

LaboREM : laboratoire flexible pour instrumentation déportée et travaux pratiques à distance

Eugenia A. Petre¹, Franck Luthon¹, Benoît Larroque¹, Pierre Dibon et Jean M. Fiton
IUT de Bayonne-Pays Basque, ¹Département de Génie Industriel et Maintenance
Université de Pau et des Pays de l'Adour, Anglet, France
franck.luthon@univ-pau.fr

Résumé

L'avancée des réseaux de communication, combinée à l'amélioration de l'interconnectivité des appareils de mesure et aux performances du traitement de signal, permet aujourd'hui de développer, grâce à la technologie web, des applications d'enseignement à distance englobant la totalité du processus d'apprentissage : non seulement cours, travaux dirigés et simulations, mais aussi travaux pratiques (TP) basés sur de l'instrumentation réelle ou virtuelle. Les avantages et les inconvénients de l'enseignement à distance sont mentionnés dans la littérature, des études comparatives étant menées entre les trois types de laboratoire : TP en présentiel, TP virtuel et TP distant.

Dans cet article, nous présentons une architecture client-serveur flexible pour l'instrumentation à distance dans le cadre de TP distribués. Elle est basée sur des *plug-in* qui permettent le partage des ressources techniques (connexion de dispositifs expérimentaux). La mise en œuvre d'un prototype de TP en électronique et traitement du signal pour des étudiants en premier cycle universitaire est décrite. Notre contribution est double : a) nous proposons un modèle de *plug-in* qui permet aux enseignants d'insérer facilement de nouvelles expériences dans la structure de base du laboratoire (flexibilité et extensibilité); b) nous préconisons l'utilisation d'une approche s'apparentant aux jeux électroniques : l'activité de laboratoire est conçue comme une séquence de jeu comportant différentes étapes, correspondant à des niveaux de performance différents permettant d'évaluer automatiquement l'étudiant.

A terme, ce projet est destiné à être utilisé par des universités étrangères n'ayant pas à leur disposition des équipements coûteux pour réaliser des travaux pratiques, mais bénéficiant d'une simple connexion Internet. Cette démarche s'inscrit dans une optique de démocratisation du savoir technologique.

Mots-clés

Laboratoire distant; laboratoire virtuel; enseignement à distance; travaux pratiques; LabVIEW; instrument virtuel (V.I.)

1 Introduction

Les avantages et les inconvénients des laboratoires virtuels sont largement discutés dans la littérature. Plusieurs études comparatives portent sur les différents types de laboratoire : présentiel ou à distance, TP réel ou en simulation, interface riche ou standard, réalité virtuelle ou réalité augmentée, etc. [1]. Les trois avantages majeurs des laboratoires virtuels ou à distance sont exposés ci-dessous : leur impact concerne à la fois l'argent, l'espace et le temps. Ils permettent ainsi de s'affranchir des fortes contraintes induites par les TP classiques en présentiel [2].

Argent : un premier avantage consiste à réduire les coûts d'investissement de l'instrumentation. En effet, un unique exemplaire d'un appareil peut être utilisé par plusieurs clients ou étudiants, et ceci à l'échelle internationale (partage de la technique). Les coûts de maintenance peuvent être également réduits grâce à la mutualisation entre plusieurs universités (simplification de la maintenance).

Espace : Les TP peuvent être réalisés à partir de n'importe quel endroit à condition de disposer d'une connexion Internet. Le client communique avec le serveur web par un protocole TCP/IP. Ainsi, les étudiants peuvent travailler depuis chez eux, ou depuis n'importe quel endroit de l'université équipé d'un ordinateur en réseau. Les étudiants non inscrits peuvent également utiliser l'application après authentification, depuis leur ordinateur personnel.

Temps : Le serveur étant actif 24h/24 et 7j/7, les clients choisissent les créneaux horaires qui leur conviennent le mieux. Les partenaires internationaux (universités) peuvent réserver des tranches horaires pour leurs étudiants afin d'effectuer des travaux pratiques nécessitant l'équipement mis à disposition par notre Institut. De plus, cette application permettra aux étudiants présentant un handicap ou ayant un niveau faible de bénéficier d'un temps supplémentaire. Cette extension n'est pas possible lors de TP en présentiel où l'étudiant doit finir son travail dans les 3 à 4h allouées

pour l'activité, qui se déroule dans des salles spécialisées.

Partant de ces constatations, nos objectifs sont les suivants. Premièrement, la coopération internationale avec des universités étrangères est une des priorités de l'Institut Universitaire Technologique (IUT) de Bayonne Pays Basque, Anglet, France. Notre plateforme d'enseignement à distance est particulièrement adaptée pour les universités des pays en voie de développement, disposant d'une connexion internet. Nous espérons que cette plate-forme contribuera à la démocratisation du savoir technique.

Deuxièmement, notre prototype de TP correspond à un cours d'électronique du diplôme DUT Génie Industriel et Maintenance (GIM) de niveau Bac+2. En France, il existe 25 départements GIM, et ce cours d'électronique a vocation à être réalisé par tous les départements à partir de notre application (ceci correspond à plus de 1000 étudiants potentiellement clients de notre plate-forme). De plus, en développant cette pratique de collaboration, nous pourrions pallier la diminution des moyens financiers alloués aux universités.

Troisièmement, nous concevons l'activité de TP comme un jeu de piste : ceci se base sur la constatation que les jeunes sont intéressés par les jeux électroniques en ligne, qu'ils sont vifs quand il s'agit de surfer sur internet, mais lents durant les TP classiques. Par conséquent, nous préconisons une approche d'enseignement basée sur le jeu. L'activité est conçue comme une séquence de jeu avec plusieurs étapes qui inclut questionnaire à choix multiples (QCM), contrôle à distance d'instruments, mesure et simulation. Chaque client (étudiant), durant un temps limité, a la possibilité de répéter certaines étapes ou de continuer afin d'atteindre l'objectif du TP. Dans la section 4 nous verrons que la séquence de laboratoire virtuel est implantée comme une séquence de test, où l'étudiant est le *device under test* (D.U.T)

Enfin, un autre objectif consiste à permettre aux enseignants de développer eux-mêmes, de façon simple, de nouveaux TP grâce à une procédure de type *plug-in*. Dans [3] nous avons déjà proposé une architecture et des *plug-in* pour l'application, mais sans présenter l'implémentation de la séquence de travail.

Cet article est organisé comme suit. Dans la section 2, nous mentionnons les travaux récents parus dans la littérature, et mettons en avant les caractéristiques principales des labos distants (*e-labs*). Dans la section 3.1, nous présentons l'architecture du laboratoire distant nommé LaboREM (pour *Remote Laboratory*) ; la mise en œuvre du prototype est décrite au paragraphe 3.2. La section 4.1 présente l'approche basée sur le concept de jeu et la conception d'une séquence de manipulation ; la section 4.2 illustre quelques séquences de travail dédiées à des cours au niveau Bac+2 en traitement de signal, mesure et test de circuits et systèmes. Les résultats avec évaluation statistique sont donnés au chapitre 5. Finalement, la discussion dans la dernière

section ouvre la voie à des questions en suspens sur lesquelles il reste encore à travailler.

2 Etat de l'art

Les critères de conception des laboratoires virtuels sont décrits dans [4]. Beaucoup d'auteurs [4, 5] insistent sur la complémentarité des trois types de TP : **présentiel**, **virtuel** (*i.e.* en simulation) et **distant** (*i.e.* avec prise de contrôle sur de vrais appareils). L'absence de contrainte temporelle stricte pour les TP distants est particulièrement intéressante pour les étudiants handicapés [5, 6], qui ont besoin de plus de temps, ou de plusieurs répétitions avant de passer à l'étape suivante d'un TP.

Si les labos virtuels utilisent souvent Matlab [7], de nombreux labos distants sont basés sur LabVIEW et le bus GPIB [4, 2]. [2] présente une application client-serveur avec deux serveurs distincts : un serveur web et un serveur d'expériences. Ils utilisent les contrôles ActiveX inclus dans des pages html. La connection simultanée de 8 clients est possible. Dans [8], un serveur web LabVIEW est utilisé pour un TP distant sur des circuits optiques. La stratégie inclut à la fois simulation et expérimentation à distance. Une autre implantation basée sur LabVIEW et le bus GPIB est décrite dans [9] Une webcam et une fenêtre de chat pour la communication entre usagers contribuent à la richesse du média. L'ajout d'une communication audio est préconisée pour le travail collaboratif. Les auteurs insistent sur l'avantage des labos distants permettant de répéter les expériences : les étudiants qui en ont besoin peuvent répéter une tâche pour mieux la maîtriser. Mais un point-clé est l'accessibilité des labos distants : la réservation des sessions doit être aisée. Un autre point important est le degré de liberté accordé à l'apprenant : les étudiants aiment câbler eux-mêmes les circuits à tester.

Certains travaux évaluent l'efficacité des labos distants. Les auteurs dans [10] présentent une expérience pédagogique en mécanique (étude des vibrations d'un système). Ils abordent le critère de la richesse des média utilisés et concluent que cela n'a pas tant d'importance, grâce à la capacité d'adaptation du comportement humain. [11] donne une métrique (*Goal Question Metric*) pour mesurer l'efficacité d'un labo distant en radioélectricité. Leur prototype est basé sur un LMS (*Learning Management System*) et l'emploi d'applets Java. Un générateur de labo distant est présenté dans [12] pour aider les instructeurs à préparer leurs TP.

Les principales technologies utilisables pour les labos distants sont listées dans [13] : téléchargement de logiciel (6%) ; applets (58%) ; LMS (36%). Les auteurs proposent une évaluation basée sur 7 critères et comparent 5 labos différents. Signalons qu'ils utilisent une approche de type jeu pour leurs TP distants.

Dans [14], un labo virtuel utilisant Matlab est décrit pour la conception de correcteurs PID et le tracé de courbes de Bode. Il est basé sur une stratégie en

deux étapes : des expériences structurées suivies d'un apprentissage non structuré plus créatif. [7] utilise l'environnement d'apprentissage eMersion basé sur le web, avec Java et Matlab, pour la régulation d'un système hydraulique à trois réservoirs. Un logiciel libre basé sur Matlab est utilisé dans [15] pour un labo virtuel d'électronique de puissance. Le labo web Ciclope [16] est une solution logicielle gratuite, qui permet une approche collaborative, à la fois pour les étudiants pendant leur TP, et aussi pour les enseignants pendant la phase de conception de nouvelles manipulations.

Les principales limitations des labos distants sont connues. Un premier inconvénient est que l'activité ne repose pas sur une communication directe. Chaque client travaille seul dans une communauté virtuelle (autres étudiants, tuteurs, administrateur, techniciens, webmaître). Cela soulève les questions d'interface basée sur un média riche et de communication synchrone vs. asynchrone pour la collaboration. Le labo virtuel universel pour l'introduction aux circuits électriques [6] est basé sur un simple échange de fichiers texte, méthode qui s'avère robuste pour fonctionner aussi près que possible du temps-réel.

Une autre préoccupation porte sur les prérequis pour éviter une mauvaise préparation des sessions distantes. Comme il n'y a pas de tuteur physiquement présent pour fournir une information complémentaire ou dépanner le système, on doit s'assurer que : a) rien d'important ne manque dans le paquetage de données fourni à l'étudiant ; et b) l'application ne peut jamais rester coincée dans un état bloquant (à cause du matériel ou d'une mauvaise configuration). Une remarque importante corrélée à cela est qu'il y a un fort besoin de maintenance du réseau et du serveur qui doit rester disponible 24h/24.

Bien sûr, l'efficacité pédagogique reste le critère le plus important et doit pouvoir être évaluée correctement pour valider la qualité du labo distant. L'évaluation de l'activité de l'étudiant dans un environnement virtuel est donc un point clé [17, 18].

Pour conclure cet état de l'art, nous souhaitons mettre en avant deux facteurs-clé que nous traitons dans ce papier : il y a un fort besoin à la fois d'aide aux tuteurs pour développer de nouveaux TP par eux-mêmes, et de divertissement des jeunes impliqués dans un cursus universitaire technologique. C'est pourquoi nous allons nous concentrer sur deux caractéristiques principales de notre travail : la technique de *plug-in* pour insérer des manipulations et l'approche pédagogique basée sur le jeu.

3 Plate-forme à distance

3.1 Architecture ouverte

L'architecture logicielle/matérielle est présentée Fig. 1. Il s'agit d'une architecture de type client/serveur avec deux serveurs distincts : l'un pour piloter les ex-

périences et récupérer les résultats de mesure, l'autre pour gérer l'interface web permettant l'accès des clients. En fonction de la configuration du réseau local, ces deux serveurs peuvent être physiquement séparés ou instanciés par un seul et même serveur. Les clients se connectent à cette architecture via Internet ou intranet (protocole TCP/IP).

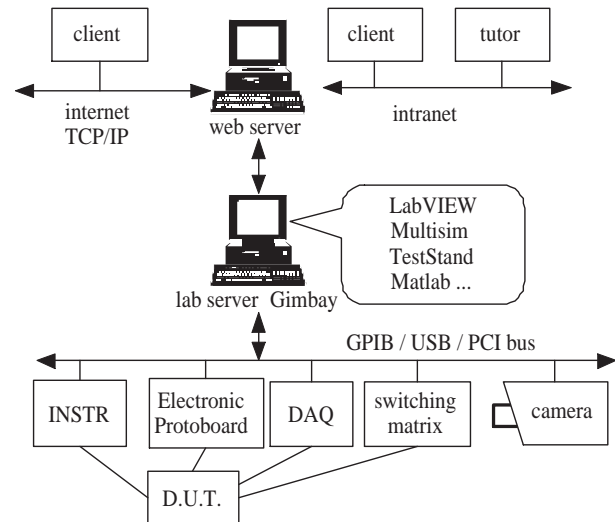


FIGURE 1 – Architecture de l'application LaboREM

L'instrumentation pilotée à distance comprend des appareils de mesure et de test, une platine électronique de conception et prototypage, des cartes d'acquisition, une matrice de commutation pour la mise sous tension, la configuration et la connexion des circuits électriques de l'expérience sélectionnée. Concernant la partie logicielle, plusieurs programmes peuvent être utilisés tels que LabVIEW, MultiSim, PSpice, Matlab, TestStand, etc. La communication avec le client s'effectue en mode asynchrone par l'envoi et la réception de fichiers de données, mais aussi en mode synchrone pour le retour vidéo issu d'une caméra qui filme le labo.

La particularité de l'architecture réside dans le concept de *plug-in* implanté sous forme d'instruments virtuels (V.I.) de LabVIEW pour la simulation ou le contrôle physique des expériences. Un modèle de *plug-in* est disponible pour aider les tuteurs à développer de nouvelles expériences intégrables dans la plate-forme. Les *plug-in* côté serveur sont complétés par les *plug-in* clients, facilement intégrés dans le menu de l'application client (Fig. 2).

3.2 Mise en œuvre du prototype

3.2.1 Le serveur de LaboREM

Partie matérielle Le serveur est instancié par un ordinateur situé dans notre département connecté à différents instruments : cartes d'acquisition NI-DAQ (PCI ou USB), instrumentation GPIB ou RS232 (oscilloscope, générateur de fonctions, alimentation program-

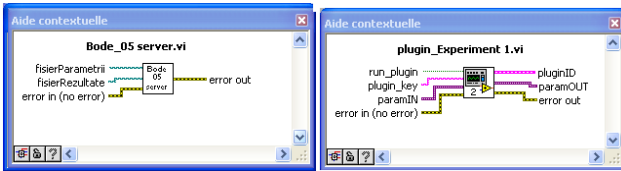


FIGURE 2 – Exemple de *plug-in* d'expérience : a) *plug-in* côté serveur pour un tracé de Bode; b) Modèle de *plug-in* côté client



FIGURE 3 – Instruments connectés au serveur

mable, multimètre, analyseur de spectre), platine de prototypage (NI-Elvis) pour les circuits électroniques, matrice de commutation pour l'alimentation électrique et la configuration des circuits (Fig. 3).

Partie logicielle Le serveur est développé à partir de la bibliothèque Internet Toolkit de LabVIEW. La communication web est gérée par le serveur G à travers des scripts CGI. La gestion de la liste des expériences, de la liste des utilisateurs et de la file d'attente des requêtes en cours, se fait par une interface homme-machine (Fig. 4). Cette IHM permet à l'administrateur de gérer les changements de configuration à partir des outils de contrôle à distance. Le serveur génère aussi un *watchdog* qui surveille le bon déroulement des applications serveur et peut procéder au redémarrage du serveur en cas de défaillance.

Configuration réseau Etant donné que le serveur LabVIEW est actuellement sur un réseau local VLAN privé non visible de l'extérieur du département, la solution retenue pour rendre l'application accessible depuis l'extérieur est un reverse-proxy basé sur un serveur Apache HTTP. Deux redirections virtuelles sont déclarées sur deux ports TCP différents : le premier permet l'accès au serveur web de LabVIEW et le second est dédié à la connexion de la webcam. Cette solution technologique assez contraignante sera remplacée dans un futur proche par une technologie de type VPN.

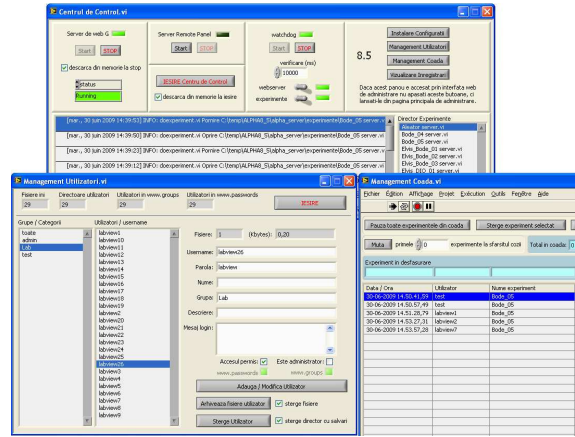


FIGURE 4 – Administration du serveur : a) démarrage serveur web et watchdog; b) configuration et gestion des utilisateurs et de la file d'attente.

3.2.2 Application client LabOREM

Déploiement Le déploiement s'effectuera en téléchargeant un fichier archive avec l'exécutable depuis notre site web¹, ou en envoyant au client un CDROM contenant les fichiers sources et la documentation de l'application.

Interface Homme Machine Après s'être authentifié, le client (étudiant utilisateur) accède à l'interface web à partir de laquelle il peut lancer une expérience et prendre le contrôle des instruments à distance (Fig. 5). Après le téléchargement des fichiers de données issus des mesures, l'interface permet l'affichage graphique des résultats en vue de leur interprétation. Enfin, un formulaire final est à compléter pour évaluer l'application.

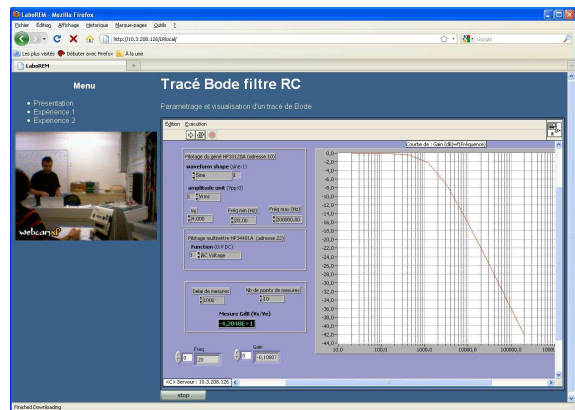


FIGURE 5 – Interface client avec retour vidéo webcam et exemple de tracé de Bode

Communication asynchrone Le client communique par l'envoi/réception des fichiers de paramétrage/données. Ce type de communication asynchrone

1. <http://www.iutbayonne.univ-pau.fr/>

permet à plusieurs utilisateurs de travailler simultanément : les requêtes utilisateurs générant l'envoi des paramètres de l'expérience sont empilées les unes après les autres dans une file d'attente FIFO. Comme une manipulation typique (*e.g.* tracé de Bode pour filtres actifs) ne dure que quelques minutes, cette technique s'avère efficace et robuste pour la gestion multi-utilisateurs.

Une communication synchrone du système est aussi envisageable dans le cas où l'utilisateur souhaite prendre le contrôle en temps réel des instruments. Cette communication est possible à travers des plug-in clients développés pour échanger directement des données avec le V.I. plug-in correspondant côté serveur. Technologiquement, cet échange peut se réaliser grâce aux dialogues par protocole FPP (Front Panel Protocol) permettant de déporter la face avant des V.I. en temps réel. Ce protocole FPP nécessite l'installation côté client du moteur temps réel RTE de LabVIEW. Une autre solution consiste à utiliser un Web Service générant un flux XML qui, interprété à l'aide de techniques web plus classiques (Flex, SilverLight, JavaScript), ne nécessite pas de lourdes installations côté client. De plus, l'accès à une webcam (communication synchrone) est disponible pour un contrôle visuel du déroulement des expériences, afin de permettre à l'utilisateur de connaître les éléments matériels mis en jeu.

4 Séquences d'expériences

4.1 Conception de séquence

Une séquence de laboratoire est conçue comme un jeu de piste (itinéraire virtuel) comportant plusieurs niveaux qui sont atteints en fonction de la note obtenue par l'étudiant. La séquence emprunte aux jeux vidéo les concepts suivants : augmentation de la difficulté avec les niveaux, nombre de vies limité, temps limité et score obtenu [19]. Dans notre cas, la séquence de laboratoire a été implantée sous la forme d'une séquence de test grâce au logiciel TestStand de NI.

- **Niveaux** : l'application est construite comme un jeu, avec plusieurs niveaux de difficulté croissante que les étudiants doivent franchir durant le TP. Le niveau 0 est un QCM qui teste les connaissances de base (prérequis) des étudiants. Si le score de ce niveau n'est pas suffisant, l'étudiant ne peut pas passer au niveau supérieur. Les niveaux 1,2,3 doivent être tous validés afin de passer au niveau suivant. Dans ces niveaux, le client peut exécuter différentes tâches comme des mesures à distance, des simulations avec MultiSim, ou des mesures en présentiel. Ces étapes sont très importantes étant donné qu'elles permettent au client d'acquérir les connaissances essentielles liées au sujet étudié, avant d'atteindre les niveaux supérieurs (4, 5 et 6) qui augmentent en complexité.
- **Vies** : plusieurs essais (ou vies) sont accordés pour franchir un niveau. Dans le cas de l'application

LaboREM, le nombre de vies est limité à trois.

- **Temps** : pour chaque niveau, un temps limité est accordé. Le client doit agir dans le temps imparti, sinon le jeu est fini (*cf. game over* Fig. 8b). Dans ce cas, l'étudiant peut soit réessayer de franchir le niveau s'il lui reste des vies, soit quitter l'application. Chaque fois qu'un niveau n'est pas franchi, avant de quitter l'application, le client doit remplir un questionnaire concernant la plate-forme (section 5.2).
- **Score** : en fonction du niveau atteint par le client et de la justesse de ses résultats et réponses, une note sur 20 lui est attribuée (Fig. 6).

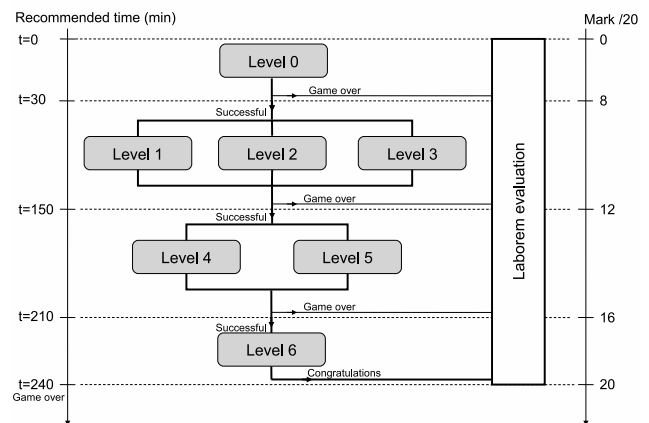


FIGURE 6 – Diagramme type d'une séquence de jeu

Chaque niveau est basé sur un enchaînement typique (Fig.7). La séquence commence par l'authentification

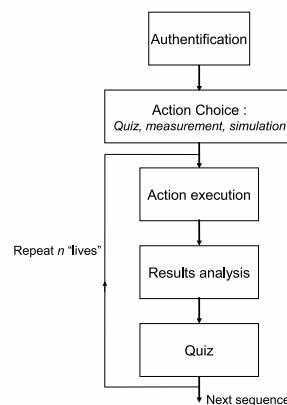


FIGURE 7 – Les étapes d'un niveau de la séquence

du client, ensuite le choix de la prochaine action lui est proposé. Cette action dépend du niveau de l'étudiant et peut être un quizz, une simulation, une mesure à distance ou un travail en présentiel. Le client doit saisir les bons paramètres pour l'action qu'il a choisie puis envoyer ces données au serveur. Une fois l'expérience finie, le client télécharge les résultats et procède à leur analyse détaillée. Un QCM est proposé à la fin

de chaque séquence afin de vérifier que le client s'est approprié les notions de base associées au travail. En cas d'échec, le client a la possibilité de répéter l'enchaînement, mais seulement s'il lui reste des vies.

4.2 Exemples de séquences LaboREM

4.2.1 Electronique et traitement de signal

L'application LaboREM a été d'abord développée pour une étude de cas dans le cadre d'un enseignement d'électronique sur les filtres actifs (code module ENAb). Le programme pédagogique national du diplôme DUT GIM (Génie Industriel et Maintenance) prévoit pour ce module 40 heures d'enseignement, réparties en cours magistraux CM, travaux dirigés TD et travaux pratiques TP. Le choix de ce module a été motivé par des besoins précis dans le contrôle à distance (l'oscilloscope et le générateur de fonctions doivent être pilotés pour les tracés de Bode, et plusieurs circuits à base d'AOP doivent être sélectionnés pour le choix des filtres), mais aussi par notre volonté de fournir un TP complet à distance (CM, TD et TP). Pour le moment, seul le travail de laboratoire est disponible à distance, mais pas encore les cours magistraux ni les travaux dirigés. Ce TP à distance est composé de plusieurs séquences, comme décrit ci-dessus : il se compose d'un travail en présentiel, d'un QCM, d'une mesure à distance, d'une simulation avec MultiSim et d'un questionnaire final sur l'application.

- Le travail en présentiel suppose la manipulation directe des équipements réels. Ce cas concerne deux situations : a) au sein des universités bénéficiant de ces équipements (même vieux), les étudiants effectuent les mesures manuellement et saisissent les données dans l'application LaboREM pour une analyse détaillée ; b) dans les universités ne bénéficiant d'aucun équipement (excepté des ordinateurs avec une connexion réseau) ou dans le cas d'un étudiant isolé qui n'a aucun accès à des instruments de mesure, le travail en présentiel est remplacé par un travail de simulation pure, *i.e.* en analysant des données générées par des instruments virtuels (V.I. LabVIEW).
- Le QCM est utilisé afin de tester les capacités des étudiants dans le domaine du filtrage et des circuits à base d'AOP (Fig. 8a).
- Contrôle à distance : huit filtres actifs différents (de type Sallen-Key etc.) sont pré-câblés sur la platine NI-Elvis (Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite). Le client, via le contrôle à distance, peut choisir un filtre et le caractériser (tracés de Bode). Au début, la gamme de fréquences, la tension d'entrée et le nombre de points de mesure doivent être choisis. Ces paramètres sont écrits dans un fichier puis envoyés au serveur. Comme expliqué au chapitre 4.1, les résultats sont ensuite téléchargés dans l'ordinateur local du client pour l'analyse et l'interprétation fi-

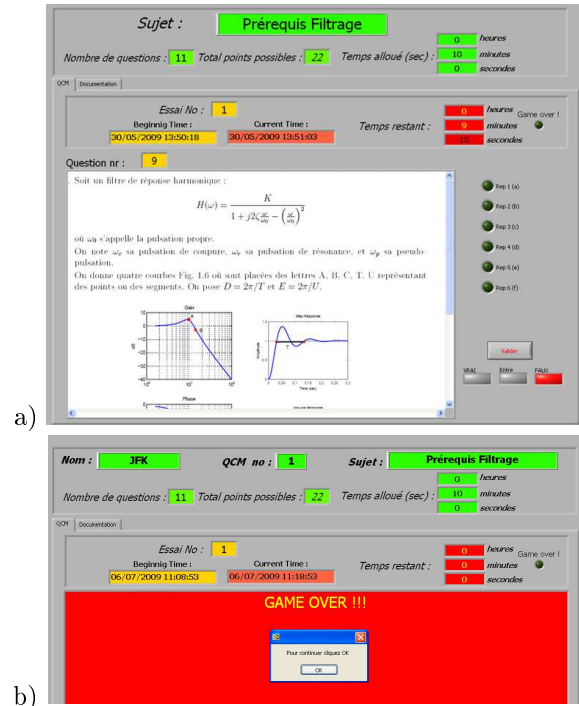


FIGURE 8 – IHM client : a) QCM sur les filtres actifs ; b) Message de fin de test : temps dépassé

nale.

- Simulation : durant cette étape, en utilisant le logiciel MultiSim, le client peut simuler le circuit électrique correspondant au filtre déjà caractérisé lors de la mesure à distance. Après avoir déterminé les caractéristiques principales du filtre, le client doit comparer les résultats de simulation avec les résultats expérimentaux.

4.2.2 Acquisition de données, test de systèmes

LaboREM peut aussi être utilisé pour la caractérisation de circuits et de composants électroniques ou pour le test de systèmes [3]. Plusieurs expériences disponibles sont listées ci-dessous :

- Caractérisation de transistors MOS, où trois multimètres et deux générateurs connectés par GPIB sont nécessaires.
- Caractérisation d'un amplificateur audio basse fréquence, où deux multimètres et un générateur de fonctions sont utilisés.
- Nous avons également développé un plug-in pour l'analyse d'un signal issu d'une carte d'acquisition, qui permet l'analyse spectrale et le filtrage numérique des signaux (Fig. 9).

5 Evaluation des résultats

5.1 Disponibilité du réseau

En mode intranet, 30 clients se sont connectés simultanément avec succès. Concernant la connexion inter-

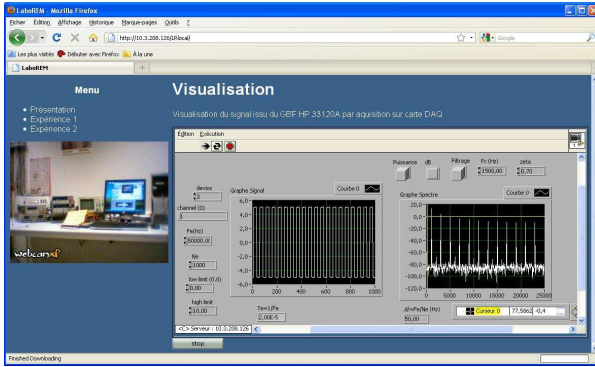


FIGURE 9 – IHM client : TP acquisition et filtrage

net, un premier test a été effectué en février 2009 depuis l'Université Polytechnique de Bucarest en Roumanie qui a permis de valider le prototype pour répondre à notre objectif de coopération internationale.

5.2 Performances de LaboREM

En juin 2009, une évaluation a été réalisée sur un échantillon de 30 étudiants de 1ère et 2ème année du DUT. Après avoir terminé l'expérience, les étudiants ont eu à remplir un questionnaire concernant l'application. Ce questionnaire psychométrique est basé sur l'échelle de Likert à 5 niveaux : 1= Tout à fait d'accord, 2= D'accord, 3= Neutre, 4= Pas d'accord , 5= Pas du tout d'accord. Six des 69 questions de ce formulaire sont présentées dans le Tab. 1 (le score moyen est écrit en gras). Les statistiques (score moyen et écart-type)

TABLE 1 – Questionnaire : exemple de questions

J'ai aimé pouvoir faire le TP n'importe où, n'importe quand	1	2	3	4	5
J'ai aimé travailler à distance sur de vrais instruments	1	2	3	4	5
J'ai été motivé par l'activité de type jeu de piste	1	2	3	4	5
J'ai besoin de plus de préparation pour utiliser l'application	1	2	3	4	5
J'ai aimé pouvoir refaire plusieurs fois une tâche	1	2	3	4	5
J'ai besoin d'un contrôle à distance de la caméra	1	2	3	4	5

de ce questionnaire sont montrées dans le Tab. 2, où toutes les réponses sont synthétisées en 10 catégories.

A partir de ces premiers résultats, on peut constater qu'il faut améliorer la qualité technique de l'application et fournir plus de documentation, ainsi qu'un travail de préparation. De plus, les étudiants souhaitent plus de travail collaboratif. Concernant les points positifs, les étudiants ont apprécié le concept de jeu, l'IHM grâce au retour vidéo et le contrôle à distance des instruments.

TABLE 2 – Réponse des étudiants (notes allant de 1 à 5)

Critère évalué	score	é.t.	bilan
Qualité de l'interaction avec l'IHM	2.3	1.96	+
Qualité technique de la plate-forme	2.9	2.67	±
Intérêt du concept de jeu	2.3	2.16	+
Efficacité pédagogique	2.1	2.03	+
Préparation, Documentation et Prérequis	3	2.67	±
Intérêt du contrôle d'appareils à distance	2.2	3.57	+
Elimination des contraintes spatio-temporelles	1.9	2.9	++
Travail collaboratif	3.0	2.93	±
Demande d'autonomie	2.2	1.62	+
Satisfaction globale	2.46	1.78	+

Mais par dessus tout, ils ont aimé pouvoir travailler en dehors des contraintes spatio-temporelles habituelles.

Evidemment, une évaluation plus pointue est nécessaire pour juger cette application, que ce soit d'un point de vue technique ou pédagogique. L'année prochaine, les 25 départements de Génie Industriel et Maintenance de France (environ 1000 étudiants) testeront ce prototype ce qui permettra d'avoir un retour statistique plus significatif sur son évaluation.

6 Discussion et travaux futurs

En complément de la formation pratique des techniciens en électronique et automatique, le prototype LaboREM peut être également utilisé par des ingénieurs afin de se former dans les domaines de la conception des circuits électroniques grâce à MultiSim et du traitement de signal grâce à Matlab/Simulink. De plus, de nouveaux plug-in sont envisagés pour d'autres domaines, comme par exemple la mécanique pour l'analyse vibratoire des systèmes amortis. Une autre application de la plate-forme LaboREM consiste dans son usage pour des activités de recherche appliquée, notamment dans le cas de laboratoires de recherche géographiquement éloignés pour le pilotage à distance des manipulations.

Même si le logiciel NI TestStand est pratique pour la construction de séquences d'expérience qui englobent plusieurs pas faisant appel à différentes applications (pour la simulation, le contrôle à distance ou l'interface IHM des QCM) écrites avec différents langages (comme C/C++, LabVIEW, Matlab, Multisim, html, CVI, ActiveX ou Java), nous envisageons d'utiliser à la place un LMS (*Learning Management System*) comme Moo-

dle ou Dokeos. Ce système permettra de gérer plus facilement les sessions des utilisateurs (authentification, gestion de l'activité de la plate-forme, évaluation) et de proposer un travail collaboratif à travers des interfaces média plus riches (messagerie instantanée, communication audio-visuelle, etc) pour reproduire l'activité de TP en binôme.

Concernant l'IHM et les médias enrichis, la communication asynchrone (envoi-réception des données) sera complétée avec l'utilisation d'une caméra motorisée pilotable par l'utilisateur (mode de communication synchrone).

En ce qui concerne la technologie réseau, le prototype LaboREM, basé sur une technique de *reverse proxy*, va évoluer vers une solution plus sécurisée : un VPN sera configuré pour le déploiement de l'application sur le net. Un autre point clé à adresser est l'architecture multi-serveur qui permettra de partager les expériences virtuelles LabVIEW développées par divers universités réparties partout sur Internet.

Remerciements

Les auteurs remercient le Conseil Régional d'Aquitaine pour le support financier, et saluent la mémoire du professeur Mihai-Dan Steriu de l'université de Bucarest (UPB) avec qui ils ont initié ce projet.

Références

- [1] H. Benmohamed, A. Leleve, and P. Prevot. Remote laboratories : new technology and standard based architecture. In *Int. Conf. on Information and Communication Technologies : From theory to applications*, Damas, Syrian Arabic Republic, 2004.
- [2] I. Gustavsson, T. Olsson, H. Aakesson, J. Zackrisson, and L. Haakansson. A remote electronics laboratory for physical experiments using virtual breadboards. In *Proc. of the 2005 ASEE Annual Conf. & Exposition*. American Society for Engineering Education, 2005.
- [3] M.D. Steriu and F. Luthon. Open architecture for signal processing lab distance learning. In *4th IEEE Digital Signal Processing Education Workshop (DSP'06)*, pages 305–310, Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, Sep. 24-27 2006.
- [4] D. Grimaldi and S. Rapuano. Hardware and software to design virtual laboratory for education in instrumentation and measurement. *Measurement*, 2008.
- [5] Z. Dvir. Web-based remote digital signal processing (DSP) laboratory using the Integrated Learning Methodology (ILM). IEEE, 2003.
- [6] M. Duarte, B.P. Butz, S.M. Miller, and A. Mahalingam. An intelligent universal virtual laboratory (UVL). *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :2–9, February 2008.
- [7] R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sanchez, S. Dormido-Canto, G. Farias, F. Esquembre, and S. Dormido. Development of a web-based control laboratory for automation technicians : the three-tank system. *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :35–44, February 2008.
- [8] D. Gurkan, A. Mickelson, and D. Benhaddou. Remote laboratories for optical circuits. *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :53–60, February 2008.
- [9] J. Machotka and Z. Nedic. The remote laboratory NetLab for teaching engineering courses. *Global J. of Engng. Educ.*, 10(2) :205–212, 2006.
- [10] J. V. Nickerson, J. E. Corter, S. K. Esche, and C. Chassapis. A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education. *Computers & Education*, 49 :708–725, 2007.
- [11] G. Tokdemir and S. Bilgen. Remote lab effectiveness assessment model. In *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM'08)*. IEEE, 2008.
- [12] H. Hasnin and M. Z. Abdullah. Remote Lab Generator (RLGen) : a Software Tool Using Auto-Generating Technique to Develop a Remote Lab. *iJOE*, 3(4), 2007.
- [13] H-D. Wuttke, K. Henke, and Nadine Ludwig. Remote labs versus virtual labs for teaching digital system design. In *Int. Conf. on Computer Systems and Technologies (CompSysTech'05)*, pages IV.2–1 ;IV.2–6, 2005.
- [14] S. Urana and K. Jezernik. Virtual laboratory for creative control design experiments. *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :69–75, February 2008.
- [15] F. Milano, L. Vanfretti, and J.C. Morataya. An open source power system virtual laboratory : the PAST case and experience. *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :17–23, February 2008.
- [16] R. Cedazo, D. Lopez, F. M. Sanchez, and J. M. Sebastian. Ciclope : FOSS for developing and manufacturing educational web laboratories. *IEEE Trans. on Education*, 50(4) :352–359, November 2007.
- [17] J.S. Heh, J.C. Chang, S.C. Li, and M. Chang. Providing students hints and detecting mistakes made by students in a virtual experiment environment. *IEEE Trans. on Education*, 51(1) :61–68, February 2008.
- [18] T. Wolf. Assessing student learning in a virtual laboratory environment. *IEEE Trans. on Education*, 53(2) :216–222, May 2010.
- [19] M. Pivec and P. Kearney. Games for learning and learning from games. *Informatics*, 31 :419–423, 2007.