

INTÉGRATION DU RÉEL ET DU VIRTUEL EN SCIENCE EXPÉRIMENTALE

Pierre NONNON

PhD, professeur

Laboratoire de robotique pédagogique

Université de Montréal,

C.P. 6128, Succursale Centre-Ville,

MONTREAL, H3C 3J7

Nous travaillons depuis 1970 au développement d'expériences assistées par ordinateur, avec notamment l'*appariteur-robot* (1972), ce qu'en France on appelle ExAO, pour Expérimentation Assistée par Ordinateur, et aux États Unis MBL, pour Microprocessor Based Laboratories. L'introduction des micro-ordinateurs au laboratoire facilitait bien sûr la préparation et le contrôle des expériences, mais elle nous permettait surtout de présenter, en même temps que le phénomène réel, une représentation graphique de celui-ci. C'est ce nouveau type d'apprentissage, de l'abstrait par le concret, du symbolique par le réel, qui a été rendu possible avec un micro-ordinateur. Cet apprentissage se réalise en présentant en temps réel, une représentation graphique de l'interaction des variables du phénomène à l'étude durant le déroulement du phénomène physique lui-même. C'est ce que nous avons illustré par la métaphore de la lunette cognitive (1984).

Nous allons vous présenter ici, une extension de ces développements en sciences expérimentales en incluant, aux différents modes d'utilisation de l'ordinateur outil de laboratoire (conversationnel, graphique et contrôle de procédés), le mode virtuel.

1. L'animation virtuelle en mode de simulation

Ce mode d'animation virtuelle où l'on substitue à l'objet physique réel une représentation animée de celui-ci sur l'écran de l'ordinateur est bien illustré par Désautels [Desautels 95] dans sa thèse de doctorat intitulée "Contribution des simulations interactives à la formation fondamentale en sciences". Avec ces simulations interactives, on est placé comme dans une situation d'induction expérimentale, on peut se poser une question en rapport avec cet environnement virtuel, planifier celui-ci pour répondre à cette question, c'est-à-dire établir un schème expérimental en paramétrant les variables "causes", en déclenchant l'expérience, et en mesurant la ou les variables dépendantes. L'étudiant observera alors le déroulement de l'expérience, sous une forme iconique ou sous la forme d'une séquence "Quick time" sur l'écran de l'ordinateur. Notons, que dans ce mode de simulation, il sera très facile de visualiser simultanément, sur le même écran, une représentation graphique de l'interaction des variables en jeux.

On a défini ici, avec ces animations virtuelles, un mode de simulation plus visuel, qui permet à l'élève d'induire des règles par l'expérimentation, mais tout aussi irréaliste puisque ce n'est qu'une image du phénomène à l'étude qui est ici l'objet d'apprentissage. Bien sûr, ces simulations interactives nous permettent d'expérimenter des phénomènes inaccessibles ou dangereux, comme le lancement d'un projectile sur la lune ou une réaction chimique polluante. Malgré ces avantages, nous sommes convaincus que pour la formation initiale en science expérimentale, on ne doit pas s'affranchir de la réalité, que les élèves doivent expérimenter directement sur des phénomènes réels, c'est à dire que les simulations ne doivent

jamais remplacer systématiquement les expériences réelles. Qu'elles peuvent tout au plus les précéder afin de les compléter, en extrapolant par exemple le domaine d'expérimentation au-delà du laboratoire ou en accélérant artificiellement leur déroulement afin de permettre à l'étudiant de cerner, plus rapidement, le modèle qui synthétiserait l'ensemble du phénomène à l'étude [Nonnon & Laurencelle 84].

Les animations virtuelles, sans doute parce qu'elles sont plus faciles à réaliser en mode simulé, semblent appartenir au domaine exclusif des simulations. Ce qui, selon nous, est faux, car elles sont encore plus pertinentes au plan didactique lorsque utilisées en conjonction avec des expérimentations réelles. C'est l'essentiel de notre propos et c'est ce que nous voulons illustrer ici.

2. L'animation virtuelle comme support à l'expérimentation de laboratoire ou "radioscopie virtuelle"

Certains phénomènes physiques ne sont pas perceptibles sensoriellement ; qu'on pense simplement au fonctionnement d'un circuit électrique, on ne voit pas le mouvement des électrons. Par contre, en mesurant le courant et la tension dans un circuit, on peut animer sur l'écran de l'ordinateur une représentation virtuelle de ce mouvement. Ce mouvement virtuel, en temps réel, qui se modifierait de manière synchrone avec les variations de courant et de voltage d'un circuit réel serait une aide précieuse à la compréhension du phénomène à l'étude.

Dans un autre domaine d'étude, par exemple dans un réfrigérateur, voir que l'effet de la pression sur un produit réfrigérant entraîne un changement d'état (de liquide à gazeux) qui, lui-même entraîne un changement de température n'est pas évident, il l'est d'autant moins que cet effet est invisible et se produit dans une enceinte métallique fermée. Pour rendre ce phénomène visible, un de nos étudiants, Richard Hudon [Hudon 93] a mesuré les variables pression et température à différents endroits sur un réfrigérateur, et construit une animation iconique en temps réel du cycle de réfrigération en rendant visible par un jeu de couleurs et d'ombrage les interactions de variables (pression-température, état liquide ou gazeux du réfrigérant) avant et après le compresseur, avant et après le refroidisseur. Cette image simplifiée du cycle de réfrigération est interactive, en ce sens qu'elle se modifie en fonction des données recueillies et donc en même temps que toute modification qui pourrait apparaître dans le système réel de réfrigération.

C'est ce processus didactique qui permet de "voir" un phénomène invisible que nous avons appelé *radioscopie virtuelle*. Bien sûr, on peut visualiser sur l'écran de l'ordinateur, en même temps que cette animation virtuelle, l'évolution des variables sous forme graphique.

3. Apprentissage avec une analogie virtuelle

La représentation iconique d'un phénomène physique n'est pas toujours facile, elle pourrait même, dans certains cas, générer de fausses représentations comme dans l'exemple précédent, sur l'électricité, si l'on réduisait la circulation électrique à une circulation dans le conducteur. Pour ne pas faire cette erreur didactique, on peut recourir au raisonnement analogique. Dans ce type d'apprentissage, on associe au phénomène à apprendre un phénomène similaire et plus connu ou plus sensoriel. Par exemple, on peut amener un élève à appréhender l'essentiel de la circulation électrique en associant celle-ci à la circulation de l'eau dans un conduit ; ainsi l'élève associe l'effet d'augmentation ou de diminution de la résistance sur le courant électrique dans un fil de cuivre à l'effet d'ouverture ou de fermeture d'un robinet sur le débit d'eau dans un tuyau.

Dans ce type d'apprentissage, on a le plus souvent recours à l'imagerie mentale, à l'évocation par l'élève de l'ensemble de la situation. Il doit donc mentalement se construire les deux circuits et les animer simultanément de manière à apprendre le fonctionnement du circuit électrique en l'associant à son analogue, le circuit hydraulique. Il est difficile techniquement de construire des prototypes didactiques réels de ces circuits hydrauliques, et encore plus complexe de les faire fonctionner de manière synchrone avec un circuit électrique. Par contre, on peut facilement prendre des mesures sur un circuit électrique et présenter en temps réel son analogue, ici une représentation virtuelle du circuit hydraulique qui va s'animer sur l'écran de l'ordinateur proportionnellement à toute modification dans le circuit électrique.

Si l'on accepte le principe didactique qui préconise de créer des situations d'apprentissage qui vont du plus connu au moins connu, du concret vers l'abstrait, dans une approche inductive en science, le phénomène à l'étude est initialement inconnu. En ExAO, généralement, on présente, en simultanéité avec ce phénomène à l'étude, une représentation graphique abstraite, ce qui ne semble pas, au moins à première vue, respecter le principe didactique énoncé plus haut. Ce principe sera respecté dans les deux conditions suivantes : 1) si initialement l'objet d'étude est le graphique ou 2) si l'on utilise des représentations virtuelles vraisemblables ou analogiques pour faciliter l'apprentissage des phénomènes abstraits et/ou invisibles.

3.1 L'objet d'étude est le graphique

En ExAO, il faut initialement que l'objet d'étude soit le graphique, parce qu'il est abstrait et généralement peu signifiant à l'étudiant. Le phénomène physique au contraire, sera choisi pour sa simplicité, parce qu'il sera concret, connu et familier à l'étudiant. On présentera alors, le phénomène physique et le graphique en simultanéité, comme par exemple les déplacements d'un train électrique jouet avec le graphique du déplacement en fonction du temps. C'est ce type d'assimilation de l'abstrait par le concret que nous avons illustré par la métaphore de la "lunette cognitive" [Nonnon 85].

L'intention didactique à long terme étant d'inverser cette séquence afin de donner à ce graphique abstrait les mêmes caractéristiques qu'un "analogue", plus familier et plus connu de l'étudiant que les phénomènes qu'il devra étudier. C'est seulement lorsque le graphique sera devenu signifiant à l'élève que celui-ci deviendra un véritable outil cognitif qui lui sera disponible pour appréhender de nouvelles connaissances. C'est à cette condition que l'ExAO deviendra, en profitant du langage de codage graphique et mathématique, une situation didactique privilégiée pour l'acquisition d'un véritable savoir faire expérimental.

Le langage graphique de codage est donc un pré-requis quasi indispensable en ExAO pour appréhender les connaissances scientifiques. Toutefois, on ne peut jamais être certain que chaque étudiant l'utilisera en le transférant sur des phénomènes plus abstraits. Nous allons donc introduire des représentations virtuelles en ExAO, pour faciliter la connexion entre le phénomène à l'étude et sa représentation graphique.

3.2 Des animations virtuelles vraisemblables ou analogiques pour faciliter l'apprentissage du langage de codage graphique, avec des phénomènes abstraits et/ou invisibles

Nous avons déjà donné l'exemple du circuit électrique, il s'agit essentiellement de présenter une animation virtuelle simplifiée, voire même analogique, en simultanéité avec le phénomène réel et sa représentation graphique. Ainsi, en ExAO, les données générées par le phénomène physique permettraient de générer à la fois, une représentation graphique, ainsi qu'une animation virtuelle de celui-ci, sur l'écran de l'ordinateur. Cette animation virtuelle devenant une composante didactique de l'ExAO, un repère visuel et concret pour appréhender plus facilement les différentes composantes du codage graphique (variation de pente, extrapolation, interpolation, ...).

Cette composante didactique deviendrait de moins en moins utile, au fur et à mesure que l'étudiant appréhende le langage de codage graphique. Ainsi l'étudiant pourrait l'ignorer, ou même l'inhiber si cela a été prévu dans le design pédagogique de l'activité d'apprentissage.

4. Conclusion

Au contraire des simulations, où l'on anime une image d'un objet physique à partir des connaissances théoriques de cet objet, ici cette animation en image se déroule de manière synchrone avec un objet réel, c'est-à-dire en temps réel, à partir des informations prélevées directement sur cet objet à l'étude.

Cette approche est selon nous plus conforme à l'approche expérimentale puisqu'on permet à l'étudiant d'expérimenter directement sur le phénomène réel, plutôt que sur une animation virtuelle de celui-ci. Nous avons montré, pour l'ExAO, que l'animation virtuelle ne se substituait jamais à la réalité, qu'elle ne faisait que la supporter, l'enrichir, la rendre plus visuelle, ou plus simple dans le but essentiel de faciliter à l'étudiant l'appréhension d'un langage graphique de codage, un outil cognitif indispensable en science expérimentale.

L'animation virtuelle est une extension du concept didactique que nous avons explicité par la métaphore de la "lunette cognitive". Nous voulions ici vous montrer que l'animation virtuelle n'est pas l'apanage de la simulation, que son utilisation largement répandue dans les logiciels de jeux n'est due qu'à sa plus grande facilité de mise en œuvre. Les récents développements technologiques nous permettent de croire que ce sera de moins en moins vrai.

Nous pensons sincèrement qu'en ExAO, l'animation virtuelle en temps réel, parce que couplée avec une véritable expérimentation de laboratoire, est plus féconde au plan didactique qu'une simulation qui inclurait l'animation virtuelle. D'autre part, on ne doit pas exagérer le recours à ces représentations virtuelles, elles ne doivent pas se substituer à la réalité ni à une forme de codage plus formel comme le langage graphique. Elles peuvent par contre, comme nous l'avons montré, faciliter son acquisition par l'étudiant.

5. Bibliographie

[Beaufils 92] Beaufils D., L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : implications didactiques et pédagogiques, *Actes des Cinquièmes journées informatique et pédagogique des Sciences Physiques*, Marseille, INRP-UDP, 1992, 105-110.

[Desautels 95] Desautels P., *Contributions des simulations interactives à la formation fondamentale en sciences*, Thèse de doctorat, Département de didactique, Université de Montréal, 1995.

[Hudon 93] Hudon R., *Environnement pédagogique informatisé pour la visualisation de systèmes techno-scientifiques*, Thèse de doctorat, département de didactique, Université de Montréal, 1993.

[Hudon & Nonnon 93] Hudon R., Nonnon P., Environnement pédagogique informatisé pour la visualisation de systèmes techno-scientifiques, *Actes du quatrième colloque international sur la robotique pédagogique*, Liège, 1993, 173-178.

[Marchand 92] Marchand D., *Système Labo-Classe : Robotique Pédagogique appliquée aux Sciences Physiques*, *Actes des Cinquièmes journées informatique et pédagogique des Sciences Physiques*, Marseille, INRP-UDP, 1992, 93-98.

[Nonnon & Laurencelle 84] Nonnon P., Laurencelle L., L'appariteur-robot et la pédagogie des disciplines expérimentales, *Spectre*, mars 1984, 34-36.

[Nonnon 85] Nonnon P., *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*, Université de Montréal, Faculté des Sciences de l'Éducation, 1985.

[Nonnon & al. 72] Nonnon P., Laurencelle L., Joyal J.-P., *Conditionnement classique et réaction cardiaque chez l'homme*, *Bulletin de psychologie*, no 2, Département de psychologie, UQAM, Montréal, 1972.

[Sourdillat & al 83] Sourdillat F., Bouysset C., Durey A., Lagoutte R., Utilisation des acquisitions de données avec micro-ordinateur en travaux pratiques de physique, *Premier atelier international d'été : recherche en didactique de la physique*, Lalonde des Maures, Paris, CNRS, 1983, 463-467.