

UNE EXPERIENCE DE TELE-EXPERIMENTATION EN PHYSIQUE VIA INTERNET

Fairouz KHADRAOUI

Département d'Informatique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université de Batna

Fairouz_k@eudoramail.com

Mahieddine DJOUDI

Laboratoire IRCOM-SIC Université de Poitiers UFR Sciences - Bat. SP2MI Teleport 2

Bld. Marie et Pierre Curie B.P. 30179 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex (France)

djoudi@sic.sp2mi.univ-poitiers.fr

Résumé

Le travail décrit dans cet article s'inscrit dans le contexte des environnements d'apprentissage à distance dont l'objet est de mettre en ligne des cours interactifs et des programmes complets de formation accessibles via le réseau Internet. Bien que ces environnements de formation favorisent l'atteinte de plusieurs objectifs pédagogiques, la réalisation effective des expériences de laboratoire à travers le réseau n'est pas encore très répandue.

Pourtant, dans très nombreux domaines, notamment en sciences expérimentales, les expériences de laboratoire jouent un rôle essentiel dans le processus d'apprentissage et amènent une dimension importante à tout enseignement théorique. Notre travail consiste à concevoir et à réaliser un prototype d'un système logiciel pour la télé-expérimentation en physique via Internet (*laboratoire virtuel*).

A partir d'une étude assez détaillée des laboratoires conventionnels, en particulier leurs structures et leurs objectifs pédagogiques, nous avons établi une structure propre aux laboratoires virtuels tout en détectant leurs avantages mais aussi leurs risques sur le plan éducatif. Pour mettre en place un tel outil de laboratoire virtuel, nous proposons un logiciel qui simule la célèbre expérience en physique dont l'objet est de déterminer, par la méthode statique, la raideur d'un ressort.

Mots clés

Expérience en physique, Formation à distance, Laboratoire virtuel, Pédagogie, Télé-expérimentation.

1. Problématique

Dans le cadre des cursus traitant des sciences expérimentales, l'apprenant est amené à manipuler et à réaliser des expériences de laboratoire dans le but de comprendre des phénomènes particuliers. Ces phénomènes font appel, en fonction de la discipline étudiée, à des principes physiques, chimiques, électriques, etc. L'expérimentation dans un cadre réel amène une dimension au phénomène que la théorie ne peut prévoir et s'avère très formatrice pour le futur praticien.

Cependant, lors de la réalisation des essais en laboratoire, plusieurs inconvénients sont souvent remarqués [1]. Les emplacements physiques pour les participants sont inadéquats (apprenants debout, etc.). L'expérimentation est limitée par la période réservée à la séance du TP et donc l'impossibilité de reprise après séance. Dans la plupart des cas, l'expérimentation prend la forme d'un essai unique sur un seul cas ou encore sous forme d'une démonstration unique pour tout le groupe,

ce qui rend difficile de rejoindre tous les individus. D'autre part, comme bien des essais de laboratoire sont destructeurs, les coûts associés à la réalisation, la reprise ou à la répétition d'un essai sont hors de l'ordinaire.

Les environnements de laboratoires virtuels et de laboratoires à distance sont venus pour palier aux inconvénients cités plus haut, en rendant accessibles via le réseau Internet des environnements graphiques de simulation ou des installations réelles de laboratoire.

La conception et la réalisation d'un bon produit de laboratoire virtuel nécessitent au préalable une analyse approfondie de toutes les activités d'un laboratoire réel ainsi que les objectifs attendus de chacune d'elles.

La deuxième section de cet article présente une brève étude des laboratoires conventionnels. Dans la troisième section, nous décrivons les laboratoires virtuels et à distance tout en dégageons leurs avantages et risques sur plusieurs plans. La dernière

section présente notre prototype de laboratoire virtuel de physique.

2. Laboratoires réels

Comme point de départ, on va chercher à cerner le sens du mot **laboratoire**. Le dictionnaire Hachette en ligne [6] définit un laboratoire comme :

Local spécialement aménagé et équipé pour mener à bien des travaux (notamment de recherche) scientifiques ou techniques. *Laboratoire de physique. Laboratoire d'analyses bactériologiques. Laboratoire d'un photographe.* || *Laboratoire pharmaceutique*, où l'on fabrique des médicaments.

Laboratoire de langues : local spécialement aménagé pour enseigner les langues étrangères à l'aide de magnétophones.

Bien que les laboratoires de langues figurent comme une variante des laboratoires, on se limitera, dans la présente étude, aux seuls laboratoires liés aux sciences et aux technologies.

Par la suite, dans cet article, on désigne par laboratoire réel (conventionnel ou traditionnel) l'endroit où l'étudiant peut conduire, en présentiel et en manipulant des instruments réels, des expériences afin de comprendre un ou des phénomènes particuliers.

2.1 Typologie des Laboratoires réels

Avec la diversité des disciplines relevant des sciences et de l'ingénierie, la tâche de classification des laboratoires réels selon un seul critère se voit délicate, voire impossible. Une approche possible consiste à dresser une typologie [5] des laboratoires réels selon différents critères liés soit à leur contenu, soit à leur but ou encore à leur domaine :

Par spécialisation (*biologie, chimie, physique, etc.*) : c'est une classification fonctionnelle en rapport direct avec le matériel, les équipements spécifiques mis à disposition

Par but premier (*enseignement, recherche*) : les laboratoires d'enseignement servent à la formation des étudiants et

consistent généralement en un nombre élevé de places de travail toutes équipées d'appareils de mesure, d'instruments, de matériaux, soit d'usage général, soit spécifique à branche d'enseignement. Les laboratoires de recherche sont généralement à l'autre bout du spectre puisqu'ils consistent souvent en un nombre très limité de place et comportant des équipements de pointe coûteux.

Par niveau (*1^{ier}, 2^{ème} ou 3^{ème} cycle*) : c'est une classification basée sur le niveau universitaire et le programme de formation auxquels se rapportent les activités de laboratoire.

Par domaine (*science, ingénierie*) : cette classification est émergente de la différence entre l'essence même des problèmes d'ingénierie et de sciences. En ingénierie, le but d'un laboratoire est généralement l'optimisation d'un système plus ou moins complexe, alors qu'en sciences on cherche surtout à établir des liens de causalité entre variables.

2.2 Phases d'une activité de laboratoire

Toute activité expérimentale au sein d'un laboratoire peut être répartie chronologiquement en quatre phases différentes (figure 1) [5] :

Définition, mise en contexte, spécification :

Cette première phase consiste à la définition du problème objet de l'expérimentation ainsi que son contexte. Elle vise aussi la formulation de la solution à apporter au problème traité.

Planification, conception, sélection :

Durant cette phase, l'étudiant doit élaborer un plan détaillé pour son expérience tout en concevant ou en sélectionnant les produits et les équipements répondant à ses besoins.

Réalisation, expérimentation :

En respectant les spécifications de la première phase et en suivant le plan élaboré lors de la deuxième, l'étudiant doit réaliser son montage expérimental. Durant cette phase l'étudiant doit également savoir collecter de l'information utile à la documentation de l'expérience.

Traitement, exploitation, communication :

Cette dernière phase concerne le calcul des résultats à partir des données précédemment collectées. Elle consiste également la représentation des résultats pour faciliter l'interprétation.

Le mécanisme de **rétroaction** (feedback) consiste aux retours en arrière lors d'une activité expérimentale. Le feedback vise entre autres la correction des anomalies ou encore la révision des étapes précédentes.

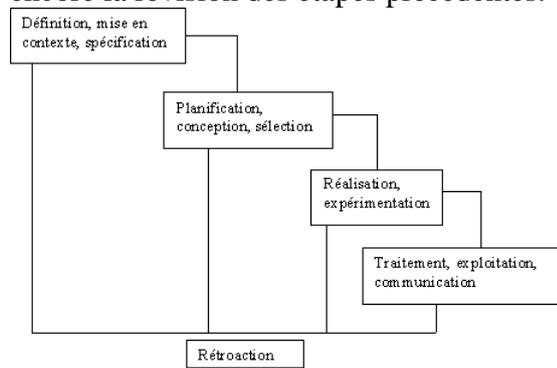


Figure 1 PHASES D'UNE ACTIVITE DE LABORATOIRE

2.3 Buts pédagogiques

A première vue et d'une manière générale, le but principal d'un laboratoire est de réaliser des manipulations : il s'agit de mettre la main à la pâte. En plus de cet aspect pratique, des habiletés intellectuelles et de nouvelles connaissances propres au domaine doivent être récoltées après chaque expérimentation.

Cependant, en y regardant de plus près, et ceci sans nier l'aspect pratique, on constate que toute expérimentation vise à développer chez l'apprenant un certain nombre d'attitudes [5] propres au travail de laboratoire :

Démarche scientifique

Savoir douter ; faire différence entre croyance et connaissance ; partir de ce qui est connu ; prouver ; documenter les résultats et la démarche.

Rigueur scientifique

Adopter une démarche systématique et logique ; faire preuve de précision ; tenir compte de tous les détails.

Ethique scientifique

Développer le sens d'honnêteté ; de l'humilité (accepter de reconnaître ses limites et ses erreurs) ; accepter de remettre en question ses croyances et certitudes.

Travail procédural

Suivre une procédure pour réaliser une expérience (démarches séquentielles comprenant des branchements).

Travail collaboratif

Former et gérer un groupe ; distribuer les tâches ; négocier ; mettre en commun les résultats ; débattre ; structurer l'interaction.

Travail de synthèse

Analyser le problème sous différents angles ; chercher des solutions multiples ; comparer les différentes approches ou solutions ; faire des choix.

3. Laboratoire virtuel /à distance

3.1 Définition et classification

Nous pouvons définir [4] un laboratoire virtuel comme :

Logiciel de simulation d'une expérience de laboratoire dont les données de rendement ne peuvent être distinguées des données d'une expérience physique réelle.

Actuellement le terme 'Laboratoire virtuel' est employé pour des sortes très différentes de systèmes informatiques. Les laboratoires virtuels peuvent être classifiés en 5 catégories [4]:

1. *Logiciels de simulation* (Simulation Softwares) : ce sont des simulations classiques qui contiennent certains éléments des expériences de laboratoire et généralement accessibles localement.
2. *Logiciels de simulation via le Web* (cyber labs) : ce sont des simulations classiques qui contiennent certains éléments des expériences de laboratoire et accessibles via Internet (WEB). Ils prennent généralement la forme d'Applets JAVA.
3. *Laboratoires virtuels* (virtual laboratories) : ce sont des simulations qui tentent de modéliser les expériences de laboratoire aussi étroitement que possible.
4. *Laboratoires de réalité virtuelle* (VR labs) : ce sont des simulations des expériences de laboratoire utilisant les techniques de la réalité virtuelle.
5. *Laboratoires à distance* (remote laboratories) : ce sont des expériences réelles commandées à distance par l'intermédiaire d'un réseau tel que l'Internet.

3.3 Avantages

L'utilisation des laboratoires virtuels et à distance comporte des avantages incontournables. Ces avantages peuvent être répartis en trois classes différentes [3]: Pédagogiques, financiers et organisationnels.

Pédagogiques

- Il est bien connu aux éducateurs que la compréhension des étudiants soit considérablement augmentée quand ils pratiquent quelque chose plutôt que l'audition ou la lecture juste à son sujet. Des statistiques [3] montrent que les rappels des étudiants sont 20% de ce qu'ils voient (lu dans des livres), 20% de ce qu'ils entendent (des conférences), 40% de ce qu'ils voient et entendent (observant une démonstration) mais 75% de ce qu'ils voient, entendent et pratiquent. Un laboratoire virtuel viserait pour ce chiffre 75% ou plus.
- Des supports d'enseignement additionnels peuvent être incorporés à un laboratoire virtuel, tel qu'une explication de pré-laboratoire ou une évaluation de post-laboratoire.
- Un laboratoire virtuel peut être employé pour simuler les activités qui seraient impraticables, prennent beaucoup du temps ou coûtent trop dans le monde réel [3]. Par exemple, les étudiants d'architecture pourraient employer un logiciel de conception assistée par ordinateur pour construire des bâtiments virtuels, marcher autour d'eux et remodeler leurs structures en 3D.
- Les expériences faites en classe peuvent parfois introduire des phénomènes parasites qui viennent altérer les résultats : par exemple en physique, l'éternel frottement entre une surface et un mobile dont on étudie le déplacement. Lors d'une expérience qui comporte trop d'imprécision, la perception que les étudiants peuvent avoir de l'activité scientifique est faussée et se concrétise par un laisser-aller puisque, de toute façon, ils n'obtiendront pas « la bonne réponse ». Ce qui peut démotiver les étudiants. C'est là que la simulation par ordinateur peut donner le meilleur d'elle-même. Il est possible de programmer des

logiciels pour simuler des conditions idéales impossibles à contrôler dans une situation réelle en classe. En plus, l'étudiant peut aussi vérifier des lois dans des situations tout à fait impossibles à obtenir dans la réalité. Par exemple, comment étudier le comportement d'un projectile proche de la surface de Jupiter ? Tout en pouvant représenter une telle situation, le logiciel stimule la curiosité de l'utilisateur [2].

- Un laboratoire virtuel peut modéliser des situations où la connaissance des fonctionnements internes est importante, comme l'enseignement des fonctionnements du corps humain.
- Un laboratoire virtuel peut avoir un concept flexible de temps [3]. L'étudiant peut ralentir le temps pour observer soigneusement des événements rapides, comme il peut l'accélérer. Une expérience entière ou seulement une partie peut être recommencée de nouveau pour observer encore les événements.
- Des scénarios « *What if...?* » peuvent être largement modélisés[3]. Les étudiants peuvent aller à un point dans une expérience et changer un paramètre sans devoir répéter l'expérience entière.
- Les laboratoires virtuels et à distance augmentent également l'accès à l'enseignement. Les étudiants à domicile, hospitalisés ou handicapés peuvent employer ces laboratoires sans devoir déplacer [3].

Financiers

- L'enseignement d'un grand nombre d'étudiants dans les laboratoires conventionnels peut coûter dans les produits chimiques, les composants, l'équipement du laboratoire ainsi que le coût de personnel. Devant ces coûts élevés et les sources financières limitées que possèdent la plupart des collèges et universités, les responsables se trouvent décourager pour équiper leurs laboratoires autant qu'ils souhaitent [2]. Il devient donc avantageux d'envisager l'utilisation d'un laboratoire virtuel qui peut remplacer le matériel réel coûteux par un autre simulé (les équipements, les produits et les composants sont virtuels).

- L'équipement virtuel ne peut être accidentellement cassé [3].
- L'enseignement par ordinateur peut réduire la charge de l'enseignant [3]. Un laboratoire virtuel bien conçu guidera l'étudiant à travers l'expérience sans que l'enseignant soit présent.
- Les considérations de sûreté et les coûts d'assurance peuvent rendre quelques activités trop chères d'être réellement exécuter [3]. Par exemple les expériences sur des matériaux hautement explosifs ou radioactifs.

Organisationnels

- Un premier point à considérer est les accès des étudiants à un laboratoire virtuel. Un laboratoire conventionnel est souvent seulement disponible pendant des sessions programmées, pour des raisons de salubrité et de sûreté, un membre de personnel est présent pour diriger les étudiants. Un laboratoire virtuel peut être disponible toutes les fois qu'un ordinateur est libre, probablement 24 heures sur 24.
- Les laboratoires à distance offrent aux universités la possibilité de partager une pièce d'équipements cher[3], tel qu'un spectromètre de masse.

3.4 Risques

- L'utilisation d'un laboratoire virtuel affectera-t-elle la qualité éducative de l'expérience ? Les risques varient selon son utilisation. Si elle complète les laboratoires traditionnels par exécution des expériences ou des démonstrations qui ne seront autrement possibles, alors ceci devrait augmenter l'appréciation des étudiants concernant le sujet de l'expérience.
- Quelques habiletés peuvent être perdues, par exemple les étudiants dans un laboratoire virtuel de l'électronique ne pourraient jamais éprouver les problèmes associés à une puce endommagée et par conséquent n'apprendra pas comment dépister ces problèmes.
- Dans une expérience, il faut toujours manipuler des instruments de mesure ou maîtriser des techniques qui devront être acquises en vue d'études supérieures ou d'une carrière scientifique : l'utilisation du

microscope en biologie, de la technique du titrage en chimie, du multimètre et de l'oscilloscope en physique en sont quelques exemples. Ces habiletés peuvent difficilement être développées à l'aide d'un logiciel.

- Beaucoup d'étudiants n'ont pas formé en informatique, certains ont peur des ordinateurs. Ceci engendre le risque que les étudiants passeront le temps en apprenant à employer la technologie au lieu de le consacrer à apprendre le thème objectif de l'expérience. Les logiciels mal conçus gênent l'apprentissage au lieu de l'aider [3].

4. Présentation de l'expérience

Pour mettre en œuvre un premier prototype de laboratoire virtuel, on a choisi comme discipline expérimentale la physique et le célèbre TP d'un système masse-ressort (pendule élastique) comme expérience à implémenter.

4.1 Cadre réel de l'expérience

L'objectif de cette expérience est de déterminer par la méthode statique la raideur K d'un ressort particulier. Elle permet aussi d'étudier l'influence de la masse M et la raideur K sur l'élongation X du ressort. Le matériel utilisé se réduit à un ressort, une règle plate graduée et quelques masses marquées. Le protocole expérimental englobe les étapes suivantes :

- Lier l'une des extrémités du ressort à un support fixe.
- Accrocher différentes masses à l'extrémité libre du ressort.
- Mesurer, pour chaque cas, l'élongation du ressort à l'équilibre.
- Faire des dizaines de mesures.
- Collecter les résultats (masse, élongation) dans un tableau.
- Tracer le graphe masse-élongation.
- Calculer la pente du graphe.
- Déduire la valeur de la raideur K du ressort expérimenté.

4.2 Cadre virtuel de l'expérience

Choix du langage

Pour développer notre expérience, on a choisi le langage de programmation JAVA et l'expérience prend la forme d'une Applet Java. Ce choix de langage se justifie par

plusieurs points [7][8][9]. En premier, l'expérience doit être accessible via le Web et Java figure parmi les langages les plus adaptés au développement d'applications réseau (client-serveur). En plus, Le langage Java est orienté objets, ce qui permet de réutiliser le code développé dans le cadre d'une application pour le compte d'une autre. Le code Java est indépendant de toute plate-forme matérielle ou logicielle. L'API Java est très riche ce qui le rendre très adapté pour le développement des applications graphiques ou interactives. En plus, la solution Applet présente deux autres avantages. D'une part, l'exécution d'une applet ne nécessite aucune installation sur la machine client. L'applet est automatiquement chargée lors de l'appel de la page Web qui la référence. D'autre part, l'applet assure un déroulement sécurisé sur le poste client. Une applet ne peut accéder au système sur lequel elle s'exécute.

Fonctionnalités de l'interface

L'interface de l'expérience est constituée de deux espaces alternatifs :

Interface Manipulation

Elle est réservée à l'expérimentation proprement dite par manipulation des instruments (ressort, masses, règle). Elle aide également à l'enregistrement des mesures prises lors de l'expérimentation.

Pour répondre à ces fonctionnalités, l'interface manipulation est divisée en deux autres sous espaces (figure 2) :

Espace simulation : pour simuler le comportement des instruments utilisés.

Espace paramètres : pour fixer les paramètres d'une simulation et gérer les résultats obtenus.

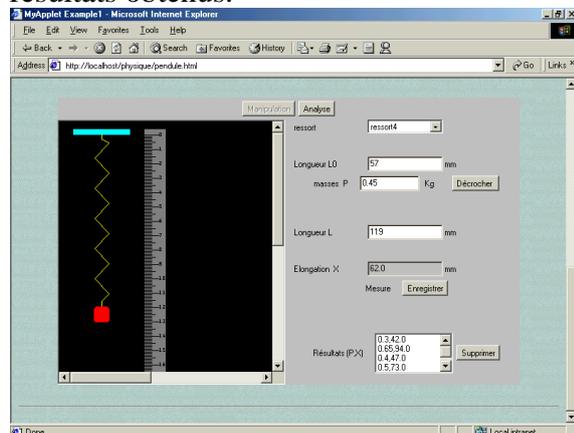


Figure 2 ESPACE MANIPULATION

Interface Analyse

Cette interface est réservée pour l'analyse des résultats obtenus lors de l'étape de manipulation. Elle aide essentiellement à interpréter les résultats sous forme d'un graphe ainsi que le calcul de la raideur à partir de ce dernier. Sur ce même espace l'étudiant peut décider d'envoyer son rapport du TP à l'enseignant formateur.

D'une manière similaire, cette interface est subdivisée en deux sous espaces (figure 3) :

Espace Feuille de papier millimétrique : munie d'un repère (élongation, masse).

Espace paramètres : pour fixer les paramètres du graphe à tracer.

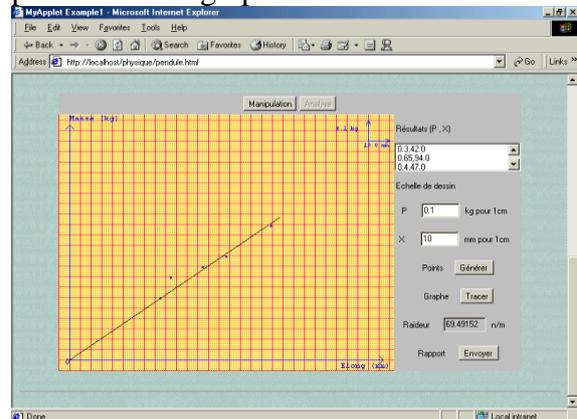


Figure 3 ESPACE ANALYSE

4.3 Contribution

Nos recherches sur le Web montrent qu'il existe un très grand nombre de sites sous le nom de laboratoire virtuel de physique. Il est toutefois remarquable que la plupart de ces sites présentent des programmes de simulation d'un principe ou d'une loi spécifique, dont le fonctionnement est contrôlé par le changement d'un certain nombre de paramètres. A notre connaissance, ce genre de programmes ne peut substituer le travail d'un laboratoire du fait qu'ils n'intègrent aucune démarche d'un travail de laboratoire proche du réel. L'utilisateur ne peut interagir qu'au niveau de changement de paramètres et aucun espace n'est réservé aux observations ou conclusions de l'apprenant. En plus, aucun des sites consultés dans le cadre de cette étude ne développe les aspects de communication et de collaboration qui constituent un des piliers de tout processus d'apprentissage.

Notre contribution à travers le développement de l'expérience du pendule élastique consiste à enrichir la simulation de l'expérience par intégration d'une démarche similaire, le maximum possible, à celle suivie lors d'une expérimentation réelle. Dans notre laboratoire virtuel, l'aspect communication est abordé au niveau de l'envoi, par l'apprenant, d'un rapport de TP à l'enseignant formateur en vue de sa correction. En plus quelques attitudes et habiletés relevant de la démarche scientifique peuvent être récoltées à travers notre application tel que le savoir faire lié à la prise de mesures et l'approche scientifique suivie pour l'interprétation des résultats sous forme d'un graphe.

5. conclusion

Pour atteindre tous les objectifs pédagogiques et techniques attendus de l'expérimentation d'un pendule élastique, plusieurs perspectives peuvent être envisagées. D'un point de vue présentation, la qualité de l'interface soit hautement améliorée en ajoutant les techniques du graphisme 3D ou encore celles de la réalité virtuelle. En termes de d'habiletés, nous pouvons envisager l'intégration des procédés propres à la précision de mesures afin d'aboutir à la rigueur scientifique nécessaire à l'accomplissement d'une telle activité de laboratoire. Sur le plan collaboration, une solution consiste à rendre possible le partage d'un même espace de résultats entre les membres d'un groupe d'étudiants travaillant sur des postes géographiquement séparés. La solution retenue doit prendre en considération toutes les formes de négociation nécessaires à l'obtention d'une solution commune à tous les individus du groupe et par conséquent la génération d'un seul rapport de TP.

Bibliographie

[1] **Christian** St-Pierre, Josée Bastien, Michel Duguay, Jérôme Warzée. « Laboratoires à distance et laboratoires virtuels »

[2] **Sylvie** MALAISON. « Apprentissage de la physique à distance : de nouveaux outils informatiques ». Clic : Bulletin Collégial des

Technologies de L'Information et des Communications (Février 1998).

[3] Gary Stimson, Brian Tompsett. « The potential contribution of virtual and remote laboratories to the development of a shared virtual learning environment ».

[4] Ulrich Harms. "Virtual And Remote Labs In Physics Education" (Extended abstract)

[5] Site LVEST (Laboratoires Virtuels pour l'Education en Science et Technologie) <http://www.liceftelug.quebec.ca/lvest/>

[6] Dictionnaire Hachette en ligne <http://www.francophonie.hachette-livre.fr/>

[7] Kassouf, M., Pierre, S., Levert, C. et J.Conan. « Modeling a Telecommunication Platform for Remote Access to Virtual Laboratories ». Actes de la Conférence canadienne sur le génie informatique et électrique, Edmonton, Alberta, (1999) ,pp. 127-132.

[8] K. Hamza, B. A. Alhalabi, et D. M. Marcovitz, "Remote Labs! Technology and Teacher Education", Proceedings of the 10th International Conference, Society for Information Technology and Teacher Education(SITE),San Diego CA, (Février 2000).

[9] S. Hsu, B. A. Alhalabi, et M. Ilyas, "A Java-based Remote Laboratory for Distance Education", International Conference on Engineering Education (ICEE), Taipei, Taiwan (Août 2000).

Webographie

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physfra/physfra.htm> (33 applets)

<http://jersey.uoregon.edu/vlab/> (l'université de uoregon)

<http://www.univ-lemans.fr/enseignements/physique/02/meca/menumeca.html> (applets en mécanique)

<http://www.liceftelug.quebec.ca/gmec/lvphysique/lvp.htm> (laboratoire virtuel de physique, la télé-université du Québec)

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/index.html> (National Taiwan Normal University, Virtual Physics Laboratory)

<http://physicsweb.org/vlab/>

<http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/research/cseg/projects/devrl/index.html> (laboratoire de réalité virtuelle)

<http://jupiter.cse.fau.edu/directory.html> (laboratoire à distance de Florida Atlantic University)