

Représentations graphiques et productique en seconde TSA

Graphic representations and industrial automation in the fifth form TAS

Bachir KESKESSA, Jacques BAILLÉ

Équipe DEACT, Laboratoire des Sciences de l'Éducation
Université Pierre Mendès France
Grenoble 2, BP 47
38040 Grenoble cedex 9, France.

Résumé

Cet article traite de l'utilisation de cartes de contrôle par des élèves de seconde technologique. Ces cartes graphiques interviennent dans la mise sous contrôle d'un système de production. Leur utilisation est étudiée ici du point de vue de la dénotation des éléments représentés et du point de vue des jugements et décisions qu'elles suscitent. Les résultats révèlent une confusion entre les notions de contrôle et de tolérance dans la dénotation des éléments représentés par la carte de contrôle. D'autre part, les jugements et décisions que prennent les élèves sont essentiellement fondés sur l'existence ou non de points singuliers représentés traduisant des effets spéciaux. Les conceptions des élèves semblent marquées par le produit plutôt que par le processus.

Mots clés : *représentations graphiques, didactique, production, maîtrise, processus.*

Abstract

This article concerns the way technology students make use of graphic control cards. These control cards are the means by which one can manage a production

system. Students' interactions with the cards were studied from the point of view of the cards' contents and the judgements and decisions that these cards prompt. With respect to students' reactions to the cards' contents, it appears that there is a confusion between the notions of control and tolerance. With respect to students' judgements and opinions, it appears that students focus on singular points in the representation, leading to particular effects. Students' conceptions appear to be influenced more by the product than by the process.

Key words : *graphic representations, didactic, production, control, process.*

Resumen

Este artículo trata de la utilización de cartas de control por los alumnos del segundo tecnológico. Estas cartas gráficas intervienen en la puesta bajo control de un sistema de producción. Su utilización es estudiada aquí desde el punto de vista de la denotación de los elementos representados y desde el punto de vista de los juicios y decisiones que estas suscitan. Los resultados revelan una confusión entre las nociones de control y de tolerancia en la denotación de los elementos representados por la carta de control. Por otra parte, los juicios y decisiones que toman los alumnos, están esencialmente fundados en la existencia o no de puntos singulares representados nivelando efectos especiales. Las concepciones de los alumnos parecen marcadas por el producto más que por el proceso.

Palabras claves : *representaciones gráficas, didáctica, producción, maestría, procesos.*

1. INTRODUCTION

L'outil graphique figure parmi les moyens nouveaux introduits dans la classe pour le pilotage d'une production en milieu automatisé. La carte de contrôle en est un exemple. Cette carte graphique renvoie à des modèles sous-jacents, notamment aux modèles probabilistes et à la loi normale. Nous avons cherché à explorer son utilisation chez des élèves de seconde de Technologie des Systèmes Automatisés (TSA) qui la manipulent dans le suivi d'une production de boîtiers en petites séries. Nous analysons des éléments du contexte dans lequel elle intervient, ensuite nous présentons une étude empirique de son usage dans la classe.

2. LA PRODUCTION DANS LA CLASSE

2.1. La classe-atelier : éléments d'un système d'échanges

La complexité des formes nouvelles de production et les difficultés liées à leur transposition dans la classe s'expriment de la plus visible des façons, par exemple à travers la transformation physique de l'espace d'apprentissage. La classe, qui devient à cet effet classe-atelier, doit être envisagée comme un espace modulable, flexible, composé de zones facilement identifiables et, surtout, permettant la mise en oeuvre simultanée de plusieurs techniques. On peut et on doit reconnaître facilement, par exemple, une zone de stockage, une zone automatisée, une zone de communication, etc. Des échanges s'instaurent dans et entre ces zones. C'est l'une des expressions du fonctionnement du système de production à l'oeuvre dans la classe, de son extension, voire de ses limites. Et l'on conçoit que l'élève puisse évoluer au sein de ce système, seul ou en équipe (élèves, enseignants, éventuels partenaires extra-scolaires). L'élève est appelé à apprendre en s'adaptant à ce système d'échanges, en interagissant avec des objets du système ainsi organisé pour lui et, progressivement, avec l'ensemble du système.

La gestion d'une grande variété sémiotique (par exemple, gérer des processus, anticiper sur des indices, des symptômes, etc.) occupe alors une place centrale dans l'organisation des moyens nouveaux de production. Cette variété sémiotique est à rapprocher de la variété des compétences et de la mobilité professionnelle liées aux constantes adaptations auxquelles s'obligent les entreprises modernes (Fey & Gogue, 1991 ; Ozeki & Azaka, 1992). L'étude des graphiques en tant qu'outils de traitement de l'information dans un tel système d'échanges devra accompagner l'enseignement des moyens nouveaux de production.

2.2. Quelques traits caractéristiques des liens entre la classe-atelier et l'entreprise dans l'enseignement en technologie

Dès le collège, l'enseignement de la technologie est basé sur des réalisations concrètes et fait référence explicitement à l'image de l'entreprise. Cela est conforté par les stages en entreprise destinés aux élèves en fin de collège. Ces stages permettent une ouverture progressive sur l'entreprise et les métiers, sur les acteurs qui conçoivent, produisent et commercialisent. Les réalisations concrètes dans la classe sont organisées autour de la **démarche de projet** incluant les étapes de réalisation d'un produit depuis sa conception jusqu'à sa commercialisation, voire son élimination. Cet

enseignement trouve un prolongement par la suite dès la classe de seconde de lycée, notamment dans les options technologiques où la notion de production est développée selon une approche systémique.

Cela impose la mise en oeuvre et la combinaison de plusieurs types de savoir et savoir-faire. Ces savoirs et savoir-faire sont liés aux actions de transformation, c'est-à-dire aux opérations inscrites dans la réalisation d'un but. La densité de ces opérations peut varier en fonction du modèle de production retenu et de son extension ainsi que du produit à fabriquer. Elle dépend du système d'échanges qui s'organise lors d'une production particulière, ce système pouvant dépasser le cadre strict de la classe-atelier, par exemple, dans le cas de la circulation d'un produit (réception d'une matière et d'une commande, transformation de cette matière puis renvoi à un destinataire).

Les notions de **qualité** et de **client** sont alors essentielles à la mise en oeuvre didactique d'une telle conception de la production car elles caractérisent un processus industriel piloté par les effets de concurrence (Fau, 1992 ; Rak et al., 1992 ; Osada, 1993). Ainsi l'élève est-il confronté aux exigences de la qualité et des usages tantôt comme producteur et tantôt comme client. Cela est d'autant plus important que l'hétérogénéité, l'imprécision, l'incertitude des modes d'action et de leurs effets sur un processus et son produit sont constamment présents. La construction et l'organisation collectives des exigences, des problèmes, des réponses et de leur communication, deviennent une nécessité. L'instrumentation de l'action est essentielle.

2.3. Un outil graphique utilisé dans une classe en seconde : la carte de contrôle

Une des conditions premières susceptibles d'assurer la constance de la qualité d'une production est le contrôle des variations qui affectent nécessairement les attributs interprétables, pour tous les objets d'une série, en termes de mesure, ou de tout autre ensemble de données donnant lieu à des comparaisons objectives. L'idée d'interpréter des faits observés en référence aux modèles probabilistes dans des contextes dits aléatoires sera alors d'une grande importance (Vigier, 1989). Un processus de production est alors envisagé comme fournissant, pour une caractéristique choisie, des données relatives à trois valeurs statistiques :

- une valeur centrale (comme la moyenne arithmétique) autour de laquelle les données vont se grouper ;
- une valeur supérieure qui définit une limite supérieure de dispersion des données ;

– et une autre qui définit une limite inférieure de dispersion des données.

Ces valeurs déterminent la **fluctuation** dans laquelle auront lieu les **variations** du processus. Elles peuvent être calculées de diverses manières. Les techniques de calcul qui interviennent dans leur détermination et leur réactualisation en cours de production ou dans la détermination des points ne sont pas l'objet de notre travail. Ces valeurs sont représentables graphiquement (figure 1).

Ainsi un processus de production détermine-t-il sa propre distribution, observable à un instant donné, en tenant compte de multiples facteurs de variation. La construction d'une carte graphique, la carte de contrôle, est alors possible pour l'analyse des processus afin de comprendre les facteurs en cause dans la dispersion des résultats de la production. La carte de contrôle contribue à l'action justifiée sur le processus, son produit et sert à en évaluer et en maintenir la stabilité.

On peut retenir que la carte comporte, pour l'essentiel, trois lignes principales : une ligne centrale, qui indique une valeur cible, encadrée par deux autres qui représentent des limites supérieure et inférieure, appelées lignes de contrôle. Sur le graphique figurent des points qui représentent chacun une caractéristique de l'objet (ici le diamètre d'un boîtier électrique) soumis à contrôle. Ces points se répartissent en une suite qui représente l'évolution de la caractéristique choisie (figure 1).

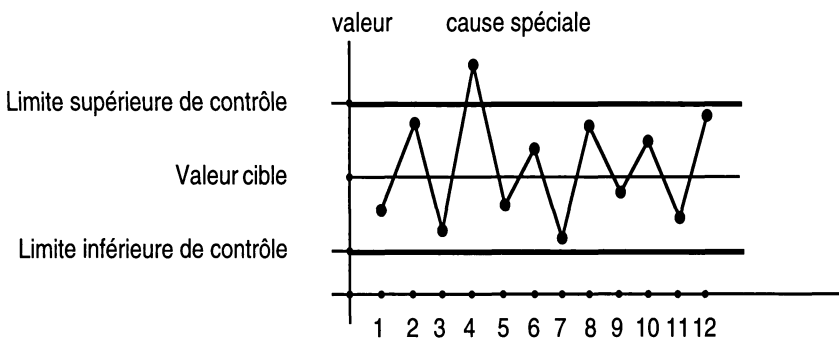
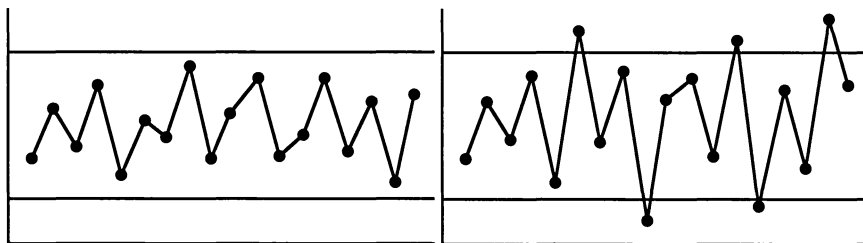


Figure 1: **Exemple de carte de contrôle avec 12 valeurs représentées**

Si les points se distribuent entre les lignes de contrôle et que leur distribution ne présente aucune singularité, le processus est considéré comme stable et sous contrôle. Si la carte graphique présente des «effets spéciaux» comme des points qui sortent des limites de contrôle (points singuliers) ou une régularité entre les limites, le processus est considéré comme instable et mal maîtrisé (Ozeki & Azaka, 1992). Les causes doivent

alors être recherchées et éliminées. La connaissance du processus, du produit à fabriquer, et l'expérience tirée de la pratique, permettent d'élaborer des règles d'action : choix de la caractéristique à mettre sous contrôle, choix des modalités de calcul, indices à relever en priorité, causes à rechercher et action correctrice à envisager en priorité, modifications à opérer sur la carte de contrôle pour la réactualiser, etc. Les quelques exemples ci-dessous illustrent la grande diversité des cas possibles de lecture sans qu'il soit nécessaire de tracer une ligne centrale (figure 2) :



graphique 1

Processus sous contrôle

On peut observer qu'il n'y a pas de points statistiquement inhabituels. Il n'existe pas de causes anormales de variation. Le processus reste dans ses propres limites. Il n'est pas évident que le processus soit hors contrôle. Il n'y a pas nécessité d'action correctrice pour le moment.

graphique 2

Processus hors contrôle

On peut lire que 5 points sur 18 sont inhabituels. Le processus ne reste pas dans ses propres limites. Il est hautement probable qu'il soit hors contrôle. Il est affecté par des causes de variation anormales. Une étude est nécessaire pour les éliminer.

graphique 3

Processus hors contrôle

Les points restent entre les lignes de contrôle. Mais on relève une longue série de 8 points sur 18 située d'un même côté de la ligne centrale (même si elle n'est pas visualisée). C'est le signe d'un phénomène non aléatoire. Il y a présence de causes spéciales. Une étude est nécessaire pour les éliminer.

graphique 4

Processus hors contrôle

Les points restent entre les lignes de contrôle. Mais on constate un phénomène descendant et répétitif. C'est le signe d'un phénomène non aléatoire. Il y a présence de causes spéciales. Une étude est nécessaire pour les éliminer.

Figure 2 : Processus sous et hors contrôle

Cet outil graphique témoigne indirectement des effets du système d'échanges qui s'instaure entre le processus de production et ses acteurs. En effet, plusieurs notions essentielles, relevant de niveaux différents, s'y trouvent engagées :

- contrôle et tolérance ;
- stabilité et intervention ;
- niveaux de contrôle ;
- circulation et justification d'un produit.

Nous abordons maintenant ces notions puis présentons une situation de mise en oeuvre dans la classe.

2.4. Les notions de contrôle, tolérance, intervention et justification

L'utilisation des cartes de contrôle impose une organisation rigoureuse des significations attachées aux objets manipulés. Par exemple, la confusion entre les notions de contrôle et de tolérance, constatée au niveau professionnel dans la conduite d'une production au moyen d'une carte de contrôle, nécessite une vigilance particulière (Zaïdi, 1989 ; AFNOR, 1992). Ces deux notions ne sont pas interchangeables. Les tolérances sont fixées et imposées par l'homme, elles dépendent de lui. Les limites de contrôle du processus de production ne dépendent que du seul processus.

Par ailleurs, ces notions interagissent avec la notion de stabilité et celle d'intervention qui est complexe et dont la nature peut rester peu évidente. En effet, si une carte graphique renseigne sur les variations d'un processus et de son produit, elle ne permet pas toujours un accès direct à leurs causes. L'utilisation d'autres outils, graphiques et non graphiques, pour stratifier et comparer des données est souvent efficace pour déterminer les causes d'un problème (Ozeki & Azaka, 1992 ; Fanchon, 1994).

L'intervention et la stabilité vont de pair. Mais la notion de stabilité se rapporte au processus et reste liée à la nature aléatoire de la distribution des données qu'il détermine : des points non distribués de façon aléatoire sur une carte de contrôle sont les signes manifestes d'une forte présomption d'instabilité du processus (figure 2). La stabilité n'est pas en relation directe avec la tolérance : un processus instable peut donner des produits conformes à leurs spécifications, un processus stable peut donner des produits non conformes. Cela contribue à la complexité de la notion d'intervention car ne pas intervenir est aussi une intervention : ne pas intervenir alors que le processus de production le nécessite n'est pas sans conséquence. Et

intervenir sur un processus sous contrôle risque de le perturber. Par contre, on peut intervenir au niveau de la recherche des causes qui ont permis sa stabilité et sa mise sous contrôle afin de mieux les connaître, les utiliser, les améliorer, les amplifier, etc.

Quant à la circulation et la justification d'un produit, elles sont liées à la notion de contrôle de qualité et sont deux opérations complexes. Diverses conceptions sont explicitées à ce sujet : contrôler à la fin, contrôler en amont, contrôler en amont et à la fin, contrôler chaque étape, etc. (Béranger, 1987). Chacune de ces conceptions induit des exigences différentes : organisation différente des équipes, des machines, des méthodes de travail, des décisions à prendre, etc. Par exemple, plusieurs faits peuvent affecter une matière lors de sa circulation entre deux lieux de transformation. Le rejet d'un produit, après usinage, pour non conformité due à la matière utilisée est un cas caractéristique des limites du contrôle en fin de production. Cela impose, selon les domaines de la production, la recherche et la mise en place de dispositions appropriées qui peuvent être aussi bien techniques, économiques que sociales. Justifier la qualité d'un produit devient alors une opération dont les effets peuvent être importants, voire immédiats (Fau, 1992 ; Osada, 1993).

2.5. Une situation de mise en oeuvre de ces notions dans la classe-atelier

Nous avons procédé à une première exploration des pratiques en micromécanique au niveau de deux classes, l'une de quatrième du collège en technologie, l'autre de seconde de Technologie des Systèmes Automatisés (TSA). Les deux classes appartiennent à deux établissements différents, avec deux enseignants différents. Nous avons suivi durant huit mois plusieurs séances dont celles de production de boîtiers pour variateurs de lumière. Si les pratiques observées diffèrent dans l'une et l'autre classe, elles restent fondées, pour une grande part, sur l'action. En effet, par exemple, vu le nombre important des élèves de quatrième dans l'établissement, leur âge, et la nature des machines disponibles (non automatisées), seuls quelques boîtiers sont usinés dans chaque classe. Le reste est donné en sous-traitance, comme il est pratiqué en entreprise, à la classe de seconde TSA où l'usinage est réalisé, par petites séries, au moyen d'une machine-outil à commande numérique (MOCN). Par contre, le montage du dispositif électronique dans les boîtiers est fait par les élèves de quatrième. L'élaboration et l'emploi de cartes de contrôle dans la production des boîtiers sont limités à la classe de seconde. Les boîtiers, une fois usinés en classe de seconde, sont expédiés avec les cartes graphiques à la classe de quatrième de l'autre établissement qui joue ainsi le rôle de client.

Organisés par petites équipes de 3 ou 4, les élèves de TSA, à tour de rôle, opèrent à l'aide d'une MOCN, réglée au départ, sous la vigilance de l'enseignant qui circule entre les équipes. Un contrôle graphique préalable des transformations programmées sur la machine est réalisé, sur ordinateur, par l'enseignant, en présence des élèves de l'équipe. Avec l'aide de l'enseignant, un élève met alors en place la matière et commande la MOCN. Un autre élève de l'équipe inscrit, au moyen d'instruments, un numéro d'ordre sur chaque boîtier à la sortie de la machine. Un autre prend des mesures à l'aide d'un pied à coulisse (ici sur un diamètre du boîtier) puis relève sur une feuille, dans l'ordre, les valeurs trouvées. L'enseignant passe et repasse dans l'équipe et montre, au fur et à mesure, comment renseigner la carte graphique, réaliser les calculs, tracer ses éléments. Il arrive qu'une valeur ou un élément représenté fassent réagir l'enseignant qui demande alors à l'élève, par exemple, si l'ordre de sortie des boîtiers a bien été respecté ou de reprendre une mesure, ou de regarder la conformité de la matière semi-transformée reçue, etc. Les élèves, tour à tour, manipulent la matière, la MOCN, la carte graphique. Il arrive que l'équipe demande une aide (information ou manipulation) à un élève d'une autre classe, de niveau plus avancé, et qui opère à proximité dans le même atelier sur d'autres types de machines. Chaque lot de boîtiers usinés est ensuite accompagné de ses cartes graphiques.

La carte de contrôle apparaît comme un moyen de traiter l'information, de négocier la qualité d'un produit dans et hors de la classe. Cela induit la nécessité d'une cohérence sur le plan de la représentation et sur celui de l'action. Ces conditions nous ont permis d'entreprendre une approche empirique sur l'utilisation des cartes de contrôle dont nous abordons à présent les éléments méthodologiques.

3. ÉTUDE EMPIRIQUE EXPLORATOIRE DE L'UTILISATION DES CARTES DE CONTRÔLE DANS LA CLASSE : MÉTHODOLOGIE

Nous nous proposons d'explorer, du point de vue de la dénotation d'abord, la distinction opérée par l'élève entre les signifiés attachés aux expressions «tolérance» et «contrôle» ensuite l'action du point de vue du jugement et de la décision. Un élève qui fait la distinction entre les signifiés attachés aux expressions «tolérance» et «contrôle» devrait attribuer l'expression qui convient aux éléments représentés graphiquement sur une carte de contrôle. Il devrait aussi attribuer l'expression qui convient, «stabilité» ou «instabilité», au graphique qui convient et donc au processus ; au niveau de l'action enfin, intervenir sur le processus en cas d'instabilité

seulement (action correctrice). L'élève devrait user de ce moyen graphique pour communiquer et, éventuellement, justifier la qualité d'un produit.

3.1. Le terrain

Les considérations données dans le paragraphe précédent ont motivé notre choix de la classe de seconde de Technologie des Systèmes Automatisés (TSA), en micromécanique, d'un lycée de l'enseignement technique et professionnel de Grenoble.

3.2. Les sujets

Trente-huit élèves issus de trois classes de seconde TSA, âgés de 15 à 19 ans, composent l'échantillon.

3.3. Les modalités

Les recueils des données ont eu lieu dans les séances de technologie, au mois d'avril et dans les jours qui ont suivi l'usinage par les élèves de plusieurs séries de boîtiers au moyen de MOCN, donc après manipulation des cartes graphiques.

Quatre tâches, de type papier-crayon, ont été proposées en quatre épreuves, dans l'ordre suivant : une première épreuve pour les notions de contrôle et de tolérance, une autre pour la notion d'intervention, puis une pour la notion de stabilité. Ces trois premières épreuves sont dédiées à la lecture et à l'usage des cartes graphiques. Cela est implicite dans la quatrième épreuve qui porte sur les niveaux de contrôle, la circulation et la justification d'un produit. Le travail est individuel. Dès qu'un élève termine et rend sa feuille, la feuille de l'épreuve suivante lui est donnée. Nous avons procédé ainsi afin d'empêcher les éventuels retours sur les tâches antérieures.

3.4. Les tâches

3.4.1. Tâche 1

Il s'agit d'étudier l'effet de la présence d'un point singulier sur la mobilisation des notions de contrôle et de tolérance. La question que nous abordons ici est : « Du point de vue de l'élève, les notions de contrôle et de

tolérance restent-elles interchangeables ?» Pour l'étudier nous avons cherché à quels types de graphiques l'élève associe ces notions. Nous avons retenu deux types de graphiques en privilégiant deux éléments visuels pour les points représentés : «sort/ne sort pas» des limites de contrôle. Dans l'un des graphiques les points restent entre les lignes de contrôle contrairement à l'autre graphique (figure 3).

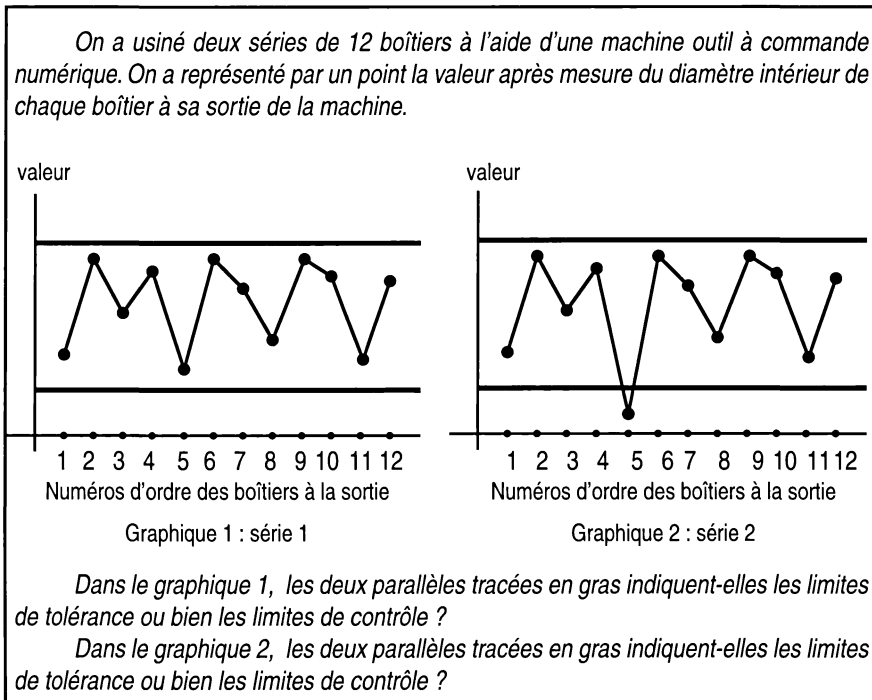


Figure 3 : Cartes de contrôle et questions pour la première tâche

3.4.2. Tâche 2

La question que nous étudions ensuite est : «Étant donné un type de carte graphique, comment l'élève décide-t-il d'une intervention et quelle peut être sa nature ? Pour cela, nous avons retenu quatre éléments visuels pour les points représentés, dont les deux précédents : «sort/ne sort pas» des limites de contrôle (voir ci-dessus), «régularité/non régularité» à l'intérieur des limites (figure 4). Nous avons proposé deux graphiques, l'un avec un point hors des lignes de contrôle et une dérive de 8 points vers le haut, l'autre, plus particulièrement avec un point hors des lignes de contrôle. Ces éléments visuels relèvent de niveaux différents. En effet, si les points hors limite sont repérables de façon flagrante, certaines régularités peuvent

l'être moins. Cela devrait mettre en lumière jusqu'à quel point l'élève peut repérer les éléments proposés comme signes d'une nécessaire intervention dans les deux graphiques (recherche des causes pour les éliminer, action correctrice, etc.)

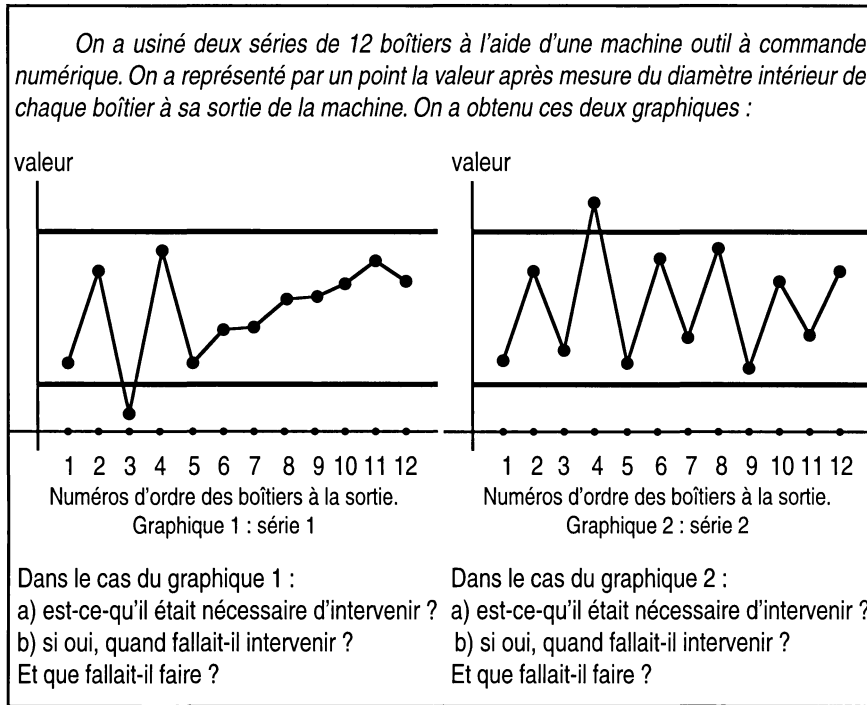


Figure 4 : Cartes de contrôle et questions pour la deuxième tâche

3.4.3. Tâche 3

La question de la stabilité, implicite dans la tâche 2, est posée. Cela nous permettra une mise en rapport de l'intervention et de la stabilité exprimées et une étude de la question : «Comment le sujet organise-t-il les deux notions, intervention et stabilité ?» Pour cela nous avons reconduit les éléments visuels de la tâche 2 dans trois graphiques. Dans l'un, seul un point est hors des limites, dans l'autre tous les points sont entre les lignes de contrôle, et enfin dans un autre, 3 points sont hors des limites et une dérive vers le haut est manifeste (figure 5). Seul le deuxième graphique peut être associé à une stabilité.

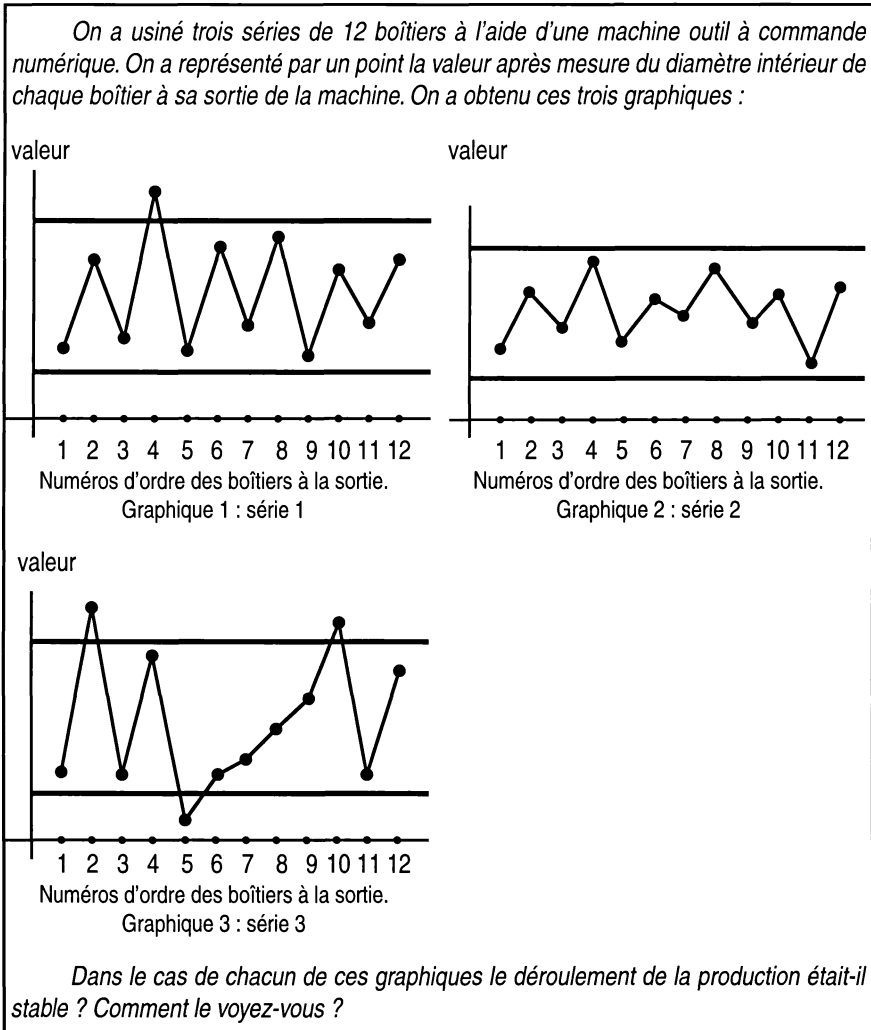


Figure 5 : Cartes de contrôle et questions pour la troisième tâche

3.4.4. Tâche 4

Si la situation évoquée ici rappelle des éléments d'une situation déjà vécue par l'élève dans la classe-atelier (réception de la matière en sous-traitance, usinage des boîtiers et renvoi à un client), le nombre de boîtiers de la série est laissé ouvert et la carte graphique n'est pas matérialisée. Par ailleurs, un retour d'informations sur la production est donné sous la forme d'une contestation portant sur la conformité des diamètres (intérieurs,

extérieurs), ou de l'épaisseur (qui peut renvoyer aux diamètres, à un axe du boîtier, à la présence d'irrégularités poreuses de la matière, etc.) pour des quantités fixées de boîtiers. Nous pensions explorer ainsi l'extension du système des échanges perçue par l'élève à partir de l'extension des causes, des raisons possibles et des moyens qu'il fournirait pour justifier ou valider la qualité d'une production. Quant aux questions, nous les formulons ainsi : «Quels niveaux de contrôle le sujet repère-t-il lors de la circulation d'un produit ? Comment justifie-t-il un produit et, plus particulièrement, comment la carte graphique apparaît-elle dans sa justification ?»

Pour cela, nous avons proposé le dessin et le texte de la figure 6.

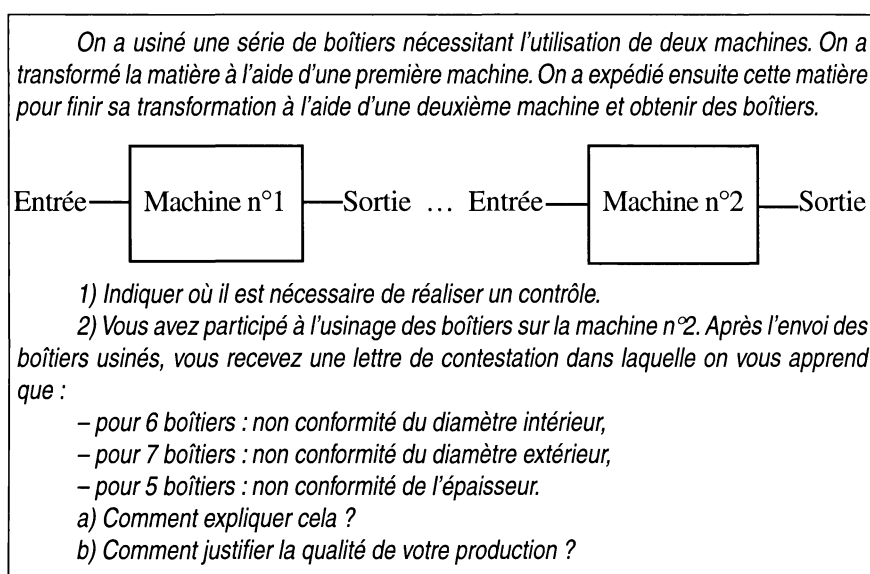


Figure 6 : **Schéma et questions sur le repérage des niveaux de contrôle dans la quatrième tâche**

4. RÉSULTATS

4.1. Contrôle ou tolérance

Dans les bilans que nous obtenons, un seul élève n'a donné aucune trace écrite. Il n'a pas été comptabilisé ici (N = 37). Chaque élève a produit une seule réponse par graphique en employant une seule fois l'un des deux termes, contrôle ou tolérance. Cela est illustré par les réponses données dans l'ordre par un élève, pour le graphique 1 puis le graphique 2 :

Éric : «Les deux parallèles tracées en gras indiquent les limites de contrôle» [graphique 1].

«Les deux parallèles tracées en gras indiquent les limites de tolérance» [graphique 2].

Nous avons compté les occurrences des mots «contrôle» et «tolérance» pour chacune des cartes (tâche 1). Nous indiquons aussi, entre parenthèses, les pourcentages qui y correspondent. Nous pouvons nous interroger sur la stabilité relative d'une notion quand l'élève passe du graphique 1 au graphique 2. Ce passage s'accompagne-t-il d'une substitution de dénomination («contrôle» se substituant à «tolérance» ou «tolérance» à «contrôle») ?

graph. 1

	Ctrl.	Tol.	Totaux
graph. 2 Ctrl.	1 (2,8)*	13 (35,1)	14 (37,9)
Tol.	13 (35,1)	10 (27)	23 (62,1)
Totaux	14 (37,9)	23 (62,1)	37 (100)

Tableau 1 : Nombre d'occurrences des termes «contrôle» ou «tolérance»

On relève une unique réponse correcte : l'élève attribue le mot «contrôle» aux deux lignes dans les deux graphiques (réponse indiquée par * dans le tableau 1). On peut remarquer que le mot «tolérance» reste fortement attaché aux deux graphiques. Le recours au mot «contrôle» à propos de ces cartes de même nom est plus rare que le recours au mot «tolérance». En outre, on observe qu'un échange s'opère en fonction de la présence ou non d'un point hors des lignes de contrôle : dans 13 cas, le mot «tolérance» utilisé pour le graphique 1 ne l'est plus pour le graphique 2 où c'est le mot «contrôle» qui est employé ; et pour 13 autres cas, c'est l'inverse. Le fait que le mot «contrôle» soit utilisé dans un seul cas ou que seulement dans 10 cas le mot «tolérance» soit utilisé pour les deux graphiques atteste, *a contrario*, la relative instabilité des notions et la sensibilité significative des élèves aux variables visuelles (le calcul sur les occurrences à partir du tableau 1 donne : $\chi^2_{\text{corrigé}} = 7,05$; $p = .01$).

Cela nous amène à penser que les notions de tolérance et de contrôle, pour être opératoires dans ce contexte technique, restent conditionnées par une prise de conscience par l'élève de la distinction entre ces deux notions et de leur non interchangeabilité. Cette prise de conscience serait alors la trace d'une acquisition nouvelle dans la gestion des niveaux de savoir et de savoir-faire et devrait interagir au niveau de la décision et de l'action guidées par une carte de contrôle.

4.2. Effet de l'allure du graphique sur l'intervention

Tous les élèves ont donné une réponse (N = 38). Pour chacune des cartes, nous avons compté les occurrences des décisions soit en faveur d'une intervention, soit en faveur d'une non intervention (nous indiquons entre parenthèses les pourcentages qui y correspondent). Nous pouvons nous interroger sur la stabilité relative de la notion d'intervention quand l'élève passe du graphique 1 au graphique 2 (tâche 2). Ce passage s'accompagne-t-il d'un changement de décision ?

		graph. 1		
		intervenir	pas intervenir	Totaux
graph. 2	intervenir	20 (52,6)*	6 (15,8)	26 (68,4)
	pas intervenir	9 (23,7)	3 (7,9)	12 (31,6)
	Totaux	29 (76,3)	9 (23,7)	38 (100)

Tableau 2 : Nombre d'occurrences des décisions, intervenir ou non

On observe, seulement 3 fois, que l'on n'opte pas pour une intervention dans le cas des deux graphiques. Cela semble lié au nombre de points hors des lignes de contrôle (un point unique ici) comme l'indiquent les réponses de cet élève :

Pascal : «*Il n'est pas nécessaire pour une pièce*» [graphique 1, première question].

«*Idem que pour le graphique 1*» [graphique 2, première question].

Ce résultat est important dans la mesure où il révèle que la nécessité d'une intervention est exprimée d'une façon massive à la lecture de l'un ou l'autre des deux graphiques. Cependant, ce premier résultat doit être nuancé. Une réponse correcte à la lecture des deux graphiques (intervenir dans les deux cas : études des causes, etc.) n'est donnée que dans 20 cas (indiqués par * dans le tableau 2). Dans 15 cas (9 + 6), la nécessité d'une action est modifiée lors du passage d'un graphique à l'autre. Il est remarquable que, dans 6 autres cas, ne pensant pas devoir intervenir à la lecture du graphique 1, qui cependant porte le plus de perturbation entre et hors les lignes de contrôle, les élèves choisissent d'intervenir à la lecture du graphique 2. En ce cas, sur le plan visuel, l'alignement des points entre les lignes de contrôle n'est pas perçu comme une anomalie.

C'est du reste ce que confirment les réponses à la question du moment de l'intervention. Dans le cas des deux graphiques, l'intervention est

décidée lorsque le point sort des lignes de contrôle. Un seul élève retient la «régularité» comme nécessitant une intervention. Une régularité entre les lignes de contrôle semble beaucoup moins intégrée comme «effet spécial» dans la lecture d'une carte de contrôle, comme l'attestent par exemple, les réponses de cet élève :

Maurice : «*Oui*» [graphique 1, première question].

«*Pour le boîtier 3. Lui faire un diamètre plus grand*» [graphique 1, deuxième et troisième questions].

«*Oui*» [graphique 2, première question].

«*Pour le boîtier 4. Lui faire un diamètre plus petit*» [graphique 2, deuxième et troisième questions].

La réponse à la troisième question («*Et que fallait-il faire ?*») se partage de façon à peu près équilibrée entre l'intervention sur la machine (13 cas, soit 35,1% des 38 réponses recensées) et l'intervention sur le produit (11 cas, soit 29,8%). Sur le total des 38 réponses, seulement 4 (soit 10,5%) préconisent une intervention sur les deux. Un quart des décisions reste inclassable.

La carte de contrôle n'empêche donc pas une fraction non négligeable d'élèves de vouloir traiter le produit au lieu du processus. Cela conforte encore l'interchangeabilité relevée entre «contrôle» et «tolérance» (tâche 1) dans la mesure où lorsqu'un point est hors des lignes de contrôle, cela ne signifie pas nécessairement pour le boîtier que son diamètre est hors tolérance.

4.3. La stabilité

Un seul élève, qui a décidé d'une intervention dans le cas des deux graphiques de la tâche précédente (tâche 2), n'a donné aucune trace écrite ici (tâche 3). Il n'a pas été comptabilisé (N = 37). Nous avons relevé les occurrences d'explicitation de la stabilité ou de la non stabilité pour chacun des trois graphiques (les pourcentages sont indiqués entre parenthèses). Nous avons organisé sous forme de tableau (tableau 3) l'ensemble des réponses selon l'ordre des graphiques 1, 2, 3. Par exemple, le triplet (non ; oui ; non) signifie qu'un même élève juge que le graphique 2 exprime la stabilité alors que les graphiques 1 et 3 trahissent une instabilité.

	graph. 1	graph. 2	graph. 3	
Stabilité	non	oui	non	28 (75,7)*
	oui	oui	non	6 (16,2)
	non	non	non	3 (8,1)
	autres réponses			0 (0)
Totaux				37 (100)

Tableau 3 : Nombre d'occurrences qui expriment une stabilité (oui) ou une non stabilité (non) dans le cas de chacune des trois cartes

Pour l'ensemble des graphiques, on peut relever que la bonne réponse a été donnée dans 28 cas (stabilité pour le graphique 2 et instabilité pour les graphiques 1 et 3, indiquées par * dans le tableau 3). Comme pour la tâche 2, la variable visuelle qui détermine les choix dominants est la position des points par rapport aux lignes de contrôle (à l'intérieur ou à l'extérieur des lignes de contrôle). Une seule élève considère l'alignement des points dans le graphique 3 comme un symptôme d'instabilité ; encore ancre-t-elle son traitement sur le point hors des limites de contrôle :

Sylvie : *«Non parce que le point qui est la valeur de la mesure dépasse la tolérance et progresse petit à petit.»*

La variable «nombre de points hors des limites de contrôle» reste fortement en rapport avec cette distribution des réponses. Dans 6 cas on lit une stabilité dans le graphique 1, comme l'atteste cette réponse :

Vincent : *«Déroulement moyennement stable. Graphique en dents de scie pièce n°4 au dessus de la tolérance.»*

En revanche la totalité des élèves considère que le graphique 3 (avec ses 3 points en dehors des limites de contrôle) exprime l'instabilité. On peut retrouver dans les 3 cas où l'instabilité est lue dans le graphique 2, une résurgence des conceptions fondées sur le paradigme de la régularité signalé par Béguin et al. (1995) dans la représentation par un graphique d'un processus en cours. Cela est illustré par la réponse de cet élève qui rejette la stabilité parce que :

Cyril : *«La courbe devrait être régulière.»*

Bien que ce soit la position des points par rapport aux lignes de contrôle qui détermine le plus fréquemment les jugements, certains élèves recourent ponctuellement à des termes tels que : écart, amplitude, dents de scie, relâchement. Il reste que la stabilité ou l'instabilité sont le plus souvent traduites en termes de tolérance (dans/hors les limites de tolérance).

4.4. La relation intervention/stabilité

Les relations entre intervention et stabilité sont étudiées en croisant les résultats des deux tâches précédentes (tâches 2 et 3). Nous appellerons réponses correctes les réponses des élèves qui choisissent d'intervenir à la lecture des deux graphiques de la tâche 2, ainsi que les réponses des élèves qui expriment la stabilité dans la lecture du graphique 2 et l'instabilité dans celle des graphiques 1 et 3 de la tâche 3. Nous indiquons les occurrences des réponses et entre parenthèses les pourcentages (tableau 4).

		Intervention		
		correcte	Non correcte	Totaux
Stabilité	correcte	18 (48,7)*	10 (27)	28 (75,7)
	Non correcte	1 (2,7)	8 (21,6)	9 (24,3)
	Totaux	19 (51,4)	18 (48,6)	37 (100)

Tableau 4 : **Nombre d'occurrences d'explicitation d'une relation intervention/stabilité correcte ou non correcte**

Seulement la moitié des réponses (18, indiquées par * dans le tableau 4) conjugue correctement intervention et stabilité contre 8 réponses qui ne considèrent correctement ni l'une ni l'autre. La lecture des cartes de contrôle semble favoriser la perception de la stabilité plutôt que la décision d'une intervention (28 cas contre 19). Si la plupart des élèves qui conçoivent correctement une intervention juge correctement la stabilité du processus, l'inverse n'est pas vrai (le calcul sur les occurrences à partir du tableau 4 donne : $\chi^2_{\text{corrigé}} = 5,72$; $p = .05$).

4.5. Points de contrôle et justification d'un produit

4.5.1. Les niveaux de contrôle

Nous avons retenu les occurrences de sélection des points de contrôle sur l'ensemble du processus comprenant deux machines (tâche 4). Cela devrait nous renseigner sur l'importance relative du contrôle terminal (assimilé ici au contrôle du destinataire, après la sortie de la machine 2 et le renvoi des boîtiers usinés) et du contrôle systématique du processus (assimilé ici au contrôle à l'entrée et à la sortie de chaque machine et après renvoi au destinataire après la machine 2).

Si seul un élève n'a donné aucune trace écrite (N = 37), l'ensemble des réponses recensées ne fait pas état de la nécessité d'un contrôle terminal ou systématique. En effet, de ce point de vue, le processus a été traduit de façon linéaire, de la machine 1 vers la machine 2, s'arrêtant à la machine 2 et sans possibilité de retour sur un destinataire. Cela malgré le traitement de la contestation formulée par la suite au niveau du destinataire. En ce cas, le contrôle terminal ou final a été assimilé à celui réalisé à la sortie de la machine 2 comme l'illustre la réponse de cette élève :

Delphine : «À la sortie de la machine 1 et à celle de la 2^{ème} machine (contrôle final)»

Finalement quatre modalités ont été exprimées : toutes les entrées et sorties des machines sont contrôlées ; quelques-unes seulement sont contrôlées mais sans contrôle à la sortie de la machine 2 (Quelques étapes) ; quelques-unes et la sortie de la machine 2 sont contrôlées ; la sortie de la machine 2 seulement est contrôlée. Nous en donnons les occurrences et indiquons les pourcentages entre parenthèses :

Entrée et sortie de chaque machine	Quelques étapes	Quelques étapes et sortie de la machine 2	Sortie de la machine 2	Totaux
5 (13,5)	10 (27)	20 (54,1)	2 (5,4)	37 (100)

Tableau 5 : Nombre d'occurrences selon les points de contrôle

Quatre conceptions se dégagent chez l'ensemble des 37 élèves ayant répondu. Celle qui semble dominante (dans 20 réponses) fait intervenir les trois modalités suivantes : plus d'un point de contrôle, pas tous les points, mais un contrôle nécessaire après la machine 2. Toutefois l'idée d'un contrôle unique après la machine 2 apparaît la moins fréquente (dans 2 réponses seulement). Cela ne signifie pas que les élèves souhaitent appliquer un contrôle systématique au niveau de l'entrée et la sortie de chaque machine au cours du processus. Il n'est proposé que dans 5 réponses. Il semble donc qu'une majorité d'élèves choisit un contrôle à la sortie de la machine 2 avec quelques étapes de contrôle intermédiaire.

4.5.2. Justification de la qualité du produit

Trois élèves sur les 38 n'ont apporté aucune réponse aux questions relatives à la justification de la qualité. «Expliquer» et «justifier» semblent être difficilement distingués. Le nombre de boîtiers de la série (laissé ouvert ici) n'a été produit comme élément pertinent et intégré explicitement dans une justification que dans deux réponses seulement. Par exemple, le texte

de cet élève fait état du nombre de pièces présentant une non conformité du diamètre intérieur (n.c.d.i), du diamètre extérieur (n.c.d.e) et de l'épaisseur (n.c.e) relativement à un nombre de pièces produites :

Benoît : *«Cela dépend du nombre de commande. 1 ex : pour 10000 pièces 6 n.c.d.i., 7 n.c.d.e., 5 n.c.e., bonne qualité de production. 2 ex : pour 100 pièces 6 n.c.d.i., 7 n.c.d.e., 5 n.c.e., mauvaise qualité de production.»*

La non conformité est largement admise par les élèves. Seulement deux d'entre-eux contestent que la qualité du produit puisse être mise en doute, en plus des deux signalés déjà et qui ont fondé leur réponse sur le nombre de boîtiers commandés. Les autres tentent de justifier les défauts que le client signale en invoquant les facteurs suivants :

- le facteur humain (la formation des opérateurs sur machine, etc.) ;
- la méthode de travail (cadence trop rapide, etc.) ;
- l'organisation et l'équipement (multiplicité des machines, etc.)

Ainsi, la justification paraît indépendante de l'analyse du processus même de fabrication. Ceci est à rattacher au faible nombre d'élèves qui organisent de façon systématique les points de contrôle à l'entrée et la sortie des machines et à l'absence d'une extension plus globale du processus.

Enfin, un seul élève a fait référence à l'outil graphique comme outil de preuve. Le choix de la carte de contrôle et de sa fonction justificatrice ne semblent avoir chez les élèves qu'une faible relation avec la circulation d'un produit. L'intégration de la carte de contrôle comme outil de communication et de preuve dans le système des échanges qui s'instaure autour d'une production ne va pas de soi.

5. DISCUSSION

La lisibilité des systèmes de production construits comme environnement d'enseignement et d'apprentissage, marqués par les notions de qualité et de client, nécessite l'introduction de divers registres sémiotiques. La multiplicité des systèmes de signifiants (symbolique, graphique, etc.) atteste de la grande variété des habiletés cognitives et instrumentales qui conditionnent les échanges qui s'instaurent dans un système de production. La carte de contrôle est un exemple particulièrement révélateur, dès la classe de seconde où s'opère une initiation à son usage, en micromécanique, dans le pilotage d'une production automatisée (voir paragraphes 2.4. et 2.6.).

Employée comme instrument de pilotage, la carte de contrôle engendre deux nécessités quant à son utilisation, l'une liée à sa construction même, c'est-à-dire à la dénotation des éléments qui la constituent (les lignes et les points), l'autre relative aux jugements et aux décisions qu'induisent les configurations graphiques. Son emploi révèle l'importance qu'il y a, pour l'élève, à distinguer contrôle de tolérance (voir paragraphe 4.1.). On retrouve ainsi une nécessité signalée dans la référence socio-professionnelle et sur laquelle la vigilance est appelée.

Les représentations mentales construites au sujet d'un processus stable et sous contrôle ou non, de l'intervention (voir paragraphes 4.3. et 4.4.), semblent fortement marquées par la présence ou non de points hors limites, plus particulièrement lorsque le nombre de ces points hors limites est supérieur à 1. Par contre, la présence de "régularité" entre les limites de contrôle est rarement repérée comme significative d'une anomalie. Cela nous laisse penser qu'un tel repérage implique déjà une certaine compréhension de ce qu'est un phénomène aléatoire et des éléments modélisant la production en cours. Un tel repérage, plus élaboré, semble donc plus tardif que celui des points hors limites. Les significations qui sont attachées aux points présentant une régularité restent encore plus orientées vers le produit que vers le processus.

Nous avons également observé que, si l'élève retient déjà une diversité des facteurs (humains, matériels, organisationnels) susceptibles d'influer sur la production, une conception globale du processus ne semble pas encore disponible comme l'a révélé la recherche des points de contrôle (voir paragraphe 4.5.). Cela nous amène à penser que, si la multiplicité des facteurs influant sur le processus peut être évoquée et explicitée comme liée à l'action sur les objets que l'on transforme, le domaine de l'action reste limité de façon manifeste à la classe-atelier et plus particulièrement au niveau des machines où se déroulent les opérations de transformation et autour d'elles. Nous avons pu enfin observer une grande difficulté à intégrer le choix de la carte et ses fonctions essentielles dans le processus d'échanges. Les fonctions de communication et de validation qu'elle est supposée remplir sont mal perçues par les élèves (voir paragraphe 4.5).

Une perception plus globale du domaine de l'action dans le système des échanges semble nécessiter une construction à la fois intellectuelle (savoirs et savoir-faire à développer) et pratique (équipement, situations de simulation, etc.) Si les savoirs et les pratiques constituent deux polarités indissociables des opérations concrètes sur la matière, ils devraient alors être simultanément fonctionnels dans les situations d'enseignement et d'apprentissage.

Finalement, l'évolution des significations attachées au complexe «Objets de savoir manipulés - Matière - Instruments - Pratiques associées (OMIP)», apparaît comme indissociable de celle d'une perception à la fois globale et fonctionnelle d'un système d'échanges autour d'une production au sein duquel va se construire et s'ancrer cette signification (Mortureux, 1990 ; Pétroff, 1990). Cela nécessite un débat plus élaboré sur les usages et la signification des objets de la production manipulés dans la classe et sur leurs liens avec une référence sociale et technique extérieure à la classe. Un tel débat ne pourrait s'organiser sans une référence à la problématique de la transposition des savoirs (Chevallard, 1985), à leurs dimensions, sémiotique et instrumentale, et à ce que celles-ci spécifient dans le domaine de la production.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (1992). *Gérer et assurer la qualité. Tome 1 : Concepts et terminologie. Recueil de normes françaises*. Paris, AFNOR - Normes.
- BÉGUIN C., GURTNER J.-L., DE MARCELLUS O., DENZLER M., TRYPHON A. & VITALE B. (1994-1995). Activités de représentation et de modélisation dans une approche exploratoire de la mathématique et des sciences. Première partie : Les activités de représentation. *Petit x*, n° 38, pp. 41-71.
- BÉRANGER P. (1987). *Les nouvelles règles de la production. Vers l'excellence industrielle*. Paris, Dunod-Entreprise.
- CHEVALLARD Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble, La Pensée Sauvage.
- FANCHON J.-L. (1994). *Guide des Sciences et Technologies industrielles*. Paris, AFNOR-Nathan.
- FAU J. (1992). *La qualité au quotidien*. Paris, Polytechnica.
- FEY R. & GOGUE J.-M. (1991). *La maîtrise de la qualité*. Paris, Économica.
- MORTUREUX M.-F. (1990). Fonctionnement des termes scientifiques et lexique. In C. Normand (Éd.), *La quadrature du sens*. Paris, PUF, pp. 199-211.
- OSADA T. (1993). *Les 5 S. Première pratique de la qualité*. Paris, Dunod.
- OZEKI K. & AZAKA T. (1992). *Les outils de la qualité*. Paris, AFNOR-Gestion.
- PÉTROFF A. (1990). La question du sens dans les discours des communautés technolinguistiques. In C. Normand (Éd.), *La quadrature du sens*. Paris, PUF, pp. 181-198.
- RAK I., TEIXIDO C., FAVIER J. & CAZENAUD M. (1992). *La démarche de projet industriel. Technologie et Pédagogie. Approches système*. Paris, Foucher.
- VIGIER M. (1989). *Pratique de la maîtrise statistique des procédés : M.S.P. ou S.P.C. (Statistical Process Control)*. Paris, Les éditions d'Organisation.
- ZAÏDI A. (1989). *S.P.C. : concepts, méthodologies et outils*. Paris, Lavoisier.