

# Technologies de formation et d'apprentissage : outils, méthodes et retours d'expériences. Investiguer les énergies et leurs rendements en ExAO

Wissam Boutros

Université de Montréal, [wissam.boutros@umontreal.ca](mailto:wissam.boutros@umontreal.ca)

Pierre Nonnon

Université de Montréal, [pierre.nonnon@umontreal.ca](mailto:pierre.nonnon@umontreal.ca)

## Résumé

Dans cette recherche de développement (R et D) technologique en éducation, nous avons pris comme défi didactique de donner à des élèves la capacité d'investiguer sur les énergies et leurs transformations. Nous avons alors conçu et développé un environnement de laboratoire où chaque énergie est considérée comme une simple variable qu'il pourra manipuler et expérimenter. Les bénéfices didactiques d'un tel environnement ont été évalués.

## Mots clés

Énergie, transformation de l'énergie, rendement énergétique, recherche de développement, ExAO

## 1. Introduction

Le microlaboratoire d'expérimentations assistées par ordinateur ( $\mu$ lab ExAO) a été initialement conçu pour effectuer les expérimentations traditionnelles en sciences (Nonnon & Laurencelle, 1984). Muni de capteurs, il contrôle des expériences aussi bien en physique qu'en chimie ou en biologie. L'ExAO s'inscrit dans la vague d'utilisation de l'ordinateur en enseignement. Plus spécifiquement, l'ordinateur ici travaille dans les modes conversationnels et graphiques, mais aussi en mode de contrôle de processus, ce qui lui permet de piloter au bénéfice des élèves une activité de laboratoire en sciences. Ce système agit comme un appareil robot qui facilite la mise en place d'une expérience, mesure les variables physiques et les représente en temps réel sur l'écran d'un ordinateur (Nonnon, 2007).

*« L'une des caractéristiques intéressantes de l'expérimentation assistée par ordinateur est la rapidité avec laquelle les données sont collectées. Cette rapidité d'acquisition des données (une expérimentation dépasse rarement un quart d'heure) permet d'envisager plusieurs mesures, éventuellement dans des conditions différentes, en une seule séance. » (Lemaitre, 1991, p. 71)*

De plus, la présentation graphique en temps réel donne à l'élève un outil intéressant pour contrôler et intervenir immédiatement dans le déroulement de son expérience. L'intégration récente de la technologie dans les curriculums scolaires nous impose de donner à l'ExAO le défi de concevoir des activités d'apprentissage

intégrant les sciences et la technologie (Nonnon, 2007). À cause de son importance, autant au niveau sociologique qu'au niveau didactique, nous avons choisi de concevoir un environnement de laboratoire pour faciliter l'apprentissage des concepts liés à l'énergie et à ses transformations.

## 2. Considérations didactiques

L'intérêt grandissant des problèmes liés à l'énergie et la difficulté d'enseigner celle-ci nous incite à explorer la possibilité d'expérimenter directement les transformations d'énergies. Ceci nous semble possible en effectuant un court-circuit didactique, c'est-à-dire en affranchissant temporairement l'élève des calculs fastidieux relatifs à chacune des énergies. Autrement dit, l'élève n'a pas à passer par l'apprentissage préalable des équations aux dimensions relatives à chaque énergie (Boutros, 2012). Avec l'ExAO, chaque énergie a été définie préalablement par le système. Pour ce faire, nous avons conçu des variables complexes (formules mathématiques) qui prennent en compte les variables impliquées dans la mesure de chaque énergie.

Par exemple, pour l'énergie électrique, la variable Énergie est :  $E_e = U.I.t$ . Le défi au plan didactique était alors d'imaginer que les élèves considéreraient chacune de ces variables complexes comme n'importe quelle variable utilisée en physique ou en chimie. Cela leur permettrait de construire des hypothèses sur l'interaction de deux variables Énergies : par exemple, la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique, de l'expérimenter, d'obtenir un graphique présentant en ordonnée l'énergie mécanique et en abscisse l'énergie électrique. Le taux de variation indiquant le rendement énergétique du montage expérimental mesure ainsi et quantifie la qualité de la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.

## 3. Méthodologie

Cette étude est une recherche de développement (R et D) technologique en éducation. L'idée de développement a été réalisée en plusieurs étapes.

Dans une première étape, nous avons considéré comment l'apprentissage de l'énergie est présenté dans la littérature :

*« Bien que le mot énergie fasse partie du langage courant, le concept scientifique d'énergie est difficile à formaliser : d'une part, l'énergie, contrairement à d'autres grandeurs comme la charge électrique, est multiforme et ne se mesure pas directement; d'autre part, la vérification de sa conservation n'est pas toujours évidente. » (Ministère de l'Éducation nationale, 2002, p. 31)*

*« On parle souvent d'énergie. Cependant, l'énergie est un concept difficile à définir parce qu'il est abstrait. En effet, l'énergie ne peut pas être observée ni mesurée facilement. C'est pourquoi on préfère souvent étudier ses effets sur la matière ou ses manifestations. » (Cyr, & Verreault, 2007, p. 34)*

D'autre part, en examinant les protocoles et les expérimentations assistées ou non par ordinateur, à part la transformation de l'énergie potentielle en énergie cinétique, nous avons constaté qu'il existait peu d'expériences reliées à l'énergie et encore moins à ses transformations et à la mesure du rendement énergétique.

Les étapes suivantes consistèrent alors à imaginer une idée de solution, à réaliser le prototype, à le mettre à l'essai pour vérifier s'il est fonctionnel (mise à l'essai fonctionnelle) et à l'expérimenter pour vérifier les bénéfices didactiques obtenus de son utilisation par des élèves (mise à l'essai empirique).

Dans une seconde étape, nous avons fait évoluer le prototype en modifiant profondément un système d'ExAO pour permettre la conception du capteur virtuel d'énergie.

#### **4. Modèle d'action**

L'idée principale du projet est de permettre aux élèves d'expérimenter sur les énergies en considérant chaque énergie comme une variable globale qu'il pourra manipuler comme n'importe quelle autre variable. Ainsi, en faisant interagir ces variables globales, il pourra étudier chaque transformation d'une de ces variables d'énergie dans un autre type de variable. Par exemple, étudier la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique et évaluer le rendement de cette transformation sans avoir à connaître, dans un premier temps, les équations aux dimensions qui définissent chacune de ces énergies. Cette idée est appuyée par les modèles qui préconisent d'inverser le processus d'apprentissage qui va du spécifique au général par son inverse qui part du général au spécifique.

#### **5. Prototype**

Nous savons que chaque énergie est composée de plusieurs variables s'exprimant dans une formule mathématique. C'était l'enseignant qui devait construire, avant l'expérimentation par l'élève, les variables énergies.

L'expérimentation consiste à réaliser le laboratoire sur les énergies et leurs transformations, en particulier la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique (voir figure 1) et la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique (voir figure 2).

#### **6. Mises à l'essai**

Ce prototype a été testé par quelques spécialistes en didactique du Laboratoire de robotique pédagogique de l'Université de Montréal. Ensuite, il a été soumis à quinze enseignants experts en didactique des sciences et technologie et à vingt-quatre étudiants-maîtres avant d'être testé par une classe de vingt-six élèves. Notons que notre environnement d'apprentissage n'exige aucune connaissance préalable en ExAO. Nous avons seulement expliqué le fonctionnement de l'ExAO, cinq minutes avant l'expérimentation, aux élèves de cinquième année du secondaire avant la mise à l'essai empirique.

La mise à l'essai de notre prototype de départ était basée sur la création par les apprenants de capteurs virtuels d'énergie à partir de capteurs réels branchés dans l'interface lors de l'expérimentation et à partir de capteurs universels. Après l'expérimentation (mise à l'essai fonctionnelle), la majorité des intervenants ont trouvé que la création de ces capteurs virtuels était difficile à réaliser et surtout qu'elle exigeait la maîtrise des formules mathématiques propres à chaque énergie. De plus, l'enseignant était obligé de vérifier la création de chaque capteur pour éviter toute méprise.

Afin d'exempter les enseignants de construire eux même chaque variable énergie, nous avons créé sur la page principale de notre prototype une nouvelle icône « Énergie » (voir figure 3). Cette icône englobe les différentes formes d'énergies auxquelles nous avons individuellement attribué le statut de variable de manière à permettre aux élèves de les manipuler expérimentalement comme toute autre variable sans avoir à les construire préalablement.

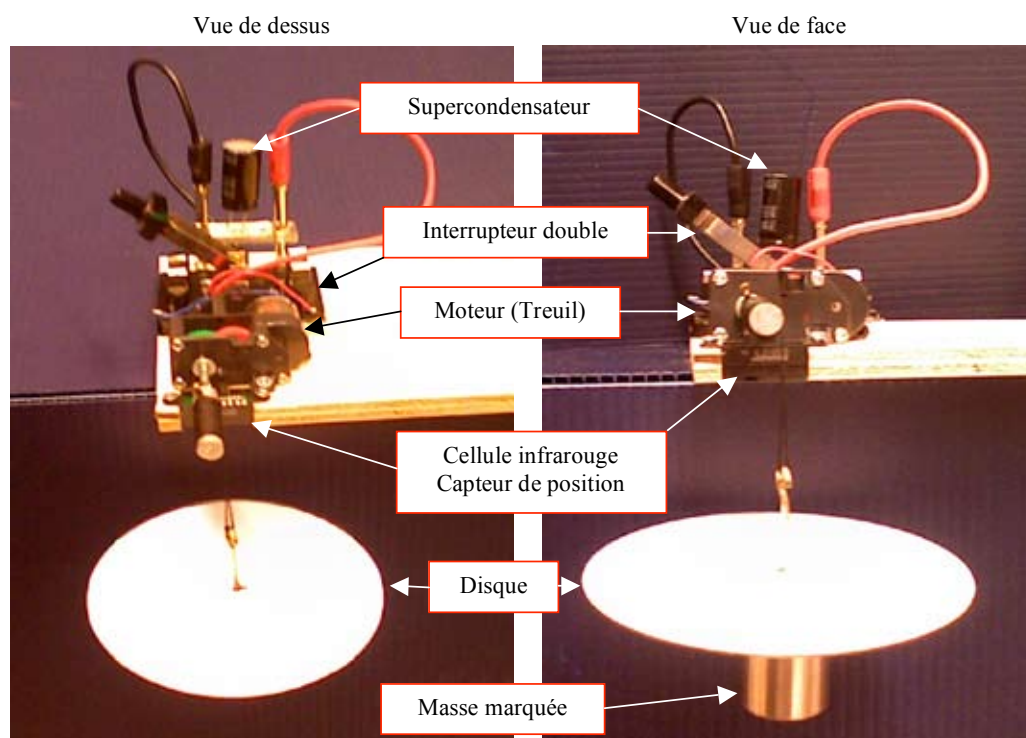
Après chaque mise à l'essai empirique et à la suite des difficultés, des commentaires et des critiques des intervenants, nous avons amélioré, voire modifié en profondeur à la fois l'ergonomie, le prototype (logiciel et matériel) et le protocole d'utilisation de celui-ci. La principale révision a consisté à programmer une routine qui vérifie automatiquement, lorsqu'un élève choisit une énergie avec laquelle il veut expérimenter, la présence des capteurs définissant cette énergie. Par exemple, pour mesurer l'énergie électrique, MicrolabExAO vérifie la présence des capteurs U (tension électrique) et I (intensité du courant) avant d'autoriser la mesure. En l'absence d'une de ces variables, le système avertit l'élève de brancher le capteur manquant. Notons ici que la variable temps est définie par défaut.

La dernière version du logiciel a répondu à toutes les critiques des intervenants et à l'instar de ce commentaire émis par l'enseignant, les résultats obtenus étaient très satisfaisants.

*« Dans un contexte très précis, ces expériences permettent également de modéliser la stratégie, de rendre les activités élaborées transparentes aux yeux des élèves. Enfin, les enseignants seront outillés de nouvelles stratégies pour mieux enseigner à leurs élèves. » (enseignant)*

Les résultats de cette expérience nous ont montré :

- 1) Le grand intérêt des élèves pour ce type d'expérimentation;
- 2) Leur compréhension de la transformation des énergies, laquelle a été démontrée :
  - a - par une bonne évaluation qu'ils ont faite du rendement énergétique;
  - b - dans 82 % des cas par des suggestions cohérentes pour l'amélioration de ce rendement;
  - c - par le fait que 16 % des élèves ne se sont pas contentés d'émettre des suggestions; ils ont de plus conçu un protocole et expérimenté celui-ci pour valider leurs hypothèses sur l'amélioration de ce rendement.



**Figure 1.** Prototype de la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.



**Figure 2.** Prototype de la transformation de l'énergie électrique en énergie thermique.

## 7. Conclusion

Dans cette R et D axée sur l'innovation didactique, nous avons fait le pari qu'il serait possible de concevoir un environnement réel de laboratoire, un environnement d'ExAO qui permettrait à des élèves du secondaire d'expérimenter sur les énergies et leurs transformations. Pour ce faire, nous avons conçu un modèle d'action et opérationnalisé celui-ci dans un prototype. Celui-ci a été mis à l'essai avec des élèves. Les résultats de cette R et D nous ont permis, non seulement de valider cette approche didactique, mais surtout d'améliorer progressivement le protocole et le prototype, en plus de l'aspect conversationnel et fonctionnel du logiciel et du matériel. Comme toute R et D, cette idée que nous avons opérationnalisée concrètement devra être davantage développée de manière à améliorer à la fois le modèle d'action et le prototype afin que chaque apprenant puisse mieux se l'approprier et accéder ainsi aux concepts liés aux énergies et à leurs transformations.

## Références

- Boutros, W. (2012). *Conception et développement d'un environnement d'apprentissage sur les transformations d'énergies et leurs rendements* (Thèse de doctorat inédite). Université de Montréal, Montréal, QC.
- Cyr, M.-D., & Verreault, J.-S. (2007). *Observatoire : Applications technologiques et scientifiques, Science et technologie. Manuel de l'élève de 1<sup>re</sup> année du 2<sup>e</sup> cycle du secondaire*. Saint-Laurent, QC : ÉRPI.
- Lemaitre, J.-P. (1991). Réflexion sur les apports didactiques, méthodologiques et pédagogiques de l'expérimentation assistée par ordinateur en situation de classe. *Bulletin de l'EPI*, 64, 69-74.
- Ministère de l'Éducation nationale. (2002). *Accompagnement des programmes – Physique – classe de Première S des séries générales*. Paris, France : Centre national de documentation pédagogique.
- Nonnon, P. (2002). Considérations sur la recherche de développement en éducation : le cas de l'EXAO. Dans G.-L. Baron & É. Bruillard (dir.), *Les technologies en éducation : perspectives de recherche et questions vives* (p. 53-59). Paris, France : Éditions de l'INRP.
- Nonnon, P. (2007). Enseigner les sciences avec des expérimentations assistées par ordinateur (ExAO). Dans P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (dir.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (p. 344-355). Québec, QC : Éditions MultiMondes.
- Nonnon, P., & Laurencelle, L. (1984). L'appareil robot et la pédagogie des disciplines expérimentales. *Spectre*, 13(3), 34-36.