception, maintenance ou programmation d'automatismes, les opérateurs ont besoin de décrire le processus automatisé en termes d'une chronologie d'actions conditionnée par des informations relatives à l'état des milieux externe et interne au système. Cette description est largement contrainte par le format logique binaire au principe du dispositif de commande. Elle est aussi contrainte par les propriétés spéci-

figes de la partie opérative : solutions mécaniques, électromécaniques, électroniques, etc. mises en œuvre ainsi que par les propriétés de la matière d'œuvre.

L'élaboration de descripteurs pertinents n'est pas évidente pour les élèves. Il importe donc qu'ils soient confrontés à des référents significatifs et authentiques. Ainsi, s'il peut être utile, comme l'a suggéré Higelé (1984), pour la construction par les élèves des propriétés et opérations projectives, de travailler sur des objets purement géométriques (de type "cale entaillée"), la plupart des solutions apportées par le dessin technique ne peuvent acquérir leur sens que par rapport à des référents et des tâches significatifs de la mécanique industrielle. Encore convient-il que les relations des élèves à ces référents soient elles-mêmes significatives et authentiques. Il semble que souvent les enseignants surestiment la culture et les connaissances de l'élève relativement à telle ou telle classe de référent et aux contextes techniques qui lui donnent sens. Par exemple – c'est souvent le cas en construction mécanique, mais on l'a vu aussi en TSA, OTI et STI – les informations concernant le référent que les élèves ont à représenter graphiquement leur sont elles-mêmes fournies sous forme uniquement graphique. Ce qui présuppose chez l'élève, souvent à tort, une certaine virtuosité à jongler avec différents codes graphiques mais surtout une familiarité acquise ailleurs avec la classe de référent concernée.

aménager
pour les élèves
des rapports
authentiques
aux référents

Dans l'enseignement du Grafset, l'illusion qui consiste à croire que l'élève peut construire un instrument sémiotique indépendamment d'une connaissance du référent est illustrée par la tendance à donner – à l'image des situations de référence professionnelle – une antériorité à la production du Grafset système sur les Grafset PO ou PC. Or, l'analyse montre (Morais & Visser, 1987 ; Andreucci, 1993) que, contrairement aux attentes des enseignants, la réalisation d'un Grafset système – c'est-à-dire d'une représentation d'un processus indépendamment des formes technologiques qu'il pourrait prendre – pose davantage de difficultés aux élèves que celle d'un Grafset spécifié en termes de solutions techniques. De fait, si les automaticiens professionnels ont développé une expertise à concevoir des processus sans anticiper sur les formes concrètes de leur réalisation, c'est qu'ils ont pu construire à travers leur fréquentation des automatismes existants une connaissance suffisante des grands invariants de ces systèmes pour pouvoir s'affranchir, si nécessaire, pour les représenter, de la prise en compte de leur dimension concrète. C'est sur cette nécessaire fréquentation active des objets de référence et sur la prise en compte des activités techniques multiples dans lesquelles ils peuvent s'inscrire, et qui leur donnent leurs différents sens, que le modèle d'instrumentation nous paraît notamment attirer l'attention.

un code de
représentation
graphique,
comme tout
artefact
technique...

4.3. Le code technique comme solution à un besoin spécifique de communication

Le dernier ensemble problématique concerne les sémiologies propres aux différents codes techniques dans leur rapport aux besoins spécifiques d'information technique, c'est-à-dire au sous-ensemble d'interactions en fig. 5.

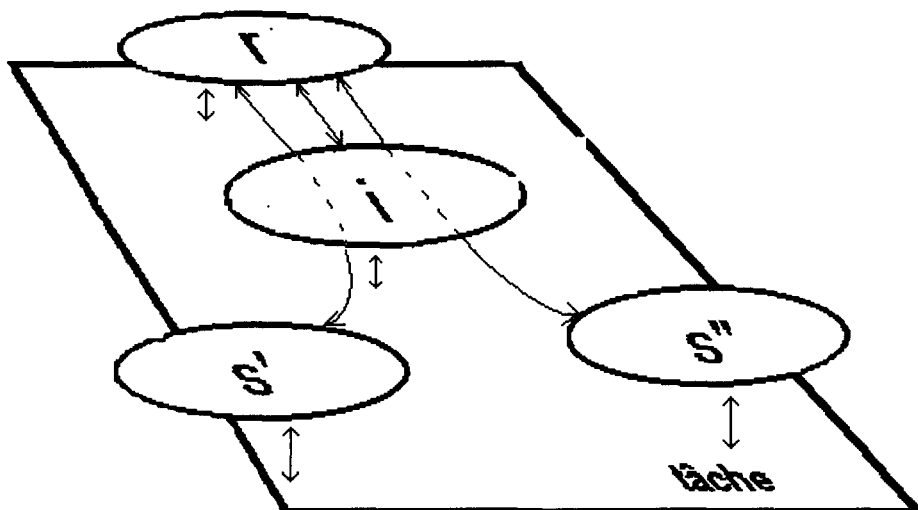


Figure 5. Tâche, référent et propriétés sémiologiques de l'instrument.

Une tendance fréquente dans l'enseignement des graphismes techniques consiste à se limiter à l'énoncé des différents signes du code et de leurs normes d'écriture (prescriptions, interdictions, etc.) puis à les faire fonctionner dans des tâches de lecture et d'écriture. L'avantage de cette démarche par accumulation de procédures réside en ce que les comportements attendus des élèves sont obtenus avec un minimum de recours de leur part à une activité représentative et conceptuelle. En revanche, l'absence d'un cadre qui rende compte de l'ensemble des règles et procédures mémorisées rend leur rétention difficile par l'élève. Pour remédier à ce problème, les enseignants sont souvent conduits à proposer des justifications pour certaines conventions graphiques. Ainsi, par exemple, en dessin technique, la convention consistant à hachurer un plan de coupe sera présentée comme la figuration des traces de sciage que l'on constaterait sur l'objet représenté si on le coupait effectivement.

... peut
faire l'objet
d'une analyse
fonctionnelle...

Un inconvénient majeur de ces justifications réside dans leur caractère métaphorique, c'est-à-dire dans le fait qu'elles cherchent leur fondement dans une logique extérieure et hétérogène à l'objet dont elles tentent de rendre compte

(Vérillon, 1996). À l'origine de cette pédagogie de l'analogie, il nous semble qu'il y a une méconnaissance des enseignants quant aux propriétés fonctionnelles des codes qu'ils enseignent voire, plus profondément, un déni de leur statut d'artefact technique.

...mettant
en relation
des fonctions
à réaliser...

Or, à l'instar des objets techniques matériels, les graphismes techniques se présentent comme des dispositifs qui ont été conçus (et qui continuent à évoluer) historiquement dans des contextes socio-techniques donnés pour opérer un certain traitement du réel, finalité que reflètent leurs spécificités fonctionnelles et structurelles. Ce sont des systèmes complexes d'invariants (conventionnels, relationnels, spatiaux) agencés pour permettre à leur utilisateur d'effectuer un certain type de transformation, en l'occurrence informationnelle. Comme les artefacts matériels, ils sont susceptibles d'une analyse permettant de relier leurs caractéristiques structurelles à des significations fonctionnelles. Dans cette perspective, on peut par exemple montrer (Rabardel, 1980) que l'ensemble des solutions sémiologiques et géométriques spécifiques au dessin technique correspond à la nécessité que nous avons évoquée de disposer dans les activités de fabrication mécanique d'une description morphologique et dimensionnelle précise des objets de référence (pièces mécaniques). Ainsi le système de six points de vues orthogonaux associé à tout un ensemble de traits s'opposant tant par leur épaisseur que par leur segmentation permet-il d'obtenir une définition quasiment complète en forme et en dimension de la plupart des objets obtenus par usinage. Plus finement, une telle approche permet de justifier sur des bases fonctionnelles telle ou telle particularité structurelle d'un outil graphique. Par exemple, la question des hachures de plan de coupe, évoquée plus haut, peut être resituée dans le problème plus général de la représentation des parties de pièces non accessibles aux six points de vue conventionnels. La coupe s'est historiquement imposée comme une des solutions possibles à ce problème mais elle en soulève un autre : celui de pouvoir distinguer dans la vue la représentation de parties comportant de la matière dans le plan de coupe de celles n'en comportant pas. La solution des hachures permet de marquer cette opposition et, en outre, grâce à une différenciation conventionnelle des traits, elle permet d'indiquer la nature de la matière (ou des différentes matières) située dans le plan de coupe.

...et des solutions
satisfaisantes

CONCLUSION

viser un
enseignement
génératif des
instruments
de représentation et
de communication
technique

À l'aide d'un modèle général de l'activité instrumentée dans les tâches de communication technique, on a tenté une analyse et une discussion de situations d'enseignement/apprentissage de différents outils graphiques : schéma cinématique, Grafcet, dessin technique. Cette analyse qui privilégie une approche fonctionnelle des graphismes peut bien entendu être étendue aux différents dispositifs de représentation technique enseignés. Elle révélerait la grande diversité des solutions graphiques et géométriques mises en œuvre par les codes en fonction de leur finalité spécifique. Reprise dans une perspective didactique attentive aux processus de genèse instrumentale, il semble qu'elle permettrait aux enseignants d'organiser de manière plus cohérente leurs présentations, transpositions et interventions en cours et TP. Enfin on peut penser qu'elle favoriserait chez les élèves à la fois une meilleure instrumentation des graphismes techniques et l'émergence de capacités plus grandes d'instrumentalisation, c'est-à-dire d'adaptation de leurs outils à de nouvelles contraintes ou à de nouveaux objets. Dans ce sens, on pourrait s'attendre à ce que les compétences formées, étant transférables à des situations nouvelles ou inédites, aient un caractère plus nettement génératif. Mais encore une fois il ne saurait être question de faire une présentation académique et décontextualisée de ces savoirs technico-sémiologiques. Ceux-ci ne peuvent être déconnectés d'un travail réflexif et pratique sur les processus de communication en général et sur les besoins d'information et de représentation particuliers en situation de travail. Il ne s'agit en effet pas de succomber à *"la tentation sémiologique"* dénoncée par Chevallard (1994) en didactique des mathématiques, mais s'agissant d'outils sémiotiques, de mieux comprendre les conditions de leur fonctionnement pour mieux se les approprier.

Colette ANDREUCCI
Jean-Pierre FROMENT
Pierre VÉRILLON
Unité "Processus cognitifs et didactiques
des enseignements technologiques"
INRP

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREUCCI, C. (1993). *Faits didactiques et effets cognitifs en classe de seconde TSA. Bilan sur les acquisitions et les difficultés liées à l'apprentissage du GRAFCET*, rapport de recherche, INRP, 75 p.
- ANDREUCCI, C. (1995). "L'enseignement de la TSA favorise-t-il l'émergence de raisonnements de type systémique ?", *Skholê*, 1, pp. 85-103.
- CHEVALLARD, Y. (1994). "Les outils sémiotiques du travail mathématique", *Skholê*, 1, pp. 51-81.
- DEFORGE, Y. (1981). *Le graphisme technique*, Paris : Le Champ Vallon.
- DEFORGE, Y. (1987). "Le graphisme technique et la communication de masse", in RABARDEL, P. & WEILL-FASSINA, A. (Éds.), *Le dessin technique*, Paris : Hermès, pp. 275-282..
- DOULIN, J. (1996). *Analyse comparative des difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de différents types de graphismes technique en 2^e TSA*, thèse, ENS de Cachan.
- FROMENT, J.-P. (1992). *Connaissances acquises dans le domaine de la technologie des systèmes automatisés*, rapport de recherche, INRP, 39 p.
- GINESTIÉ, J. (1992). *Contribution à la didactique des disciplines technologiques. Acquisition et utilisation d'un langage d'automatismes*, thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille I.
- HIGELÉ, P. (1984). "L'apprentissage des opérations projectives", in *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*, Paris : INRP, pp. 117-162.
- LEBAHAR, J.-C. (1994). *Le design industriel*, Marseille : Parenthèses.
- LEROI-GOURHAN, A. (1965). *Le geste et la parole*, Paris : Albin Michel.
- LUQUET, G. (1927). *Le dessin d'un enfant*, Paris : Alcan.
- MORAIS, A. & VISSER, W. (1987). "Programmation d'automates industriels : adaptation par des débutants d'une méthode de spécification de procédures automatisées", *Psychologie Française*, n° 32, 4.
- NORMAN, D. A. (1991). "Cognitive artifacts", in CARROLL J. (Ed.), *Designing interaction*, N.Y. : Cambridge university Press, pp. 17-38.
- RABARDEL, P. (1980). *Contribution à l'étude de la lecture du dessin technique*, thèse de 3^e cycle, Paris : EHESS.

RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies*, Paris : Armand Colin.

RABARDEL, P., RAK, I., VÉRILLON, P. et Collaborateurs (1988). *Machines outils à commande numérique : approches didactiques*, Collection Rapports de Recherche n°3, Paris : INRP.

SHAFF, A. (1967). "Langage et réalité", in *Problèmes de langage*, Paris : Gallimard, coll. Diogène, pp. 153-175.

VERGNAUD, G., Éd. (1994). *Apprentissages et didactique, où en est-on ?* Paris : Hachette.

VÉRILLON, P. (1996). "Approches psychologiques et didactiques en technologie, l'exemple du dessin technique", *Aster*, 22.

VÉRILLON, P. et al. (à paraître). *Propositions didactiques pour l'enseignement de la communication technique*, INRP.

VÉRILLON, P. & RABARDEL, P. (1995). "Cognition and artifacts : a contribution to the study of thought in relation to instrumented activity", *European journal of psychology of education*, 10 (1).

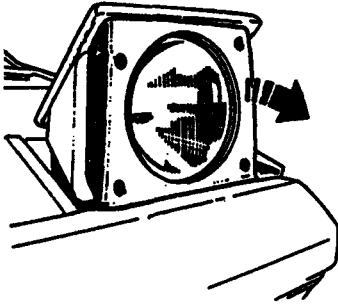
VEZIN, J.-F. (1972). "L'apprentissage des schémas, leur rôle dans l'assimilation des connaissances", *L'année Psychologique*, pp. 179-198.

VEZIN, J.-F. (1984). "L'apport informationnel des schémas dans l'apprentissage", *Le Travail Humain*, 47, 1, pp. 61-74.

VYGOTSKY, L. S. (1930/1985). "La méthode instrumentale en psychologie", in SCHNEUWLY, B. & BRONCKART, J.-P. (Éds.), *Vygotsky aujourd'hui*, Neuchâtel : Delachaux et Niestlé, pp. 39-47.

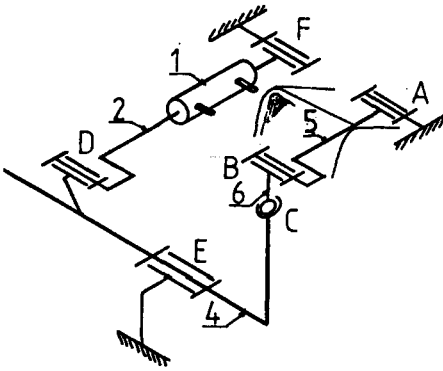
ZINOVIEV, V. (1969). *Théorie des mécanismes et des machines*, Moscou : Ed. Mir.

ANNEXE I

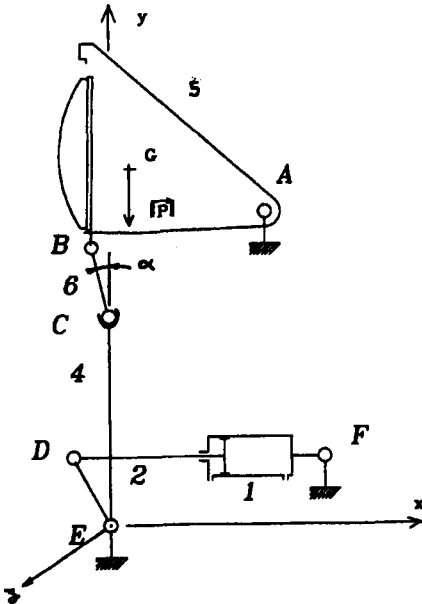


Ouverture de phare

La commande d'ouverture des phares se fait à partir d'un actionneur (pot à dépression). L'ensemble est constitué d'éléments organisés dans l'espace.



Le schéma spatial aide à la compréhension du fonctionnement, il indique l'agencement dans l'espace des différentes liaisons.



Le schéma cinématique plan extrait du schéma spatial permet d'effectuer une analyse plus précise des caractéristiques du mécanisme (mouvements ; trajectoires, vitesses et accélérations de points particuliers, ou encore calculs d'efforts).

ANNEXE II

Le GRAFCET

Tout système automatisé comporte deux parties interdépendantes : une *partie opérative* - PO - (qui représente le processus physique que l'on a souhaité automatiser) et une *partie commande* - PC - (qui coordonne la succession des actions de la PO). Le Grafcet (ou graphe fonctionnel de commande étapes-transitions) est un modèle normalisé de représentation graphique des comportements dynamiques de la PC qui rend compte des relations entre les entrées (transferts d'informations de la PO vers la PC) et les sorties du système (ordres transmis de la PC vers la PO).

Trois éléments graphiques de base permettent de représenter

- les comportements invariants du système à des instants donnés (c'est le rôle des *étapes*),
- les possibilités d'évolution entre ces comportements (c'est le rôle des *transitions*),
- les voies d'évolution (c'est le rôle des *liaisons orientées* qui relient les étapes aux transitions et les transitions aux étapes).

À chaque étape est associée une ou des *actions* (effet à réaliser au niveau de la PO), et à chaque transition, une condition logique (nommée *réceptivité*) qui regroupe les informations strictement nécessaires au *franchissement* de la transition, celle-ci ne pouvant être effectivement franchie que si cette condition est "vraie".

À ces éléments sont associées un certain nombre de règles syntaxiques.

Référence : ADEPA & AFCET (1992). *Le GRAFCET*, Toulouse : Cepadues éditions.