

Télé-TP : Premiers pas vers une modélisation

Arnaud Lelevé, Cécile Meyer, Patrick Prevot

▶ **To cite this version:**

Arnaud Lelevé, Cécile Meyer, Patrick Prevot. Télé-TP : Premiers pas vers une modélisation. Technologies de l'Information et de la Communication dans les Enseignements d'ingénieurs et dans l'industrie, Nov 2002, Villeurbanne, France. pp.203-221. edutice-00000658

HAL Id: edutice-00000658
https://edutice.hal.science/edutice-00000658

Submitted on 7 Oct 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.

Télé-TP :
Premiers pas vers une modélisation

Arnaud LELEVE, Cécile MEYER, Patrick PREVOT
Laboratoire *ICTT* (Interaction Collaborative, Téléformation, Téléactivités), INSA de Lyon
Bat Léonard de VINCI - 20, av. Albert EINSTEIN
69621 VILLEURBANNE Cedex, FRANCE
☎ +33 (0)4 72 43 60 47 🖷 +33 (0)4 72 43 79 92
Arnaud.Leleve@insa-lyon.fr, cmeyer@ictt.ec-lyon.fr, prevot@gpr01.insa-lyon.fr
http://ictt.insa-lyon.fr

Résumé

Les technologies liées à l'Internet sont désormais assez évoluées pour permettre aux établissements des formations en ligne complètes, ainsi les travaux de recherche concernant les environnement d'apprentissage à distance (*EAD*) foisonnent mais le concept d'« enseignement pratique à distance » semble relativement sous-développé. Pourtant ce type d'enseignement est indispensable dans les formations scientifiques et techniques et répond à un véritable besoin complémentaire. Cette recherche rassemble trois pôles : la didactique, l'informatique (*IHM* et industrielle) et l'automatique ; nous avons donc tenté d'effectuer un panorama des travaux sur les *télé-TPs* dans ces domaines. Notre finalité étant de proposer à terme une architecture globale générique associée à une méthodologie de mise à distance de *TPs*, nous présentons ici les premiers résultats concernant notre travail de modélisation des *TPs* à la fois en présentiel et à distance.

Mots clef : Campus virtuel et e-learning, télé-TP, modélisation d'un système pédagogique.

Abstract

Web-based technologies from now on enable education establishments to provide online courses. Therefore related research abounds except for laboratory experimentation topic which seems to be underdeveloped despite a real educational need. This paper presents the first results of our work on this research topic with some propositions for local and remote laboratory experiment modelling.

Keywords : Educational system modelling, Virtual campus and e learning.

1 Introduction

Les travaux pratiques à distance constituent un pan de l'enseignement à distance qui n'a été que peu abordé dans les recherches scientifiques actuelles. Pourtant ce type d'enseignement est indispensable dans les disciplines scientifiques et techniques et répond à un véritable besoin : les installations industrielles lourdes et onéreuses ne peuvent ni être déplacées, ni être dupliquées. Or, il faut qu'à un moment donné de sa formation, l'apprenant soit confronté à leur pilotage en vrai grandeur. Comment, dans ces conditions (à distance), y donner accès avec à la fois le réalisme de la représentation locale de l'environnement industriel et la sécurité de l'installation.

Cette absence de recherche est-elle due à l'interdisciplinarité que nécessite une telle approche ? Prenons, par exemple, la télécommande, qui ne constitue que l'un des aspects de cette problématique : elle est déjà un sujet de recherche à part entière en robotique où l'on parle alors de téléopération. En ce qui concerne les *télé-TPs*, une dimension didactique et générique vient s'ajouter aux problèmes classiques engendrés par la conduite à distance.

Ce vide relatif est d'autant plus préoccupant que les autres contextes d'apprentissage (télé-cours, classe virtuelle, intranet pédagogique, jeux d'entreprise en ligne, …) sont de mieux en mieux maîtrisés, mais il est vrai qu'ils n'engendrent pas la même complexité.

Cet article présente les différents objectifs et facettes de ce projet de recherche ainsi que les premiers résultats obtenus. Nous vous présenterons successivement la terminologie utilisée, les premiers résultats obtenus, l'intérêt de ce projet, son contexte et ses objectifs. Nous tâcherons ensuite de positionner cette recherche vis à vis des différents projets internationaux de normalisation des *EAD*, et nous proposerons un première tentative de modélisation d'un *télé-TP*. Nous présenterons enfin l'expérimentation sur laquelle nous nous appuyons pour prouver la justesse de notre approche.

2 Contextes et objectifs

Définitions

Travaux Pratiques à distance ou *télé-TP* :

nous utiliserons arbitrairement l'une ou l'autre dénomination pour désigner un TP présentiel classique (forme d'enseignement pratique traditionnelle que l'on retrouve du lycée à l'école d'ingénieur) qui a été éventuellement modifié mais surtout étendu afin d'être accédé à distance (via *Internet,* par exemple).

Pour être plus précis et nous positionner vis à vis des travaux du LICEF (laboratoire en informatique cognitive et en environnements de formation de l'Université du Québec), nous nous limiterons à des manipulations à distance par la télécommande

d'instruments réels et la télémesure synchrone, avec rétroaction par canal audio – vidéo - informatique. Nous ne considérons pas que la simulation d'un système physique relève du TP à proprement parler dans la mesure où elle ne reproduit que ce que l'on y a mis (absence de contexte et de prise en compte de l'environnement du système, le plus souvent). Toutefois, elle constitue un excellent support pédagogique intermédiaire entre l'académique et la réalité.

La première application de notre recherche (cf. §5) porte modestement sur des groupes d'élèves homogènes d'une même école ou d'un établissement d'enseignement supérieur différent travaillant sur un système automatisé didactique. Par contre, notre démarche doit rester la plus ouverte possible pour être reconductible sur toute application industrielle.

Apports potentiels

Les travaux pratiques classiques présentent quelques limitations intrinsèques :

- **le temps**: les tranches horaires sont limitées dans l'emploi du temps et les rotations de TPs (du fait du faible nombre de systèmes accessibles comparé au nombre d'élèves) peuvent ne pas avoir lieu dans l'ordre le plus approprié pour certains groupes. En outre, les contraintes des emplois du temps font que certains TPs arrivent avant le cours magistral.
- **la documentation** : dans le pire des cas, le sujet est donné au moment de la séance et est parfois indisponible en dehors des séances de TP,
- **l'équipement** : certains TPs nécessitent un équipement lourd et onéreux que l'on ne peut pas dupliquer.

Les environnements de *télé-TP*s offrent aux apprenants, aux encadrants ainsi qu'aux concepteurs de nouvelles perspectives à la fois du point de vue *temporel* (accès à tout instant, adaptation dynamique du scénario, documentation contextuelle, simulation simultanée pour comparaison théorie-réalité) et du point de vue *spatial* (accès individuel ou collectif à partir d'un autre établissement). Ils peuvent être une réponse intéressante aux limitations précédentes tout en apportant de nouvelles fonctionnalités (par ex., retours d'usage : évaluation systématique et suivi des apprenants, démonstrations en ligne lors d'autres modes d'enseignement et pour d'autres publics, utilisation à des fins de recherche scientifique, …) .

L'intérêt de tous ces atouts mérite donc que l'on s'intéresse à ce vaste domaine des *télé-TP*s. Il faut identifier et modéliser tous les aspects afin de les intégrer de manière homogène et efficace dans un métamodèle générique de plate-forme de travaux pratiques à distance.

Contexte

Les progrès technologiques – multimédia et Internet en particulier – permettent de compenser les inconvénients liés à la commande à distance et même les transformer en avantages pour peu qu'on sache les mettre en œuvre stratégiquement.

A l'instar de nombreux établissements français, le réseau des *INSA* (Lyon, Rennes, Rouen, Toulouse) a lancé ces 3 dernières années plusieurs projets d'enseignement à distance dont le projet de campus numérique international baptisé ***INSA V***[1] (projet habilité par le Ministère de l'Education Nationale). Parmi les première actions de ce projet**,** citons la mise en place d'un mastère génie industriel en formation continue à distance, utilisateur potentiel des résultats de cette recherche.

Dans un contexte local, le projet « *www.plateforme.TP.NET* » a pour objectif de réaliser un centre de moyens communs répartis sur les sites de plusieurs écoles et différents départements de l'*INSA*. Ce centre, dédié aux systèmes automatisés doit être accessible à distance.

De plus, l'Atelier Inter-établissements de Productique (*AIP-Primeca)* Rhône-Alpes Ouest[2], situé sur le campus de l'*INSA* de Lyon a vocation de fournir une plate-forme industrielle lourde à but pédagogique pour plusieurs établissements de Lyon et S^{t} Etienne. Il est donc fondamentalement concerné par ce projet afin d'éviter à terme le déplacement systématique des élèves pour accéder aux moyens lourds de conception et de production sur le site de l'*AIP*. Le pilotage à distance d'une ligne de production à usage pédagogique[3] est ici directement concerné.

Objectifs scientifiques

Cette recherche a pour objectifs principaux de réunir tous les outils scientifiques utiles à la modélisation d'un *télé-TP* – expression des besoins, formulation des objectifs, définition des contenus pédagogiques et des environnements – afin de proposer un noyau générique (le plus ouvert possible) proposant une architecture informatique, une méthode de mise à distance de TPs, un appui pédagogique, un environnement flexible d'animation à distance. Cette approche est au carrefour de plusieurs disciplines :

- l'informatique liée à l'e-learning du point de vue de la diffusion et de l'intégration de contenus pédagogiques dans un module de formation à distance,
- la construction d'interfaces homme-machine

[1] http://www.insa-rouen.fr/ressources/insav.php
[2] http://aiprao.insa-lyon.fr/
[3] http://aiprao.insa-lyon.fr/VisiteVirtuelle/index.htm

efficaces tant sur le plan pédagogique qu'ergonomique (reconstruction d'environnements en 2D, 3D, réalité virtuelle, rendu haptique, …),
- la didactique propre aux sensations d'expérimentation dans les disciplines scientifiques et techniques,
- la robotique en matière de téléopération d'un système, en l'occurrence une plate-forme de manipulation à but pédagogique.

Grandes étapes du projet

Cette recherche passe par :

- l'établissement d'un modèle ouvert (définitions, acteurs, liaisons, interactions, recherche des invariants, …) de TP présentiel d'après les besoins, les objectifs, une observation de la réalité d'un tel enseignement ,
- la définition d'un modèle similaire de TP mais cette fois-ci à distance, qui, sous une forme dégradée ou non pourra répondre à la plupart des besoins de l'ensemble des disciplines scientifiques,
- l'étude d'une passerelle entre TP présentiel et *télé-TP* en analysant les difficultés et les caractères essentiels et optionnels qui risquent de se dégrader lors de la mise à distance, tant du point de vue pédagogique (perte de contact humain, de contexte, …) que technique (perte de commandabilité et d'observabilité), mais également ceux conduisant à un renforcement de l'efficacité pédagogique (plus grande responsabilité, accès à des sessions enregistrées, détachement de la contrainte du temps).
- la validation de ces modèles sur un magasin vertical (cf. §5) accompagnée d'un retour d'usage.

Elle prétend participer à l'enrichissement d'un domaine largement déficitaire du *e-learning* en terme d'aide à la conception, de préparation, de diffusion de modules pédagogiques.

3 Etat de l'art

Ce sujet de recherche fait appel à de multiples disciplines : didactique et pédagogie, sciences humaines et sociales, informatique, interface homme-machine, robotique, ... Nous avons pu constater que les publications traitant des *télé-TP*s sont assez rares, toutes disciplines confondues.

Nous avons cherché à élaborer un panorama des modélisations des enseignements de travaux pratiques en présentiel. Nous avons relevé trois thèses de doctorat ciblées sur ce sujet. Parmi celles-ci (Guillon 1996) et (Beney 1998) analysent les démarches des divers acteurs en TP de physique en premier cycle universitaire. Par ailleurs, (Ginestie 1992) se concentre sur des TPs d'automatisme.

En matière de TP à distance, le projet de recherche *LVEST* (Laboratoires virtuels pour l'éducation en science et technologie) du *LICEF*[4] a pour objectif la modélisation d'un laboratoire virtuel dans sa globalité, c'est à dire une plate-forme complète de télé-expérimentation à usage autant pédagogique que scientifique. Une étude pour un laboratoire expérimental en génie électrique est décrite dans (Saliah 1999).

P. Leroux, notamment au travers de (Leroux et al. 1996), utilise une approche complémentaire avec les travaux précités en étudiant les modes de coopération entre le système pédagogique et les divers acteurs.

Par ailleurs, de nombreux projets de normalisation de contenus pédagogiques électroniques sont en cours de gestation. Une veille constante s'impose afin de pouvoir intégrer les *télé-TPs* dans les plate-formes *LMS* (*Learning Management System*) en développement.

Citons, entre autres, le standard *LTSA*[5] de l'*IEEE* qui spécifie une architecture de haut niveau pour les systèmes de formation, d'éducation et d'apprentissage. L'environnement *d'ARIADNE*[6] (*Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe*) a pour finalité de favoriser le partage et la réutilisabilité des contenus pédagogiques électroniques. En fin, le projet *IMS*[7] (*Instructional Management System*) développe des spécifications pour faciliter les activités pédagogiques en ligne telles que la localisation et l'utilisation de contenus, le suivi d'apprenants et l'échange de dossiers « étudiant » entre divers systèmes administratifs.

Sur l'*Internet*, de nombreux sites parlent de *télé-TPs* sous forme de projet, d'études de faisabilité ou de propositions de solutions techniques très ciblées[8] mais, à notre connaissance, peu sont visibles, ne serait-ce qu'en démonstration. Se cachent-ils au fond des intranets des établissements ? Nous avons pu cependant identifier deux grandes catégories de sites de télémanipulation. La première catégorie correspond aux sites développés principalement par des enseignants, des associations ou des sociétés qui présentent diverses réalisations. Par exemple, *TPLine*[9], d'initiative privée, s'adresse aussi bien aux établissements (en tant que fournisseur de TPs à distance) qu'aux élèves : une série de *télé-TPs* liés aux automatismes industriels y sont proposés. Plus

[4] http://www.licef.teluq.uquebec.ca/
[5] http://www.edutool.com/ltsa/
[6] http://www.ariadne-eu.org/
[7] http://www.imsproject.com
[8] par exemple : http://web2.cnam.fr/evariste/evariste/VisioHopital/travaux.htm
[9] http://www.tpline.net/

rarement, des méthodologies ont été développées à l'instar d'*Educaffix*[10] : il s'agit d'un CD-ROM aidant les enseignants de physique à réaliser des TP à distance par *RNIS* ou *Internet* pour des enfants difficilement scolarisables. Citons également, l'existence d'une association ayant les mêmes préoccupations que nous : l'association *Evariste*[11], qui a notamment « *pour but de promouvoir l'enseignement des sciences de l'école à l'université en particulier au travers d'activités expérimentales d'acquisition de données et d'exploitation pédagogique en temps réel et en interactivité avec l'expérience* ».

La seconde catégorie correspond aux vitrines de laboratoires de recherche en robotique et plus spécifiquement en téléopération qui proposent au commun des cybernautes de piloter leur robot à distance. Les exemples sont nombreux mais pas toujours accessibles du fait de leur utilisation prioritaire pour la recherche. Citons le *Telerobot* australien[12] (Taylor et Barney 1997), le *Telegarden*[13] ou encore le *PumaPainter*[14] . A part (Bicchi et al. 2001), il ne s'agit pas réellement de *télé-TPs* tels que nous l'entendons mais leur aspect didactique et leur structure font qu'il ne manque qu'une interface adéquate pour les transformer en *télé-TPs* de robotique.

Il existe aujourd'hui plusieurs manipulations pilotées à distance au sein du département Génie Electrique de l'*INSA* de Lyon (2 manipulations sont actuellement opérationnelles : *régulation multivariable* et *état de surface*). Du fait de leurs compétences, les équipes de Génie Electrique et de Génie Mécanique et Construction ont travaillé essentiellement sur les problèmes de mise en ligne des automates ainsi que sur les problèmes de gestion des accès utilisateurs. Ainsi, l'interface homme-machine n'a pas été à ce jour réellement développée.

4 Etude

Problématique

Pédagogique

De nombreuses disciplines relevant pour la plupart des sciences de l'ingénieur (scientifique & technique) nécessitent de faire appel à des travaux pratiques utilisant des dispositifs technologiques. Le campus virtuel de demain se doit d'intégrer ce type d'enseignement au sein d'un ensemble de télé-activités pédagogiques mais comment exercer à distance ce mode d'apprentissage jusqu'ici réservé au présentiel ? Doit-on reproduire à distance le plus fidèlement possible le système à manipuler ou, à l'inverse, le conceptualiser à travers une IHM pédagogique spécifique de telle sorte que la mise à distance ne freine pas cet apprentissage et permette même l'utilisation d'outils informatiques tels que la simulation ?

Il est également intéressant de pouvoir ouvrir un *télé-TP* à des utilisateurs autres que la population d'origine : scénarii adaptés à des niveaux scolaires différents (du lycée à l'école d'ingénieur) et même au grand public en dehors des créneaux réservés aux étudiants, possibilités de démonstrations permettant une mise en valeur de l'équipement et du savoir-faire de l'établissement, utilisation par des chercheurs pour valider des travaux scientifiques, ...

Technologique

La mise à distance de la manipulation peut engendrer une perte de commandabilité (à distance, on ne peut plus directement agir sur le système qu'à travers le clavier, la souris, un joystick, …) et d'observabilité (observation sensorielle dégradée : vue, toucher et ouïe)

Si l'Internet à travers le *WEB* — service le plus accessible et le plus riche en terme d'interactivité — se munit d'outils de plus en plus faciles à mettre en œuvre (*PHP*, *ASP*, *Flash*, *VRML*, …), la difficulté majeure — qui explique peut-être le retard observé — consiste à mettre en œuvre la chaîne de télémanipulation de bout en bout : de la plate-forme aux apprenants et enseignants et surtout l'interconnexion entre la partie informatique liée au campus virtuel et la partie physique de la manipulation.

Une partie de la solution passera certainement par le développement d'une *IHM* spécifique, adaptée d'une part à la commande du système et d'autre part à l'aspect didactique.

Modélisations

Nous avons effectué une première modélisation, descriptive et non prescriptive, du système : nous nous sommes efforcés de ne pas faire de choix de conception mais plutôt de décrire les différents cas possibles. Il s'agit ici de préciser les différentes composantes du système : les acteurs humains qui interviennent et la "machine", ou plate-forme matérielle considérée comme un acteur. Ces éléments doivent être interconnectés à l'aide de réseaux de communications et d'interfaces.

[10] http://212.198.113.17/evariste/site/tpdistcce/default.htm

[11] http://212.198.113.17/evariste/index.htm

[12] http://telerobot.mech.uwa.edu.au/

[13] http://www.usc.edu/dept/garden/

[14] http://yugo.mme.wilkes.edu/~villanov/

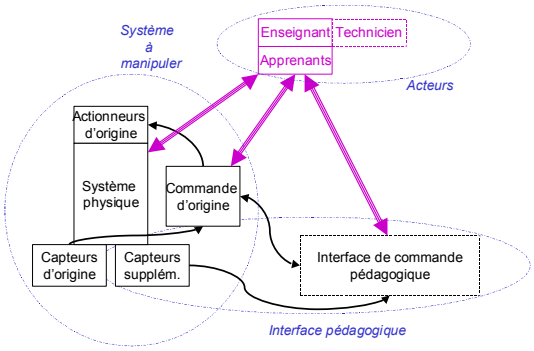


Figure 1 : Schéma en TP présentiel

Il faut également prendre en compte les différentes situations pédagogiques de formation à distance dans lesquelles ces composantes interviennent.

Les acteurs du système

La Plate-forme de travaux pratiques

Il s'agit de l'élément central du TP à distance : une plate-forme matérielle constituée d'éléments électriques, mécaniques, hydrauliques, ainsi que de capteurs, d'actionneurs et d'une partie commande. Chaque plate-forme peut être constituée d'une ou plusieurs entités matérielles pouvant fonctionner de façon isolée ou en concordance. Par exemple, une plate-forme pour l'enseignement de la mécanique des fluides peut être constituée d'une soufflerie, de profils d'ailes d'avion miniaturisées, de capteurs de pression et de l'électronique de commande et d'acquisition des données.

Sur chaque plate-forme matérielle peuvent être réalisés plusieurs *scénarii de TP*. Un scénario correspond à des objectifs précis : concepts illustrés, savoirs-faire développés, niveaux de formation, types de public, …

Les acteurs humains

Dans un dispositif de TP à distance, comme dans tout système d'*EAD,* interviennent les mêmes acteurs qu'en présentiel : les *apprenants*, les *encadrants* et éventuellement les *techniciens.* En amont, interviennent les *concepteurs* du *TP* et *le responsable* de la plate-forme. En *télé-TP*, nous retrouvons ces mêmes acteurs mais dans des configurations spatiales différentes (cf. §*situations pédagogiques*) :

- Les *apprenants* : pour eux, un *TP* représente une situation où ils sont confrontés à la réalité : ils mettent alors en pratique les concepts déjà appris et en découvrent de nouveaux. La manipulation directe d'un système aide les apprenants à bien cerner l'environnement dans lequel ils vont évoluer et les limites de la théorie. Ils découvrent à ce moment le matériel adéquat, appliquent ensuite une méthodologie d'expérimentation, doivent réagir face à des situations précises attendues ou non et enfin être capable de rendre compte de leur expérience. Par ailleurs, l'apprenant peut éventuellement uniquement observer et non agir sur la manipulation : cas de l'*apprenant observateur*.
- Les *encadrants*: planifient les séances de *TP*, assistent les apprenants lors de la réalisation du *TP* et évaluent leurs connaissances.
- Les *techniciens* apportent une aide matérielle aux apprenants, surveillent la plate-forme et interviennent en cas de problème sévère.
- Les *concepteurs* conçoivent les scénarii de *TP*.
- le *responsable de la plate-forme* gère la ou les plate-formes matérielles, du point de vue de leur fonctionnement (maintenance et sécurité) et de leur évolution (achat de nouveaux matériels, etc.).

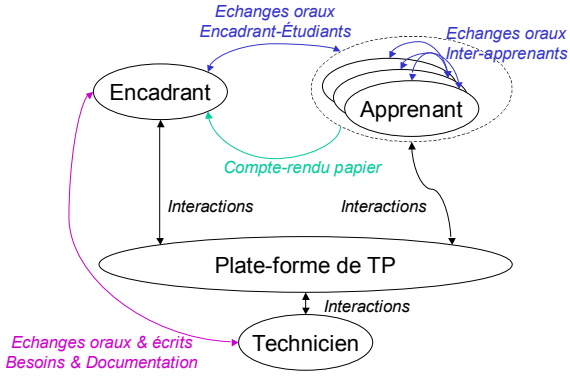


Figure 2 : échanges au cours d'un TP classique

En présentiel, chaque acteur humain a ses propres objectifs, contraintes et besoins. La conception du dispositif de TP à distance doit prendre en compte ces besoins, ces différents points de vue des futurs utilisateurs du système. Nous indiquons ci-après quelques éléments d'une enquête préliminaire auprès d'étudiants et d'enseignants de plusieurs départements de l'*INSA* de Lyon pour connaître leurs besoins.

En *TP* présentiel : il s'agit pour les étudiants de pouvoir manipuler et visualiser la machine (la toucher, la regarder fonctionner et parfois, pour certains, d'en tester les limites). Ils estiment que la séance de *TP* est le lieu d'un échange privilégié avec l'enseignant : profitant d'être encadrés en petits groupes, ils posent plus facilement des questions. C'est aussi l'occasion de plus nombreux échanges avec les autres apprenants et d'un travail en groupe.

Pour les enseignants, il s'agit d'aider les apprenants à construire un référentiel expérimental, d'évaluer leurs réactions, leur capacité de travail et leur évolution de façon individuelle, leur capacité à travailler en groupe, de leur faire prendre conscience de la performance et de l'importance de la sécurité.

En *TP* à distance, il s'agit pour les étudiants de

pouvoir acquérir les pré-requis nécessaires à la réalisation du *TP* via un accès à des cours en ligne, de disposer d'un environnement informatique convivial (pas de surcharge cognitive) et de pouvoir accéder facilement à toutes les parties du *TP*.
Pour les enseignants, il s'agit de pouvoir visualiser l'étudiant, de pouvoir communiquer facilement avec lui, de travailler dans un environnement informatique convivial, de limiter la surcharge de travail pour la préparation des séances et d'être formé à ce nouveau mode d'enseignement.

Les rôles des acteurs

Nous distinguons quatre catégories principales d'activités pour l'ensemble des acteurs : la perception de la manipulation (qui est devenue prédominante à distance), son pilotage, la communication entre les acteurs et la documentation. Ces activités et leurs modalités sont résumées dans le tableau 1 qui, pour chaque acteur, indique si l'activité est plutôt une activité principale (❶) ou secondaire (❷).

Perception de la manipulation

La perception de la manipulation concerne tout ce qui permet à un apprenant de s'informer sur l'état réel de la manipulation à un instant donné. Il est intéressant de mettre en œuvre différentes approches de perception en fonction de chaque type de manipulation, de chaque scénario de *TP* et selon les types d'apprenants. La perception d'une manipulation implique la *vue*, mais aussi *l'ouïe* (par ex, régime d'un moteur, le remplissage d'une cuve par un liquide ou l'activation d'une soufflerie d'air), le *toucher* ou *l'odorat* (très important dans certains domaines comme la chimie). Des sensations tactiles telles que les vibrations ou des retours d'effort sont significatives pour des manipulations dans le domaine de la mécanique. Dans la plupart des situations, une perception de type visualisation est indispensable.

Visualisation par retour video

Il semble indispensable que l'apprenant puisse visualiser la manipulation à l'aide d'images réelles, d'une part pour connaître en permanence l'état du système, d'autre part pour donner une impression de réalité, malgré la distance.

Les images peuvent être prises depuis différents angles, et à différents niveaux de détails (effet de zoom). Des informations textuelles peuvent en outre y être superposées (techniques de réalité augmentée).

Activités à distance	Modalités	Apprenant	Encadrant
Percevoir la manipulation			
Visualiser la manipulation	Images réelles	❶	❶
	Images reconstituées 2D, 3D	❶	❶
Entendre la manipulation	Sons	❷	❷
Autres perceptions	Toucher (forces, vibrations, ...)	❷	❷
	Odeurs	❷	❷
Observer l'état des capteurs	Données numériques	❶	❷
	Données graphiques	❶	❷
Piloter la manipulation			
Agir sur la manipulation	Directement	❶	❷
	Par un programme	❶	❷
Préparer un programme		❶	❷
Communiquer			
Dialoguer avec un apprenant	Communication synchrone ou asynchrone, verbale ou écrite, visuelle ou non	❶	❶
Dialoguer avec l'enseignant	Communication synchrone ou asynchrone, verbale ou écrite, visuelle ou non	❶	-
Dialoguer avec le gardien	Communication synchrone ou asynchrone, verbale ou écrite, visuelle ou non	❷	❶
Se documenter			
Consulter le scénario du TP	Présentation écrite, sonore, visuelle Support électronique ou papier	❶	❷
Consulter la documentation technique de la manipulation	Présentation écrite, sonore, visuelle Support électronique ou papier	❶	❷
Consulter un cours associé au TP	Présentation écrite, sonore, visuelle Support électronique ou papier	❶	❷
Gérer			
Ajouter/Supprimer des scénarii de TP		❷	❶
Planifier des séances de TP		❷	❶
Gérer les autorisations d'accès		-	❶

Tableau 1: Activités à distance dans une séance de Télé-TP

Visualisation par reconstruction (2D ou 3D)

Les animations en *2D* ou *3D* constituent un autre moyen de représentation. L'apprenant peut agir sur cette visualisation, par exemple en faisant tourner la manipulation pour la visualiser sous tous ses angles, zoomer sur certaines parties, etc, opérations qui ne sont pas toujours possibles en présentiel.

Pilotage du système

Les activités de pilotage concernent les activités ayant pour but de faire évoluer ou modifier l'état du système manipulé (par exemple, actionner un vérin pour déplacer une éprouvette). On peut distinguer deux modalités : soit l'action est réalisée en temps réel à distance par une commande directe, soit l'action est réalisée par l'intermédiaire d'un programme (ex : le magasin automatique décrit au §5).

Communication

Les activités de communication sont multiples et ont de nombreuses modalités : l'apprenant peut poser une question à l'enseignant de façon asynchrone et écrite (messagerie électronique) ou bien de façon synchrone et visuelle (visioconférence). Une séance de *TP* en présentiel implique un échange plus important et plus individualisé entre apprenants et enseignants que dans une situation de cours ou de travaux dirigés. Pour un *Télé-TP*, il faut donc veiller à conserver des possibilités de communication riches aussi bien entre apprenants et encadrants qu' entre les apprenants eux-mêmes.

Documentation

On peut distinguer trois sortes de documents associées aux *TP* : le scénario du *TP* décrit le déroulement de la séance, la documentation technique décrit la plate-forme matérielle, et les cours constituent les connaissances théoriques nécessaires pour comprendre la séance de travaux pratiques. Regrouper les documents sur support électronique facilite les passages entre l'expérimentation et la conceptualisation grâce à des liens hypertextes entre les scénarii du *TP* (la pratique) et les modules pédagogiques associés (la théorie).

Gestion de la plate-forme

La gestion des *TPs* concerne l'ajout, la suppression, la modification de scénarii de TP, l'enregistrement des utilisateurs et leurs droits d'accès (notamment en tant qu'opérateur ou simple observateur) et la planification des séances de TP. Ces activités sont réalisées par le responsable de la plate-forme, toutefois il peut être intéressant de donner la possibilité aux étudiants de commenter les scénarii de TP à l'aide d'annotations.

Les situations pédagogiques

La mise à distance d'une séance de travaux pratique recouvre une grande variété de situations pédagogiques, selon qui et quoi est à distance. Selon les circonstances, les manipulations peuvent se dérouler en présentiel ou à distance. Les enseignants sont à distance ou non de la manipulation, et à distance ou non des apprenants. La combinaison de ces possibilités donne un ensemble de situations pédagogiques possibles (Tableau 2) illustrées par les schémas ci-dessous (Figures 3.1 à 3.3). Le dispositif mis en place doit pouvoir tolérer cette diversité d'utilisation.

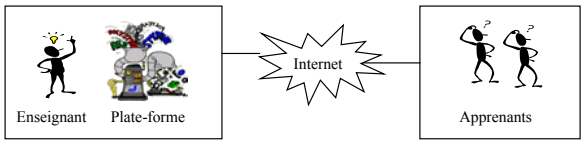


Figure 3.1 : situation S1

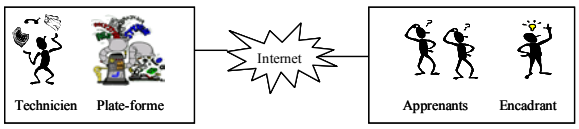


Figure 3.2 : situation S2

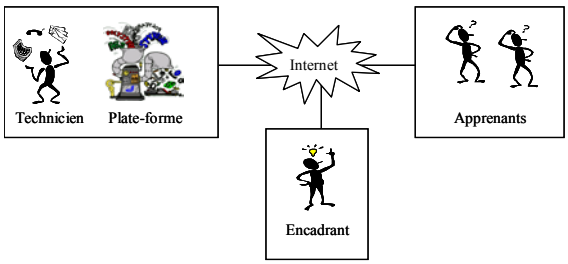


Figure 3.3 : situation S3

5 Application à un TP d'automatisme

Ces travaux se concrétisent par la mise à distance d'un système automatisé constitué d'une plate-forme commerciale de magasin vertical automatisé à échelle réduite. Ce TP est une étude des systèmes à événements discrets, commercialisé par *Schneider Electric*. Le but du TP consiste à se familiariser avec un outil industriel de programmation d'automates programmables, ici le logiciel *PL7Pro*.

Situation pédagogique

Dans le cadre ce *télé-TP*, nous avons choisi les conditions d'utilisation suivantes :

- Les apprenants sont regroupés à distance et disposent du matériel adéquat et d'une connexion *Internet* de bande passante suffisante (*ADSL*, *RNIS* ou réseau local).
- L'encadrant est, dans un premier temps, in situ.
- Nous n'avons pas recours à un technicien, étant donné la présence d'un encadrant (situation S1).

N°	Situation pédagogique	Apprenants	Encadrant
S0	TP en présentiel	Sur place	Sur place
S1	*Télé-TP* avec encadrant sur place	A distance de la manipulation	Sur place
S2	*Télé-TP* dans lieu distant	A distance de la manipulation	A distance de la manipulation, Au même endroit que les apprenants
S3	*Télé-TP* tout à distance	A distance de la manipulation	A distance de la manipulation A distance des apprenants
S4	*Télé-TP* en auto-formation	A distance de la manipulation	Pas d'enseignant
	Télé-TP en observation	A distance de la manipulation ou sur place. Les apprenants sont observateurs et non opérateurs.	A distance de la manipulation ou sur place
	Télé-TP avec apprentissage collaboratif	Groupes à distance Groupes sur place	Sur place ou à distance

Tableau 2 - Situations pédagogiques d'un télé-TP



Figure 4 : TP « Magasin vertical »

Cette configuration nous permet de nous concentrer sur les interactions entre apprenants, système à manipuler et l'encadrant. Nous pourrons ensuite mettre l'enseignant à distance et étudier ses interactions avec le système.

De plus, du point de vue des normes de sécurité, il est indispensable qu'une personne puisse intervenir directement sur le système en cas d'arrêt d'urgence.

Architecture matérielle

Le magasin vertical est initialement fourni avec un automate programmable. Pour pouvoir le télécommander, nous lui avons adjoint un coupleur *Ethernet* associé au logiciel de prise de contrôle à distance *FactoryCast*. Ce travail a été réalisé avec l'aide et grâce à l'expérience de l'équipe de Génie Electrique (Guillemot et al. 2001).

Architecture logicielle

Serveur d'application

L'apprenant à distance ainsi que le formateur ne sont pas supposés posséder de licence *PL7Pro*, nous avons donc prévu de servir ces applications à distance au moyen d'un serveur d'application : le client (ici l'apprenant) a juste à télécharger puis installer une application de taille réduite (environ 1Mo) qui l'autorisera à utiliser l'application.

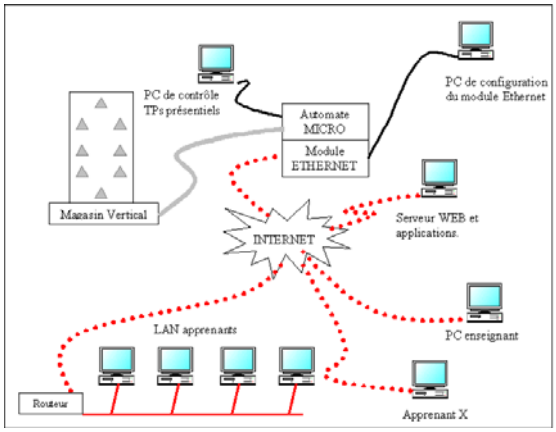


Figure 5, architecture de notre télémanipulation

Serveur WEB

Les interfaces pour les apprenants et les enseignants, présentant le scénario du TP, les modes de réservation de la plate-forme, les modes de communication entre utilisateurs et la visualisation de la manipulation seront accessibles depuis un serveur *WEB* (Apache) associé à une base de données (*MySQL*). Nous avons volontairement opté pour des logiciels gratuits disponibles sur de nombreuses plate-formes informatiques.

Organisation du contenu

Le site *WEB,* en cours de construction, s'adresse dans un premier temps aux auteurs de scénarii de *télé-TP*. Un outil auteur intégré génère les pages *WEB* du scénario et les intègrent immédiatement au site de manière transparente. Cet outil propose tous les outils de télécommunication (chat, forum, audio, vidéo) indispensables. L'interface apprenant contiendra une reconstitution en *3D* du magasin en *VRML* associé à une prise de vue vidéo affichant l'état du système en temps réel et offrant une possibilité d'interaction.

6 Conclusion

L'implantation de travaux pratiques dans les environnements d'enseignement à distance implique une difficulté supplémentaire par rapport aux autres modes d'enseignements (télé-TD, télé-cours) en pleine croissance. Même en présentiel, la commande d'un système dans un cadre pédagogique n'est pas anodine : réalisme, performances et sécurité sont à équilibrer stratégiquement. Si la mise à distance ne peut que détériorer à priori la qualité de la manipulation, une étude exhaustive des situations et interactions en présentiel et à distance permet d'organiser efficacement ce passage et de transformer les faiblesses liées à la distance en atouts pour les acteurs du système.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement les personnes ayant pris une part très active dans ce projet et particulièrement Corinne SUBAI, Didier NOTERMAN, le groupe Modélisation d'ICTT et les équipes de projet Pieuvre & Tipy.

Références

Michel BENEY, 1998. Contribution à l'analyse des phases manipulatoires des travaux pratiques de physique en Premier Cycle universitaire. Les apprentissages possibles à travers la conduite de l'action. Thèse de doctorat, université Paris 11 Orsay Didasco.

A. BICCHI, A.COPPELLI, F.QUARTO, L.RIZZO, F.TURCHI, A.BALESTRINO, 2001. Breaking the Lab's Walls – Telelaboratories at the University of Pisa. Actes de la conference internationale de Robotique et d'Automation (ICRA'01) à Séoul en Corée.

Jacques GINESTIE, 1992. Contribution à la didactique des disciplines technologiques : acquisition et utilisation d'un langage d'automatisme. Thèse de doctorat , université Aix-Marseille 1.

M. GUILLEMOT, G. LOUAIL, D. NOTERMAN, L. OSETE et D. PAULET, 2001. Enseignement à distance en automatique des systèmes à événements discrets.

Alain GUILLON, 1996. Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien, dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième années d'université. Thèse de doctorat , université Paris 11, Centre d'Orsay DidaScO.

P. LEROUX, M. VIVET, in C. FRASSON, G. GAUTHIER et A. LESGOLD, 1996. De la modélisation d'un processus de coopération à la conception de systèmes coopératifs d'apprentissage. éditions Intelligent Tutoring Systems – 3ième conférence internationale ITS'96, Springer Verlag, extrait de Computer Science n°1086, p. 197-205..

R.SAFARIC, D.W.CALKIN, R.M.PARKIN et C.A.CZARNECKI, 2000. Virtual Environment for Telerobotics. Actes de la conference Integrated Computer-Aided Engineering.
http://www.ro.feri.uni-mb.si/~riko/Telerobotics/telerobotics.pdf

H. H. SALIAH , 1999. Design of a Generic, Interactive, Virtual and Remote Electrical Engineering Laboratory. 29ème conférence ASEE/IEEE Frontiers in Education, San Juan, Puerto Rico.

Ken TAYLOR and Barney DALTON, 1997. Issues in Internet Telerobotics. Actes de la conference internationale Field and Service Robotics at The Australian National University (FSR'97), Canberra, Australie.
http://telerobot.mech.uwa.edu.au/ROBOT/anupaper.htm