

Contribution à l'étude des difficultés dans l'apprentissage des systèmes asservis

SABRI KHLIFI¹, PASCALE BRANDT-POMARES¹, CHIRAZ BEN KILANI²

¹Laboratoire EA 4671 - ADEF
Aix Marseille Université
France
sabriklifi@gmail.com
pascale.brandt-pomares@univ-amu.fr

²Education et Cognition UR 16ES10
Institut Supérieur de l'Education et de la Formation Continue
Université Virtuelle de Tunis
Tunisie
chiraz.benkilani@isefc.rnu.tn

ABSTRACT

The work presented in this article gives an account of the origins of the difficulties of the Tunisian students of terminal of the section "Technical Sciences" in the learning of the enslavement of the technical systems. The interest is focused on the way in which students construct the concept of enslavement and regulation to be able to operationalize them on different technical systems and distinguish between those who are enslaved and those who are regulated. Interest is also focused on the origins of the difficulties encountered by students in the work of constructing functional diagrams. In this article, we present the results of a questionnaire pre-survey of 100 students in 6 high schools in the Tunisian capital. The analysis of the students' questions and answers enabled us to characterize their difficulties. This work constitutes a first part of a larger work that we envisage, in perspective, to propose a teaching-learning situation of remediation based on a didactic engineering based on numerical simulation.

KEYWORDS

Block diagram, regulation, servo control, technical system

RÉSUMÉ

Le travail présenté dans cet article rend compte des origines des difficultés des élèves tunisiens de terminale de la section "Sciences Techniques" dans l'apprentissage de l'asservissement des systèmes techniques. L'intérêt est porté sur la manière avec laquelle les élèves construisent le concept d'asservissement et celui de régulation pour pouvoir les opérationnaliser sur les différents systèmes techniques et distinguer ainsi ceux qui sont asservis et ceux qui sont régulés. L'intérêt est porté aussi sur les origines des difficultés que rencontrent les élèves dans le travail de construction des schémas fonctionnels. Nous présentons, dans cet article, les résultats d'une pré-enquête, par questionnaire, réalisée auprès de 100 élèves répartis sur 6 lycées de la capitale tunisienne. L'analyse des questions et des réponses des élèves nous ont permis de caractériser leurs difficultés. Ce travail constitue une première partie d'un travail plus important que nous envisageons, en

perspective, pour proposer une situation d'enseignement-apprentissage de remédiation fondée sur une ingénierie didactique basée sur la simulation numérique.

MOTS-CLÉS

Asservissement, régulation, schéma fonctionnel, système technique

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Enseignement de l'asservissement des systèmes techniques

Depuis la réforme du système éducatif tunisien (1991), l'enseignement de l'asservissement des systèmes techniques est introduit dans les programmes officiels de génie électrique pour les classes de terminale section "Sciences Techniques". Les objectifs explicités dans ces programmes consistent à amener les élèves à décrire qualitativement le fonctionnement des systèmes asservis, à les modéliser par des schémas fonctionnels et à les mettre en œuvre au moyen de maquettes. Les organisations scolaires en Tunisie ont choisi de programmer l'enseignement du thème d'asservissement des systèmes techniques aux élèves de terminale pour la première fois durant leur cursus scolaire.

L'intitulé du thème explicité dans les textes officiels est : « *Notions d'asservissement linéaire* », (Ministère de l'Éducation & CNP, 2013). Les organisations scolaires précisent, d'après l'intitulé, qu'il s'agit d'enseigner aux élèves les notions de base de l'asservissement des systèmes techniques. Bien qu'il s'agisse d'asservissement, les exemples de systèmes proposés dans les programmes ainsi que dans les manuels scolaires traitent la notion de régulation. Les textes officiels recommandent les enseignants « *d'évoquer* » aux élèves la distinction entre l'asservissement et la régulation en s'appuyant sur des exemples de systèmes techniques.

La tâche prescrite par les enseignants tunisiens du génie électrique aux élèves consiste à lire un texte expliquant le fonctionnement du système à étudier et un schéma de principe montrant l'organisation et l'agencement de ses différents organes. Ces enseignants choisissent des exemples du manuel scolaire ou d'autres exemples de systèmes pour introduire le thème. Ils aident les élèves pour identifier le rôle de chaque organe dans le système et les guident à construire le schéma fonctionnel modélisant le système étudié.

Les activités proposées dans les manuels scolaires et les maquettes didactiques utilisées ne suffisaient pas à aider les élèves dans leur travail de construction du concept d'asservissement ou celui de régulation. Les questions abordées dans les activités ainsi que la non fiabilité et la non précision des maquettes utilisées rendent difficile la mise en œuvre des systèmes asservis et l'étude de leurs comportements. De plus, ces questions se focalisent beaucoup plus sur la partie électrique qui est composée généralement d'amplificateurs linéaires intégrés que sur la partie mécanique du système qui reste plus ou moins visible pour les élèves et constitue pour eux un problème lors de la construction du schéma fonctionnel.

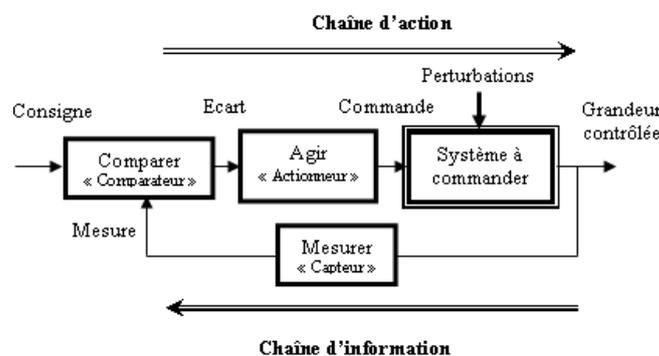
Schéma fonctionnel

Les objectifs explicités dans les programmes officiels indiquent que les élèves devraient être capables de modéliser, par schémas fonctionnels, les systèmes asservis. Ceci nous laisse penser que ces concepteurs ont choisi le modèle graphique contournant ainsi la modélisation par équations mathématiques qui est relativement plus complexe. Les schémas fonctionnels sont des outils graphiques composés généralement de blocs correspondant aux organes du système. Le gain de chaque bloc représente une fonction mathématique, allant de la fonction linéaire jusqu'à la fonction dérivée ou intégrale, qui modélise la relation mathématique entre la grandeur physique d'entrée et celle de sortie de chaque organe.

Quatre organes principaux agissent ensemble pour assurer le contrôle automatique de la sortie du système. Convertit en signal électrique, la grandeur physique de consigne attaque la première entrée d'un comparateur qui a pour rôle de délivrer un signal de faible puissance représentant l'écart considéré comme « *erreur du système* » entre la grandeur physique de consigne et celle de sortie du système. Ce signal passe par un amplificateur pour pouvoir commander un actionneur agissant à travers un effecteur sur la grandeur physique de sortie. Cette dernière est prélevée, sans perturbation, par un capteur qui la convertit en signal électrique pour l'injecter à la deuxième entrée du comparateur.

Nous présentons une structure générale d'un schéma fonctionnel modélisant tout système asservi (figure 1) et un exemple d'asservissement de vitesse de rotation d'un moteur électrique entraînant une charge accouplée à son arbre (figure 2). Une deuxième entrée du système asservi considérée comme une grandeur physique perturbant son fonctionnement est tenue compte dans la construction des schémas fonctionnels.

FIGURE 1



Structure générale d'un schéma fonctionnel

(Source : Najib Bennis, *Automatique Linéaire continue*, 2007)

FIGURE 2

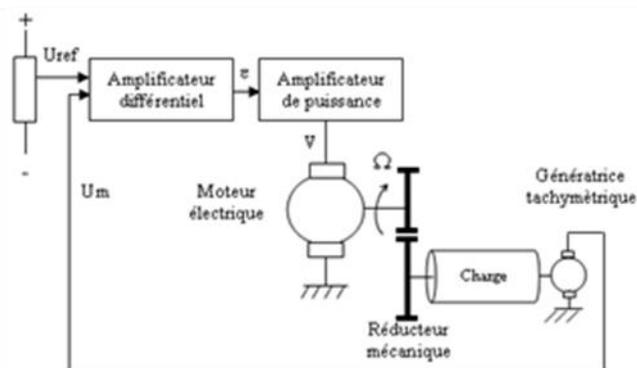


Schéma de principe d'un asservissement de vitesse de rotation d'un moteur

(Source : Najib Bennis, *Automatique Linéaire continue*, 2007)

CADRE THÉORIQUE

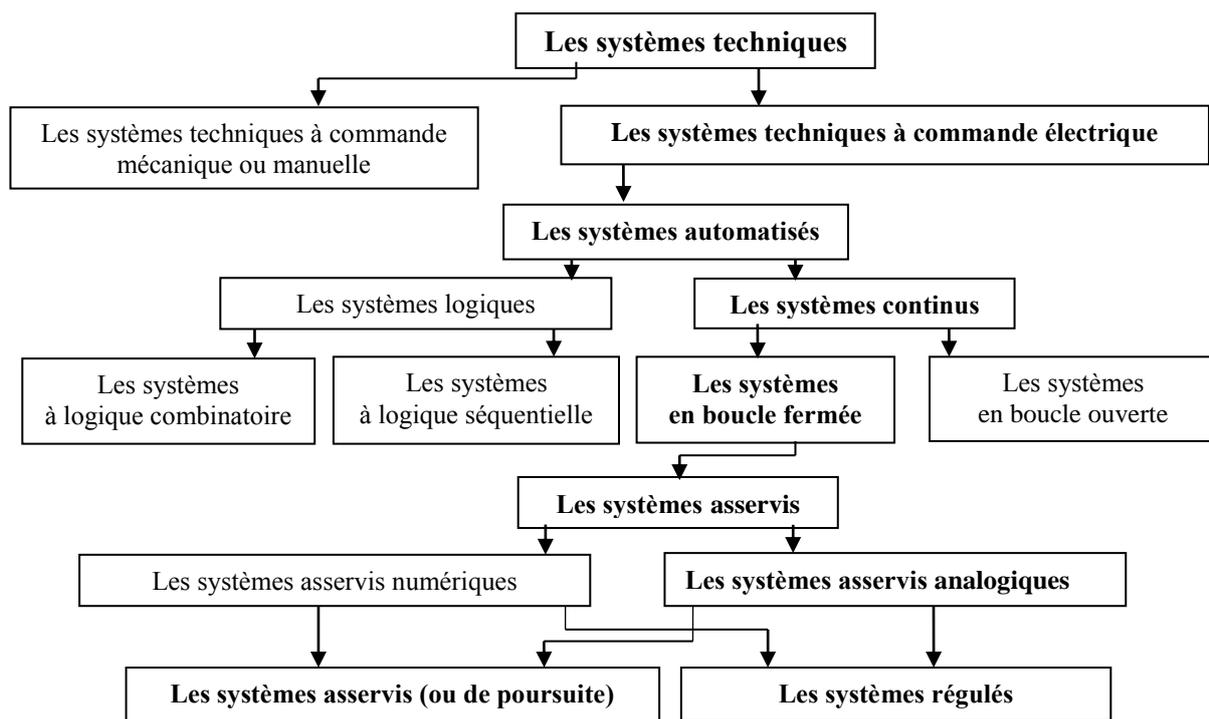
Caractérisation épistémologique de la compréhension des systèmes asservis

Les différents types de systèmes techniques se distinguent par : la commande qui peut être mécanique ou électrique ; le mode de fonctionnement s'il est semi-automatique ou automatisé ; la nature des signaux qu'ils traitent si elle est logique (discontinue) ou analogique

(continue) et la présence ou l'absence d'un contrôle automatique des grandeurs de sortie des systèmes.

La figure 3 montre une classification des systèmes techniques que nous pouvons l'envisager afin de situer les systèmes asservis parmi les différents types de systèmes techniques. Nous nous intéressons, dans cet article, aux systèmes asservis analogiques qu'est le thème étudié par les élèves tunisiens de terminale de la section "Sciences Techniques". Le concept d'asservissement et celui de régulation constituent les deux concepts fondamentaux dans l'étude des systèmes asservis.

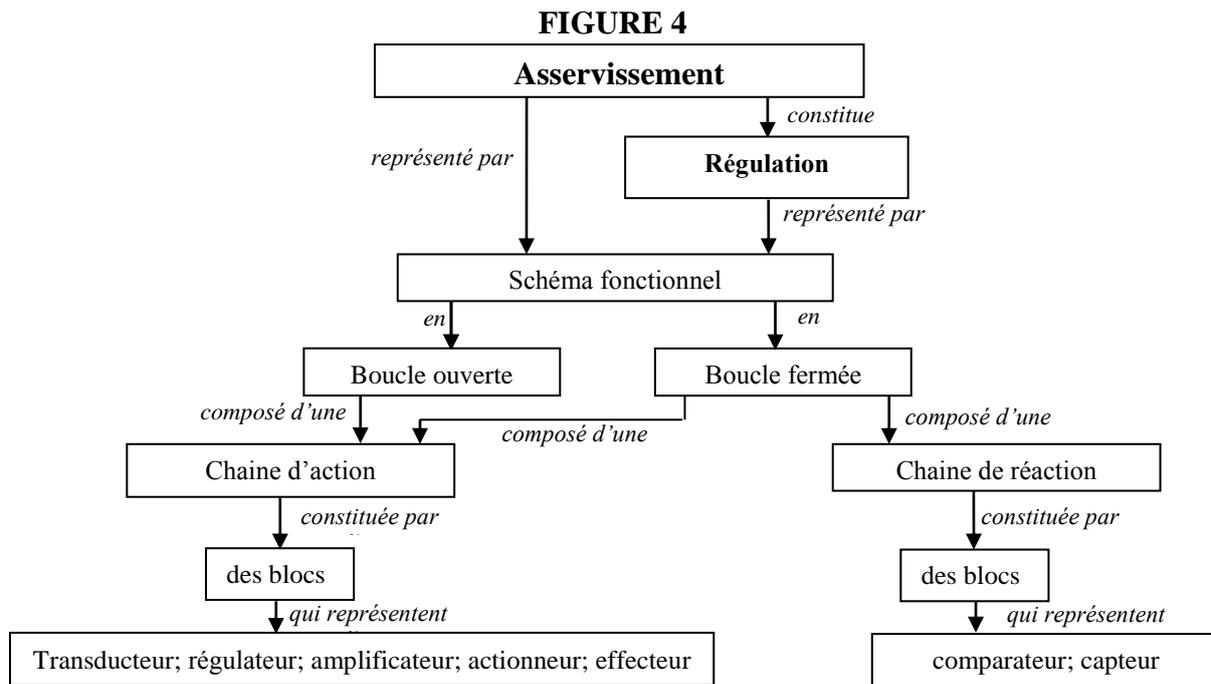
FIGURE 3



Classification des systèmes techniques

D'après cette classification, nous constatons que les systèmes asservis se subdivisent en deux systèmes : un système asservi fonctionnant en mode régulation appelé système régulé et un système asservi fonctionnant en mode asservissement appelé système asservi. Nous sommes donc devant deux types de systèmes asservis, un système qui fonctionne en régulation et un système qui fonctionne en asservissement ou en poursuite. Nous pensons que la si la nomination d'un système asservi fonctionnant en mode asservi était système de poursuite, la confusion que font les élèves entre asservissement et régulation pourrait être, en partie, résolue.

Loin d'être un schéma conceptuel détaillé, le schéma de la figure 4 montre une forme d'hierarchisation des concepts relatifs au thème d'asservissement des systèmes techniques. Les élèves trouvent des difficultés dans le travail d'opérationnalisation de ces concepts. Nous pensons que ces difficultés trouvent leur origine dans la diversité et la complexité des systèmes asservis actuels. La méconnaissance des élèves à propos des grandeurs physiques mises en jeu dans ce type de systèmes contribue aussi à agrandir ces difficultés.



Carte conceptuelle : asservissement/régulation

Problématique

Les organisations des enseignements technologiques sont généralement fondées beaucoup plus sur une accumulation d'études des objets techniques ou systèmes techniques que sur les principes qui les organisent. Au lieu d'élargir le monde des objets techniques pour l'élève, les enseignements technologiques tendent à le restreindre aux objets étudiés et à ce qui existe déjà (Andreucci & Ginéstié, 2002). Nous pensons que ceci représente en partie un obstacle didactique (Brousseau, 1986) qui pourrait influencer la construction, par les élèves, d'une culture technologique servant à mieux comprendre le fonctionnement des objets et systèmes techniques notamment les systèmes asservis.

Nous portons notre intérêt sur la confusion que font ces élèves entre le concept d'asservissement et celui de régulation. Nous cherchons à trouver des éléments de réponses sur la manière avec laquelle les élèves construisent le concept d'asservissement et celui de régulation pour pouvoir les opérationnaliser sur les différents systèmes automatisés et distinguer ainsi ceux qui sont asservis et ceux qui sont régulés.

L'intérêt est porté aussi sur les origines des difficultés que rencontrent les élèves dans le travail de construction des schémas fonctionnels. En effet, les élèves n'arrivent pas à modéliser un système asservi par un schéma fonctionnel (Von Bertalanffy, 1968) à partir d'un schéma de principe du système et d'un texte expliquant son fonctionnement. Ils ne font pas le lien entre un système asservi avec ses différents éléments, organisés de manière plus ou moins complexe dans le schéma de principe, et son schéma fonctionnel qui le modélise. Ce type de schéma représente un modèle graphique composé de blocs relatifs à chaque organe. Le gain de chaque bloc n'est qu'une fonction mathématique qui modélise chaque organe du système asservi. Nous privilégions de considérer ce type de schémas comme étant un "instrument symbolique" (Rabardel, 1995) permettant de modéliser tout système asservi ou régulé.

Nous cherchons à identifier les obstacles que rencontrent les élèves dans l'apprentissage du thème d'asservissement des systèmes techniques. Nous caractérisons leurs difficultés par l'analyse la tâche (Leplat & Hoc, 1983) et les réponses des élèves. Une

caractérisation épistémologique des concepts clés qui sous-tendent les systèmes asservis et leurs organes constitutifs pourrait aussi nous éclairer sur les origines de ces difficultés. Ceci nous laisse penser sur les modes de raisonnement des élèves dans le travail de construction de schémas fonctionnels pour modéliser les systèmes asservis.

Ce travail constitue une première partie d'un travail plus important que nous envisageons, en perspective, pour proposer une situation d'enseignement-apprentissage de remédiation fondée sur une ingénierie didactique (Brousseau, 1986) basée sur la modélisation et la simulation numérique. La mise en place de ce type de situation pourrait nous permettre de savoir, en quoi la simulation par logiciel peut aider les élèves à comprendre les systèmes asservis et comment va-t-elle les aider dans le travail de construction des schémas fonctionnels ?

Dans cet article, nous présentons les résultats de la pré-enquête que nous avons menée et nous essayons de répondre à deux questions :

- Quel sont les causes qui génèrent la confusion, chez les élèves tunisiens de terminale du secondaire, entre le concept d'asservissement et celui de régulation ?
- Quel mode de raisonnement chez les élèves tunisiens de terminale du secondaire dans le travail de construction des schémas fonctionnels ?

MÉTHODOLOGIE

Nous avons opté à faire passer aux élèves tunisiens de terminale section "Sciences techniques" une pré-enquête, par questionnaire papier-crayon, à propos des connaissances acquises qui se rapportent au thème de l'asservissement des systèmes techniques. L'échantillon est composé de 100 élèves répartis sur 6 lycées secondaires du commissariat de Tunis1. L'administration du questionnaire aux élèves est effectuée après avoir étudié le thème d'asservissement (de 2 à 3 semaines) en présence de leurs enseignants et des chercheurs.

Composé de 7 questions, le questionnaire vise les connaissances relatives aux systèmes asservis, l'identification de leurs éléments constitutifs, les grandeurs physiques mises en jeu et leur modélisation par schéma fonctionnel. Une quinzaine de systèmes techniques proposés qui touchent plusieurs domaines industriels. Parmi ces systèmes, on trouve ceux qui ont fait l'objet d'apprentissage du thème tels que le fer à souder, la mini perceuse, le positionneur d'antenne parabolique, le système de tri des pièces, le système de régulation du niveau d'eau, le bras manipulateur et ceux qui relèvent d'une culture technologique comme le radar anti missile, le pilote automatique d'un navire, le radar de poursuite d'un avion ou le système de direction assistée.

Questions 1, 2 et 3

La tâche confiée aux élèves dans la question 1 consiste à classer, parmi 15 systèmes techniques proposés, ceux qui fonctionnent en boucle ouverte et ceux qui fonctionnent en boucle fermée. L'objet de la question 2 est de distinguer, parmi les systèmes qui ont été classés en boucle fermée dans la question 1, s'il s'agit d'un asservissement ou d'une régulation. La question 3 est une question ouverte à propos de la différence entre le concept d'asservissement et celui de régulation. Nous présentons, dans la table 1, le nombre total en % de réponses correctes aux questions 1 et 2 pour chaque système (item).

Une majorité d'élèves distingue correctement les systèmes avec lesquels ils sont familiarisés ou les systèmes qui ont été étudiés en classe tels que le fer à souder thermostatique, le système de tri des pièces, le bras manipulateur, le positionneur d'antenne parabolique, le micro-tour, le four à micro-onde et le réfrigérateur. La barrière automatique de

Parking n’a pas été distinguée correctement par la majorité bien qu’elle faisait un support théorique et pratique dans l’enseignement de la technologie en 1^{ère} et 2^{ème} années secondaires.

TABLE 1
Total des réponses correctes par item en %

Système	Fer à souder	Système de tri	Système d’éclairage automatique	Bras manipulateur	antenne parabolique	Radar de poursuite	Alimentation d’eau potable	Mini perceuse	Pilote automatique d’un navire	Barrière automatique	Four à micro-onde	Radar anti-missile	Micro tour	Direction assisté	Refrigerateur
N %	69	66	49	79	60	66	49	78	53	38	68	57	72	44	74

Les systèmes qui, leur identification nécessite une culture technologique plus large de la part des élèves tels que le radar de poursuite d’un avion ou le radar anti-missile ou le pilote automatique d’un navire, ne sont pas distingués correctement par la majorité de l’échantillon. Ceci nous conduit à s’interroger sur les choix institutionnels pris pour l’enseignement de la technologie et la visée de l’école qu’est la construction d’une culture technologique permettant à l’élève de comprendre le monde des objets et systèmes techniques.

FIGURE 5

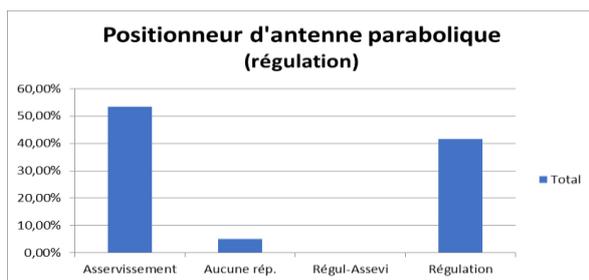


FIGURE 6

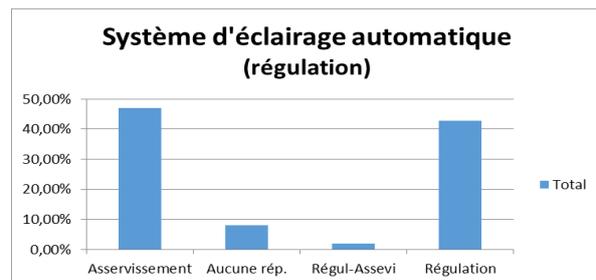


Diagramme à barres1: Résultats de la question 2 Diagramme à barres2: Résultats de la question 2

FIGURE 7

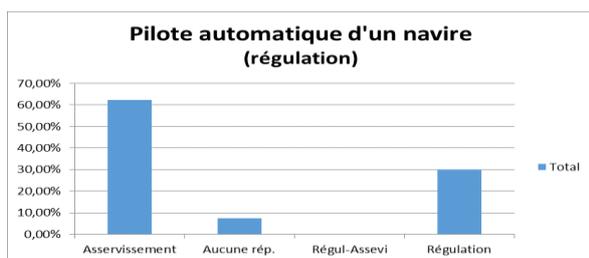


FIGURE 8

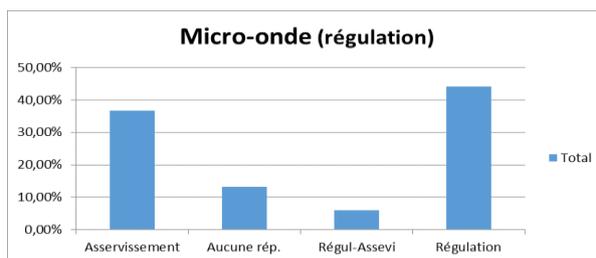


Diagramme à barres3: Résultats de la question 2 Diagramme à barres4: Résultats de la question 2

Les figures 5, 6, 7 et 8 représentent des diagrammes à barres montrant le nombre, en %, de réponses à la question 2 réparties sur 7 catégories retenues. Nous indiquons en haut de chaque diagramme s’il s’agit d’un asservissement ou d’une régulation. Ces deux concepts sont proches, le fait de les distinguer revient tout d’abord à identifier la grandeur physique à contrôler en sortie du système et à identifier la nature de la consigne ou commande en entrée si elle est constante et manipulée par l’utilisateur dans le cas d’une régulation (fer à souder, four à micro-onde, pilote automatique, alimentation en eau potable, réfrigérateur ou système

de direction assistée) ou si elle est variable dans le temps et hors de portée de l'utilisateur dans le cas d'un asservissement (radar de poursuite d'un avion chasseur, radar anti-missile). Les résultats de la question 2 nous ont montré que les élèves ont des difficultés à distinguer entre régulation et asservissement. Ils classent asservis les systèmes qui ne leurs sont pas familiers. Paradoxalement, le positionneur d'antenne parabolique est un système utilisé fréquemment par les élèves tunisiens chez eux a été classé par la majorité comme étant asservi alors qu'il ne l'est pas.

FIGURE 9

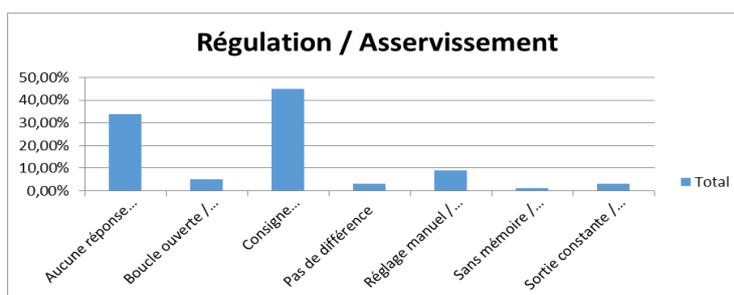


Diagramme à barres 5 : Résultats de la question 3 : nombre en % de questionnaires par catégorie

D'après les réponses des élèves à la question 3, nous constatons (figure 9) que moins de la moitié des élèves (45%) fait le lien des deux concepts (asservissement et régulation) avec la nature de la consigne. Celle-ci est variable et hors de portée de l'utilisateur dans le cas d'un asservissement et constante et commandable par l'utilisateur dans le cas d'une régulation. Toutefois, la majorité d'entre eux n'ont pas pu distinguer les systèmes régulés des systèmes asservis en répondant à la question 2 et plus que 40% d'entre eux n'ont pas pu identifier la grandeur physique de consigne et celle à asservir pour chaque système. Ceci, nous laisse penser que la méconnaissance de ces grandeurs est à l'origine des confusions que font les élèves entre le concept d'asservissement et celui de régulation.

Questions 4, 5, 6 et 7

Ces questions impliquent l'identification des organes constituant un système asservi et sa modélisation par construction d'un schéma fonctionnel. L'objectif est de savoir comment les élèves font le lien entre ces organes et le schéma fonctionnel. La tâche confiée à ces élèves est d'identifier la grandeur physique à asservir dans le système, qui est plus ou moins explicitée selon le type de système asservi, d'identifier le rôle de chaque organe ainsi que les grandeurs physiques à l'entrée et à la sortie de chaque organe. Les élèves sont appelés à représenter le bloc correspondant à chaque organe dans le schéma fonctionnel et ce, à partir de la lecture d'un schéma de principe montrant les différents organes et leur agencement dans le système asservi et d'un texte expliquant son fonctionnement.

Plus précisément, nous voudrions savoir si les élèves, dans leur travail de construction de schémas fonctionnels, puissent indiquer correctement le nom de chaque organe dans le bloc correspondant. Nous présentons, dans cet article les résultats des questions 6 et 7 qui concernent deux systèmes asservis différents. Le premier est un four électrique, le deuxième est un système de régulation de niveau d'eau. Le schéma de principe du premier système montre une disposition de ses organes plus proche à celle des blocs dans son schéma fonctionnel que celui du deuxième système. Nous voudrions savoir si les réponses des élèves sont induites par la disposition schématique des organes ou pas. Si l'on compare dans une optique d'analyse des tâches relatives aux questions 6 et 7, nous pouvons dire que les élèves sont induits à répondre correctement à la première question par le fait que la disposition

schématique des organes du four électrique est plus proche à celle d'un schéma fonctionnel que pour le cas du système de régulation de niveau d'eau. Le mode de raisonnement des élèves se base en grande partie sur la manière avec laquelle sont disposés les organes du système sur le schéma de principe au dépend de l'identification du rôle de chacun et des grandeurs physiques mises en jeu dans le système asservi.

FIGURE 10

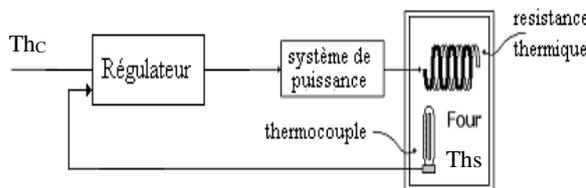


Schéma de principe du système Four électrique

(Image : <http://www.telecharger-cours.com>)

FIGURE 11

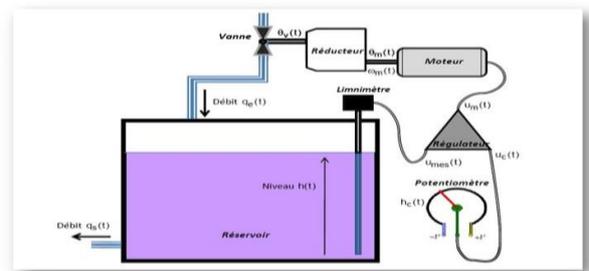
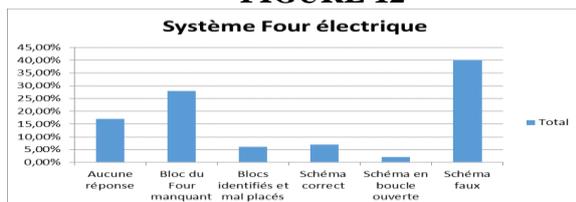


Schéma de principe du système de régulation de niveau d'eau

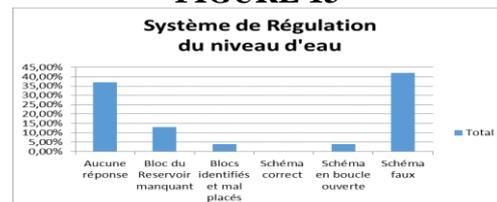
(Image : <http://www.stephane.genouel.free.fr>)

FIGURE 12



Diagr. à barres 6: Résultats de la question 6

FIGURE 13



Diagr. à barres 7: Résultats de la question 7

Dans le cas du four électrique, une minorité d'élèves (7%) a répondu correctement à la question 6 et 40% d'entre eux ont représenté des schémas faux et qui ne reflètent pas l'existence des organes dans le système. Les autres élèves ont commis des erreurs relativement spécifiques. Certains d'entre eux ont représenté les blocs de tous les organes du système four électrique, sauf qu'ils n'ont pas su les placer en ordre dans le schéma fonctionnel. Il y'en a parmi ces élèves (2%), ceux qui représentent un schéma fonctionnel en boucle ouverte considérant ainsi que la température du four n'est pas contrôlée ou par méconnaissance du rôle du thermocouple qui mesure la température du four et la convertit en tension. Moins de 30% des élèves oublient l'organe effecteur qui est l'enceinte du four. Ces élèves pensent que le prélèvement de la température du four s'effectue à partir de la résistance thermique, alors que le thermocouple n'est pas en contact physique avec elle, il est placé dans l'enceinte du four.

En ce qui concerne le système de régulation du niveau d'eau, aucun élève n'a représenté un schéma fonctionnel correct modélisant le système de régulation du niveau d'eau. Plus de 40% des élèves questionnés ont représenté des schémas classés faux qui ne représentent en aucun cas la disposition des organes telle qu'elle est présentée dans le schéma de principe du système. En outre, plus de 35% d'élèves n'ont pas répondu à la question. Les réponses du reste de l'échantillon (25%) sont diversifiées, il y'en a ceux qui ont identifié tous les organes existants sauf qu'ils n'ont pas su placer leurs blocs convenablement dans le schéma fonctionnel. Certains élèves parmi eux ont opté pour un schéma fonctionnel en boucle ouverte considérant ainsi que le niveau d'eau n'est pas contrôlé ou par méconnaissance du rôle que joue le limnimètre. Ce dernier fournit un signal électrique image du niveau d'eau.

Quant aux autres élèves représentant 13% de l'échantillon, ils ont placé correctement tous les blocs sauf celui du réservoir.

Nous constatons que la majorité des élèves n'ont pas réussi à répondre correctement à cette question. Compte tenu de ces résultats, nous pouvons dire que, par rapport à la question 6, l'absence d'un texte explicatif qui décrit le fonctionnement du système a un effet négatif sur le travail de détermination de son schéma fonctionnel. En effet, selon leurs modes de raisonnement, chaque élève interprète à sa façon la question et essaye d'identifier le rôle de chaque organe indépendamment d'avoir un point de vue global sur le système par l'identification, tout d'abord, de la grandeur physique de consigne et celle de la sortie du système ainsi que toutes les grandeurs physiques mises en jeu dans le système.

CONCLUSION

Nous avons essayé, à travers cette pré-enquête, de rendre compte des difficultés que rencontrent les élèves tunisiens de terminale de la section "Sciences Techniques" dans l'apprentissage de l'asservissement des systèmes techniques. Les origines de ces difficultés sont multiples, il y a celles qui relèvent d'une culture technologique que l'élève construit durant son cursus scolaire et qui se rapportent à l'objet d'apprentissage lui-même et les significations qui en découlent. Cet objet porte sur la compréhension du fonctionnement des systèmes asservis et l'agencement de leurs organes constitutifs comme il peut porter sur leurs modélisations graphiques par schémas fonctionnels.

La majorité des élèves questionnés distinguent correctement les systèmes en boucle fermée de ceux qui fonctionnent en boucle ouverte, surtout, ceux qui leur sont familiers. Néanmoins, ils confondent s'il s'agit d'un asservissement ou d'une régulation. Nous pouvons dire que la méconnaissance de la grandeur physique à contrôler et les autres grandeurs physiques mises en jeu dans le système asservi sont à l'origine de ces confusions.

D'après notre pré-enquête, nous avons trouvé que la majorité des élèves tunisiens n'arrivent pas à représenter correctement un schéma fonctionnel d'un système asservi à partir d'un texte descriptif du fonctionnement et/ou d'un schéma de principe montrant l'agencement des organes constitutifs. Les difficultés que rencontrent ces élèves dans le travail de construction des schémas fonctionnels trouvent leurs origines dans leur culture technologique à propos des différents organes constituant le système asservi (capteurs, préactionneurs, actionneurs, effecteurs, ...) d'une part et, dans leur méconnaissance des grandeurs physiques mises en jeu dans le système asservi. De ce fait, le mode de raisonnement de la majorité des élèves dans le travail de construction des schémas fonctionnels repose sur la disposition schématique des organes dans le schéma de principe au dépend de la compréhension du rôle de chaque organe dans le fonctionnement du système asservi.

Nous envisageons, en perspective, d'élaborer un outil d'aide à l'étude du thème d'asservissement des systèmes techniques et de proposer une situation d'enseignement-apprentissage de remédiation fondée sur une ingénierie didactique basée sur la modélisation et la simulation numérique par logiciel. L'analyse de la tâche et l'analyse de l'activité des élèves dans cette situation, à travers la définition d'indicateurs pertinents, pourraient nous éclairer sur la façon de rendre facile l'apprentissage de l'asservissement des systèmes techniques.

RÉFÉRENCES

Andreucci, C., & Ginéstié, J. (2002). Un premier aperçu sur l'extension du concept d'objet technique chez les collégiens. *Didaskalia*, 20, 41-66.

Bennis, N. (2007). Automatique linéaire continue. Collection sciences techniques et management. Retrieved from <http://www.specialautom.net/introduction.htm#haut>.

Brousseau, G. (1986) Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique (HAL Id: hal-00516586). Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00516586>.

Leplat, J., & Hoc, J. M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3(1), 49-63.

Ministère de l'Éducation & CNP. (2013). *Programme de technologie*. Paris

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, une approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin.

Von Bertalanffy, L. (1968). *Organismic Psychology and Systems Theory*. Worcester: Clark University Press.