

Objets graphiques manipulables et enseignement de la physique : analyse d'appliquettes

Daniel Beaufls, Marie-Joëlle Ramage, Michel Beney

► **To cite this version:**

Daniel Beaufls, Marie-Joëlle Ramage, Michel Beney. Objets graphiques manipulables et enseignement de la physique : analyse d'appliquettes. Technologie de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et l'Indsutrie, Oct 2004, Compiègne, France. pp.384-390. edutice-00000679

HAL Id: edutice-00000679

<https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000679>

Submitted on 10 Nov 2004

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Objets graphiques manipulables et enseignement de la physique : analyse d'appliquettes

Daniel BEAUFILS, Marie-Joëlle RAMAGE & Michel BENEY

Université Paris 11 ; DidaScO, Bât 333 ; 91405 ORSAY CEDEX

daniel.beaufils@df.cso.u-psud.fr

Résumé

Les ressources électroniques pour l'enseignement de la physique se caractérise par le recours à des simulations ou animations et par le concept corrélatif de *laboratoire virtuel*. Les très nombreuses appliquestes proposées dans ce cadre soulèvent alors des interrogations quant à leur efficacité didactique potentielle. Nous avons cherché à définir des critères d'analyse didactique en nous référant à différents travaux portant sur l'utilisation de la simulation dans l'enseignement, sur l'usage des représentations imagées ou symboliques et sur l'efficacité des représentations multiples dans les documents électroniques. Ces points d'analyse sont ici présentés comme autant de points de *vigilance didactique* tant du point de vue du concepteur que du point de vue de l'utilisateur. Le résultat d'une analyse de plus d'une centaine d'appliquestes montre le caractère crucial de nombreux points.

Mots-clés : objets interactifs, appliquestes, simulation, enseignement, physique, modèle, représentation externe, registre sémiotique, cadre de rationalité

Abstract

Simulation and animation are now constitutive parts of electronic resources for science teaching / learning. Several physics web sites are presented as "virtual labs" and include various applets in order to help better understanding in optics, mechanics, electricity, etc. But a close look at the design of these applets and/or the examination of their potential pedagogical use led to numerous questions and sometimes to crippling answers. Starting from studies concerning the design of multi-representational instructional simulations but also from didactical analysis of uses of images, diagrams or symbolic entities in text books, we were led to define characteristics to be put under vigilance of both teachers planning instructional sessions based on simulations and software designers. This paper present these points and results drawn from an analyse of about a hundred applets.

Keywords: interactive objects, applet, simulation, teaching/learning, physics, modelling, external representation, semiotic register, frame of rationality.

Introduction

Le développement des ressources électroniques pour l'enseignement de la physique se caractérise par le

recours à des simulations ou animations, généralement sous forme d'appliquestes. Il est aisé de constater la grande diversité de ces appliquestes et les difficultés potentielles d'une utilisation pédagogique raisonnée, notamment au regard de la conception de ces objets graphiques manipulables [1]. Partant de ce premier constat, nous avons cherché à définir des critères d'analyse en nous référant à différents travaux portant, d'une part sur l'utilisation de la simulation dans l'enseignement et, d'autre part sur l'usage et l'efficacité des représentations multiples dans les ressources électroniques. Ces critères sont considérés comme autant de points de vigilance, tant pour l'élaboration des appliquestes (point de vue du concepteur) que pour leur exploitation pédagogique (point de vue de l'utilisateur). L'article se propose de présenter les principaux points (information sur le modèle et sa mise en fonctionnement, modes de représentation, jeu de registres sémiotiques) et de donner le résultat d'une analyse d'une centaine d'appliquestes proposées dans des sites dédiés à l'enseignement des sciences (ici la physique).

Problématique de l'analyse et points de vigilance

Notre approche est spécifiquement didactique : l'étude du rôle et de l'usage des animations/simulations pour l'enseignement ne peut, selon nous, être faite indépendamment de la discipline concernée. Pour ce qui concerne la physique, l'un des éléments-clés est le concept de modèle, et les questions sur la nature des modèles, leur rôle, leurs modes d'élaboration et leur utilisation sont donc centrales dans notre problématique.

Modèle, modélisation, simulation

Les connaissances enseignées en physique sont pour une large part de nature théorique et les modèles sont très souvent au centre des apprentissages : lois de Newton, rayon lumineux, condensateur parfait, etc. Le développement des ressources informatiques a conduit à considérer la simulation sur ordinateur comme une aide didactique, support de nouvelles activités [2 ; 3]. D'un objet théorique et abstrait, appréhendé par le truchement du papier et du crayon (schématisation, traitement mathématique), on passe alors à un objet observable sur un écran et manipulable [1].

Ce qui doit être retenu tout d'abord, c'est que l'ordinateur est une machine à traiter l'information et que chaque simulation/animation sur ordinateur repose nécessairement sur la mise en fonctionnement d'un modèle : la programmation de l'objet graphique

manipulable passe par la mise en relation de différents paramètres permettant de représenter objets et phénomènes, le mot "modèle" désignant le "modèle programmé" et/ou le "modèle du physicien" [4 ; 5]. En d'autres termes, les événements observables sur une animation/simulation sont donc uniquement dus à la mise en fonctionnement d'un modèle et la question est alors bien de savoir de quel modèle il s'agit.

La phénoménologie des modèles

De nombreuses appliquettes qui représentent des phénomènes ne sont programmées que pour simuler une phénoménologie. S'il est légitime de "simuler" l'interaction de deux aimants, le fonctionnement d'un ampèremètre analogique sans faire appel aux équations de l'électromagnétisme, il convient de garder à l'esprit que le mot "simulation", s'il est utilisé, étant alors à prendre dans son sens commun de "faire semblant", et que ces "simulations" ne sont que des animations.

Un second ensemble est constitué d'appliquettes fondées sur la mise en fonctionnement d'un modèle de physicien. L'utilisation de ces simulations relève alors clairement des activités sur modèle (modélisation, manipulation, investigation [2]). Dans ce cas, toute phénoménologie quand bien même elle évoque un phénomène réel, n'est que la "phénoménologie du modèle" et la pertinence des activités proposées repose sur *l'explicitation du modèle sous-jacent*. En l'absence de cette information, les élèves *ne savent pas ce qu'ils font*, ou bien, interagissent avec *la représentation qu'ils se font du logiciel*, représentation dont on sait qu'elle peut relever du faux-sens, voire du contresens [1 ; 5 ; 6]. L'absence d'information à ce niveau peut vider les activités de leur sens : certes, l'apprenant est capable de répondre, par exemple, à une question sur la trajectoire (rectiligne) du centre d'inertie tracée lors d'un choc, mais que faut-il en conclure ? Propriété dans la réalité des chocs ? Loi de la théorie newtonienne, spécificité du modèle considéré ("palets" en mouvement sur une "surface sans frottements") ou, encore, manière dont la simulation a été programmée ?

Le modèle informatisé : un double artefact

La dernière interrogation ci-dessus, met en question la programmation du modèle. L'informatisation permet, comme il est souvent dit, de concrétiser les théories et modèles mais ceci n'est pas sans soulever de nouvelles questions. En particulier, il faut réaliser que ce n'est pas le modèle du physicien qui est manipulé, mais un "modèle informatisé" : c'est parfois un ensemble complexe de sous-programmes qui permet de traiter numériquement des équations différentielles ou des processus aléatoires, puis de représenter avec les contraintes graphiques de l'écran des courbes, des mouvements, etc. C'est donc bien à un double artefact que les étudiants utilisateurs sont confrontés : le modèle théorique inventé par les "physiciens" et le simulateur réalisé par les "informaticiens".

L'enjeu sur l'intelligibilité des activités didactiques, et donc sur les conditions d'utilisation d'un tel double artefact, est alors évident. À la nécessité d'explicitation du modèle théorique choisi (relation fondamentale de la dynamique *versus* loi horaire pour la mécanique ; lois de la réfraction ou modèle des lentilles mince en

optique ; modèle microscopique stochastique ou loi macroscopique en thermodynamique ; etc.) il importe d'ajouter la donnée des *informations relatives à la façon dont le modèle est mis en fonctionnement* grâce à l'ordinateur : méthodes numériques spécifiques mises en œuvre mais aussi plus simplement ordre des calculs, arrondis, ajustements aux contraintes d'affichages sur l'écran, etc.

Représentations des modèles : cadre de rationalité et registres sémiotiques

L'utilisation didactique de la simulation repose sur une hypothèse forte : les étudiants activistes, complètent et structurent leurs connaissances par la manipulation d'objets graphiques interactifs. Le double artefact exposé précédemment constitue un double obstacle à franchir : par la manipulation et l'observation d'une représentation (et donc d'indices de surface), l'enseignant attend que l'étudiant accède aux modèles ou aux concepts du physicien ! [7 ; 8]. Cette hypothèse qui tient du pari confère un caractère crucial à la qualité de la représentation externe du modèle [6 ; 9 ; 10].

La cohérence représentations / modèles et les cadres de rationalité

Les études faites sur les manuels scolaires qui ont montré les erreurs de lecture ou de compréhension induites chez les élèves par des représentations mixant symbolisme et réalisme [11 ; 12] peuvent être rappelées ici. L'exploitation des possibilités multimédias des outils informatiques favorise l'apparition de représentations figuratives, voire réalistes, au milieu de simulations fondamentalement théoriques et, ce, combiné avec des représentations fortement codifiées (figure 1). Dans certains cas, au rapport signifiant-signifié (rapport de la symbolique et du modèle théorique sous-jacent), se superpose l'évocation d'un référent (situation familière par exemple) censé contribuer à donner un sens à la situation proposée. Cet habillage du modèle n'est pas sans risque : l'effet de contextualisation recherché peut dépasser le niveau de simple évocation souhaité par l'enseignant. Outre le fait que différents attributs graphiques peuvent être pris en compte par l'élève alors qu'ils ne correspondent pas à des paramètres du modèle (et le conduire à s'intéresser à des indices de surface sans rapport avec l'apprentissage visé), une représentation trop réaliste du référent peut conduire l'élève à quitter le monde de la physique pour raisonner dans celui des représentations mentales familières dont on sait qu'elles sont bien souvent incompatibles avec la physique.

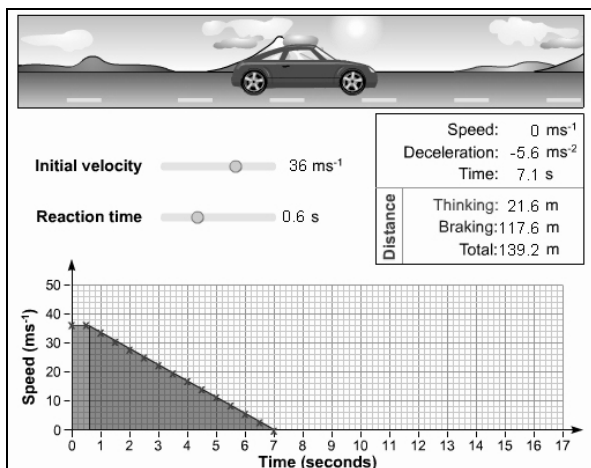


Figure 1 : copie d'écran, Absorb Physics for A-Level by Adrian Watt ©

Ceci relève, selon nous, d'une problématique attachée au concept de cadre de rationalité [13] : l'élève ou l'étudiant novice choisit inconsciemment un cadre d'intelligibilité pour interpréter la situation qui lui est proposée. Le choix du cadre par l'élève dépend de ses préférences, mais peut aussi être induit par les représentations choisies par le concepteur. Il convient donc de veiller à ce que cette induction ne risque pas d'aller à l'encontre des objectifs d'acquisition de connaissance visés. Sur la base des cadres utilisés par Lerouge [13], nous avons considéré comme opératoire pour notre analyse la distinction d'un cadre de rationalité que nous avons qualifié de familier/culturel et de deux cadres de rationalité de la physique : celui d'une physique "expérimentale" (avec l'image de l'activité d'observation ou d'expérimentation avec des instruments) et celui d'une physique "théorique" (où se sont les lois et modèles qui sont en jeu, avec les traitements mathématiques correspondants). Le premier sera favorisé par des représentations réalistes ou imagées de phénomènes ou situations de la vie courante, le deuxième par des représentations imagées ou schématiques de dispositifs expérimentaux (plans inclinés, prismes, etc.), complétés par des représentations graphiques ou numériques, le troisième par des représentations fortement codifiées incluant schémas standardisés, courbes, expressions formelles, etc.

Représentations codifiées et registres sémiotiques

La multiplicité des représentations codifiées évoquée ci-dessus amène alors, en seconde étape, à s'intéresser à la question de l'utilisation des registres sémiotiques. La littérature récente relative aux multimédias et aux environnements hypermédias comporte de nombreuses contributions concernant l'usage de ce qui est souvent appelé "représentations multiples" (*Mer's*) [14 ; 15] et, contrairement au sens commun, de nombreux travaux ont montré la difficulté et de compréhension de systèmes de représentation multiples et les effets mitigés, voire négatifs, des animations. En particulier, le concept de registre sémiotique [16] qui renvoie à l'idée de mode de traitement de l'information, est particulièrement opératoire pour notre analyse des

représentations codifiées évoquée ci-dessus : Il n'est pas rare en effet de voir associés courbes (registre graphique), expression mathématique (registre analytique), tableau de valeurs (registre numérique). Le concept de registre signifie tout d'abord qu'une représentation ne peut être utile que si le lecteur dispose des modes de traitement correspondants. Il indique ensuite que la mise en correspondance de deux ou plusieurs registres suppose une expertise minimale, ce qui n'est pas toujours le cas de l'élève ou étudiant en cours d'apprentissage : là où l'expert voit l'articulation, la continuité ou la complémentarité, le novice peut ne rien voir si la congruence n'est pas suffisante.

Dans le cas des représentations codifiées, le nombre et la nature des registres sémiotiques utilisés dans une appliquette sont donc des paramètres particulièrement importants. L'idée est bien sûr d'éviter des appliquettes qui présentent à l'utilisateur un écran où se multiplient les valeurs numériques, les éléments d'un schéma complexe, les courbes, etc.¹.

Résultats d'une première analyse d'appliquettes

Les points de vigilance que nous avons discutés ci-dessus ont été la base d'une grille d'analyse descriptive d'appliquettes. Dans la suite nous donnons quelques éléments d'une analyse ayant porté sur plus d'une centaine d'appliquettes de physique couvrant des domaines complémentaires (électricité, mécanique, optique, etc.) et dont la plupart sont proposées sur des sites Internet dont l'objectif déclaré est de fournir des éléments d'un *laboratoire virtuel*.

À propos des informations relatives au modèle et à son implémentation

Une analyse quantitative peut être faite pour ce qui concerne les informations relatives au modèle implémenté. Même en considérant les environnements des appliquettes (les pages *html* dans lesquelles elles sont insérées), le nombre de cas où l'on trouve des informations sur le modèle théorique utilisé est très faible, tandis que le pourcentage relatif aux informations sur le mode de calcul utilisé est très faible ! (tableau 1).

Dans les rubriques "complète" ou "partielle" relatives aux informations sur le modèle, figurent des cas différents parfois difficiles à classer : indication dans la page *html* d'un élément du modèle du physicien considéré comme élément-clé par l'auteur (rappel d'une formule par exemple), élément d'information glissé dans l'aide au mode d'emploi (où il est indiqué la possibilité de modifier tel paramètre), évocation d'un traitement mathématique et, enfin, lien vers une page comportant des calculs théoriques tels qu'ils peuvent figurer dans un ouvrage. De la même manière, sous la rubrique "information sur le calcul", nous avons

¹ Nous avons ainsi trouvé une appliquette comportant douze valeurs numériques, dix-huit objets articulés dans un schéma complexe, complété par une conique et le tout en animation automatique.

Nombre d'appliquettes analysées	Informations sur le modèle sous-jacent	Informations sur le mode de calcul/programmation
122	Complète : 8 % env. Partielle/Implicite : 8 % env. Absente : 84 %	Explicite : 4 % env. Incomplète/implicite : 2 % env. Absente : 94 %

Tableau 1 : analyse d'appliquettes du point de vue des informations fournies par l'auteur.

comptabilisé ensemble les informations incomplètes (un élément du calcul est précisé, une indication est donnée sur la méthode utilisée) et les éléments implicites (type de schématisation qui traduit le modèle, représentations graphiques qui évoluent au cours d'un calcul, etc.).

Une telle absence d'explicitation des modèles et de leur implantation en machine amène à penser que, pour les auteurs, soit la signification est évidente, soit elle est du ressort de l'enseignant utilisateur intéressé. Nous avons indiqué en première partie combien le premier cas est problématique et, quant à la dévolution de la construction pédagogique, on voit vite que l'information est là aussi incontournable : quelle question pertinente l'enseignant peut-il poser s'il ne sait pas lui-même ce que fait le logiciel ?

ou l'instrument du laboratoire, mais sans effet de réalisme.

- S pour "schématique" : le mot est ici à prendre dans son sens courant de "dessin schématique" : les objets et les appareils sont dessinés de façon "schématique" mais non codifiée ;
- C pour "codifiée" : les représentations utilisées sont celles du spécialiste : schémas standardisés, courbes, tableaux de valeurs, symboles physico-mathématiques.

En dehors de cas ambigus (au niveau de l'objet de la simulation² ou du texte d'accompagnement³), les appliquettes que nous avons examinées renvoient clairement à l'un des cadres de rationalité que nous avons retenus : la structure et/ou le type de présentation de l'appliquette l'indique par des traits saillants⁴. Le

		R	I	S	C
<i>Cadre familier ou culturel</i>	7 (+1)	3	5 (+1)	2	5 (+1)
<i>Cadre "expérimental"</i>	21 (+8)	13 (+1)	11 (+1)	10 (+8)	11 (+7)
<i>Cadre "théorique"</i>	75 (+9)	6 (+3)	18 (+3)	27 (+6)	69 (+7)
Total	103 (+18)	22 (+4)	34 (+5)	39 (+14)	85 (+15)

Tableau 2 : répartition des types de représentations dans les cadres familier (F), physique expérimentale (E) et physique théorique (T)(121 appliquettes retenues).

À propos des représentations

L'analyse de la cohérence modèle/représentation

Suivant la problématique présentée précédemment, nous avons fait figurer dans notre grille d'analyse, deux rubriques : les cadres de rationalité et une typologie que nous avons dénommée RISC. Dans la première nous avons fait apparaître les sous-rubriques relatives aux cadres de rationalité présentés précédemment. Dans la seconde, partant de catégories utilisées dans la recherche STTIS (Projet européen Science Teacher Training in an Information Society) [11 ; 12] nous avons été amenés à adopter une typologie plus représentative des cas de figure rencontrés et traduisant une gradation allant de l'évocation du monde réel à la nécessité de ressources linguistiques spécifiques que sont, par exemple, la reconnaissance des expressions symboliques et la lecture de graphiques :

- R pour "réaliste" : les représentations sont en trois dimensions, les images ont une texture spécifique pour rendre compte des volumes, le déroulement est simulé dans le temps, etc. ;
- I pour "imagée" : les représentations sont des images où l'on reconnaît l'objet de la vie courante

décompte ainsi effectué montre d'abord la large prédominance des simulations portant explicitement sur la mise en fonctionnement d'un modèle (70 % environ) et, parmi celles-ci, le choix de représentations codifiées (90 %). Ceci reflète la représentation traditionnelle de ce que doit être une appliquette de physique. Il faut noter ici que la codification standardisée (lentilles, composants électriques, forces, etc.), est souvent accompagnée de codifications implicites et personnelles de l'auteur, et dont le décodage n'est alors possible que par celui qui sait déjà... L'autre constat est que de nombreuses simulations utilisent des représentations mixtes, avec

² Le tir d'un canon est-il un phénomène naturel (trajectoire du projectile dans le champ de pesanteur, une expérience (faire varier l'angle pour chercher la portée) ou la représentation d'un modèle "purement théorique" (trajectoire parabolique paramétrée par α) ?

³ Il est écrit, par exemple, que « l'expérience simule l'effet d'une lentille mince convergente », alors que "l'expérience" n'est bien évidemment que la "manipulation" de l'appliquette, et que cette dernière représente à l'évidence, non pas une lentille, mais le modèle des lentilles minces.

⁴ Le caractère "saillant" est l'un des paramètres relevés dans les analyses de la recherche STTIS.

des écarts importants entre la représentation codifiée traditionnelle du modèle et des éléments relevant du dessin, des éléments imagés ou des représentations. Nous retrouvons là, le mélange des genres analysé dans les manuels scolaires [12].

La première colonne numérique indique le nombre de simulations qui renvoient aux différents cadres de rationalité : les premières valeurs correspondent aux cas considérés comme non ambigus, les valeurs entre parenthèses indiquant le nombre de cas où un second cadre peut être évoqué (en fonction notamment des expériences antérieures de l'utilisateur). Les quatre colonnes qui correspondent aux types de représentations utilisées montrent que dans de nombreux cas, il y a association de représentations codifiées avec, soit des éléments relevant du dessin ou d'un schéma (non codifié, tel le dessin schématique d'un poisson pour une étude sur la réfraction ou d'une lentille convergente montrant la courbure de ses faces et donc une épaisseur), soit des éléments imagés (image d'une girafe dans l'étude des lentilles, lentille épaisse avec effet de moiré), voir réaliste (chariots dessinés en trois dimensions, composants d'un circuit représentés à partir de photographies d'appareils, etc.).⁵

L'analyse de l'usage des registres sémiotiques

L'analyse précédente a été affinée en examinant des différentes représentations codifiées utilisées, en particulier dans le cas des simulations relevant du "théorique". La question est alors bien celle du repérage des registres sémiotiques puisqu'il s'agit de distinguer des représentations correspondant à des traitements de l'information (par l'utilisateur) différents : lecture d'expressions relevant d'un formalisme mathématique, décodage de schémas codifiés, lecture de valeurs numériques, repérage sur des courbes, suivi de barres-graphes qui évoluent dans le temps. Ces registres sont bien évidemment représentatifs d'une discipline scientifique et la capacité à les exploiter dans des activités de résolution de problème est bien un objectif de l'enseignement scientifique. Mais on a indiqué combien la multiplicité ou la complexité des représentations pouvait aller à l'encontre des objectifs d'apprentissage visés. Sur 83 appliquestes ainsi examinées, il apparaît que la majorité d'entre elles mettent en œuvre les registres schématique (66) et/ou numérique (65). Les registres coexistent dans 69 cas, la présence de l'association schéma / nombre étant majoritaire (54) devant celle nombre / courbe (32) et celle schéma / courbe (22⁶). Seulement 7 appliquestes incluent une expression relevant du registre des expressions formelles (mathématiques). On peut s'étonner de cette faible valeur, ainsi que du nombre relativement faible du registre "courbe". Ceci est en cohérence avec l'absence d'information sur le modèle soulignée précédemment : à l'évidence pour l'expression mathématique, mais

⁵ Le mélange des genres n'est bien sûr pas une spécificité des appliquestes : les illustrations des manuels scolaires notamment sont très souvent ainsi. Les critiques sont alors les mêmes.

⁶ Valeur correspondant en fait au triplet schéma / nombre / courbes.

aussi pour la courbe qui apparaît aussi comme une explication du modèle.

Dans les cas de représentation multiples, on peut également faire le décompte des éléments de mise en correspondance. On peut ainsi s'intéresser à analyser :

- si les registres différents font l'objet de zones différenciées (zones délimitées différentes ou feuillets/onglets séparés) ou non (apparaissent dans la même fenêtre et parfois avec des effets de superposition non contrôlée) ;
- s'il y a une mise en correspondance de ces registres, qu'elle soit spécifique (utilisation de flèches, par exemple) ou seulement le fait d'une juxtaposition (soit des zones, soit des éléments de registre dans un même cadre) plusieurs registres peuvent ainsi être exploités par juxtaposition/superposition supposée congruente dans une zone unique non différenciée.

L'analyse des appliquestes du point de vue de la mise en correspondance montre que, lorsqu'elle est prise en compte dans la conception, elle repose essentiellement sur le jeu de simultanéité des variations de représentations juxtaposées : variation automatique (simulant l'écoulement du temps ou simplement programmée à titre d'animation) ou variation/modification contrôlée par l'utilisateur.

Conclusion

Nous avons cherché à développer un outil d'analyse et de description des simulations, et en particulier des appliquestes de physique, avec comme objectif d'attirer l'attention sur des points qui nous apparaissent essentiels d'un point de vue didactique. Cette analyse *a priori* qui porte donc sur ce qui est donné à voir non sur ce qui est donné à faire, est pour nous une étape préalable dans l'étude des activités qui peuvent être proposées aux élèves ou aux étudiants.

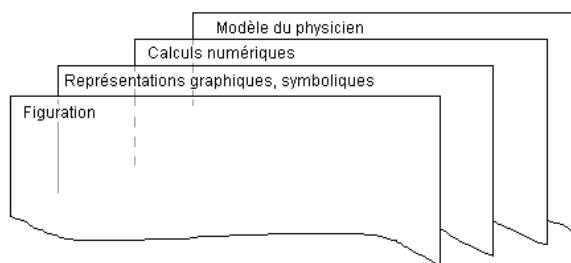
Notre analyse indique tout d'abord que la plupart des appliquestes de simulation en physique visent la manipulation de modèles et mettent en jeu les registres habituels de représentations scientifiques, et que l'apport essentiel réside dans la manipulabilité des représentations et l'introduction de l'évolution temporelle, essentielle en sciences.

Mais il apparaît dans le même temps que les informations relatives aux modèles et à la façon dont ils sont programmés sont quasiment inexistantes. Ceci, rapproché de la faible présence de représentation de type "courbe", semble indiquer que les simulations sont en effet conçues pour "faire comme si". Les phénomènes réels conduisant à des événements et des observations qui s'imposent à l'expérimentateur, les simulations apparaissent calquées sur cette représentation : dès lors, les observations et "expérimentations" devraient se faire en ignorant tout de leur cause... C'est, à notre sens, un problème majeur puisque l'utilisateur est ainsi amené à se construire, *a priori* ou à la suite de ces actions, une représentation du fonctionnement du logiciel et/ou du modèle qui dès lors peut être incontrôlable par l'enseignant. Par ailleurs, sur le plan de la conception pédagogique, cette situation traduit peut-être aussi l'idée que la

construction d'une compréhension correcte de la simulation et de la théorie sous-jacente peut se faire automatiquement, par le simple jeu des essais-erreurs et sur la base d'une information minimale. Ces questions renvoient aux travaux portant sur les modalités et les effets d'une externalisation du modèle [17] faisant préférer la transparence d'une "glass box" à l'opacité de la boîte noire [9].

Pour ce qui concerne les types de représentation, nous avons attiré l'attention sur les risques liés à l'utilisation de représentations réalistes et/ou à la contextualisation par des situations familières (ou censées l'être) : la projection dans un cadre de rationalité propre de l'étudiant peut, là également, être incontrôlée et l'entraîner dans une réflexion où le sens physique est perdu. Pour ce qui concerne l'utilisation des représentations codifiées (registres numériques, graphiques et schématiques), l'apprenant est implicitement censé interpréter les résultats de ses actions et inférer des connaissances en mettant en relation ces différents registres, généralement mis en simple juxtaposition. Or, d'un côté, la multiplicité des registres constitue une surcharge cognitive soulignée par ailleurs [18] et leur mise en correspondance correspond à un véritable travail de conceptualisation. De l'autre, on peut s'interroger sur le fait que donner ainsi aux étudiants des informations pré-formatées c'est supprimer la construction de ces outils par les utilisateurs alors que cela contribue précisément à donner du sens et accès à la compréhension⁷.

De façon globale, il nous apparaît clairement que ces appliquettes ne peuvent être utilisées telles quelles de manière autonome. Cela concerne à la fois des questions de conception d'activités pour élèves ou étudiants par les enseignants et de *design* des appliquettes par les concepteurs [19 ; 20]. Les éléments de notre grille d'analyse peuvent ainsi servir de base à une nécessaire formation des enseignants [21]. Pour ce qui concerne la structure des appliquettes, nous expérimentons actuellement une ergonomie en feuillets qui permet d'explicitier les différents niveaux du modèle : modèle théorique, modèle "informatique" (les calculs programmés), les représentations (espace phénoménographique du modèle) et éventuellement les aspects figuratifs [1] (figure 3).



⁷ Des travaux sur la conceptualisation dans l'action ont en effet montré que la donnée d'une information graphique facilite la prise d'information mais, dans le même temps diminue les capacités d'interprétation. Les travaux portant sur l'efficacité des représentations animées conduisent au même type de constat.

Références

- [1] Beaufils, D.; Beney, M.; and Ramage, M.-J. 2003. Environnements sémiotiques manipulables pour des activités sur modèle dans l'enseignement de la physique. In Actes EIAH2003, 519-522. [Fichier, [http:// archiveseiah.univ-lemans.fr/EIAH2003/Pdf/ n055-76.pdf](http://archiveseiah.univ-lemans.fr/EIAH2003/Pdf/n055-76.pdf)].
- [2] GEPS 2002. De la simulation... dans/pour l'enseignement de la physique. In *Accompagnement des programmes, Physique, Terminale scientifique*, Paris: SCEREN, 63-68. [Fichier, [http://perso.wanadoo.fr/groupexperts/ physique/TG2.doc](http://perso.wanadoo.fr/groupexperts/physique/TG2.doc)]
- [3] Beaufils, D. 2000. Des logiciels de simulation pour modéliser et expérimenter sur modèle : quels enjeux pour les apprentissages ?. In Premier séminaire national TICE et Sciences physiques. [Fichier : <http://www.aquitaine.iufm.fr/fr/14-actualite/01-seminaires/03-scphy/>].
- [4] Richoux, B.; Salvetat, C.; and Beaufils, D. 2002. Simulation numérique dans l'enseignement de la physique : enjeux, conditions. *Bulletin de l'Union des Physiciens* 842:497-522.
- [5] Beaufils, D.; and Richoux, B. 2003. Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia* 23:9-38.
- [6] Van Joolingen, W.; and Löhner, S. 2001. Representations in collaborative modeling tasks. In AI-ED 2001 Workshop External Representations in AIED: Multiple Forms and Multiple Roles, San Antonio, Texas, [Fichier: [http://www.psychology.nottingham.ac.uk/research/cred it/AIED-ER/vanjoolingen.pdf](http://www.psychology.nottingham.ac.uk/research/credit/AIED-ER/vanjoolingen.pdf)]
- [7] Bliss, J. 1994. From mental modules to modelling. In H. Mellar & al. (Eds) *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum*, The Falmer Press, 27-32.
- [8] Beaufils, D. 1993. L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : propositions et implications didactiques. *Didaskalia* 1:123-130.
- [9] Murray, T.; Winship, L.; Bellin, R.; and Cornell, M. 2001. Toward Glass Box Educational Simulations: Reifying Models for Inspection and Design. In AI-ED 2001 Workshop, External Representations in AIED: Multiple Forms and Multiple Roles San Antonio, Texas. [Fichier, 2003: [http://www.psychology.nottingham.ac.uk/research/cred it/AIED-ER/murray.pdf](http://www.psychology.nottingham.ac.uk/research/credit/AIED-ER/murray.pdf)]
- [10] Sakonidis, H. 1994. Representation and representation system. In H. Mellar & al. (Ed) *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum*, The Falmer Press, 39-45.
- [11] Pinto, R. 2002. Introduction to the Science Teacher Training in an Information Society (STTIS) project. *Int J. Sci. Educ* 24(3):227-234.

[12] Colin, Ph.; Chauvet, F.; and Viennot, L. 2002. Reading images in optics: students' difficulties and teachers' views. *Int. J. Sci. Educ* 24(3):313-332.

[13] Malafosse, D.; Lerouge, A.; and Dusseau, J.-M. 2001. Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège : changement de cadre de rationalité. *Didaskalia* 18: 61-98.

[14] Ainsworth, S. 1999. The functions of multiple representations. *Computers and Education* 33(2/3):131-152.

[15] Van Someren, M.; Reimann, P.; Boshuizen, H.; and de Jong, T. 1998. *Learning with multiples representations*, Oxford: Earli, Pergamon, Elsevier Science,.

[16] Duval, R. 1993. *Sémiosis et pensée humaine (registres sémiotiques et apprentissages intellectuels)*. Berne: Peter Lang.

[17] Teodoro, V. D. 1998. From formulae to conceptual experiments: interactive modelling in the physical sciences and in mathematics. In International CoLos Conference New Network-Based Media in Education, Maribor, Slovenia.

[Fichier: <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/papers/Paper%20VDT%20Slovenia%20September%201998.pdf>]

[18] Bodemer, D.; and Ploetzner, R. Encouraging the Active Integration of Information During Learning with Multiple and Interactive Representations,

[Fichier, 2003: <http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/bodemer.pdf>]

[19] Van Labeke, N.; and Ainsworth, S. 2001. Applying the DeFT Framework to the Design of Multi-Representational Instructional Simulations. In AIED'2001 - Artificial Intelligence in Education, San Antonio, 314-321.

[Fichier <http://www.psyc.nott.ac.uk/staff/nvl/docs/aied2001.pdf>]

[20] Williams, V. 2003. Designing Simulations for Learning, *e-Journal of Instructional Science and Technology (e-JIST)* 6(1).

[http://www.usq.edu.au/electpub/ejist/docs/Vol6_No1/pdf/Williams_Simulations_Final.pdf]

[21] Langley, D.; and Ronen, M. Training Teachers As Evaluators And Informed Users Of Simulations. [fichier, 2004:

http://web.uniud.it/cird/girepseminar2003/abstracts/pdf/langley_ronen.pdf]

ExploreScience puis *Explorelarning* (<http://www.explorelarning.com>),

PCSM_Physique (Site de Paris 11 : <http://formation.etud.u-psud.fr/pcsm/>),

Université Le Mans (Site de J.-J. Rousseau : <http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/>)

Université de Bourgogne (site de Cl. Pierre : <http://www.u-bourgogne.fr/condorcet/ancien/labovirtuel.html> et <http://www.u-bourgogne.fr/PHYSIQUE/>)

Liste des sites "laboratoire virtuel" considérés

Ntic (<http://labo.ntic.org/>),

Emc2 (<http://e.m.c.2.free.fr>),

MolecularExpression (<http://micro.magnet.fsu.edu/>),

Hypo

(<http://hypo.ge.ch/www/physic/simulations/introduction.html>),