



**HAL**  
open science

## Mise à distance de travaux pratiques en automatique

Arnaud Lelevé, Hcene Benmohamed, Patrick Prévot

► **To cite this version:**

Arnaud Lelevé, Hcene Benmohamed, Patrick Prévot. Mise à distance de travaux pratiques en automatique. Skholê: cahiers de la recherche et du développement, 2008, 14, pp.87-99. hal-00432586

**HAL Id: hal-00432586**

**<https://hal.science/hal-00432586>**

Submitted on 1 Jun 2012

**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.

# Mise à distance de travaux pratiques en Automatique

Arnaud Lelevé, Hcene Benmohamed, Patrick Prévôt

*\* Laboratoire LIESP, INSA de Lyon  
Bâtiment Léonard de Vinci, 21, rue Jean Capelle  
69621 Villeurbanne Cedex, France*

prénom.nom@insa-lyon.fr

**RÉSUMÉ.** A l'instar des travaux pratiques classiques, les travaux pratiques à distance (télé-TPs) sont indispensables aux environnements de téléformation, notamment dans les disciplines scientifiques et techniques. De nombreux travaux scientifiques se concentrent principalement sur la téléopération d'un dispositif pédagogique spécifique. Nous avons donc proposé une méthodologie de conception d'un modèle intradisciplinaire puis interdisciplinaire de TP et de téléTP ainsi qu'une méthodologie associée de mise à distance de dispositifs dans ce cadre d'utilisation. Cet article a pour objet d'illustrer la première partie de cette méthodologie en se concentrant sur la discipline de l'automatique et en l'illustrant sur deux dispositifs expérimentaux.

**MOTS-CLÉS :** Apprentissage à distance, Robotique pédagogique, Laboratoire virtuel, Laboratoire à distance, téléTP, travaux pratiques à distance.

## INTRODUCTION

Les Technologies de l'Information et de la Communication, Internet en particulier, ont, ces dix dernières années, envahi notre quotidien tant personnel que professionnel. Après s'être immiscé dans de nombreux domaines tels que le commerce traditionnel (e-commerce) et les administrations (e-administration), Internet est en passe de devenir la clé de voûte d'une nouvelle forme d'enseignement. En effet, les sites de e-formation se multiplient du fait de l'intérêt qu'ils apportent : gain de temps, économie de transport et d'hébergement, souplesse d'utilisation, interactivité, etc.

Si l'engouement pour ce nouveau concept est croissant, l'offre de réels services est encore limitée, cantonnée aux domaines où l'enseignement théorique prime sur l'enseignement pratique et les manipulations. Il est aisé pour les informaticiens de présenter un cours en ligne, de le rendre accessible à tous, de diffuser l'image de l'enseignant, de lui permettre de répondre à quelques questions, ... Il est, par contre, beaucoup plus difficile de donner aux apprenants les moyens de manipuler des dispositifs technologiques (instruments de laboratoire, machines outils, robots, ...) à distance dans un cadre pédagogique. Pourtant, si l'on souhaite faire de la e-formation un outil de formation viable et largement utilisé, une recherche en amont sur les travaux pratiques à distance (téléTP) est essentielle.

La mise en place de téléTP se heurte, en plus des problèmes habituellement rencontrés dans la e-formation, à une multitude de **problèmes organisationnels**, **humains** et bien entendu, **techniques**. Citons à titre d'exemple: la gestion des accès concurrents aux dispositifs technologiques [Arpaia et al., 2000] [Lelevé et al., 2004], la sécurité du matériel et des humains, la restitution en temps réel et à distance des événements et la mise à disposition d'outils d'édition de scénarios de téléTP pour les tuteurs [Lelevé et al., 2005].

Certaines approches ont consisté à concevoir et réaliser une plate-forme de téléTP en partant d'une page blanche et ainsi de proposer un système autonome dédié à cet usage [Saad, 2001]. Notre approche consiste plutôt à tenter de nous intégrer dans les plates-formes d'enseignement à distance actuelles (typiquement médiatisées par un LMS: Learning Management System) afin de réutiliser leurs ressources pédagogiques au maximum et d'éviter de perdre les utilisateurs dans autant d'environnements que de vecteurs pédagogiques (classes virtuelles, jeux d'entreprise, téléTPs, ...). Nous envisageons les téléTPs comme une activité pédagogique semblable aux autres (cours, exercices, travaux dirigés, ... tous nécessitent une scénarisation) à la différence près qu'il y a un dispositif réel ou virtuel (voire les deux) entrant en compte dans l'activité pédagogique.

Une plate-forme de téléTP peut *a fortiori* être utilisée en support informatique dans des situations de présentiel pour remplacer le traditionnel sujet de TP et faciliter le tutorat d'un enseignant devant surveiller de nombreuses manipulations simultanées.

Nous travaillons sur la modélisation des travaux pratiques à distance en vue de proposer une plate-forme générique (indépendante de toute discipline) et offrant un cycle d'édition classique (création par un auteur, adaptation à son public par un tuteur et présentation aux apprenants). Nous nous intéressons dans cet article aux modalités de passage à distance de travaux pratiques existant en présentiel dans la discipline de l'automatique.

Cet article présente donc en premier lieu la démarche scientifique adoptée et en développe ensuite les trois phases appliquées à un TP d'automatique à événements discrets : un magasin vertical.

## 1 Démarche scientifique

Nous avons cherché à modéliser les activités des acteurs et les processus liés à une activité de travaux pratiques à distance, au sein d'environnements de formation en ligne. Ce modèle comporte des aspects liés à la téléformation (contenus pédagogiques, LMS, LCMS<sup>1</sup>, ...) et propres aux téléTP (téléopération et interfaçage). Nous avons adopté une démarche de **modélisation générique par discipline** (dans notre cas, l'automatique) de situations de Travaux Pratiques en présentiel. Cette approche comprend 3 phases illustrées en figure 1:

- **phase 1 : modélisation de TP particuliers.** Cette phase se décompose elle-même en 4 étapes successives:
  1. observation de 3 situations de TP d'automatique animés en présentiel;
  2. identification d'invariants d'un TP à l'autre;
  3. conceptualisation;
  4. vérification et validation par un 4ème TP;
- **phase 2 : construction d'un « modèle » de téléTP** issu du modèle précédent de TP par:
  5. identification d'invariants entre présentiel et à distance;
  6. prise en compte des contraintes (temporelles, spatiales, organisationnelles, ...)
  7. extention (ajout de fonctions complémentaires) et ablation (retrait de fonctions impossibles) du modèle ainsi obtenu;
- **phase 3 : validation du modèle de téléTP** à l'aide de 4 réalisations. Cette étape de la démarche est descendante et itérative se décompose en:
  8. l'instanciation du modèle en 4 téléTP particuliers ;
  9. l'observation du déroulement effectif de l'acte pédagogique;

---

<sup>1</sup>LCMS: Learning Content Management System

10. la réalisation d'un retour d'usages afin d'apporter d'éventuelles corrections au modèle;
11. la correction éventuelle de ce modèle en fonction des résultats du retour d'usages.

Cette démarche rejoint les observations de Nicolas Balacheff : « *Si des modèles d'enseignement pouvaient être construits alors chaque bon enseignant en serait une instance; je veux dire par là que le point de départ pour la construction des EIAH devrait plutôt être la connaissance et la compréhension d'invariants que l'on pourrait extraire éventuellement de l'observation des bonnes pratiques* »;

Ces trois phases sont illustrées dans les sections suivantes. Elles ont fait l'objet d'une thèse de doctorat présentée à l'INSA de Lyon, en janvier 2007, par Hcéne Benmohamed [Benmohamed, 2007].

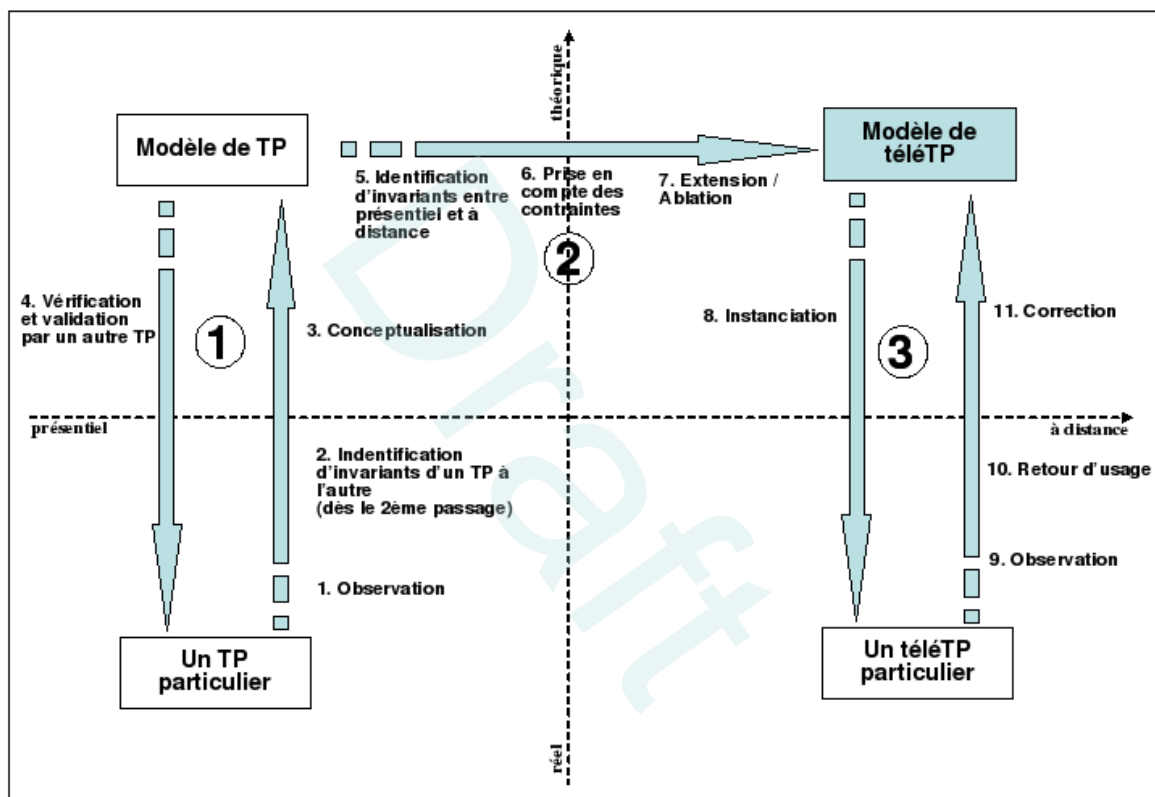


Figure 1. Démarche scientifique : approche par discipline

## 2 Phase 1: modélisation de travaux pratiques d'automatique en présentiel

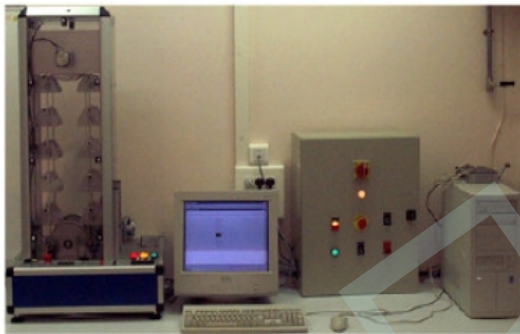
Cette phase a débuté (étape 1) par l'observation de séances de TP d'automatique, complétée par des interviews avec des enseignants et des questionnaires pour les élèves. Cette observation concerne différents aspects d'une activité de travaux pratiques dont les objectifs pédagogiques, le déroulement d'une séance, les méthodes d'évaluations, les communications entre acteurs. Nous invitons le lecteur à se reporter à [Benmohamed, 2007] pour plus de détails.

### 2.1 Observation de Travaux Pratiques

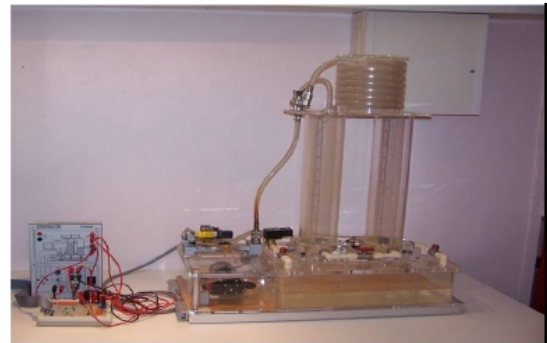
#### 2.1.1 Les TP observés:

Les TP d'automatique étudiés sont les suivants:

- **magasin vertical:** TP d'automatique à événements discrets. L'objectif du TP est d'apprendre à programmer un système industriel piloté par un automate programmable industriel, à travers l'environnement de développement fourni par le constructeur de l'automate;
- **régulateur de niveau de liquide:** TP d'automatique continue. L'objectif du TP est d'identifier un système hydraulique et de le réguler (système globalement non linéaire utilisé autour de points de fonctionnements);
- **four industriel:** TP d'automatique continue. L'objectif du TP est d'identifier un système thermique et de l'asservir en température (système non linéaire: contrôle de la chauffe mais pas du refroidissement);
- **asservissement de position:** TP d'automatique continue. L'objectif du TP est de dimensionner des correcteurs (P, PI, PID) dans le cadre d'un asservissement de position d'un mobile.



Magasin vertical



Régulateur de niveau d'un liquide



Four industriel



Asservissement de position

**Figure 2.** Les 4 dispositifs utilisés pour les travaux pratiques d'automatique

### 2.1.2 Résultats obtenus

Les réponses aux interviews ont été synthétisées du point de vue :

- des objectifs pédagogiques attendus des TP;
- du rôle des enseignants en séance (de leur point de vue et de celui des élèves);
- des interventions des enseignants (sur demande ou en préventif);
- de l'évaluation (pendant la séance et sur le compte-rendu);
- des ressources pédagogiques mises à disposition des élèves;
- de la chronologie des séances observées;
- de l'activité des élèves (travail collaboratif, manipulation effective);
- des contraintes de sécurité liées à l'usage de dispositifs dangereux.

Un certain nombre de ces résultats ont été publiés dans [Lelevé, 2002] et [Lelevé, 2003]. C'est pourquoi nous avons délibérément choisi de ne pas les développer dans cet article.

## 2.2 Identification d'invariants d'un TP à l'autre

Ces invariants ont été déduits des résultats obtenus précédemment. En voici une synthèse:

- **Acteurs humains:** l'**enseignant concepteur** qui prépare le TP, le **tuteur** qui encadre le TP, les **apprenants** -(souvent en petits groupes de 2 à 4) et éventuellement un **agent technique** de laboratoire qui gère la maintenance et la préparation du matériel pédagogique. L'agent technique peut intervenir avant et/ou pendant une session de TP en apportant de l'aide technique au tuteur.
- **Interactions entre acteurs humains:**
  - le tuteur communique avec l'agent technique verbalement (ou par écrit or session de TP) pour différents besoins (demande de documentation, renseignements sur l'état du matériel, ...);
  - les apprenants communiquent avec le tuteur pour lui poser des questions, lui demander de l'aide, ...;
  - réciproquement, le tuteur communique avec les apprenants pour les aider, les questionner, expliquer, conseiller, répondre aux questions, les guider, les orienter, les suivre, les évaluer, les placer dans des situations propices à l'acquisition de nouvelles compétences, ...;
  - les apprenants communiquent à l'intérieur du même groupe pour échanger des connaissances, résoudre des problèmes par eux-mêmes avant de solliciter le tuteur, etc.

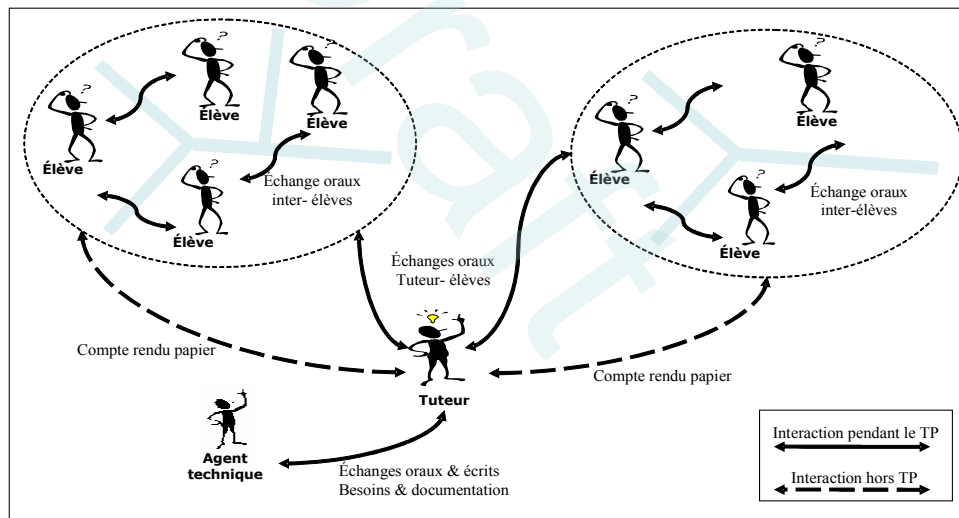


Figure 3. Les différentes interactions dans un TP en présentiel

- **Manipulations:** il s'agit des actions des acteurs humains vers le dispositif (déplacer, actionner, modifier, ...) et des rétroactions du dispositif et de son environnement vers les acteurs humains (de type visuel, auditif et éventuellement tactile):
  - l'**agent technique** interagit avec le matériel au démarrage (initialisation du dispositif), lors de la session (surveillance du bon fonctionnement) ou en dehors de la session (maintenance);
  - le **tuteur** intervient lors de la session d'apprentissage pour effectuer des démonstrations ou initialiser certains paramètres (choix de modes de fonctionnement);

- les **apprenants** prennent connaissance d'informations émises par le dispositif (capteurs) et en retour effectue le pilotage (effecteurs).
- **Architectures des dispositifs technologiques :**
  - **Architecture 1 :** dispositif technologique à une Partie Opérative (PO) et une Partie Commande (PC). La figure 4 illustre cette architecture et donne un exemple d'un dispositif technologique utilisé en robotique: un bras manipulateur commandable via son interface d'origine (une boîte à boutons et un logiciel dédié). Les élèves ici, peuvent agir sur le dispositif via la partie commande (PC) ou directement sur la partie opérative (PO), pour ajouter ou enlever des pièces que le bras va manipuler, par exemple. La partie opérative peut être constituée seulement du système physique (c'est-à-dire sans actionneurs ou capteurs). C'est le cas par exemple des TP en chimie. Dans ce cas, les élèves ont seulement la possibilité d'agir directement sur le système physique.

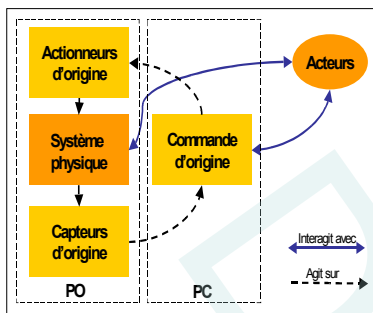


Figure 4. architecture 1PO+1PC

- **Architecture 2 :** dispositif technologique à une PO, une PC et une PC pédagogique: cette seconde architecture complète la première par une Partie Commande Pédagogique (PCP) qui offre aux élèves des moyens d'action et d'observation adaptés à leurs compétences et à leurs objectifs pédagogiques. Les acteurs peuvent alors agir sur le système de trois manières différentes : directement, via la commande d'origine ou via l'interface pédagogique. La figure 5 illustre une telle architecture avec le four industriel déjà présenté.

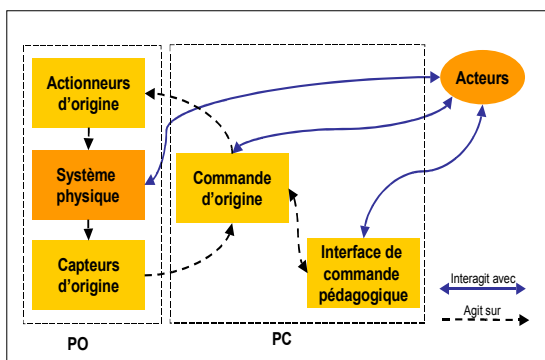


Figure 5. Architecture 1PO+1PC+1PCP

- **Activités pédagogiques:** chaque activité pédagogique implique un ou plusieurs acteurs humains et est éventuellement associée à des prérequis et à des objectifs. Les activités pédagogiques peuvent être structurées dans un enchaînement (parcours) pédagogique dont le but est d'atteindre les objectifs pédagogiques visés par le TP. Suivant la nature de l'activité nous avons distingué :

- les activités de **manipulation** : actionner, toucher, mesurer, programmer, bancher, remplir, vider, assembler, connecter, régler, étalonner, tester, vérifier, couper, introduire, ...;
  - les activités d'**observation** : observer, enregistrer...;
  - les activités de **réflexion** et de **production** : ce sont des activités intellectuelles telles que : analyser, justifier, décrire, modéliser, schématiser, interpréter, évaluer, critiquer, résoudre des exercices, faire un rapport de TP, conclure, ...;
  - les activités de **communication** entre acteurs;
  - les activités de **tutorat** (pour le tuteur) et les activités d'**apprentissage** (pour les apprenants);
  - les activités d'**évaluation** du travail des apprenants (travail en groupe, compte rendu, rapport d'étonnement, ...).
- **Cycle d'édition**: dans les grandes structures, les sujets de TP sont écrits par un enseignant (qui joue le rôle d'auteur) qui les expérimente généralement avant de les confier à d'autres enseignants (qui jouent le rôle de tuteurs) qui viennent renforcer l'équipe afin de subvenir aux besoins des nombreux groupes d'élèves. Dans des petites structures, on rencontre souvent des enseignants qui jouent consécutivement les deux rôles. Dans tous les cas, le cycle d'édition comprend une (ré)écriture, un stockage dans une base de sujets de TP et une utilisation en séance. Des ajustements sont régulièrement effectués sur les sujets en profitant des retours d'usage que sont les séances elles-mêmes.

L'ensemble des constats effectués précédemment peut se schématiser (cf figure 6) au format UML.

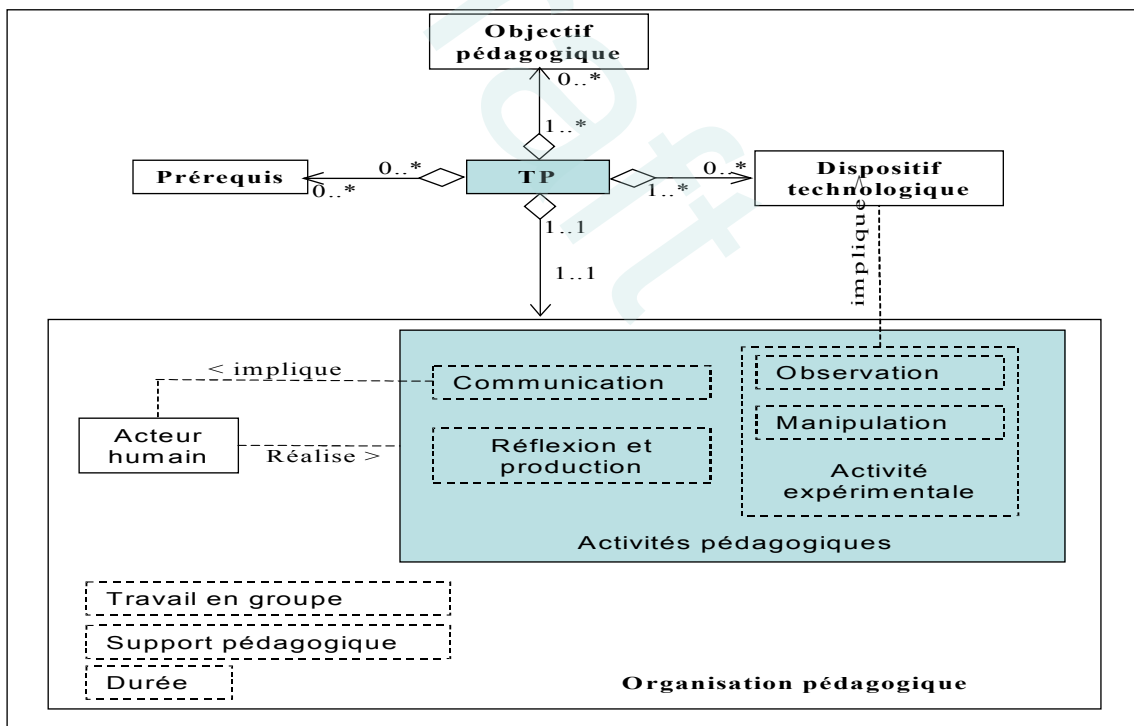


Figure 6. Synthèse du modèle au format UML



### 3 Phase 2: construction d'un modèle de téléTP

Le but de cette phase est de construire un modèle de téléTP en identifiant dans le modèle précédent les invariants pédagogiques non altérés par le passage à la distance, et en les complétant de nouveaux invariants propres à la mise à distance. Cette construction aboutit à une caractérisation des fonctionnalités d'un système de téléTP typique.

#### **3.1 Identification d'invariants entre présentiel et distantiel**

La première étape du passage du modèle de TP à un modèle de téléTP a consisté à identifier les invariants entre TP en présentiel et à distance. Nous avons analysé les composantes risquant de se dégrader lors de la mise à distance, mais également celles conduisant à un renforcement de l'efficacité pédagogique. Nous abordons cette analyse selon les mêmes points de vue que ceux utilisés dans le modèle de TP :

- les **objectifs pédagogiques et les prérequis** : les objectifs pédagogiques et les prérequis sont identiques entre TP et téléTP. Ils sont effectivement indépendamment du contexte de réalisation (que ce soit en présentiel ou à distance);
- le **dispositif technologique** : une adaptation du dispositif technologique initial est nécessaire en vue de sa téléopération. Cette adaptation dépend du type de l'architecture du dispositif technologique. Elle sera développée dans la suite de cet article;
- l'**organisation pédagogique** :
  - **acteurs humains** : ils ne varient pas mais le contexte de travail qui diffère du fait de la perte du contact humain et d'une vision globale pour le tuteur;
  - **le travail en groupe** : il reste identique si les apprenants sont ensemble à distance du tuteur et du dispositif. Il doit être médiatisé s'ils sont à distance les uns des autres. Dans ce cas, il faut également instaurer des techniques de partage des dispositifs technologiques pour qu'ils puissent être utilisés conjointement;
  - **les activités de manipulation et d'observation** : les problèmes prédominants engendrés par la mise à distance sont liés à la perte de commandabilité et d'observabilité. Des techniques de téléopération sont alors indispensables pour compenser ces effets négatifs;
  - **les activités de réflexion et de production** : les activités de réflexion restent identiques. Celles de production peuvent différer du fait de l'usage du support informatique;
  - **les activités de communication** : les activités de communication sont entièrement médiatisées par les moyens de communication informatiques synchrones et asynchrones à l'instar des autres vecteurs pédagogiques (téléCours, téléTD, ...).

Les acteurs d'un téléTP et leurs interactions sont représentés dans un diagramme de contexte en langage de modélisation UML en figure 7.

#### **3.2 Prise en compte des contraintes**

Nous avons identifié comme contraintes majeures l'obligation pour les acteurs de passer par un outil informatique de médiatisation par Internet, que ce soit comme support au travail en groupe, aux activités de production et à la communication de manière globale, ou comme support aux activités de manipulation, d'observation. Ces contraintes peuvent avoir des incidences pédagogiques. Par exemple, une mauvaise visibilité du dispositif peut engendrer de mauvaises interprétations de son état et donc des manipulations hasardeuses.

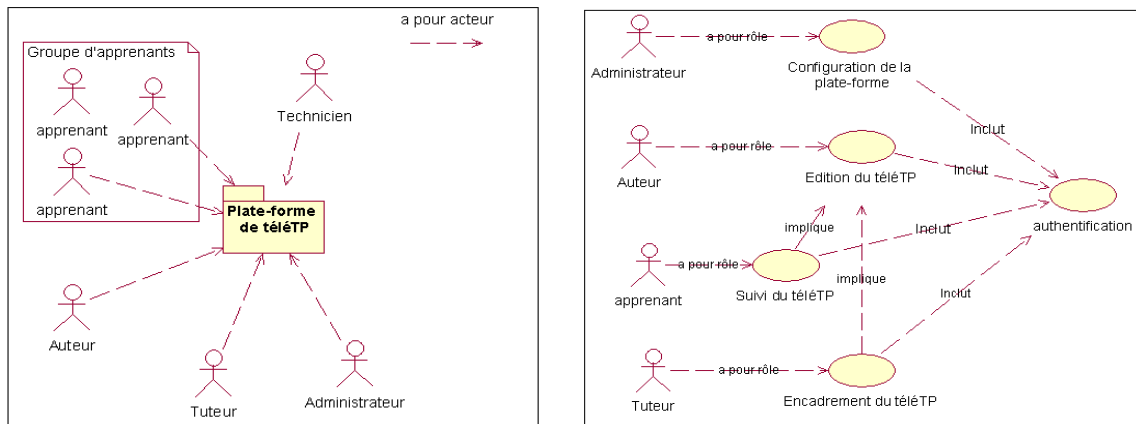


Figure 7 Les acteurs humains et les principaux cas d'utilisation

### 3.3 Extensions et ablations

Nous présentons ici les adaptations à effectuer pour mettre à distance des travaux pratiques, en tenant compte des contraintes identifiées dans la section précédente. Ces adaptations sont organisées selon les deux principaux aspects d'un téléTP : la téléformation et la téléopération.

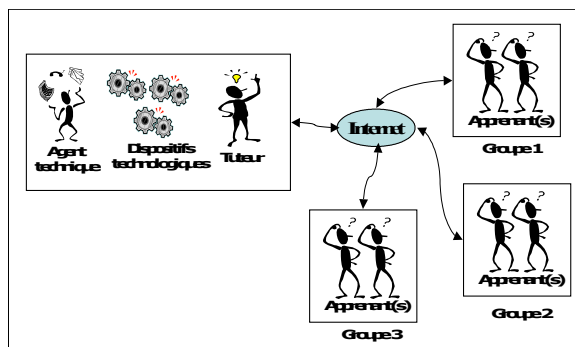
#### 3.3.1 Niveau téléformation

Ce premier aspect est partagé avec les autres modes d'apprentissage (téléCours, téléTD, ...). Dans une formation à distance, de nombreuses activités sont médiatisées par l'outil informatique. La communication entre le tuteur et les apprenants, par exemple, ne peut avoir lieu qu'à l'aide d'outils de communication à distance (courriel, messagerie instantanée, ...). De même pour le travail collaboratif. L'extension ici vient de la médiatisation par l'outil informatique. Par contre, tout ce qui relève de contacts directs entre les différents acteurs humains (principalement tuteur-apprenants et entre apprenants) disparaît.

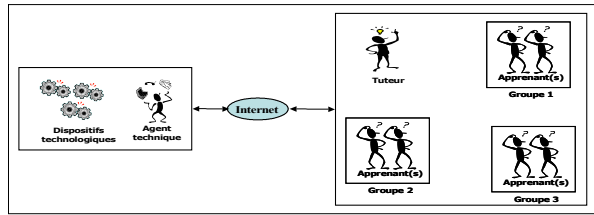
##### 3.3.1.1 Situations pédagogiques possibles

Suivant la disposition des apprenants, du tuteur et de l'agent technique, plusieurs situations pédagogiques sont possibles. La plate-forme de téléTP doit permettre chacune de ces situations pour couvrir les besoins d'organisation pédagogique des tuteurs. Ces situations dépendent de « qui et quoi » sont à distance : le tuteur et/ou les apprenants par rapport à la manipulation (dispositif technologique), le tuteur par rapport aux apprenants, etc. Nous avons répertorié 7 situations pouvant se produire.

- La situation S0 correspond au TP en présentiel;
- La situation S1 correspond à : un regroupement d'apprenants sur un même site et à distance de la manipulation (autre université ou école, hôpital, lieu de travail, ..., ne disposant pas de formateur sur place) et un tuteur pilotant la formation depuis le site de la manipulation.

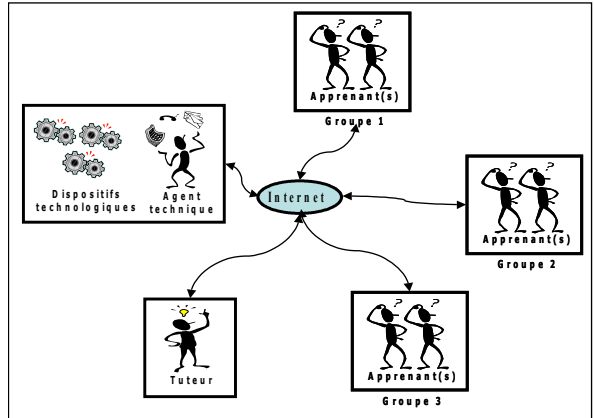


- La situation S2 correspond à la présence du tuteur avec les apprenants tous à distance de la manipulation (même cas que S1 mais avec formateur sur place disposant des compétences nécessaires).



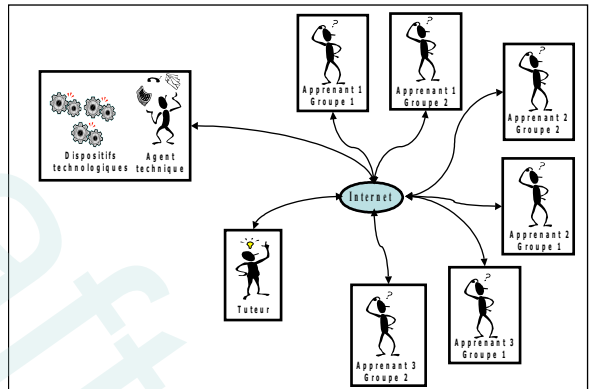
- La situation S3 correspond à un regroupement d'apprenants sur un même site et à distance de la manipulation et à un tuteur à la fois distant des apprenants et de la manipulation.

Cette situation est plus rare. Elle correspond à une formation effectuée de manière délocalisée pour une petite structure (IUT par exemple situé à une centaine de km de l'unité pilote) par une unité pilote (école, université) en utilisant des moyens situés sur un troisième site (l'AIP-RAO<sup>2</sup> par exemple).

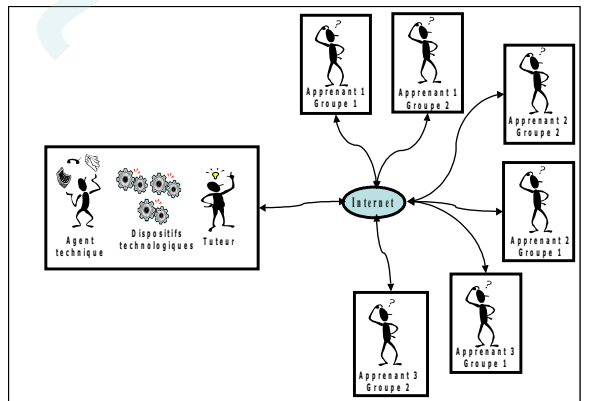


- La situation S4 correspond à un ensemble d'apprenants répartis sur plusieurs sites éloignés de la manipulation: un tuteur sur un site différent de ceux des apprenants et de la manipulation.

Cette situation est proche de la précédente, mais s'applique plutôt à une formation professionnelle continue (apprenants situés sur leurs lieux de travail respectifs).

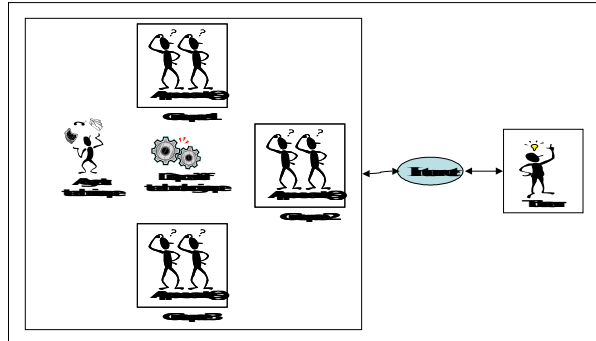


- La situation S5 est une variante de S4 où le tuteur se trouve sur le site même de la manipulation.



<sup>2</sup>Atelier Inter-établissements de Productique - Rhône-Alpes Ouest, disponible sur : < <http://aiprao.insa-lyon.fr> >

- La situation S6 correspond à un regroupement d'apprenants sur le site de la manipulation: un tuteur pilotant la formation depuis un autre site (problème de disponibilité).



### 3.3.1.2 Les échanges entre acteurs dans un téléTP

Suivant la situation pédagogique il est possible d'avoir plusieurs modèles d'interactions. La situation S1, par exemple, est caractérisée par le fait que les apprenants sont regroupés à distance et le tuteur est à côté de la manipulation (l'agent technique demeure quelque soit la situation). Sous ces hypothèses, les interactions avant et durant une session de téléTP sont représentées dans la figure 8. Cette figure sert aussi comme un modèle pour identifier les autres modèles d'interactions en fonction de la situation pédagogique (S0 à S3 et S4 à S6).

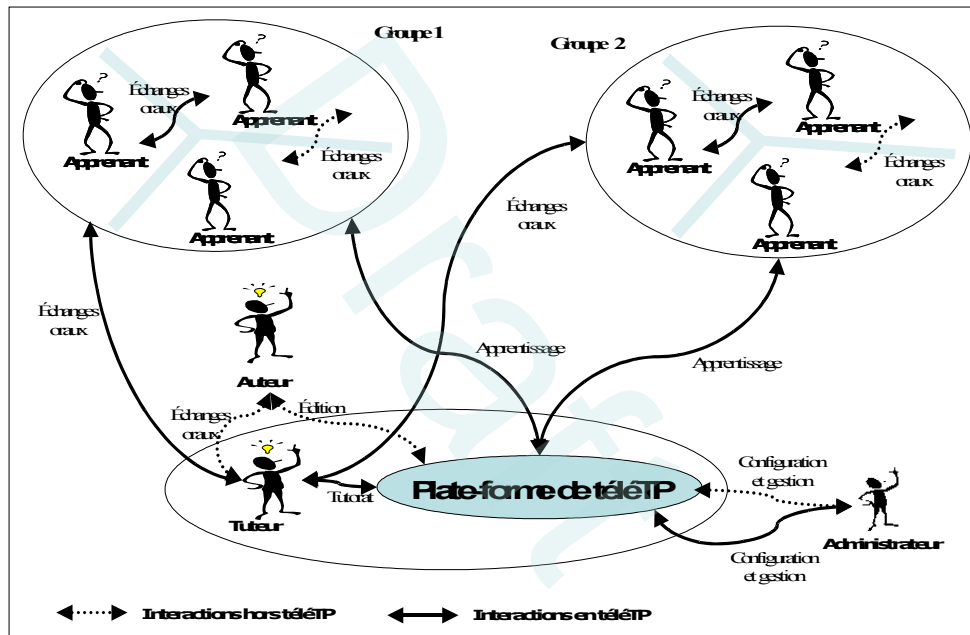


Figure 8 Interactions : cas d'un téléTP

### 3.3.2 Niveau téléopération

La mise à distance des travaux pratiques nécessite d'adapter les dispositifs technologiques utilisés aussi que les modalités d'interactions avec ces derniers. Nous illustrons à travers deux exemples (le magasin vertical au §3.3.2.1 puis au §4 ) comment adapter un dispositif technologique initialement conçu pour une utilisation locale.

#### 3.3.2.1 Extension : système à une PO et une PC (architecture 1)

A distance, les acteurs n'agissent sur le dispositif qu'à travers une interface de commande à distance (généralement une applet Java ou un programme CGI). Des actionneurs (un bras manipulateur par exemple, afin de simuler les actions d'un utilisateur local : appui sur un bouton, (dé)chargement d'un magasin vertical, etc.) et capteurs (une caméra pour un retour audio/vidéo par exemple) complémentaires sont nécessaires.

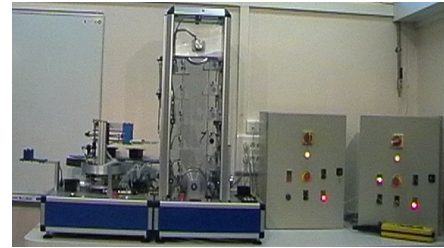
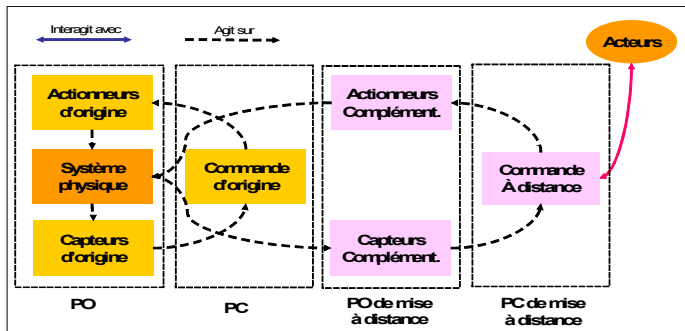
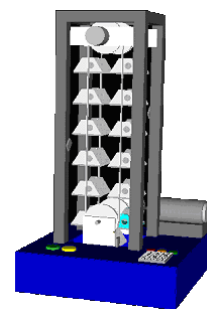
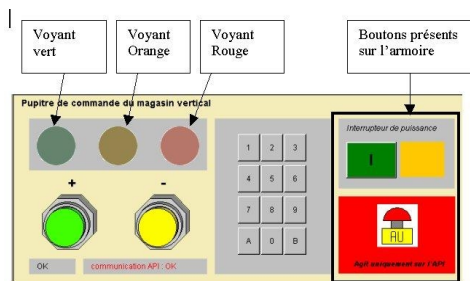


Figure 9. Adaptation d'un dispositif (de type architecture 1) en vue d'une télémanipulation

Dans le cas du magasin vertical, il a été nécessaire :

- d'ajouter au magasin un **translateur rotatif** pour le (dé)chargement des pièces via la porte du magasin, les apprenants ne pouvant pas le faire directement à distance. Il s'agit d'un bras manipulateur à deux degrés de liberté (une rotation autour d'un axe vertical et une translation dans le plan horizontal). Ce translateur rotatif est initialement contrôlé par un Automate Programmable Industriel (API) et commandé via une boîte à boutons. Il a donc fallu reproduire à distance cette boîte. Cela a été réalisé à l'aide d'une applique java qui communique directement (protocole propriétaire Schneider) avec l'automate pour modifier des variables de celui-ci et donc simuler l'usage de la boîte à boutons. Il a fallu ajouter un modèle de communication Ethernet à l'automate à cette fin;
- de rendre le logiciel de développement de programmes automate accessible à distance depuis les postes des apprenants. Pour ce faire, nous avons fait appel à un serveur d'applications (Microsoft Terminal Server). De même, il a fallu déporter les boutons présents sur le dispositif. Nous avons donc également développé une autre applique java pour répondre à ce besoin. Il a aussi fallu ajouter un modèle de communication Ethernet à l'automate à cette fin. Notons que les deux automates communiquent entre eux afin d'éviter que la porte d'accès au magasin ne soit refermé accidentellement quand le bras manipulateur est à l'intérieur du magasin.
- De modifier le câblage de sécurité des automates afin qu'un apprenant puisse alimenter la partie opérative à distance via l'automate. Ce type de modification ne doit normalement être réalisé que via un automate de sécurité.
- de procurer aux acteurs des modes de visualisation du dispositif: une webcam et une reconstitution en 3D du magasin. Ce dispositif virtuel a été programmé en Java à travers un modèle 3D au format VRML. Le code java effectue la synchronisation entre l'état réel du magasin et la représentation virtuelle en communiquant en permanence avec l'automate du magasin.



Applique de contrôle du magasin

Applique de contrôle du translateur

Modèle VRML

Figure 10. Commandes et visualisation à distance du magasin vertical

### 3.3.2.2 Extension : système à une PO, une PC et une PC pédagogique ( architecture 2)

Ce deuxième cas de figure est relativement similaire au précédent. Ici, les utilisateurs ont la possibilité de commander localement le dispositif technologique à la fois à travers la commande d'origine et une interface de commande pédagogique.

La mise à distance d'un dispositif technologique (dans le cas des deux architectures présentées) nécessite l'ajout (donc une extension) : d'une partie opérative de mise à distance, d'une partie commande de mise à distance et des capteurs environnementaux (webcam, microphone, ...) pour la restitution de l'environnement du dispositif technologique. La restriction de l'accès à certaines fonctionnalités du dispositif technologique pour des raisons de sécurité est un exemple d'ablation.

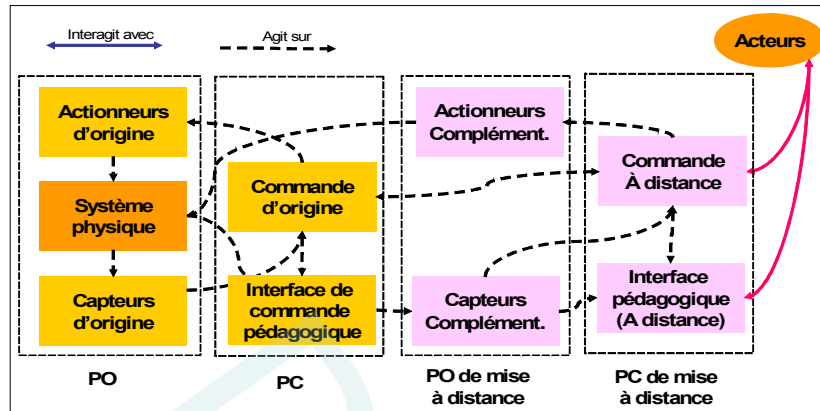


Figure 11. Adaptation d'un dispositif (de type architecture 2) en vue d'une télémanipulation

## 4 phase 3 : valider le modèle de téléTP

Cette étape de la démarche est descendante et itérative. Elle consiste à :

- générer et instancier le modèle associé à un téléTP particulier à partir du modèle précédent,
- observer et mesurer le déroulement effectif de l'acte pédagogique,
- effectuer un retour d'usage afin d'apporter d'éventuelles corrections au modèle.

La génération du modèle sur un autre téléTP a été réalisée partiellement. Nous avons instancié le TP sur le four industriel. Le TP correspond au **deuxième type d'architecture** présenté au §2.2. Sa partie opérative locale est constituée d'une résistance de chauffe relié à un gradateur, de lampes halogènes (actionneurs) et d'une sonde de température. Sa partie commande initiale est constituée de boutons de réglage de la température désirée et du temps de chauffe ainsi que d'afficheurs à cristaux liquides pour la température instantanée, programmée et le temps de cuisson. La partie commande pédagogique (PCP) intègre un régulateur industriel qui prend la place de la commande d'origine et un logiciel qui communique avec celui-ci afin de le paramétrer et d'enregistrer des campagnes de mesure. Il existe également un bouton de mise en marche du système. Pour refroidir rapidement le four entre deux campagnes de mesures, les élèves ouvrent la porte du four et utilisent un ventilateur domestique.

**La mise à distance du dispositif** nécessite l'ajout d'un vérin pour ouvrir et fermer à distance la porte du four (actionnée manuellement en présentiel), la télécommande du ventilateur externe, la modification du câblage de la PCP afin de pouvoir alimenter la partie opérative à distance. La solution la plus simple consiste ensuite à distribuer le logiciel initial via un serveur d'applications (comme pour le magasin vertical). Une solution plus complexe consisterait à programmer une interface logicielle entre le régulateur industriel et des appliquestes java pour

une visualisation des variables et une commande à distance. Même si il y a très peu de pièces en mouvement, une webcam est nécessaire pour visualiser ce qu'affiche le régulateur et l'état de la porte du four. Un complément intéressant pourrait être aisément apporté via une caméra infrarouge qui indiquerait les niveaux de température au niveau de l'enveloppe du four.

Nous ne sommes pas allé jusqu'à la réalisation de ce dispositif faute de moyens, de temps et d'un besoin réel (tous nos étudiants sont sur place et ces TP ne constituent pas le coeur de leur formation). Une validation plus complète nécessite encore de tester ce modèle sur d'autres dispositifs. Nous n'avons pas non plus développé ici l'aspect téléformation et scénario générique qui fait partie du modèle. Nous invitons le lecteur à se reporter à la thèse d'Hcène Benmohamed [Benmohamed, 2007]

## 5 Conclusion

Notre objectif était de proposer une plate-forme générique de gestion de téléTPs associée à une méthodologie générique de mise à distance de dispositifs utilisés en présentiel. Nous avons présenté dans cet article une partie de la méthode utilisée dans la construction de cette méthodologie qui nous a permis d'élaborer un modèle disciplinaire (en automatique) de sessions de TP, de téléTP et du passage du premier au second. Nous nous sommes concentré dans cet article autour du dispositif et des situations d'usage de celui-ci. Ce modèle demande encore à être validé sur d'autres (télé)TP d'automatique afin de le renforcer, voire de le remettre en cause si cela s'avère nécessaire. A terme, à partir de modèles disciplinaires, nous pourrions alors définir s'il est possible d'en déduire un modèle interdisciplinaire.

## 6 Références

- [Arpaia et al., 2000] ARPAIA, P., BACCIGALUPI, A., CENNAMO, F., DAPONTE, P. *A Measurement Laboratory on Geographic Network for Remote Test Experiments*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, vol. 49, n° 5, pp. 992-997.
- [Benmohamed, 2007] Hcène BENMOHAMED, *ICTT@Lab: un environnement informatique pour la génération et l'exécution de scénarios de téléTP*, thèse de doctorat, Lyon, janvier 2007
- [Lelevé, 2002] Lelevé A., Meyer C., Prévot P., *Télé-TP : premiers pas vers une modélisation*, 3ème colloque international sur les Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement supérieur et l'industrie (TICE 2002), Lyon, France, 11-13 nov. 2002
- [Lelevé, 2003] Lelevé A., Prévot P., Subaï C., Noterman D., Guillemot M., *Towards Remote Laboratory Platforms*, 7ème multiconférence internationale "Systemics, Cybernetics and Informatics" (SCI 2003), Orlando, Floride, Etats Unis d'Amérique, 27-30 juil. 2003
- [Lelevé, 2004] LELEVÉ, A., BENMOHAMED, H., PRÉVÔT, P. *Sharing a System between Simultaneous Learners in Remote Laboratories*. 2nd IFAC Workshop on Internet Based Control Education (IBCE), 5-7 Septembre 2004, Grenoble, France.
- [Lelevé, 2005] LELEVÉ, A., BENMOHAMED, H., PRÉVÔT, P. *Implémentation d'une chaîne d'édition générique pour téléTPs*. 8ème colloque francophone de robotique pédagogique, 2-4 mai 2005, Le Mans, France.
- [Saad, 2001] SAAD M., SALIAH-HASSANE H., HASSAN H., EL-GUETIOUI Z., CHERIET M., *A Synchronous Remote Accessing Control Laboratory on the Internet*, International Conference on Engineering Education, Oslo, Norway, August 6-10 2001.