

Cartable distant : un environnement numérique complet pour l'enseignement pratique à distance

Culture Sciences
de l'Ingénieur

Bastien VINCKE - Bruno DARRACQ - Sergio RODRIGUEZ
Roger REYNAUD - Benoit TONNERRE

Édité le
06/04/2021

école
normale
supérieure
paris-saclay

Cette ressource est issue d'une publication du numéro 101 de La Revue 3EI de juillet 2020. Bastien Vincke, Bruno Darracq, Sergio Rodriguez et Roger Reynaud sont enseignants au département de Mesures Physiques de l'IUT d'Orsay, Benoit Tonnerre est responsable du service informatique de l'IUT d'Orsay.

Fort d'une expérience de 10 ans sur la mise en œuvre d'un cartable numérique, le département Mesures Physiques de l'IUT d'Orsay a mis en place durant le confinement du printemps 2020, une solution numérique (dite «Cartable Distant») ayant permis d'assurer une continuité pédagogique à distance sur des modules à fort contenu expérimental.

L'utilisation combinée d'un serveur de bureaux distants (Apache Guacamole) et d'un outil de classe virtuelle (BigBlueButton) intégré à la plateforme Moodle de l'IUT, a notamment permis aux étudiants de réaliser à distance tous les TP de ces modules, avec du côté de l'équipe enseignante un investissement raisonnable sur l'adaptation des supports pédagogiques.

Cette ressource décrit la solution déployée, en un temps très court, au début de la période de confinement due au COVID-19. Cette solution s'appuie sur l'expérience du cartable numérique déjà en place et inclue une classe virtuelle et un accès distant à des ordinateurs hébergés par l'établissement

1 – Introduction

Les outils pour l'enseignement à distance ont vu leur nombre s'accroître de façon vertigineuse ces dernières années avec l'essor des Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication (NTIC). De nombreuses technologies basées sur des plateformes d'apprentissage en ligne (Moodle, MOOCs,...) permettent aujourd'hui aux apprenants de se former à distance dans de nombreuses disciplines, notamment sur les aspects théoriques. En ce qui concerne la formation pratique sur du contenu expérimental, l'offre en ligne est assez restreinte car d'une part, les modalités techniques de mise à disposition à distance de matériel s'avèrent délicates, et d'autre part les outils permettant d'accompagner l'apprenant pour appréhender à distance la démarche expérimentale (à savoir bien dissocier le monde virtuel de l'internet du monde réel de l'expérimentation en laboratoire) n'étaient pas bien identifiés.

À ce jour, peu de formations scientifiques proposent des apprentissages expérimentaux à distance. En France le dispositif le plus abouti est sans conteste celui mis en place à l'Université de Limoges qui propose des formations scientifiques et technologiques 100% en ligne sur différents niveaux de diplôme (DUT, Licence Générale ou Professionnelle, Master) [1]. Ce dispositif s'est développé à l'international via le projet E-Lives [2] soutenu par l'agence Erasmus et l'entreprise LabsLand qui propose une offre diversifiée de TP distants (Remote Labs) en physique appliquée [3].

D'autres plateformes de TP à distance ont été mises en place dans différentes universités ou écoles d'ingénieur, parfois pour répondre à une problématique d'éloignement des campus. On peut citer, de façon non exhaustive : LaboREM à l'IUT de Bayonne [4], STEEVE à l'ENS Paris-Saclay [5], ou encore la plateforme de l'Institut Mines-Télécom de Brest [6].

À l'IUT d'Orsay, le développement d'une plateforme de TP distants, initiée depuis 2012, s'est longtemps heurtée au problème de l'accès sécurisé au matériel de l'IUT par un grand nombre d'utilisateurs depuis l'extérieur de l'Université. L'approche décrite dans cet article se structure sur la base d'Apache Guacamole qui a facilité en grande partie la mise en place de la solution.

Notre stratégie destinée à permettre aux étudiants d'augmenter leur temps de pratique sur le matériel de l'IUT en dehors des séances académiques, s'était déjà concrétisée par la mise en place depuis 2009 d'un cartable numérique consistant à prêter du matériel bas coût aux étudiants.

La solution décrite dans cet article, déployée en un temps très court au début de la période de confinement due au COVID-19, résulte à la fois de la maturité de notre expérience sur le cartable numérique et les TP distants, et de l'efficacité du service informatique pour la mise en place de technologies numériques elles aussi arrivées à maturité.

2 – Le Cartable Numérique

Avec l'évolution des technologies numériques dans le domaine de l'électronique et de l'instrumentation, il est aujourd'hui possible de réaliser des systèmes portables bas coût intégrant un ensemble complet d'instruments de mesure (oscilloscope, générateur de fonction, multimètre, ...), pilotables et programmables par un ordinateur portable. Tenant compte de cette évolution nous avons proposé, depuis 2009, un système de prêt de matériel à nos étudiants dans le cadre d'un cartable numérique.

2.1 - Objectifs pédagogiques

Notre objectif était de mettre en place des outils permettant aux étudiants de travailler chez eux ou en dehors des salles spécialisées de l'IUT qui sont très occupées. Nous avons souhaité que chaque étudiant dispose d'une carte d'acquisition et puisse emporter dans un système de prêt les cartes filles correspondant à chacun des TPs afin de pouvoir s'exercer par lui-même à la pratique de l'acquisition de données et du langage de programmation graphique LabVIEW.

2.2 - Moyens en œuvre

Notre cartable numérique consiste d'une part à prêter aux étudiants un système instrumenté compact accompagné de cartes d'extension spécifiques au type d'enseignement, et d'autre part à mettre en place une pédagogie cherchant à favoriser la motivation et l'auto-apprentissage.

Depuis 2009, nous prêtons tous les ans plus de 100 modules myDAQ de National Instrument aux étudiants de première année, ce qui leur permet travailler en autonomie sur des cartes personnalisées dédiées à la pédagogie de notre filière (DUT Mesures Physiques).

La figure 1 illustre une partie du matériel développé pour notre cartable numérique.

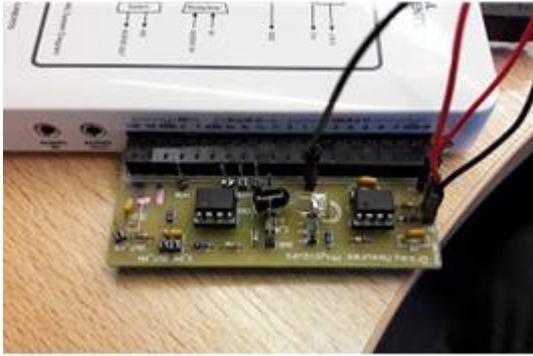


Figure 1 : Exemples de matériel développé dans le cadre du cartable numérique

2.3 - Difficultés rencontrées

La pédagogie associée à notre cartable numérique a été très bien acceptée par les étudiants. L'appropriation du matériel est une étape importante pour l'implication de l'étudiant dans ces modules.

Cependant, en l'état, le cartable numérique demande une gestion coûteuse et complexe du matériel. Il est nécessaire de distribuer le matériel dans le cadre d'une convention de prêt, de réparer le matériel endommagé, d'inventorier le matériel à chaque passage des étudiants. La gestion administrative du cartable ne nous permet pas de généraliser cette solution pour l'ensemble de nos promotions. Enfin, sur un plan financier, il n'est pas envisageable de dupliquer l'intégralité du matériel. Le passage à une grande échelle de la solution cartable numérique n'est pas assuré. La solution nécessite ainsi un support distant pour pallier cette limitation.

3 – Contributions

Fort de notre expérience de cartable numérique, nous proposons une solution incluant une classe virtuelle et un accès distant à des ordinateurs hébergés par l'établissement. Cette solution nous permet, en plus de faire une classe distancielle classique, de réaliser des travaux pratiques sans que l'étudiant n'ait besoin d'avoir le matériel chez lui.

De plus, nous proposons une méthode d'interaction avec le matériel classiquement utilisé lors de travaux pratiques en électronique.

4 – Le Cartable Distant

4.1 - Objectifs pédagogiques

Suite au confinement dû au COVID-19, nous avons synthétisé les besoins pédagogiques que nous souhaitons garder malgré la distance.

Le premier objectif est de pouvoir réaliser un maximum de travaux pratiques à distance. En effet, notre filière est une filière technologique (DUT Mesures Physiques) et nos étudiants réalisent en temps normal 50% de Travaux Pratiques durant leur cursus. Il était donc indispensable de trouver une solution.

Le second objectif est de permettre une pédagogie active à distance. Lors de nos premières classes virtuelles, nous avons eu beaucoup d'étudiants « fantôme » qui étaient connectés mais ne participaient pas aux interventions. Il était donc indispensable de rendre les étudiants actifs lors des classes virtuelles.

Nous aurions pu étendre le cartable numérique en prêtant du matériel à l'ensemble des étudiants. Cependant, cette solution a été vite écartée à cause des problématiques de coût et de gestion du matériel.

Nous avons donc mis en place une solution distante basée sur deux éléments : une classe virtuelle et un accès distant aux machines de notre établissement.

4.2 - Critères de sélection des outils

Afin de sélectionner nos outils, nous avons défini une liste de critères. Nous souhaitons :

- **Pouvoir utiliser du « vrai » matériel** : de nombreuses choses ont pu être réalisées en simulation mais il reste de nombreux domaines où la simulation n'est pas envisageable.
- **Pouvoir interagir avec les étudiants** : nous souhaitons pouvoir interagir selon plusieurs modalités (audio, vidéo, écran partagé).
- **Solutionner le problème d'installation de logiciels** : les étudiants disposent d'un ordinateur bureautique non spécialisé pour les applications pédagogiques. Nous souhaitons favoriser une solution qui réduise considérablement les prérequis matériels.
- **Pouvoir interagir sur le travail de l'étudiant** : lors d'une séance de TP traditionnelle, l'enseignant travaille avec chaque étudiant pour le guider vers la solution. Il nous a paru indispensable de pouvoir reproduire cette action pédagogique.
- **Travailler en petit groupe ou binôme** : les étudiants ont un comportement très différent en petit groupe. Ils ont l'habitude de travailler en binôme en TP et sont beaucoup plus actifs et efficaces dans ces conditions. Nous avons donc cherché à reproduire ce type de modalité de travail en groupe.
- **Avoir un retour d'expérience rapide des étudiants** : en classe traditionnelle, nous avons un retour très rapide des étudiants en les regardant travailler. Il est indispensable de trouver un moyen équivalent à distance.
- **Travailler sur une plage horaire étendue** : nous souhaitons permettre aux étudiants d'approfondir leur travail en dehors des séances dédiées.
- **Données hébergées à l'IUT** : nous souhaitons conserver la propriété et la maîtrise de l'ensemble de nos données en les hébergeant dans notre établissement. De plus, nous souhaitons trouver une solution peu onéreuse et pérenne.

4.3 - Classe virtuelle

Notre premier outil est l'utilitaire BigBlueButton (BBB). Cette solution de classe virtuelle est Open-source et directement intégrée dans la plateforme d'apprentissage Moodle. Elle nécessite cependant un serveur informatique ayant de très bonnes performances.

BBB nous permet de réaliser des classes virtuelles en temps réel. La solution a été testée avec plus de 100 étudiants connectés simultanément. Elle permet de :

- **Diffuser une présentation**, la commenter et l'annoter : la présentation peut être préchargée pour permettre aux utilisateurs ayant des connexions à faible débit de garder un niveau de fonctionnement tout à fait acceptable.
- **Communiquer avec une caméra et un microphone** : il est possible de diffuser un flux audio et vidéo. Lorsque les étudiants sont en nombre important, il n'est pas souhaitable pour eux d'activer leur caméra.
- **Communiquer via un tchat** : les étudiants peuvent poser leurs questions et faire des remarques textuelles via un tchat public visible par l'ensemble des utilisateurs. Les utilisateurs peuvent aussi communiquer sur des canaux de discussion privés.

- **Créer des groupes de travail** : BBB nous permet de créer des salons de travail pour l'ensemble des étudiants. Il est possible de les répartir très simplement (ou de les laisser se répartir) dans des salons. L'enseignant peut ensuite passer de salon en salon pour aider les étudiants et suivre leur avancement.
- **Enregistrer les sessions** : les sessions de travail peuvent être enregistrées puis mises à disposition des étudiants.
- **Réaliser des sondages** : BBB permet de réaliser des sondages très rapidement. Cela nous permet d'avoir un retour très rapide des étudiants. De plus, les sondages peuvent être facilement détournés pour avoir un suivi d'avancement des étudiants. Il est par exemple beaucoup plus efficace de demander de valider le sondage lorsqu'ils ont fini un exercice plutôt que de leur demander d'écrire sur le tchat.

La solution proposée par BBB a de nombreux avantages pour nous : intégration à Moodle, Open-source, etc. Elle répond à l'ensemble des critères que nous avons défini concernant la classe virtuelle.

4.4 - Accès distant

La mise en place de la classe virtuelle nous a permis de retrouver en environnement de salle de classe ainsi que la possibilité de travailler en petits groupes. Il nous restait à trouver une solution permettant aux étudiants d'avoir accès aux matériels et aux logiciels que l'on utilise habituellement.

Nous avons donc mis en place l'utilitaire Apache Guacamole. Cet utilitaire permet de faire un lien entre un client (étudiant) et un ordinateur de l'IUT en utilisant le bureau à distance de Windows ou un serveur VNC sous Linux. Concrètement, l'étudiant, à travers un navigateur web, accédera à la liste de tous les ordinateurs disponibles. Il pourra ensuite se connecter sur l'un d'entre eux et avoir accès au bureau de l'ordinateur comme s'il était en face de l'ordinateur.

Nous avons structuré virtuellement notre serveur exactement de la même manière que la disposition de salles de l'IUT. Les étudiants retrouvent ainsi les mêmes noms de bâtiment et de salles (Figure 2).

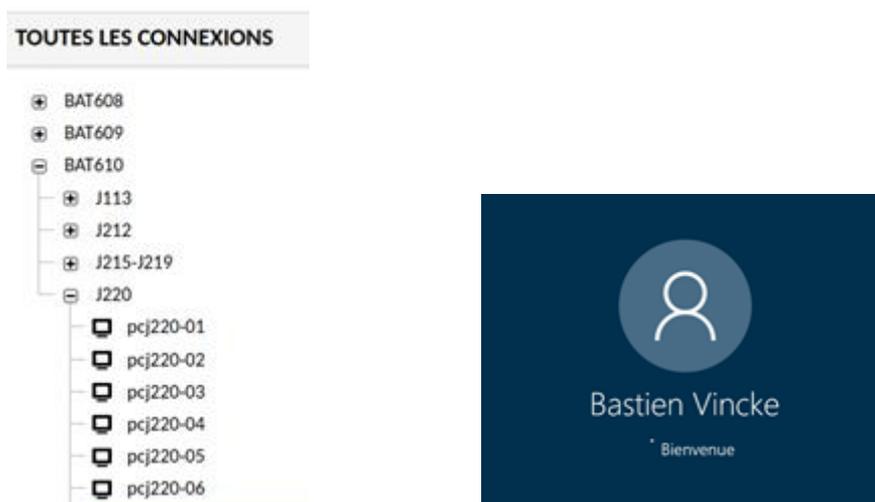


Figure 2 : Notre bâtiment virtuel et le lancement d'une session

Il est donc possible d'accéder via un bureau à distance à l'ensemble des ordinateurs de notre établissement. Il faut cependant que les ordinateurs soient allumés. De plus, le principal avantage a été de pouvoir installer sur les ordinateurs l'ensemble du matériel pédagogique. La Figure 3 illustre une salle de notre établissement durant la période de confinement. On remarque

nos périphériques USB installés sur chaque poste. Les étudiants peuvent donc se connecter sur l'ordinateur et utiliser le matériel connecté.



Figure 3 : Salle de TP accessible à distance avec le matériel installé

Il faut souligner que cette solution permet à l'étudiant d'utiliser l'ensemble des ressources numériques de l'établissement. La solution ne nécessite aucune installation mais uniquement un navigateur web compatible HTML5.

Apache Guacamole permet aussi de partager une même session entre plusieurs utilisateurs. Il est possible pour deux étudiants de partager la même session mais aussi à un enseignant de s'y connecter pour aider les étudiants dans leurs manipulations. En couplant BBB et Guacamole, il est alors possible d'agir sur un même ordinateur tout en dialoguant en audio ou vidéo.

La gestion du matériel a été significativement simplifiée par rapport au cartable numérique. En effet, nous avons dû installer le matériel sur chaque poste et s'assurer que le matériel était en état de fonctionnement. Cette solution permet de se franchir des limitations d'échelle (en coût et en logistique) du cartable numérique.

Concernant la sécurité, Apache Guacamole est connecté sur le système d'authentification de notre établissement (LDAP) pour gérer les accès. Il est ensuite possible de donner des droits évolutifs aux utilisateurs.

Enfin, nous cherchions une solution à bas coût pour cet accès distant. La solution mise en place n'a nécessité que la mise en place d'une machine virtuelle pour héberger Apache Guacamole donc une solution à faible coût.

5 – Architecture de notre cartable distant

La Figure 4 représente l'ensemble de l'architecture informatique et électronique mise en place. On retrouve les éléments suivants :

- **Moodle** : notre plateforme d'apprentissage en ligne (LMS), que les étudiants utilisent quotidiennement, et dans laquelle nous avons inclus notre classe virtuelle (BBB). Cette plateforme contient aussi toutes les ressources pédagogiques nécessaires au bon fonctionnement des enseignements.

- **Apache Guacamole** : un serveur qui permet de mettre à disposition des étudiants et des enseignants les ressources informatiques de l'IUT à distance. Les utilisateurs se connectent par internet directement sur un ordinateur. De plus, cet utilitaire permet de travailler à plusieurs sur un même poste en session partagée.
- **Ordinateurs** : il s'agit des ordinateurs classiques de l'IUT. Nous avons, en plus, ajouté du matériel connecté en USB (cartes myDAQ, Xbee) pour permettre aux étudiants de réaliser leurs travaux pratiques.

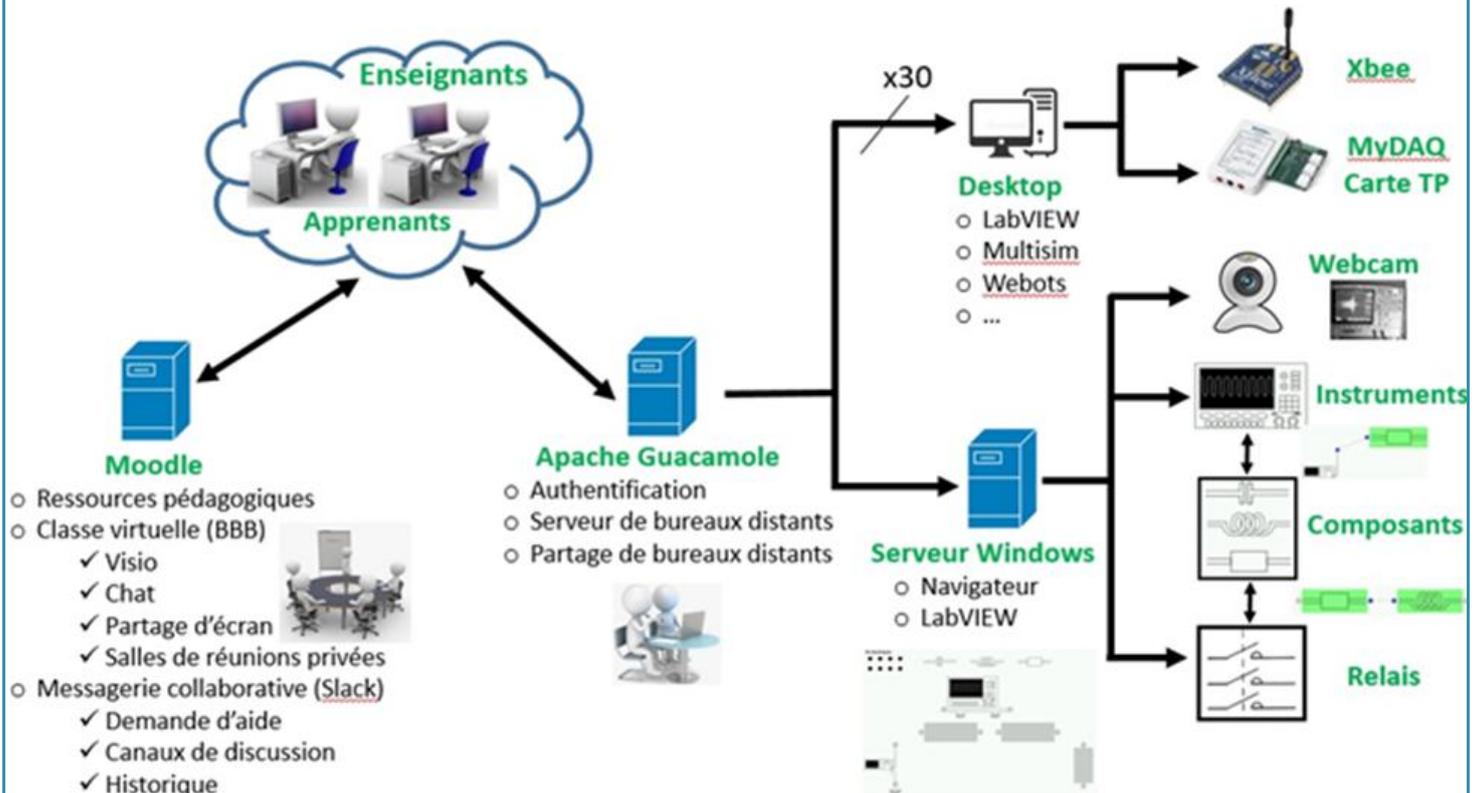


Figure 4 : Architecture du cartable distant

6 – Interaction avec le matériel

Classiquement, lorsque l'on réalise un TP en classe, les étudiants sont amenés à manipuler du matériel. Ils doivent, par exemple, réaliser un câblage électronique. En l'état, avec notre solution distante, il n'est pas possible de manipuler directement le matériel.

Nous avons donc testé une première solution permettant de réaliser le câblage physique à distance. Cette solution est basée sur une matrice de relais qui permet de relier physiquement une série de câbles entre eux. Nous avons câblé les composants nécessaires à la manipulation sur les lignes de notre matrice (dans notre cas une résistance et un condensateur) et les instruments sur les colonnes. Les étudiants peuvent ainsi réaliser le circuit et connecter les instruments au circuit en activant un jeu de relais. La Figure 5 représente l'interface de notre matrice de relais. Il faut souligner que le paramétrage est réalisé de manière physique, à savoir que les étudiants réalisent le circuit à l'aide du réseau de relais et peuvent voir le résultat sur le banc expérimental via une Webcam connectée au réseau. La Figure 6 est une photo prise par cette Webcam positionnée en face du matériel utilisé pour le TP.

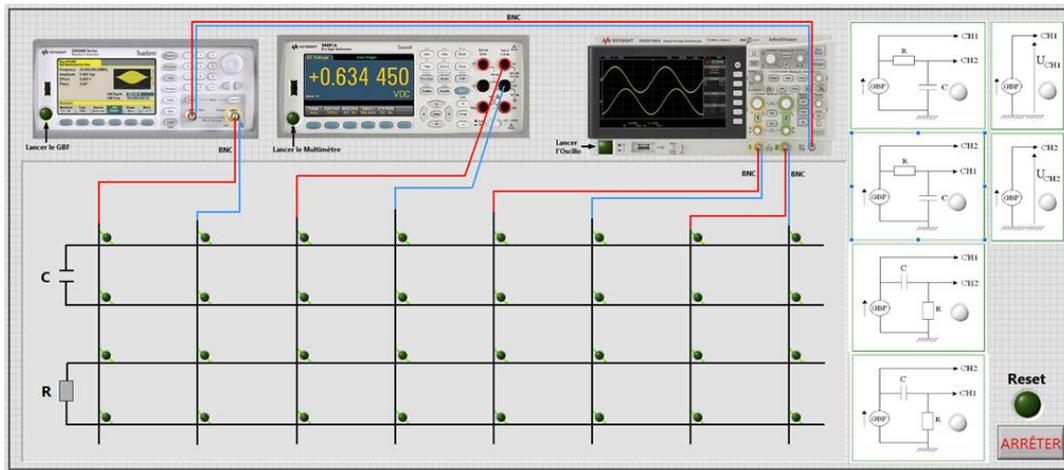


Figure 5 : Interface de paramétrage de la matrice de relais

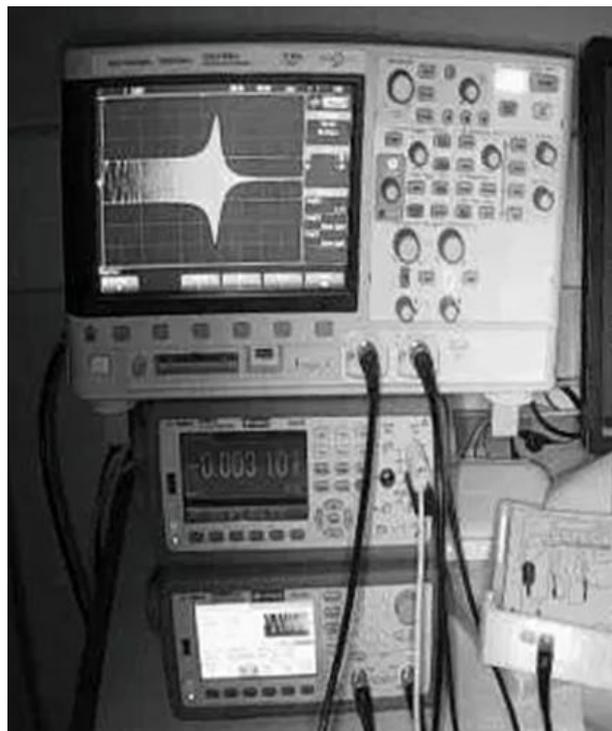


Figure 6 : Manipulation vue par la Webcam

Les possibilités offertes par cette matrice sont très importantes. Nous pouvons réaliser différents types de circuits et effectuer diverses mesures selon les composants et instruments branchés sur la matrice.

Cette solution est en phase de test utilisateurs et nous espérons pouvoir la mettre en production pour les étudiants de première année à partir de la rentrée de septembre.

Cependant la duplication de cette solution pour répondre aux besoins utilisateurs se heurte à un problème de coût. A titre d'exemple, une matrice industrielle contenant 512 relais coûte plus de 4000€. Nous avons donc commencé à développer une solution « maison » qui devrait nous permettre de réaliser ce câblage avec un coût d'environ 1 euro par relais. Notre solution est en cours d'évaluation mais semble prometteuse.

Concernant les instruments de mesure utilisés, nous avons commencé notre projet avec des instruments de mesure compatibles au standard LXI. Les nouveaux instruments disposent d'une interface web compatible HTML5 (voir Figure 7) et sont donc pilotables via un navigateur web. En effet, il n'est pas possible de faire des mesures précises à l'aide d'un retour vidéo de qualité

moyenne. Grâce aux interfaces web, il est tout à fait possible de récupérer les mesures comme si vous étiez en face de vos instruments.



Figure 7 : Exemple de face avant distante

Cette solution est parfaitement fonctionnelle. Elle nécessite par contre, un investissement très coûteux sur l'instrumentation car les instruments compatibles LXI restent chers. De plus, il est nécessaire de connecter l'ensemble de ces instruments aux réseaux de l'établissement. Une solution alternative beaucoup moins coûteuse est de remplacer les instruments LXI par le module myDAQ de National Instruments qui instrumente intègre l'équivalent d'un générateur de fonction, d'un oscilloscope, d'un multimètre, des alimentations ainsi que des entrées/sorties numériques. L'accès distant au MyDAQ permet de mettre à disposition des étudiants l'ensemble du matériel nécessaire à une manipulation.

7 – Retour d'expérience

Concernant les étudiants, il est important de leur faire comprendre qu'ils utilisent de vrais ordinateurs, avec du vrai matériel sur de vraies expériences. Pour cela, il est indispensable de leur envoyer des photos et si possible ajouter des caméras pour montrer aux étudiants les salles et le matériel qu'ils utilisent.

Les étudiants ont été très satisfaits par cette solution. En effet, elle a permis de mettre tous les étudiants sur un pied d'égalité concernant notamment les performances des ordinateurs. Il faut noter que la solution pédagogique ne dépend pas du système d'exploitation installé sur la machine de l'utilisateur car un simple navigateur compatible HTML5 est suffisant, ce qui a grandement facilité la prise en main par les étudiants.

Cette solution a permis à plusieurs étudiants de reprendre le cours des modules d'enseignements durant le confinement.

Nous avons testé la solution avec plus de 50 étudiants connectés sans aucun souci de ralentissement. La charge étant répartie sur les ordinateurs, il n'y a pas de problème de performance. De plus, l'accès via le Bureau Distant de Windows nécessite uniquement 2 Mbit/s de bande passante pour être fluide et satisfaisante à l'utilisation.

Enfin, l'utilisation de salles de réunions privées combinée à l'accès mutualisé à un même ordinateur a permis de reconstituer l'environnement de travail traditionnel des TP en binôme. Cette solution a été massivement plébiscitée par les étudiants lors des travaux pratiques.

8 – Perspectives

Comme nous l'avons présenté, la solution a un faible coût matériel par la réutilisation de moyens déjà présents sur les laboratoires et sous employés en période de confinement. Le coût logiciel est lui aussi limité.

Mais nous aimerions pérenniser cette solution dans deux autres configurations à savoir un fonctionnement hybride (50% de présentiel et 50% de distanciel) et un fonctionnement où cohabiterait 100% de présentiel et un accès distant des TP pour tous les étudiants.

L'hypothèse de base est que les postes de travail sont déjà utilisés en présentiel durant les heures ouvrées de l'IUT. En fonctionnement hybride, plusieurs scénarios peuvent être envisagés. Un premier est d'organiser chaque binôme : un en distanciel et l'autre en présentiel quand la salle est dimensionnée que pour un demi TP (en supposant 4m² par étudiant). La solution reste opérationnelle et l'étudiant présent a en charge les manipulations sur les instruments de mesure. Mais il nous paraît difficile d'intervenir sur l'installation des manipulations afin qu'elles soient accessibles par le cartable distant en soirée et le week-end. D'autres scénarios existent, en particulier le fait d'avoir des journées en présentiel et des journées en distanciel. On peut imposer de mettre les étudiants considérés en distanciel pour le TP dans des salles informatiques sur l'IUT.

Dans un fonctionnement cartable distant en période 'saine', il nous paraît plus judicieux d'investir sur du matériel de type station et serveur dédiés au fonctionnement distant sur lesquels seraient installées des manipulations qui pourraient évoluer en fonction de l'avancement des programmes et de la demande des étudiants. Ces stations ne seraient pas accessibles aux étudiants en présentiel et la maintenance des TP distants en serait réduite.

9 – Conclusion

Nous avons mis en place une solution de bout en bout permettant de réaliser une classe virtuelle ainsi que des travaux pratiques entièrement à distance. Cette solution s'appuie sur deux outils libres : BigBlueButton et Apache Guacamole. Les étudiants peuvent ainsi profiter des ressources de notre établissement en se connectant à distance sur les ordinateurs et en profitant des instruments connectés sur notre réseau ou en USB sur les postes informatiques.

La solution a été très bien adoptée par les étudiants grâce à la simplicité d'utilisation de ces outils. Ils ont pu travailler en groupe sur un même ordinateur tout en échangeant des informations par audio et vidéo. Enfin, cette solution a permis de lisser les difficultés matérielles.

Références :

[1]: P. Leproux, D. Barataud, S. Bailly, R. Nieto, « LABENVI, un dispositif pour les travaux pratiques à distance », Interfaces Numériques vol 2 n°3 (2013),

<https://www.unilim.fr/interfaces-numeriques/2011&file=1> , <https://cvtic.unilim.fr/>

[2]: <https://e-lives.eu/>

[3]: <https://labsland.com/en>

[4]: B. Larroque, F. Luthon. LaboREM, « De vrais TP d'électronique... Oui mais à distance ». Congrès National de la recherche des IUT, Jun 2016, hal-01332258

[5]: F. Louf, H. Horsin Molinaro, « Réaliser des TP à distance avec STEEVE », décembre 2020, https://eduscol.education.fr/sti/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/realiser-des-tp-a-distance-avec-steeve

[6]: P. Maille, « Accompagner et guider à distance des élèves en TP », [https://formations.telecom-bretagne.eu/fad/pluginfile.php/40759/mod_resource/content/0/articles_valides/FicheIPTB_TPR ES.pdf](https://formations.telecom-bretagne.eu/fad/pluginfile.php/40759/mod_resource/content/0/articles_valides/FicheIPTB_TPR_ES.pdf)