

INTERFACES EDUCATIVES ENTRE MATHÉMATIQUES ET INDUSTRIE

Rudolf STRAESSER*

Résumé – La contribution décrit l'étude Educational Interfaces between Mathematics and Industry (EIMI study) lancée par les deux organisations « Commission Internationale sur l'Enseignement Mathématique » (CIEM) et International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM). Partant du document de discussion de l'étude, j'indique quelques points importants de l'étude elle-même – à mentionner les difficultés de communication entre les systèmes éducatifs des divers pays, la séparation des mathématiques pures et des mathématiques de l'entreprise. L'utilisation des machines à mathématiques (les « technologies modernes ») et leurs conséquences (boîtes noires, algorithmisation, le rôle de l'enseignement pour comprendre ces boîtes noires) sont commentées.

Mots-clefs : étude CIEM, Mathématiques comme discipline scientifique, entreprise, boîte noire, modélisation, communication

Abstract – The contribution describes the study on « Educational Interfaces between Mathematics and Industry (EIMI-study) » sponsored by the International Commission on Mathematics Instruction (ICMI) and the International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM). With the Discussion Document as a starting point, some important issues of the study will be mentioned: difficulties in communicating between mathematics in educational systems, as a scientific discipline and mathematics in companies. The use of mathematical machines ('modern technology') and its consequences (black boxes, algorithmisation, role of education to understand black boxes) will also be an issue.

Keywords: ICMI-study, Mathematics as a scientific discipline, company mathematics, black box, modelling, communication

I. L'ETUDE « EDUCATIONAL INTERFACES BETWEEN MATHEMATICS AND INDUSTRY » (EIMI)

En 2009, la *Commission Internationale sur l'Enseignement des Mathématiques* (CIEM) et l'*International Council for Industrial and Applied Mathematics* (ICIAM) ont lancé une étude commune sur *Educational Interfaces¹ between Mathematics and Industry* (EIMI)². Pour la CIEM, cette étude EIMI est la vingtième, mais représente la première coopération avec une autre association (ICIAM) pour analyser et tenter de donner des éléments de réponse à une question vive de l'enseignement des mathématiques.

Toutes les études CIEM suivent un processus analogue à celui qui a abouti à l'étude EIMI : la CIEM lance le projet par un document de discussion préparé par une commission internationale de programme (CIP) nommée par la CIEM et, dans le cas de l'étude EIMI, en concertation avec l'ICIAM. Pour l'étude EIMI, la moitié des membres appartenait à la CIEM, l'autre moitié à l'ICIAM. Puis le document de discussion est publié et distribué dans les journaux et les communautés concernées de la façon la plus large possible pour susciter des commentaires et des textes sur l'objet de l'étude. En s'appuyant sur ces textes et leurs auteurs, la CIP lance des invitations à une conférence d'étude du sujet (*study conference*), durant laquelle les participants exposent, échangent et débattent dans le but de préparer une livre d'étude (*study book*) qui rassemble et synthétise le travail effectué. La publication du *study book* est l'aboutissement d'une étude CIEM, qui espère ainsi avoir recueilli et regroupé les connaissances disponibles sur le sujet de l'étude concernée.

* Justus-Liebig-Universitaet Giessen – Allemagne – rudolf.straesser@uni-giessen.de

¹ Le terme de Educational Interfaces ne se réfèrent pas seulement aux « mathématiques scolaires » c'est-à-dire aux savoirs mathématiques présents dans l'enseignement des écoles, collèges et lycées.

² Organisation for Economic Co-operation and Development.

Cette vingtième étude était motivée par l'importance de l'utilisation et le développement des mathématiques dans l'industrie, dans les entreprises ainsi que dans le secteur public et les activités de tous les jours des citoyens pour gagner leur vie. En conséquence, selon le document de discussion (voir Damlamian et Straesser 2009), qui a lancé l'étude CIEM - ICIAM, le mot « industrie » est à prendre dans un sens large :

... as any activity of economic or social value, including the service industry, regardless of whether it is in the public or private sector. (OECD³ 2008, p. 4)⁴

Pour le document de l'OECD 2008, les mathématiques :

...comprises any activity in the mathematical sciences, including mathematical statistics. (Op. cité)

Le document de discussion est moins précis dans la définition de ce qui est mathématique mais son contexte indique clairement que « mathématiques » dans cette étude est à prendre au sens le plus large possible, en incluant les mathématiques cachées et les mathématiques non considérées habituellement comme mathématiques. Par exemple en Allemagne, l'impôt sur le revenu est calculé d'après une formule non connue, sinon incompréhensible par le citoyen « normal » – ce sont donc des mathématiques invisibles. Normalement, le calcul d'un intérêt sur une somme d'argent donnée n'est pas considéré comme une opération mathématique, mais comme une procédure de nature financière – peut-être à réaliser à l'aide d'un tableau donné à l'avance ou d'une feuille de calcul préfabriquée.

Dès le commencement de l'étude, il est apparu comme évident que la difficulté la plus grande allait être de faire communiquer et coopérer les participants de l'étude venant de communautés souvent séparées : les mathématiciens de l'université, les didacticiens des mathématiques, les professeurs de mathématiques et les gens de l'industrie – un problème que l'on rencontre sans qu'il soit complètement résolu à l'intérieur même de la communauté des mathématiciens avec la séparation mathématiques pures et appliquées.

II. DEUX QUESTIONS ATTRACTIVES

Parmi toutes les questions traitées dans les actes (voir Araújo 2010) et les discussions de la conférence d'octobre 2010, je me contenterai ici d'en mentionner deux que je considère comme particulièrement intéressantes du point de vue des participants à l'étude.

1. *Les difficultés de communication*

Outre les difficultés de communication qui évidemment existent entre les systèmes éducatifs des divers pays, les mathématiques éducatives et les mathématiques utilisées dans les entreprises se différencient profondément. Normalement, les mathématiques dans l'entreprise, quand elles sont « visibles » et acceptées comme mathématiques (voir section 3), tendent à faire appel à des savoirs mathématiques avancées et liées à des sous-domaines mathématiques disciplinaires repérés au niveau universitaire : par exemple beaucoup de problèmes de l'industrie relèvent du domaine d'application des équations différentielles à dérivées partielles. Les mathématiques éducatives, surtout celles des écoles, collèges et lycées, sont quelques fois très élémentaires, parfois simples comme celles de l'arithmétique élémentaire, mais sont à développer, sinon à construire par les apprenants. Par conséquent, quand on parle de « mathématiques » dans les deux sortes d'institutions, on parle de réalités différentes : peut-être arithmétique élémentaire versus équations différentielles à plusieurs variables.

³ Organisation for Economic Co-operation and Development.

⁴ D'après mes recherches, il n'y a pas de version française.

De plus, les deux communautés ont des horizons de temps de travail tout à fait différents, habituellement beaucoup plus court dans l'entreprise qu'à l'école.

D'autre part, les mathématiques de l'industrie sont impliquées dans un système d'objectifs explicites avec des critères de succès explicites et effectifs. En contraste, les systèmes scolaires ont souvent des objectifs incertains alliés à une évaluation problématique du succès de l'enseignement.

Néanmoins, les participants de l'étude ont pensé qu'il valait la peine de parler d'une unité des mathématiques, même s'il est nécessaire d'accepter les différences sur le plan politique et scientifique.

Pour augmenter encore les problèmes de la communication, les communautés utilisent des « jargons » qui leur sont spécifiques. D'autre part, un même terme peut avoir des significations très éloignées d'une communauté à l'autre, d'autant plus que ces communautés sont complexes. Par exemple, le concept d'« institutionnalisation » de la didactique des mathématiques française prend une signification tout autre dans les entreprises ou la sociologie disciplinaire. La recherche de Castela et Romo Vásquez (2011) fournit un exemple prototypique et supplémentaire de l'usage de jargons différents dans des institutions et des communautés différentes. Pour la communication entre les communautés, il faut alors s'efforcer de trouver des métaphores compréhensibles et acceptables pour surmonter cette difficulté.

2. La modélisation des situations extra-mathématiques, surtout industrielles

Une autre différence dans les approches de l'industrie et de l'éducation est la relation avec la modélisation. Pour l'industrie, la modélisation est l'entrée dans l'utilisation des mathématiques. Normalement et typiquement dans l'entreprise, les objectifs sont hors des mathématiques, les mathématiques sont un outil (parmi d'autres), un instrument pour attaquer une question hors des mathématiques. Au moins dans la sous-communauté didactique et éducative d'une majorité de pays, la modélisation a pris place comme un objectif important d'enseignement. Mais souvent la modélisation n'est qu'une compétence à développer sans prise en compte de questions hors mathématiques. Le fameux cercle de modélisation (voir figure 1 ci-après) est devenu un but d'enseignement pour lui-même.



Figure 1 – Le cercle de modélisation

Dans le système éducatif, les conséquences sont évidentes : pour la modélisation, on part d'une position « méta », intéressée à enseigner le cercle complet de la modélisation : situation extra-mathématique, identification de la question à résoudre, modélisation de la situation et de la question par une mathématisation, résolution mathématique de la question, interprétation des résultats dans le contexte extra-mathématique. Parfois plusieurs répétitions du cercle de modélisation sont nécessaires (pour une description acceptée par la majorité des didacticiens des mathématiques voir Blum et al. 2002). Il y a même des publications didactiques qui discutent l'enseignement des compétences partielles de ce cercle (comme le passage de la situation/question hors mathématiques au modèle mathématique, la « mathématisation »

proprement dite), ce qui rend secondaire et même éphémère la question du but de l'utilisateur des mathématiques, qui est l'aspect essentiel dans une modélisation industrielle. De mon point de vue, dans une école laïque et neutre, les étudiants doivent comprendre que toute modélisation implique un choix de perspectives et de valeurs concernant l'utilisation des mathématiques. Enseigner la modélisation doit rendre visible le contexte et les buts d'une utilisation des mathématiques – dans le sens technique, politique et social.

III. UNE QUESTION MOINS ATTRACTIVE

Dans le document de discussion de l'étude EIMI, est apparue une discussion assez élaborée d'une problématique, qui n'a pas été vraiment traitée dans la conférence : la visibilité ou l'invisibilité des mathématiques dans la vie quotidienne et dans les entreprises. Je donne un exemple de la disparition des mathématiques dans la figure 2 ci-dessous (les photos ont été fournies par l'entreprise BIZERBA, producteur de balances).



Figure 2 – Evolution des instruments de pesée et de la procédure de calcul du prix d'une marchandise.

Dans les prescriptions politiques et pédagogiques on entend beaucoup de discours portant sur l'importance des mathématiques. Cependant si on demande aux gens de citer des savoirs mathématiques qu'ils ont utilisés dans leur vie quotidienne ou professionnelle, souvent seuls l'arithmétique élémentaire et les pourcentages sont nommés. De plus, et plus nocif encore pour les mathématiques du point de vue pédagogique, les mathématiques ne sont plus enseignées et étudiées de façon approfondie. Comment comprendre ce « paradoxe » – importance et invisibilité des mathématiques ?

Une explication donnée dans le document de discussion est celle du phénomène des boîtes noires et de l'algorithmisation. Dans la vie quotidienne et dans les situations routinières des entreprises, les mathématiques sont « encapsulées » dans des procédures mixtes automatiques pour gérer les situations :

(...) packaging mathematics with other conceptual and material tools into (hopefully) automatic solutions to problems, with the consequence of hiding the mathematics from the immediate view of the users. This packaging can be anything from a fast food cash register, where the keys show only pictures of the items instead of numbers, to the search algorithm in Google™. (Damlamian et Straesser 2009, p. 527).

Dans (Straesser 2002) est décrite la construction sociale d'une telle « boîte noire » qui prend comme illustration le développement de la procédure de pesée et du calcul du prix d'une marchandise (voir figure 2). On y explique comment l'attribution d'un prix (souvent proportionnel au poids d'une marchandise) se déplace graduellement de la lecture du poids et d'un calcul mental du vendeur à un algorithme programmé dans une machine à peser qui se charge du calcul et de l'impression du prix – quand ce prix n'est pas déterminée dans la procédure de production de la marchandise et étiqueté directement sur cette marchandise (code barre). En tout cas, le calcul des prix dans les grandes surfaces et les hyper-marchés n'est plus visible pour les acheteurs. Ce qui reste – dans le cas le plus favorable – est une documentation imprimée et collée à la marchandise. Il n'est plus nécessaire de savoir peser et calculer les prix – ni de la part du vendeur ni de la part de l'acheteur.

Plus loin, le document de discussion de l'étude EIMI commente les conséquences d'une utilisation progressive des boîtes noires qu'on ne peut ouvrir pour les comprendre :

Just knowing how to apply black boxes has many shortcomings:

- It limits innovation, critical analysis and adjustments to the techniques.
- It does not allow analysis in case of failure of the black box.
- It makes it harder for people to judge the appropriateness of various techniques and the validity of the output.

The exact balance of emphasis between analysis and black box techniques and the various levels of description of the inner workings of the black boxes will depend on the nature of the application. (Damlamian et Straesser 2009, p. 527)

D'autre part, il est évident que l'utilisation des technologies modernes contribue au développement de la mise en boîtes des mathématiques, défavorisant ainsi une compréhension conceptuelle de ce qu'on utilise de façon routinière. Pour l'industrie d'aujourd'hui, ne pas ouvrir une boîte noire peut être une stratégie pour conserver le marché par rapport à des entreprises concurrentes et les empêcher d'entrer dans un marché déjà existant. Contrairement à l'industrie, ces boîtes noires pourraient représenter un enjeu vis-à-vis du processus de l'apprentissage, et motiver leur ouverture pour mieux comprendre les activités de la vie quotidienne et des entreprises qui les utilisent. Par conséquent, les deux communautés (les éducateurs et les industriels) doivent se poser et chercher à répondre à la question : quelle boîte noire est à ouvrir, à rendre grise ou même blanche et transparente ?

Pour avoir des citoyens bien informés, sinon critiques, il apparaît comme une nécessité de savoir comment ouvrir les boîtes noires, d'en avoir une expérience et d'en tirer les conséquences sociales et politiques. Il en découle que même s'il est impossible d'ouvrir toutes les boîtes noires dans une société industrielle, il me semble souhaitable que la procédure d'ouverture des boîtes noires soit présente au moins dans l'enseignement des mathématiques au collège et au lycée. Cette ouverture peut aider aussi à la compréhension des boîtes noires industrielles et peut permettre de réintégrer la dimension technique des mathématiques dans leur contexte social et politique. Cette question importante du point de vue politique, économique et pédagogique n'a guère été abordée durant la conférence ou dans les actes déjà parus (cf. Araújo et al. 2010).

IV. REMARQUES FINALES

Le résultat le plus important de l'étude EIMI – de mon point de vue – est le simple constat qu'il n'y a pas de pôle de recherche sur les mathématiques dans l'industrie dans le monde d'aujourd'hui. L'étude de l'utilisation des mathématiques dans l'industrie (au sens large de l'étude EIMI) vient de commencer dans diverses institutions et disciplines, comme la

« didactique professionnelle » en France, la sociologie du travail ou la didactique des mathématiques en général. Toutes les contributions de l'étude EIMI viennent de personnes travaillant dans des institutions qui n'ont pas pour mission la recherche et le développement des mathématiques dans l'industrie ou dans l'enseignement technique et professionnel. D'après ce que je connais, du moins en Allemagne, il y a eu seulement un poste de professeur qui avait pour vocation l'enseignement des mathématiques dans l'enseignement technique et professionnel – mais le professeur qui a obtenu ce poste ne travaille plus sur cette problématique ! Par conséquent, la recherche dans le cadre de cette problématique est souvent une œuvre personnelle, et même parfois privée, qui ne peut guère compter sur un support institutionnel. Ces conditions font que les progrès sont lents quand il y en a. Les méthodes de recherche suivent les modes des disciplines voisines qui, parfois, sont peu adaptées au sujet de recherche. Dans l'industrie elle-même, une réflexion théorique sur des pratiques bien établies, et perçues comme nécessaires, commence seulement au sein des organisations professionnelles.

Pour conclure, je tiens à mentionner que tout ce qui est dit dans ce texte relève de mon interprétation personnelle de l'étude EIMI. Je n'ai eu aucune autorisation de la part de la CIEM ou de la part de l'ICIAM. Le texte n'a été lu ni par des collègues du comité de programme ni par mon co-chair Alain Damlamian. J'ai voulu ici exprimer mon expérience et mes jugements personnels. En particulier la section 3 (sur l'importance des boîtes noires et les problèmes qui en résultent) est marquée d'un jugement qui m'est propre. Pour avoir une interprétation plus équilibrée et partagée, au moins au sein du comité de programme international, il faudra attendre la parution du livre de l'étude (study book) au courant de l'année 2012 chez Springer.

REFERENCES

- Araújo A., Fernandes A., Azevedo A., Rodrigues J. F. (Eds.). (2010) *Proceedings. EIMI 2010 Conference. Educational Interfaces between Mathematics and Industry*. Lisbon / Bedford, MA: CIM / Comap.
- Blum W. et al. (2002). ICMI Study 14: Applications and Modelling in Mathematics Education - Discussion Document. *Educational Studies in Mathematics* 51(1/2), 149-171.
- Castela C., Romo Vásquez A. (2011) Des mathématiques à l'automatique : étude des effets de transposition sur la transformée de Laplace dans la formation des ingénieurs. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 31(1), 79-130.
- Damlamian A., Straesser R. (On behalf of the International Program Committee, 2009). ETICMI-study 20: educational interfaces between mathematics and industry. *ZDM Mathematics Education* 41(4), 525-533.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, Global Science Forum (2008) *Report on Mathematics in Industry*. <http://www.oecd.org/dataoecd/47/1/41019441.pdf>
- Straesser R. (2002) On the disappearance of Mathematics from society's perception. Developments in Mathematics Education in German-speaking Countries. In Weigand H.-G. et al. (Eds.) (pp. 124-133) *Selected Papers from the Annual Conference on Didactics of Mathematics, Bern 1999*. Hildesheim – Berlin : Franzbecker.