

## **THESE**

Pour obtenir le diplôme de

**DOCTORAT ES SCIENCES**

En Génie Électrique

Présentée et Soutenue Par

**ADDA BENATTIA Abderrahmane**

Intitulée

**Plateforme de Télé-TP en Electronique**

**Le 07 Juillet 2020**

**JURY**

<b>Nom &amp; Prénom</b>	<b>Grade &amp; Établissement</b>	<b>Qualité</b>
YAGOUBI Benabdallah	Professeur - Université de Mostaganem	Président
NASRI Djillali	MCA - Université de Tiaret	Examineur
BELARBI Mustapha	MCA - Université de Tiaret	Examineur
BENACHENHOU Abdelhalim	Professeur - Université de Mostaganem	Directeur de Thèse

**Année : 2020**

*"Tell me and I forget, teach me and I may remember, involve me and I learn"*

*Chinese proverb*

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail ...*

*A mes chers parents*

*A mes sœurs, et frères,*

*A mes neveux et nièces*

*A mon fils Othmane*

*A ma femme Wahiba*

## **Remerciements**

Je remercie tout d'abord 'ALLAH' qui m'a donné la volonté et le courage pour accomplir ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements les plus sincères à mon directeur de thèse, Monsieur Abdlehalim BENACHENHOU, Professeur à l'université de Mostaganem, pour avoir suivi mes travaux de thèse, pour la qualité de ses conseils, pour sa disponibilité permanente et pour l'efficacité de ses aides.

J'exprime mes remerciements à Monsieur YAGOUBI Benabdallah, Professeur à l'université de Mostaganem pour l'honneur qu'il me fait d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

J'adresse mes remerciements à Monsieur NASRI Djillali, Maitre de conférences à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, et Monsieur BELARBI Mustapha, Maitre de conférences à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour prendre part au jury comme examinateurs.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du laboratoire LEOG en particulier, les doctorants Mohamed MOUSSA et Ali KHERROUS, les ingénieurs BOUMEHDI Abderrahmane, LARBAOUI Kheira, et l'étudiant en Master Abdelhamid MEBROUKA, pour leur présence et leur aide au bon déroulement des expérimentations, je leur souhaite bonne chance dans leurs travaux.

Je tiens à remercier également mes collègues à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour leurs soutient et encouragements, je leur souhaite bon courage.

Qu'ils trouvent, ici, ainsi que toute personne qui a contribué à l'achèvement des travaux de cette thèse, directement ou indirectement, l'expression de mes sincère gratitude.

Enfin, mes remerciements s'adressent à ma grande et ma petite famille pour leur soutient quotidien, particulièrement mes parents, mes frères et sœurs et notamment ma femme pour sa patience durant ces années.

## Résumé

Les travaux pratiques représentent une composante obligatoire de l'apprentissage, pour les spécialités scientifiques et techniques. Cependant, la mise en œuvre de ces travaux pratiques dans des salles de TP intra-campus nécessite des équipements et des installations coûteuses pour les universités et cela relativement avec à la forte augmentation du nombre d'étudiants.

Dans ce contexte, les laboratoires distants ('Remote Laboratory') représentent une solution à moindre cout pour garantir l'accès à l'activité pratique à travers des infrastructures partagées à grande échelle. Durant de la dernière décennie, de nombreux travaux de recherche ont émergé pour traiter les problématiques techniques induites par ces nouvelles pratiques, à l'instar de la réutilisabilité des ressources, la fédération des laboratoires, la standardisation des protocoles de développement, le management d'accès aux ressources. En effet, l'aspect pédagogique lié à l'environnement d'apprentissage attire beaucoup d'attention par l'adaptation par de nouveaux scenarios pédagogiques et les méthodes d'évaluation et notamment l'évaluation automatique et par les pairs.

Dans cette optique, nos travaux de recherche exploitent les traces des activités réalisées par les étudiants lors de sessions de laboratoire pour analyser les performances techniques du laboratoire à savoir le niveau de partage, le temps de réaction, le max de manipulation en parallèle. De plus, nous analysons l'utilisabilité du laboratoire à travers un questionnaire approprié donné aux étudiants vers la fin du semestre.

À partir de la littérature, nous identifions dans un premier temps un ensemble de critères pour concevoir notre laboratoire à distance. En s'appuyant sur une architecture en 03-tiers, nous avons ensuite réalisé notre laboratoire distant pour l'enseignement de l'Electronique de base pour le premier cycle universitaire. L'accès et la manipulation se fait de manière transparente pour l'étudiant. Cependant, notre laboratoire adopte des techniques pédagogiques comme la personnalisation des tests et l'évaluation automatique ; d'un autre côté, l'intégration dans Moodle LMS, offre aux étudiants des outils de collaboration, de communication et de réflexion.

Après plusieurs expérimentations réelles, notre laboratoire distant montre une évaluation positive par les étudiants en termes d'utilisabilité, qu'ils s'appuient de manière significative sur notre stratégie de partage, la technique d'accès et la méthode d'évaluation.

De plus, ces expérimentations montrent l'existence d'une certaine corrélation entre le nombre maximal d'utilisateur en parallèle et le nombre de rigs à présenter dans une tranche horaire bien

déterminée. Ce qui nous permet de dimensionner notre laboratoire pour faire face à un nombre donné d'étudiants.

Ces premiers résultats nous permettent d'affirmer que les approches techniques et pédagogiques adoptés sont un levier à garantir la performance désirée de notre laboratoire distant. Ils nous invitent à confronter notre approche à d'autres type d'expérimentation dans d'autres spécialités, mais aussi à intégrer de nouvelles stratégies d'accès comme le smart booking ou avec ordonnancement pour approfondir nos analyses de performance et ainsi renforcer nos contributions à une meilleure mise en œuvre d'une activité pratique dans un environnement d'apprentissage à distance.

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire d'Electromagnétisme et Optique Guidée-LEOG, présente une application dans le projet de recherche "Fédération de laboratoires à distance".

***Mots-clés*** : *Laboratoire à distance ; TP reconfigurable ; Evaluation automatique ; Open hardware ; Télé-TP ; Utilisabilité.*

## **Abstract**

Practical works are a compulsory component of learning for scientific and technical specialties. However, the implementation of this practical work in intra-campus labs requires expensive equipment and facilities for universities and this relatively with the sharp increase in the number of students.

In this context, Remote Labs are a cheaper solution to ensure access to the practical activity through large scale shared infrastructures. During the last decade, many research works have emerged to deal with the technical problems induced by these new practices, like the reusability of resources, the federation of laboratories, the standardization of development protocols, and the management of access to resources. Indeed, the pedagogical aspect related to the learning environment attracts a lot of attention through adaptation with new teaching scenarios and evaluation methods, including automatic and peer evaluation.

In this perspective, our research exploits the traces of the activities carried out by students during laboratory sessions to analyze the technical performance of the laboratory namely the level of sharing, the reaction time, and the max of manipulation in parallel. In addition, we analyze the usability of the laboratory through an appropriate questionnaire given to students towards the end of the semester.

From the literature, we first identify a set of criteria to design our laboratory remotely. Building on architecture in 03-layers, we then realized our distant laboratory for the teaching of Basic Electronics for undergraduate studies. Access and manipulation is done transparently for the student. However, our laboratory adopts teaching techniques such as test customization and automatic evaluation; on the other hand, integration into Moodle LMS provides students with tools for collaboration, communication and reflection.

After several real experiments, our remote laboratory shows a positive evaluation by the students in terms of usability, that they rely significantly on our sharing strategy, the access technique and the evaluation method.

In addition, these experiments show the existence of a certain correlation between the maximum number of users in parallel and the number of rigs to present in a well-defined time slot. This allows us to size our laboratory to deal with a given number of students.

These first results allow us to affirm that the adopted technical and pedagogical approaches are a lever to guarantee the desired performance of our remote laboratory. They invite us to compare our approach to other types of experimentation in other specialties, but also to integrate new access strategy such as smart booking or scheduling to deepen our performance analysis and

thus strengthen our contributions to better implementation of a practical activity in a distance learning environment.

This work was carried out within the Electromagnetism and Guided Optics laboratory - LEOG- presents an application in the research project "Federation of remote laboratories".

**Keywords:** *Remote Laboratory; Reconfigurable PW; Automatic assessment; Open hardware; Remote-PW; Usability.*

## ملخص

العمل التطبيقي هو عنصر إلزامي لتعلم التخصصات العلمية والتقنية. و مع ذلك، فإن تنفيذ هذا العمل التطبيقي في المخابر داخل المؤسسات الجامعية يتطلب معدات ومنشآت باهظة التكلفة للجامعات وهذا نسبياً مع الزيادة الحادة في عدد الطلاب.

في هذا السياق ، تعد "المختبرات عن بُعد" حلاً أرخص لضمان الوصول إلى النشاط التطبيقي من خلال بنى تحتية مشتركة على أوسع النطاق. خلال العقد الماضي، برزت العديد من الأعمال البحثية للتعامل مع المشكلات التقنية الناجمة عن هذه الممارسات الجديدة، مثل إعادة استخدام الموارد، واتحاد المختبرات، وتوحيد بروتوكولات التطوير، وإدارة الوصول إلى الموارد. في الواقع ، فإن الجانب التربوي المتعلق بيئة التعلم يجذب الكثير من الاهتمام من خلال التكيف مع سيناريوهات التدريس وطرق التقييم الجديدة ، بما في ذلك التقييم التلقائي وتقييم الأقران.

في هذا المنظور، يستغل بحثنا آثار الأنشطة التي قام بها الطلاب خلال جلسات المختبر لتحليل الأداء الفني للمختبر، أي مستوى المشاركة، وزمن التفاعل، والحد الأقصى للمعالجة على التوازي. بالإضافة إلى ذلك، نقوم بتحليل قابلية استخدام المختبر من خلال استبيان مناسب يتم تقديمه للطلاب في نهاية الفصل الدراسي.

من خلال المنشورات البحثية، حددنا أولاً مجموعة من المعايير لتصميم مختبرنا عن بُعد. بناء على تصميم هندسي من 03 مستويات، ثم أنجزنا مختبرنا البعيد لتدريس الإلكترونيات الأساسية للدراسات الجامعية. يتم الوصول والتفاعل بشفافية للطلاب. ومع ذلك، يعتمد مختبرنا تقنيات التدريس مثل تخصيص الاختبار والتقييم التلقائي؛ من ناحية أخرى، يوفر الاندماج في Moodle LMS للطلاب أدوات للتعاون والتواصل والتفكير.

بعد عدة تجارب حقيقية، يُظهر مختبرنا عن بُعد تقييمًا إيجابيًا من قبل الطلاب من حيث قابليته للاستخدام، حيث يعتمدون بشكل كبير على استراتيجية المشاركة وتقنية الوصول وطريقة التقييم.

بالإضافة إلى ذلك، تُظهر هذه التجارب وجود علاقة معيّنة بين الحد الأقصى لعدد المستخدمين بشكل متوازٍ وعدد منصات العمل التطبيقي الموجودة في فترة زمنية محددة جيدًا. هذا يسمح لنا بحجم مختبرنا للتعامل مع عدد معين من الطلاب.

تتيح لنا هذه النتائج الأولى التأكيد على أن الأساليب الفنية والتربوية المعتمدة هي وسيلة لضمان الأداء المطلوب لمختبرنا عن بُعد. يدعونا لمقارنة نهجنا مع أنواع أخرى من التجارب في تخصصات أخرى، ولكن أيضًا لدمج

استراتيجية الوصول الجديدة مثل الحجز الذكي أو الجدولة لتعميق تحليل أدائنا وبالتالي تعزيز مساهماتنا في تنفيذ أفضل لنشاط عملي في التعلم عن بعد بيئة.

تم تنفيذ هذا العمل داخل مختبر الكهرومغناطيسية والبصريات الموجهة - LEOG - يقدم تطبيقًا في مشروع بحثي "اتحاد المختبرات عن بُعد".

**الكلمات المفتاحية:** مختبر عن بعد، إعادة تشكيل أ.ت، التقييم التلقائي، أجهزة مفتوحة، أ.ت عن بعد، الاستخدامية.

## Table des matières

Résumé .....	i
Abstract.....	iii
ملخص .....	v
Liste des figures.....	xi
Liste des tableaux .....	xiii
Liste des Acronymes .....	xiv
Introduction Générale .....	1
<b>Chapitre I : Etat de l’art sur les Laboratoires à distance</b>	<b>7</b>
1. Introduction .....	7
2. Spécification des travaux pratiques dans la formation en ingénierie .....	7
2.1 La composante de travaux pratiques dans la formation en ingénierie .....	7
2.2 Laboratoire de travaux pratiques .....	7
2.3 Expérimentation : Activité de Travaux Pratiques .....	8
2.3.1 Les objectifs pédagogique d’un TP .....	8
2.3.2 Limites des TP classiques (contraintes et challenges).....	10
3. Laboratoires virtuels et distants .....	10
3.1 Intérêts des Laboratoires virtuels .....	11
3.2 Laboratoire virtuel versus laboratoires classique.....	12
3.3 Les laboratoires distants ( <i>Remote Laboratory</i> ).....	13
3.3.1 Expérimentation à distance : Télé TP .....	13
3.3.2 Avantages des Télé TP .....	14
3.3.3 Limites de Télé TP .....	14
3.4 Modèles pédagogique pour les travaux pratiques .....	15
3.5 Environnement d’apprentissage pour les laboratoires distants .....	17
4. Nouvelles pratiques de manipulation dans les TPs à distance.....	17
4.1 Support technique aux interactions entre acteurs et ressources de laboratoires .....	17
4.2 Interactions sociales entre les pairs .....	18

4.2.1	Besoins pour les interactions sociales (socioconstructivisme).....	18
4.2.2	Motivation personnelle et sociale.....	19
4.3	Nouvelles pratiques pendant et après l’activité .....	20
4.4	Allocation des sessions de TP.....	20
5.	Synthèse des Laboratoires à Distance existants .....	22
5.1	Le modèle d’analyse .....	22
5.2	NetLab.....	23
5.3	Le projet WebLab-deusto .....	24
5.3.1	Architecture (Structure globale).....	24
5.3.2	Architecture logicielle .....	25
5.3.3	Fonctions avancées de WebLab-Deusto.....	26
5.4	Le projet Lila.....	28
5.5	Le projet Go-Lab.....	29
5.6	Le projet iLab.....	30
5.7	Le projet Labshare - SAHARA.....	32
6.	Conclusion.....	33

## **Chapitre II : Conception du Laboratoire à Distance 35**

1.	Introduction .....	35
2.	Motivation de recherche .....	35
2.1	Contexte de recherche.....	35
2.2	Contexte des travaux pratiques .....	36
2.3	Développement du laboratoire.....	36
3.	Conception du laboratoire .....	37
3.1	Généralités .....	37
3.2	Partie matérielle du laboratoire.....	38
3.2.1	Le dispositif de commutation .....	39
3.2.2	La carte modulaire de TP.....	44
3.3	Architecture logicielle globale.....	45

3.4	Gestionnaire du dispositif de commutation (Serveur de manipulations).....	46
3.4.1	Arduino.....	46
3.4.2	Pcduino.....	46
3.4.3	Raspberry pi.....	48
3.4.4	Redpitaya.....	50
3.4.5	Outils de développement et critère de choix.....	50
3.5	Intégration dans l'environnement d'apprentissage (Moodle LMS).....	52
3.5.1	Accès aux ressources partagées.....	52
3.5.2	Services pédagogiques.....	54
3.5.3	L'interface utilisateur.....	58
3.5.4	Outils d'implémentation.....	59
3.5.5	Mise en place d'une expérimentation.....	60
4.	Traçabilité des activités.....	60
4.1	Gestion des traces.....	60
4.2	Gestion des interactions.....	61
4.3	Analyse de données.....	62
5.	Conclusion.....	62
<b>Chapitre III : Mise en œuvre du laboratoire à distance</b>		<b>64</b>
1.	Introduction.....	64
2.	Etude de cas d'utilisation du laboratoire.....	64
2.1	Contexte d'utilisation.....	64
2.1.1	Public cible et contexte pédagogique (objectif du TP).....	64
2.1.2	Éléments techniques.....	65
2.1.3	Scénario pédagogique.....	68
2.1.4	Allocation des sessions de TP.....	69
2.1.5	Durée de manipulation.....	69
2.1.6	Utilité de l'interface Web.....	70
2.2	Conception et protocole expérimental (mode opératoire).....	72

2.2.1	Protocole expérimental #1 .....	73
2.2.2	Protocole expérimental #2 .....	75
2.2.3	Protocole expérimental #3 .....	77
2.2.4	Protocole expérimental #4 .....	80
3.	Analyse des traces de manipulations .....	82
3.1	Traces techniques .....	82
3.2	Traçabilité LMS .....	83
3.3	Résultats des protocoles expérimentaux .....	84
3.3.1	Résultats du protocole #1 .....	84
3.3.2	Résultats du protocole #2 .....	84
3.3.3	Résultats du protocole #3 .....	85
3.3.4	Résultats du protocole #4 .....	87
4.	Etude de l'utilisabilité du laboratoire .....	90
4.1	Système d'échelle d'utilisabilité (SUS) .....	90
4.2	Implémentation et résultats du SUS .....	90
5.	Evaluation des performances du laboratoire .....	94
5.1	Méthodes d'accès au laboratoire .....	94
5.2	Temps d'exécution (durée des manipulations) .....	94
5.3	Partage d'expérimentations .....	95
5.4	Analyse du score d'utilisabilité .....	96
6.	Conclusion .....	97
	Conclusion Générale .....	99
	Annexes .....	101
	Références bibliographiques .....	109

## Liste des figures

Figure 1.1 Concept d'un Laboratoire virtuel .....	11
Figure 1.2 Méthode pédagogique des 5E .....	15
Figure 1.3. Architecture globale LMS Netlab .....	23
Figure 1.4. La plateforme NetLab2 (2015) et l'interface utilisateur .....	23
Figure 1.5. Architecture de Weblab Deusto .....	26
Figure 1.6. Fédération de laboratoires avec WebLab-Deusto .....	27
Figure 1.7 Architecture du projet Lila .....	28
Figure 1.8 Portail Go-Lab et le laboratoire circuit électrique.....	29
Figure 1.9. Composant ISA: Service Broker, Serveur de laboratoire et client du laboratoire .	30
Figure 1.10. Mode d'expérience (a) interactive, (b) batch. ....	31
Figure 1.11 Architecture du Labshare - Sahara.....	32
Figure 2.1 Diagramme de déroulement d'expérimentation.....	38
Figure 2.2 Architecture matérielle globale .....	39
Figure 2.3 Dispositif de commutation enfichable .....	40
Figure 2.4 Dispositif de commutation branchée par nappe .....	41
Figure 2.5 Dispositif de Commutation à base de Relais .....	42
Figure 2.6 Dispositif de Commutation à base de Relais commandée par PcDuino .....	43
Figure 2.7 Dispositif de Commutation enfichable sur Raspberry Pi B+ .....	44
Figure 2.8 Carte de TP diodes .....	45
Figure 2.9 Architectute logicielle globale .....	45
Figure 2.10 PcDuino v1 .....	47
Figure 2.11 Raspberry 3B+ .....	48
Figure 2.12 Fragment du code du serveur en JavaScript.....	49
Figure 2.13 Redpitaya .....	50
Figure 2.14 Communication Client-Serveur par webSocket.....	52
Figure 2.15 Accès indirect aux ressources .....	53
Figure 2.16 Accès concurrent et synchronisé aux ressources partagées .....	53
Figure 2.17 TP Amplificateur Opérationnel avec plusieurs variantes.....	54
Figure 2.18 Création de questions dans une catégorie sous Moodle.....	55
Figure 2.19 Edition d'une question numérique sous Moodle.....	55
Figure 2.20 Prévisualisation de la question du test .....	56
Figure 2.21 Réglage des réponses imbriquées dans le test.....	57
Figure 2.22 Interface web utilisateur pour une expérimentation.....	58

Figure 2.23 Interface de manipulation mobile.....	59
Figure 2.24 Modèle de trace : Exemple TP diode .....	61
Figure 2.25 Interactions entre les composants du laboratoire .....	62
Figure 3.1 Déploiement des composantes logicielles.....	65
Figure 3.2 Interface utilisateur avec circuit pré-câblé .....	71
Figure 3.3 Interface de manipulation avec réponses imbriquées.....	71
Figure 3.4 Interface de résultats de l'évaluation par les pairs .....	72
Figure 3.5 Interface de manipulation diviseur de tension .....	74
Figure 3.6 Interface de manipulation diviseur de courant .....	74
Figure 3.7 Compte rendu du TP1 .....	75
Figure 3.8 Interface de manipulation TP2 .....	76
Figure 3.9 Compte rendu du TP2 .....	77
Figure 3.10 Maquette de TP3 – Diodes.....	78
Figure 3.11 Compte rendu d'étudiant du TP3 .....	78
Figure 3.12 Interface de manipulation TP3 - Caractéristique I(V) de diode.....	79
Figure 3.13 Interface de TP Caractéristiques des signaux.....	80
Figure 3.14 Déploiement des RedPitaya (Oscilloscope).....	81
Figure 3.15 Compte rendu d'étudiant du TP4 .....	82
Figure 3.16 Affichage de données synthétisées.....	83
Figure 3.17 Nombre de tentatives par étudiant.....	83
Figure 3.18 Taux des durées de manipulation par jour (TP1).....	84
Figure 3.19 Résultats protocole 2 - Maximum d'étudiants en parallèle par heure .....	85
Figure 3.20 Résultats protocole 2 – Taux des durées des manipulations par jour .....	85
Figure 3.21 Résultats TP3 – Maximum de charge du laboratoire par heure sur 24h .....	86
Figure 3.22 Résultats TP3 - Maximum d'étudiants travaillant en parallèle par heure / jour ...	87
Figure 3.23 Maximum des durées de manipulation par jour - TP4.....	87
Figure 3.24 Moyenne des durées de manipulation par jour - TP4 .....	88
Figure 3.25 Moyenne des durées de manipulation par tranches horaires - TP4.....	88
Figure 3.26 Maximum des durées de manipulation par tranches horaires - TP4 .....	89
Figure 3.27 Taux d'occupation des maquettes de TP - TP4.....	89
Figure 3.28 Données personnelles à remplir .....	91
Figure 3.29 Questions du système SUS .....	92
Figure 3.30 Résultats bruts du SUS sous forme numériques .....	93
Figure 3.31 Résultats traités du système SUS sous forme numériques.....	93

Figure 3.32 Résultats du questionnaire sous forme graphique .....	94
Figure 3.33 Répartition des durées de manipulation / TP3 .....	95
Figure 3.34 Nombre maximal des étudiants en parallèle par heure .....	96
Figure 3.35 Pourcentage de la charge du laboratoire pour les 03 TP .....	96

### **Liste des tableaux**

Tableau 1.1 Les cinq (05) phases de la méthode des 5E. ....	16
Tableau 1.2. Critères d'analyse des projets de Laboratoire à Distance .....	22
Tableau 3.1 Données techniques des équipements du laboratoire .....	65
Tableau 3.2 Contexte technique .....	68
Tableau 3.3 Capacités techniques du laboratoire .....	86
Tableau 4.4 Résultats de la répartition des durées de manipulation par TP .....	95
Tableau 3.5 Analyse du score SUS .....	97

## Liste des Acronymes

Acronyme	Désignation
ABET	Acceditation Board for Engineering and Technologie
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AJX	Asynchronous JavaScript and XML
CSS	Cascading Style Sheets.
DC	Dispositif de commutation.
DPDT	Double Pole Double Throw.
DPST	Double Pole Single Throw.
5E	Engagement, Exploration, Explication, Elaboration et Evaluation
FPGA	Field programmable Gate Array: Circuits logiques programmables
GBF	Générateur Basse Fréquence.
Go-Lab	Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School
GPIB	General Purpose Interface Bus.
GPIO	General Purpose Input Output
GUI	Graphical User Interface.
HTML	HyperText Markup Language.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol.
ILS	Inquiry Learning Space: Espace d'apprentissage exploratoire structuré
IMS-LTI	Instructional Management Systems - Learning Tools Interoperability
IP	Internet Protocol
ISA	iLab Shared Architecture
ISILAB	Internet Shared Instrumentation Laboratory
IVI	Interchangeable Virtual Instrument.
JS	JavaScript
LAN	Local Area Network.
Led	Light Emitting Diode: diode electro-luminescente
LiLa	Library of Labs : bibliothèque de laboratoires
LMS	Learning Management System
LXI	LAN-based eXtensions for Instrumentation.
MIT	Massachuset Institute of Technology
MOOC	Massive Open Online Courses

Moodle	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
NI-EIVIS	National Instrument Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite.
PCB	Printed Circuit Board: Circuit imprimé
PDA	Personal Digital Assistant.
PHP	Hypertext Preprocessor.
PW	Practical Work.
Rig	Maquette de TP
RL	Remote Laboratory : Laboratoire à distance
RLMS	Remote Laboratory Management System : Système de gestion de laboratoires à distance
RMS	Root Mean Square: Valeur efficace
RS232	Serial Port
SCPI	Standard Command for programmable instrument
SPDT	Single Pole Double Throw
SPI	Serial Peripheral Interface
SPST	Single Pole Single Throw
STEM	Sciences, Technologies, Engineering, Mathématiques
SUS	System Usability Scale : Système d'échelle d'utilisabilité
SVG	Scalable Vector Graphic : Dessin vectoriel
TCP	Transmission Control Protocol
TP	Travaux pratiques
Télé-TP	TP à distance
TIC	Technologie de l'Information et de la Communication.
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter.
UDP	User Datagram Protocol.
URL	Uniform Resource Locator
USB	Universal Serial Bus.
VISIR	Virtual Instrument Systems in Reality.
VXI	VME eXtensions for Instrumentation : bus informatique industriel
μC	Microcontrôleur.

## Introduction Générale

### 1. Cadre Scientifique

Les travaux de recherche de la présente thèse ont été réalisés au sein du Laboratoire Electromagnétisme et Optique Guidée (LEOG), à l'université de Mostaganem.

Le laboratoire LEOG est composé de 04 équipes de recherche : communication, optique et électromagnétisme, micro-onde, modélisation des signaux aléatoires et applications. Les travaux menés par l'équipe 'communication' couvre essentiellement les 'Remote Lab' ou 'Laboratoires Distants', dont les efforts de recherche portent sur les quelques défis techniques et pédagogiques suivants :

- a) Elaborer une architecture matérielle et logicielle la plus adéquate.
- b) Développer une stratégie d'accès à l'activité pratique afin d'optimiser le temps d'attente en utilisant une liste d'attente intelligente : Smart queuing/booking.
- c) Rentabiliser et mutualiser les équipements existants par l'adoption de technique de multiplexage et par le développement d'interface logiciel optimisant l'interactivité avec les équipements en termes de temps et de fonctionnalités.
- d) Développer des manipulations personnalisées avec des circuits électroniques reconfigurables en utilisant des dispositifs de commutation et des composants électroniques programmables à base de systèmes embarqués.
- e) Développer des scénarios pédagogiques adaptés pour les plateformes LMS en intégrant des techniques de l'évaluation automatique et de l'évaluation par les pairs
- f) La mise en œuvre à grande échelle de ressources matérielles libres.
- g) La gestion des traces de d'accès et d'interactivité avec la plate-forme matérielle en vue de personnaliser l'apprentissage et de dimensionner les futures manipulations.
- h) La conception, le développement de système d'évaluation des performances techniques pour améliorer l'utilisabilité du système dédié à l'apprentissage.

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'inscrivent pleinement dans l'ensemble de ces axes, à l'instar des travaux de thèse de H. Mostefaoui (Mostefaoui, 2017) qui s'était intéressé au développement d'un 'Low Cost Remote Lab' adapté pour une connexion à faible débit.

## 2. Contexte

L'augmentation du nombre d'étudiants dans les établissements de l'enseignement supérieur génère un contexte où les méthodes traditionnelles d'enseignement sont inappropriées pour assurer la montée en échelle.

A titre d'exemple, le nombre d'étudiant de l'université de Mostaganem a beaucoup augmenté durant ces dernières années. Cette augmentation du nombre d'étudiants fait apparaître un besoin d'adaptation de l'enseignement supérieur, dans un contexte où la « formation à distance » s'impose dans l'écosystème de l'enseignement supérieur depuis une dizaine d'années à travers le monde.

Dans ce contexte, la vulgarisation des réseaux de communication filaire et mobiles et la modernisation des équipements utilisés dans les manipulations notamment la connectivité, ont soutenu l'intérêt porté à l'apprentissage à distance et plus particulièrement dans le volet pratique. Actuellement, on assiste à une forte utilisation du e-learning dans l'enseignement supérieur du fait de sa maturité théorique et technique permettant leur exploitation dans différentes situations d'enseignement et d'apprentissage.

Néanmoins, le volet des activités pratiques à distance n'est pas encore très courant bien qu'il représente une composante obligatoire pour l'enseignement des Sciences et Technologies, même avec un grand nombre d'étudiants. De ce fait, délocaliser les travaux pratiques qui se font traditionnellement dans des laboratoires classiques en présentiel, nécessite donc de la mise en ligne de ces laboratoires.

La traçabilité des travaux de recherche sur la mise en ligne de l'apprentissage pratique est traduite par la création de communautés de recherches, des conférences et voir même des revues spécialisées dans les laboratoires à distance virtuels et réels et l'application des nouvelles technologies dans l'enseignement.

Des conférences annuelles sont tenues régulièrement chaque année, comme REV (Remote Engineering and Virtual instrumentation) et EDUCON (Engineering Education Conference), EDULEARN (International Conference on Education and New Learning Technologies). D'autre part, des revues sont spécialisées dans l'application des nouvelles technologies TIC dans l'enseignement, comme iJoe (International Journal of Online Engineering), iJim (International Journal of Interactive Mobile Technologies) et CAE (Computer Application in Education).

Nous avons traité les problématiques inhérentes à la création de laboratoires distants, qui concernent les techniques et stratégies d'accès aux ressources, les solutions logicielles assurant l'interopérabilité entre les différentes composantes qui supportent les accès simultanés à grande échelle, ou encore l'intégration de ces travaux pratiques dans les plateformes LMS comme Moodle.

### **3. Problématiques de recherche**

#### **3.1 Questions de recherche**

Au niveau pédagogique, les activités pratiques représentent une partie essentielle dans l'apprentissage des technologies. Durant ces activités, les apprenants tentent d'identifier les liens entre les concepts théoriques et l'observation du réel à travers la réflexion. Ceci amène les apprenants vers une autonomie dans leurs démarches scientifiques.

Sur le plan technique, l'accès aux ressources est souvent soumis à des contraintes liées avec l'augmentation du nombre des étudiants et la disponibilité du matériel adéquat, ce qui influe amplement sur le coût de manipulation par étudiant.

Sur le plan expérience utilisateur, les télé-TP doivent être réalisés de manière transparente de point de vue de l'étudiant, c'est-à-dire sans complication dans l'accès et la manipulation et sans ajouter des logiciels spécifiques.

D'un point de vue social, et depuis le début de l'ère numérique vers le milieu des années 90', la quantité d'informations importantes disponibles sur Internet impose une pression supplémentaire sur les personnes, qui doivent désormais être constamment mises à jour pour éviter l'isolement culturel et social de la société. Grâce à l'enseignement qui a su englober les changements technologiques actuels en créant de nouveaux environnements d'enseignement à distance, en favorisant les interactions sociales qui représentent le moteur de l'apprentissage et l'évolution même dans un contexte de masse.

A l'instar de ce qui précède, nos questions de recherche peuvent donc être formulées de la manière suivante :

1. Comment développer un environnement d'apprentissage pratique en ligne avec les mêmes contraintes d'un environnement présentiel ?
2. Dans un contexte d'apprentissage en ligne, quel est l'impact technique du partage des équipements du laboratoire sur les pratiques et les performances du laboratoire ?
3. Quel est le rapport entre la montée en échelle et les performances du laboratoire ?

4. Quelle est la stratégie à suivre pour maintenir les performances du laboratoire à un niveau élevé en termes de facilité d'accès aux ressources, de rapidité dans l'interaction avec les dispositifs de manipulation, et de facilité de l'expérience d'utilisation ?

### 3.2 Méthodologie

Dans le but d'apporter des éléments de réponse aux questions précédentes, nous avons suivi la méthodologie de recherche suivante :

- L'analyse des notions élémentaires des laboratoires distants, dans le but d'identifier les difficultés à dégager.
- La définition des éléments nécessaires pour la conception d'un environnement d'apprentissage supportant une composante d'activités pratiques.
- La conception et la réalisation des interfaces web permettant l'accès au laboratoire distant et la manipulation de l'infrastructure matérielles selon des scénarios pédagogiques, avec enregistrement de la traçabilité de toute l'activité.

L'évaluation du laboratoire à distance à travers une série d'expérimentations à distance réalisées au sein du laboratoire distant dans un environnement d'apprentissage réel avec plus de 100 étudiants.

### 4. Innovations et contributions

Nous avons pu regrouper nos contributions qui sont à la fois théoriques et techniques, suivant 04 catégories :

- **La définition de critères techniques pour le développement des laboratoires distant en vue de les standardiser**

En analysant les paramètres techniques liés aux environnements d'enseignement pratique existants, nous proposons une série de critères pour la conception des laboratoires distants qui supportent un apprentissage pratique en masse. Ces critères visent la facilité d'accès, la réutilisation des expérimentations ainsi que la fiabilité de l'expérience utilisateur comme étant des facteurs importants qui déterminent les performances d'un laboratoire à distance.

- **MostaLab, un Laboratoire Distant pour l'apprentissage pratique de l'Electronique**

MostaLab, est un laboratoire distant conçu et développé durant nos travaux, destiné pour l'apprentissage pratique de l'Electronique de base pour des étudiants en premier cycle universitaire. Sa structure assure une mise en œuvre à faible coût, facilement accessible, et permet de personnaliser l'environnement d'apprentissage pour chaque étudiant, en lui réservant les ressources matérielles nécessaires pour réaliser la session de laboratoire.

Nous proposons une approche d'évaluation fondée sur l'évaluation automatique par le système afin de remédier au problème de la masse, ainsi que l'évaluation par les pairs comme un élément pour favoriser les interactions sociales. Ces approches sont intégrées lors de la conception des TPs afin de limiter l'intervention de l'enseignant dans l'évaluation par la suite. Nous proposons également une approche pour analyser la traçabilité des activités du côté étudiant et du côté système afin d'analyser et de mesurer les différents critères de performances du labo (réactivité, fiabilité).

- **Des stratégies pour fiabiliser l'accès aux ressources matérielles**

A l'instar des techniques d'accès aux ressources matérielles basés sur le principe de file d'attente (Queuing) et/ou réservation (Booking), nous avons fondé notre approche d'accès indépendamment de ces deux techniques, en limitant le temps d'exécution des requêtes ainsi que de mobiliser les ressources matérielles uniquement pendant le temps de la requête, et de libérer la maquette de TP pour les autres étudiants en cours de manipulation.

- **Identification de corrélations entre paramètres techniques de TP, et performance du laboratoire**

A travers nos expérimentations, nous avons ciblé l'étude du comportement du laboratoire afin d'analyser les liens potentiels entre les paramètres techniques matériels et logiciels et les résultats de manipulations en termes de fiabilité lors des sessions de laboratoires.

Nous avons pu identifier certains paramètres qui marquent la performance du laboratoire, notamment le temps nécessaire pour exécuter une requête à distance et le nombre d'étudiants travaillant en parallèle sur une seule maquette de TP, ainsi que la tranche horaire la plus sollicitée. Ces paramètres nous permettent de dimensionner notre laboratoire ou bien de décider une éventuelle fédération pour une autre institution hors faisceau horaire (autre pays).

## **5. Organisation du manuscrit**

Le présent manuscrit est structuré en trois chapitres, comme présenté dans la suite :

Le premier chapitre aborde le rôle des TPs dans l'apprentissage des STIM (science, technologie, ingénierie et mathématiques). Il présente la mutation vers les activités pratiques à distance, ses motivations et les nouvelles pratiques pédagogiques qui accompagnent cette mutation. Il présente quelques notions élémentaires sur l'environnement d'apprentissage dans les laboratoires classiques et quelles sont les changements dans les laboratoires distants en termes de conception pédagogique. La deuxième partie du chapitre dresse un état de l'art sur les principaux laboratoires à distance existant actuellement. L'étude porte principalement sur l'identification

des éléments clé selon des critères de chaque laboratoire. Nous présentons ainsi une synthèse permettant de définir les critères à tenir compte dans notre conception afin d'atteindre nos objectifs fixés au préalable.

Le deuxième chapitre, présente notre approche de conception de laboratoire à distance destiné pour l'enseignement pratique de d'électronique. Il décrit l'architecture logicielle et matérielle de notre solution, le scénario pédagogique ainsi que la méthode d'évaluation.

Le troisième chapitre présente quelques exemples de TP réalisés au cours de l'année universitaire 2017-2018, destiné pour des étudiants de premier cycle. La mise en œuvre des TP, la gestion de la traçabilité ainsi que l'évaluation sont présentées.

D'autre part, l'analyse de l'utilisabilité de notre laboratoire à distance est réalisée en utilisant le 'System Usability Scale', ainsi que l'évaluation des performances du laboratoire est réalisée en analysant les fichiers de traçabilité lors des sessions d'activités pratiques, les résultats sont présentés à la fin du chapitre.

## Chapitre I : Etat de l'art sur les Laboratoires à distance

### 1. Introduction

Les travaux pratiques (TP) sont souvent considérés par l'ensemble des enseignants et chercheurs comme une activité pédagogique essentielle, particulièrement pour l'attrait et l'efficacité de l'enseignement scientifique. (Abrahams & Millar, 2008).

(Nersessian, 1991) affirme que « l'expérience pratique est au cœur de l'apprentissage des sciences », que les TP « donnent vie à la science », déclare (Clough, 2002).

Le but du TP ne se limite pas seulement à l'acquisition de connaissances scientifiques, mais également au développement de compétences exploratoires telles que la définition d'hypothèses ou l'interprétation de résultats (Millar, 2004).

Les TP sont définis comme une activité d'apprentissage et d'enseignement engageant les apprenants dans la manipulation d'objets et l'analyse de phénomènes issus de leur manipulation (Bouabid, 2012). Les TP supportent également un apprentissage profond et tendent à soutenir la réflexion (De Jong *et al.*, 2013).

Malgré l'utilisation généralisée de travaux pratiques dans certains pays, son efficacité dans l'enseignement des sciences est encore largement contestée, plusieurs études ayant montré qu'il existait très peu de cas où des travaux pratiques avaient été effectivement mis en œuvre dans des laboratoires ou des salles de classe (Kay, 2014).

### 2. Spécification des travaux pratiques dans la formation en ingénierie

#### 2.1 La composante de travaux pratiques dans la formation en ingénierie

Nous avons trouvé différentes définitions des TP dans la littérature des Sciences de l'Éducation, cette activité d'apprentissage concerne l'engagement des apprenants dans l'observation et la manipulation d'artefacts. Ces artefacts sont considérés parfois comme des objets réels et matériels (Millar, 2004), et parfois comme des dispositifs logiciels/virtuels qui reflètent le comportement d'objets réels (BenMohamed, 2007).

#### 2.2 Laboratoire de travaux pratiques

D'après Larousse<sup>1</sup>, un laboratoire « Local disposé pour faire des recherches scientifiques, des analyses biologiques, des travaux photographiques, des essais industriels, etc. », donc c'est un

---

<sup>1</sup> <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/laboratoire/45786?q=laboratoire>

lieu réel dans lequel un certain nombre d'outils et de ressources sont mis en place pour réaliser des expériences.

Dans le dictionnaire 'Cambridge' : « A room or building with scientific equipment for doing scientific tests or for teaching science, or a place where chemicals or medicines are produced ». »

D'autre part, d'après 'Oxford dictionary', la définition d'un laboratoire est la suivante : "A room or building equipped for scientific experiments, research, or teaching, or for the manufacture of drugs or chemicals."

Le terme « scientific tests/experiments » représente une activité différente par rapport à « recherches scientifiques », du fait que réaliser des expériences scientifiques ne relève pas forcément de la recherche scientifique. Ainsi, pour réaliser un TP, on réalise une expérience ou test scientifique. Aujourd'hui, il est possible de réaliser à distance ces activités, alors que les acteurs sont éloignés géographiquement et les ressources sont allouées de manière dynamique (Venant, 2017).

### **2.3 Expérimentation : Activité de Travaux Pratiques**

L'activité de travaux pratiques s'appuie sur la manipulation de ressources de laboratoire avec des paramètres et conditions contrôlés, elle peut se faire de manière répétitive pour réaliser différentes expériences au sein d'un ou plusieurs laboratoires.

La mise en place de cette manipulation suit différents scénarios selon les objectifs pédagogiques désignés au préalable, qui consiste à faire évoluer les paramètres des ressources librement ou de façon contrôlée, et peuvent être réajustés par l'enseignant et/ou l'apprenant suivant un certain degré de liberté (Bouabid, 2012).

#### **2.3.1 Les objectifs pédagogiques d'un TP**

Selon (Edward, 2002), en dehors de l'utilité et l'efficacité, d'un point de vue scientifique, les objectifs des travaux pratiques se répartissent en quatre grands groupes :

- ✓ L'apprentissage cognitif, qui est souvent expliqué comme l'intégration de la théorie à la pratique.
- ✓ Méthodologie d'enquête comprenant la formation d'hypothèses, la conception expérimentale, la méthodologie et l'évaluation des résultats.
- ✓ Les objectifs professionnels qui incluent la connaissance des pratiques actuelles et l'inculcation de l'éthique professionnelle.

- ✓ Le développement de compétences personnelles telles que la communication, la rédaction de rapports et le travail en équipe.

D'après (Feisel & Rosa, 2005), d'un point de vue formation en ingénierie qui vise à préparer les étudiants à manipuler des forces et des matériaux de la nature, un laboratoire pour les TP cible 13 objectifs, à savoir :

**Instrumentation** : Appliquer les capteurs, l'instrumentation, et/ou les outils logiciels appropriés pour effectuer des mesures de grandeurs physiques.

**Modèles** : Identifier les forces et les limites des modèles théoriques en tant que prédicteurs de comportements réels. Cela peut inclure d'évaluer si une théorie décrit adéquatement un événement et en établissant ou en validant une relation entre les données mesurées et les principes physiques sous-jacents.

**Expérience** : Définir une approche expérimentale, spécifier le matériel et les procédures appropriés, mettre en œuvre ces procédures et interpréter les données obtenues pour caractériser un matériau, un composant ou un système d'ingénierie.

**Analyse des données** : Démontrer la capacité de recueillir, analyser et interpréter les données, et de former et appuyer les conclusions. Faire des jugements d'ordre de grandeur et utiliser des systèmes d'unités de mesure et des conversions.

**Conception** : Concevoir, construire ou assembler une pièce, un produit ou un système, notamment à l'aide de méthodologies, d'équipements ou de matériaux spécifiques ; répondre aux exigences du client ; élaborer des spécifications de système à partir d'exigences ; tester et déboguer un prototype, un système ou un processus en utilisant les outils appropriés pour satisfaire des spécifications.

**Apprendre de l'échec** : Identifiez les résultats infructueux dus à un équipement, de pièces, d'un code, d'une construction, d'un processus ou d'une conception défectueuse, puis rétablir des solutions efficaces.

**Créativité** : Démontrer des niveaux appropriés de pensée indépendante, de créativité et de capacité dans la résolution de problèmes du monde réel.

**Psychomoteur** : Démontrer des compétences dans la sélection, la modification et l'utilisation des outils et des ressources d'ingénierie appropriés.

**Sécurité** : Identifier les problèmes de santé, de sécurité et d'environnement liés aux processus et activités technologiques et les traiter de manière responsable.

**Communication** : Communiquer efficacement sur le travail de laboratoire avec un public spécifique, à la fois oralement et par écrit, à des niveaux allant des résumés analytiques aux rapports techniques complets.

**Travail d'équipe** : Travailler efficacement en équipes, y compris structurer la responsabilité individuelle et conjointe ; attribuer des rôles, des responsabilités et des tâches ; suivre les progrès ; respecter les délais ; et intégrer les contributions individuelles dans un livrable final.

**L'éthique en laboratoire** : Respecter les normes éthiques les plus strictes, y compris en rapportant des informations de manière objective et en interaction avec l'intégrité.

**Sensibilisation sensorielle** : Utilisez les sens humains pour collecter des informations et formuler des jugements techniques judicieux en formulant des conclusions sur des problèmes concrets.

### 2.3.2 Limites des TP classiques (contraintes et challenges)

Il est tout à fait nécessaire de mettre en place des activités de travaux pratiques dans le processus d'apprentissage des sciences ; néanmoins, du point de vue économique, les institutions universitaires sont confrontées à de véritables problèmes pour garantir la disponibilité des ressources de laboratoires. Sachant que pour certaines disciplines, l'investissement par étudiant peut être considérable en termes de ressources humaines et matérielles ; en revanche dans certains cas le matériel est sous utilisé.

De plus, s'ajoute d'autres contraintes liées à la planification des séances de TP dans les locaux appropriés, qui sont partagée parfois entre plusieurs niveaux de formation. D'autre part, le nombre limité des ressources représente une véritable contrainte avec l'augmentation continue du nombre d'étudiant ces dernières années. Cette contrainte peut altérer la qualité de déroulement des sessions de laboratoires, ce qui influe sur l'efficacité du scénario pédagogique et par la suite sur les résultats pédagogiques et sa crédibilité, du fait que peu d'étudiant vont manipuler véritablement au matériel (Lowe *et al.*, 2012).

## 3. Laboratoires virtuels et distants

Les laboratoires virtuels et distants représentent une des solutions innovantes pour assurer un apprentissage pratique à grande échelle à travers l'utilisation des plateformes d'enseignement dites « Learning Management System » (LMS). Dans ce sens, on assiste actuellement à une forte utilisation des LMS comme Moodle<sup>2</sup>, SAP Litmos<sup>3</sup>, TalentLMS<sup>4</sup> ...etc. et des plateformes de

---

<sup>2</sup> [www.moodle.org](http://www.moodle.org)

<sup>3</sup> <https://www.litmos.com/fr-FR/>

<sup>4</sup> <https://fr.talentlms.com/>

« Massive Open Online Courses » MOOC telle que Openclassrooms<sup>5</sup>, Coursera<sup>6</sup>, Udemy<sup>7</sup>... etc. comme support d'apprentissage. Mais, au niveau des établissements universitaires, il y a peu d'intégration de composantes d'apprentissage pratique dans ces environnements. Les laboratoires virtuels sont fondés sur la base des simulations du phénomène physique, où l'étudiant est appelé à interagir avec un modèle mathématique qui modélise le plus fidèlement possible les conditions nécessaires pour réussir la manipulation de l'objet de l'étude en question. Tandis que les laboratoires distants garantissent l'interaction avec une vraie plate-forme matérielle, les outils logiciels utilisés servent à garantir l'accès aux ressources, gérer la traçabilité ; et de point de vue pédagogique, garantir l'atteinte des objectifs en suivant un scénario pédagogique bien déterminé, tout en respectant les aspects qui aident à faciliter l'utilisabilité du système (Venant, 2017).

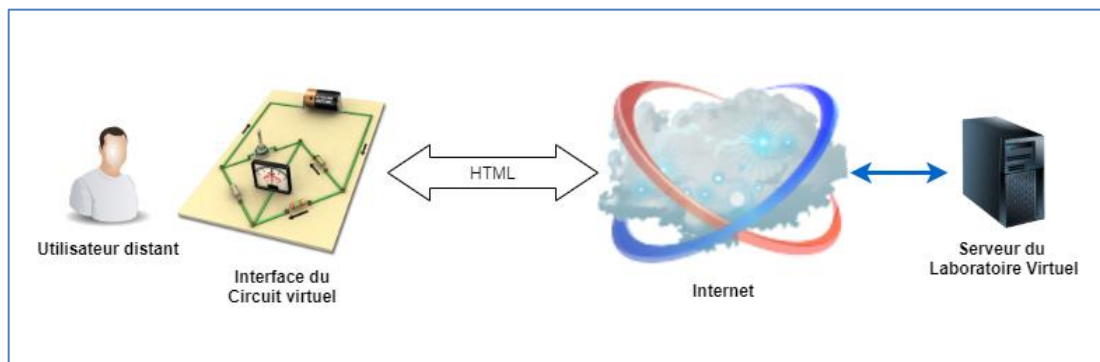


Figure 1.1 Concept d'un Laboratoire virtuel

### 3.1 Intérêts des Laboratoires virtuels

Les laboratoires virtuels viennent pour répondre aux limitations des pratiques traditionnelles. Ils permettent toutefois de surpasser les limitations spatio-temporelles d'accès aux ressources, en offrant un accès permanent et plus flexible (Lowe *et al.*, 2012). D'autre part, la durée d'interaction avec les ressources n'est pas limitée dans le temps, ce qui augmente le niveau de développement de compétence liée aux concepts étudiés.

Bien que cette solution comprenne la simulation d'un travail expérimental, l'interface fournie aux étudiants doit leur donner le sentiment qu'ils contrôlent un équipement réel. Le type d'accès peut être local ou distant, car les étudiants peuvent contrôler un laboratoire simulé en installant un logiciel spécifique sur leurs machines ou accéder à un laboratoire virtuel via Internet. Sur le plan économique, cela représente une solution 'Low-cost', donc le coût est bien amorti, le rendement est assuré et le risque d'altérer un équipement est nul. Pédagogiquement, il est

<sup>5</sup> <https://openclassrooms.com/fr/>

<sup>6</sup> [www.coursera.org](http://www.coursera.org)

<sup>7</sup> [www.udemy.com/](http://www.udemy.com/)

possible d'appliquer des scénarios basés sur la personnalisation des parcours et les auto-évaluations (auto-test).

### **3.2 Laboratoire virtuel versus laboratoires classique**

Bien qu'il y ait une confusion dans l'évaluation de l'efficacité de la formation en laboratoire, les arguments concernant différents types de laboratoires sont également incohérents et ambigus. Les auteurs, ont examiné les avantages et les inconvénients de chaque type de laboratoire. Mais, Le consensus général des études de comparaison, est qu'à petite échelle, il n'y a pas de différence significative entre les types de laboratoires traditionnels et virtuels (simulation), en matière de résultats des comptes rendus de TP ou des tests (Ma\_Nickerson, 2006).

Engum *et al.* (2003) ont montré que les laboratoires traditionnels étaient plus efficaces que les laboratoires virtuels. Cependant, notons les cas de placer un cathéter intraveineux par des étudiants en soins infirmiers, nécessiterait toutefois une formation pratique.

D'autre part, les laboratoires classiques fournissent aux étudiants des données réelles incitant des « conflits cognitifs » dues à la disparité entre la théorie et les expériences pratiques, ce qui est essentielle pour les étudiants pour comprendre le rôle des expériences (Ma, Nickerson, 2006). De telles expériences sont considérées couteuses en argent et en espace.

D'après Hawkins et Phelps (2013), les laboratoires virtuels sont un outil très bénéfique à condition de l'utiliser correctement, et de savoir quand ils conviennent à une situation donnée. Dans la même étude, la simulation de laboratoire virtuel était équivalente à un laboratoire pratique de chimie générale pour l'enseignement des concepts et la configuration de cellules voltaïques en électrochimie.

Concernant les laboratoires virtuels simulés, l'investissement est destiné souvent au développement des ressources virtuelles, et du fait de la réutilisation de ces ressources, le temps nécessaire pour réaliser les sessions de laboratoire devient réduit (Sicker *et al.*, 2005)..

Certaines études montrent qu'il n'y a pas de notables différences entre un TP réalisé avec un environnement virtuel et celui réalisé dans un laboratoire traditionnel en termes d'atteintes d'objectifs pédagogiques (Venant, 2017).

Finalement, les laboratoires virtuels permettent de répondre à certaines problématiques posées par les laboratoires classiques, et prouve une certaine efficacité pour l'enseignement et notamment la qualité de l'expérience d'utilisation. Des études montrent l'importance de la couche informatique qui s'interface entre l'utilisateur et la ressource virtuelle manipulée.

Nous proposons pour la suite de nous concentrer sur les environnements informatiques destinés pour la réalisation de TP en faisant une manipulation de ressources matérielles réelles, soit en local ou à distance.

### 3.3 Les laboratoires distants (*Remote Laboratory*)

Un laboratoire à distance est une solution logicielle et matérielle qui permet aux étudiants d'accéder à une plate-forme matérielle réelle localisés dans leur intra ou extra-établissement. L'accès à une session d'activité pratique, se fait à l'aide d'un navigateur Web standard. Ce laboratoire permet aux étudiants d'envoyer des commandes d'une expérience à un serveur qui est chargé de l'exécuter dans de vrais laboratoires sur des équipements réels. Les résultats de l'exécution seront présentés sur l'écran de l'utilisateur distant (Balamuralithara, 2008) (Orduña, 2018).

Une particularité des laboratoires distants réside dans la possibilité de leur utilisation par des étudiants des autres institutions. Ainsi, plusieurs établissements peuvent partager différents équipements dans le but de réduire les coûts des équipements dupliqués dans chaque établissement, qui sont parfois peu utilisés. Dans ce sens, les laboratoires distants permettent de diminuer le coût des expériences et d'augmenter le nombre d'utilisateurs.

La première apparition des laboratoires à distance était vers les années 90' dans le domaine du contrôle et de la robotique, et bien d'autre laboratoires distants sont devenus plus courants dans d'autres domaines de l'ingénierie. La plupart de ces nouveaux laboratoires sont basés sur la technologie LabView<sup>8</sup> développé par National Instruments (NI) (Nedic *et al.*, 2003).

#### 3.3.1 Expérimentation à distance : Télé TP

Une expérimentation à distance est une véritable expérience avec des équipements et instruments réels de laboratoire qui peuvent être contrôlés à distance par un support informatique (PC, Tablette, Smartphone) en utilisant une interface Web.

Les expériences contrôlées à distance sont devenues un outil répandu pour l'enseignement des STEM (Sciences, Technologies, Engineering, Mathématiques) au niveau des établissements universitaires. Pendant l'exécution d'une expérience à distance, l'interface de manipulation permet à l'utilisateur distants de modifier les paramètres d'entrée du système à étudier, observer et/ou télécharger les résultats de traitement sous forme texte / graphique ou éventuellement par retour visuel.

Pour le bon déroulement de sessions d'activités pratiques dans le cas où le nombre des utilisateurs est élevé, un système de réservation est mis en place pour assurer un accès exclusif à

---

<sup>8</sup> [www.ni.com](http://www.ni.com)

certaines équipements selon des tranches horaires fixes (créneaux), ainsi l'utilisateur peut réserver à l'avance le temps pour effectuer l'expérience à distance.

### 3.3.2 Avantages des Télé TP

Le nombre des publications dans le domaine des laboratoires à distance a foisonné ces dernières années, ce qui manifeste un intérêt important de la part de la communauté des chercheurs pour les Télé-TP (Heradio *et al.*, 2016) ; on est arrivé à un stade où on discute beaucoup plus les questions liées avec l'évaluation (technique, pédagogique) et , cela reflète l'intérêt est les avantages des télé-TP qui peuvent être résumés dans les points suivants (Nedic *et al.*, 2003) :

- Interaction avec de vrais instruments : grâce à l'intégration de nouvelles technologies Web, cela a permis de partager l'accès et la manipulation de vrais instruments qui sont souvent lourds et onéreux.
- Manipulation des données réelles : ce qui permet aux étudiants de faire des analyses sur des données réelles.
- Sans restriction de place ni de temps : cela offre une télé-présence en laboratoire, de plus une flexibilité dans le choix du lieu ou effectuer l'expérience (in-campus, extra-campus) et le temps de réalisation (24/24).
- Faible coût : les équipements de laboratoires sont exposés pour nombre élevés d'étudiants, sans restriction matérielle et logicielle ni humains, cela réduit considérablement le coût de la manipulation par étudiant.
- Collaboration / personnalisation : les scénarios pédagogiques des télé-TP peuvent être conçus comme un travail collaboratif par groupe, ou bien de manière individuelle personnalisée ce qui limite la triche.
- Evaluation automatique : l'implémentation de l'évaluation automatique dans le processus de manipulation à distance permet de limiter l'intervention de l'enseignant, de plus cette technique permet de personnaliser les tests.
- Sauvegarde et traçabilité : la sauvegarde des activités à distances permet de faire des analyses sur la traçabilité de tous les accès en termes de temps d'accès, fréquence, durées, et même sur les états du système (entrée et sorties).

### 3.3.3 Limites de Télé TP

Bien que les expériences à distances, ont apporté beaucoup d'avantages sur le plan technique et pédagogique ; néanmoins, il reste encore certaines limites à résoudre (de da Torre, 2016) :

- Supervision : il est toujours nécessaire de faire une supervision pour maintenir un état stable du fonctionnement des expériences, cela dépend évidemment de la complexité de l'expérience.
- Sécurité : dans certaines applications, il existe des problèmes de sécurité dans les configurations qui utilisent des applications à haute tension où le risque d'incendie peut exister.
- Contrainte technologique : des limitations d'ordre technologique existent qui contraignent la mise en œuvre à distance dans certaines disciplines comme en chimie ou en biologie.
- Manque de développement des compétences expérimentales : cela est exprimé le besoin des étudiants à manipuler directement des instruments réels et d'apprendre par l'erreur.

### 3.4 Modèles pédagogiques pour les travaux pratiques

Si le modèle pédagogique des TP classiques s'appuie sur la confrontation de la pratique avec les connaissances théoriques, les étudiants suivent simplement le plan défini par l'enseignant, explorent les questions posées par l'enseignant selon des étapes prescrites et génèrent les conclusions qu'il souhaite, alors que les scénarios pédagogiques adaptés pour les TP à distance sont basés sur le concept de l'apprentissage exploratoire 'Inquiry Based Learning' (Venant, 2017). Parmi les méthodes utilisées, la méthode dite des 5E : Engagement, Exploration, Explication, Elaboration et Evaluation (Duran, 2004).

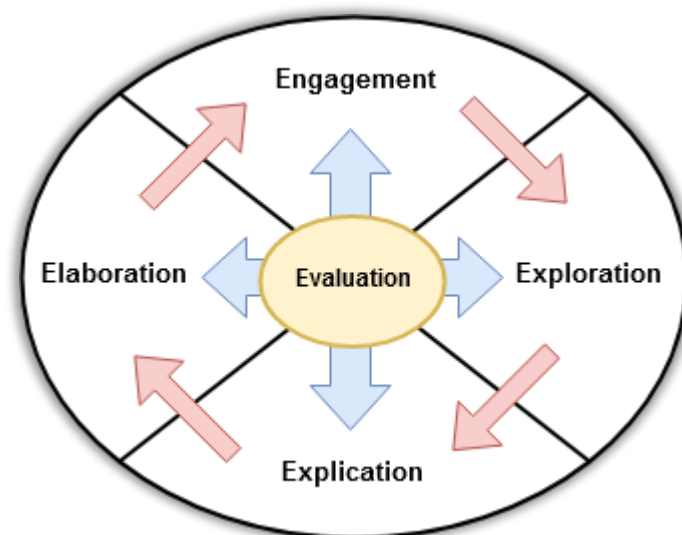


Figure 1.2 Méthode pédagogique des 5E

Le fond de cette méthode d'apprentissage basé sur l'exploration réside dans l'autonomie des apprenants dans la construction du savoir (Zhang, 2000).

Cette méthode est composée de cinq étapes : Engagement, Exploration, Explication, Elaborer et Evaluation. Ces cinq étapes fournissent aux apprenants des orientations systématiques visant à engager leur réflexion dans le processus d'exploration, tels que la vérification d'hypothèses, la collecte et l'analyse de données et l'application des connaissances acquises dans de nouvelles situations réelles. Le contenu de ces étapes est résumé dans le tableau suivant :

**Tableau 1.1 Les cinq (05) phases de la méthode des 5E (Bybee, 2009).**

Engagement	Cette phase a pour objectif d'engager mentalement l'étudiant en stimulant sa curiosité et de l'impliquer dans l'enquête, par des événements ou des questions tout en évaluant leurs connaissances antérieures. Au cours de cette phase, l'étudiant engage ses connaissances et expériences préalables pour ce qu'il est censé faire.
Exploration	Les expériences d'exploration fournissent à l'étudiant une base d'activités avec laquelle les concepts et les compétences actuels sont identifiés et facilitent le changement conceptuel. L'étudiant peut effectuer des activités de laboratoire qui l'aident à utiliser ses connaissances préalables pour générer de nouvelles idées, poser des questions et explorer des possibilités, concevoir et mener une enquête préliminaire afin de proposer des explications scientifiquement acceptables au cours de la phase d'explication
Explication	La phase d'explication offre à l'étudiant la possibilité de démontrer sa compréhension conceptuelle, ses compétences et essayer de fournir des explications valables pour les résultats de l'investigation. Cette phase offre également à l'enseignant la possibilité d'introduire directement un concept, l'apprenant explique sa compréhension du concept. Une explication de l'enseignant peut le guider vers une compréhension plus profonde.
Elaborer	Au cours de cette phase, et grâce à de nouvelles expériences, les élèves développent une compréhension plus profonde et plus large des concepts, ils ont la possibilité d'appliquer leurs nouvelles connaissances à des situations réelles en menant des activités supplémentaires.
Evaluation	Finalement, la phase d'évaluation permet aux étudiants d'évaluer leurs compréhensions et leurs capacités et aux enseignants de déterminer si les

	objectifs pédagogiques ont été atteints. Cela implique des processus de diagnostic et d'évaluation continus utilisés tout au long des phases 5E.
--	--

Cette méthode est adoptée et implémentée pour le développement des connaissances pédagogiques des étudiants, est basé sur une séquence de cinq (05) événements distinctifs. En plus l'expérience du cycle d'apprentissage 5E offre aux enseignants l'occasion de reconnaître les compétences des étudiants en matière de recherche, de comprendre les conseils nécessaires pour soutenir l'apprentissage de ces étudiants et, plus important encore, de comprendre les défis à relever dans le contexte de l'apprentissage et de l'enseignement par investigation. Ce dernier inclut l'utilisation des outils de communication synchrone et/ou asynchrone comme solution rationnelle pour résoudre les problèmes de demande de renseignements (Mustafa, M., 2016).

### **3.5 Environnement d'apprentissage pour les laboratoires distants**

Un environnement d'apprentissage est conçu dans le but de favoriser la construction de connaissances chez l'apprenant. Les environnements pour les travaux pratiques sont conçus pour créer une activité individuelle ou collective, favoriser l'apprentissage de concepts et l'acquisition de compétences. Les facteurs clé pour ces environnements sont les interactions sociales, interactions avec le système et les processus d'apprentissage (Tchounikine, 2002).

Un des problèmes liés à ces environnements est la compatibilité et l'interopérabilité des couches logicielles entre systèmes hétérogènes qui résulte de la mise en ligne d'un laboratoire. Le processus d'apprentissage peut être altéré à cause du dysfonctionnement de présentation, cela est posé dans le cas des projets de fédérations de laboratoires entre établissements qui utilise des standards logiciels différents (Venant, 2017).

Dans ce travail, notre approche de développement basé sur l'open-source matériel et logiciel vise à minimiser cette incohérence dans les différentes composantes logicielles, en simplifiant les structures de données utilisées, des environnements de développement libre, et des clients légers pour assurer un accès facile aux ressources du laboratoire et un affichage correct de l'interface de manipulation.

## **4. Nouvelles pratiques de manipulation dans les TPs à distance**

### **4.1 Support technique aux interactions entre acteurs et ressources de laboratoires**

Pendant une activité pratique qui se fait à distance, et lors de la phase d'engagement, les utilisateurs sont conduits à communiquer entre eux pour échanger leurs observations et confronter leurs réactions. L'intervention d'un enseignant (tuteur) à ce stade est primordiale pour

apporter son aide, sur le plan pédagogique relativement avec la matière enseignée, ainsi que technique relativement avec les outils d'interaction avec les ressources du système et entre les pairs pour vérifier leurs progressions.

L'instauration d'un système de communication entre les pairs, est important dans le cadre d'une activité pratique à distance, et dans le cas où plusieurs utilisateurs sont autorisés à réaliser une expérimentation en parallèle, cette communication doit être instantanée pendant la réalisation de l'expérience, si ce n'est pas une partie importante des interactions. Cette communication peut se faire de manière textuelle, audio ou vidéo.

D'un autre côté, un autre mode de communication asynchrone entre les pairs peut être envisagé, afin de discuter les résultats de leurs expériences précédentes, conserver une traçabilité des différentes réactions sur les résultats d'expérimentation, ou bien pour approfondir leurs connaissances sur les différentes activités pratiques.

De plus, pour échanger et/ou partager une réaction ou un comportement face à un phénomène, il y a lieu de partager l'interface d'accès à la ressource. De ce fait, partager la vue de la ressource observée par des utilisateurs simultanés est un supplément considérable pour le support de communication.

Dans certains cas, ce partage de la vue de la manipulation peut aller jusqu'à partager le contrôle de la ressource manipulée. Ce type d'interaction permet à plusieurs utilisateurs distants de travailler sur la même ressource de laboratoire. Cette approche est utile dans le cadre d'un travail collaboratif.

## **4.2 Interactions sociales entre les pairs**

### **4.2.1 Besoins pour les interactions sociales (socioconstructivisme)**

Les interactions sociales sont au cœur de l'apprentissage par les pairs. Dans (Topping, 2005) le 'peer learning' est défini comme « l'acquisition de connaissances et de savoir-faire à travers l'aide ou le support actif entre compagnons de statut égal ou correspondant ». Dans ses travaux sur la modélisation des processus en jeu dans cette forme d'apprentissage, il souligne le caractère implicite de processus d'apprentissage comme la rétention, la généralisation ou l'auto-régulation, et souligne que l'apprenant doit avoir à sa disposition les informations nécessaires pour réaliser ces processus et en prendre conscience.

Selon (Topping, 2009), une extension de l'apprentissage par les pairs est l'évaluation par les pairs : « les pairs évaluant les produits ou les résultats de l'apprentissage des autres membres du groupe ». Les apprenants 'notent' ou 'évaluent' quantitativement les résultats de leurs pairs, comme étant un enseignant. Une évaluation cognitive et qualitative beaucoup plus exigeante

pour l'évaluateur est susceptible de lui être plus confortable socialement et plus utile pour l'évalué. L'évaluation par les pairs peut améliorer l'auto-évaluation et les deux peuvent générer des gains métacognitifs.

L'apparition de relations sociales qui participent à l'apprentissage nécessite de fournir aux étudiants des informations cognitives et/ou métacognitives concernant l'individu lui-même, son environnement social de part de ses pairs, ses enseignants et/ou tuteurs.

#### 4.2.2 Motivation personnelle et sociale

- Le constructivisme personnel de Jean Piaget (1896-1980)

Jean Piaget affirme que toute connaissance est le résultat d'une expérience individuelle d'apprentissage en faisant appel aux concepts d'accommodation et d'assimilation. André Giordan ajoute que l'accommodation crée un conflit cognitif qui transforme les schèmes de la pensée et qui vient, le plus souvent, s'opposer aux savoirs établis (Giordan & De Vecchi, 1987).

C'est l'élève qui apprend et personne ne peut le faire à sa place. Cependant, il peut difficilement trouver seul toutes les données nécessaires à tout changement de conceptions. Le rôle de l'enseignant est alors primordial : c'est lui qui doit proposer et mettre en place une pédagogie (socio)-constructiviste pour permettre aux élèves de construire et intégrer les nouveaux savoirs. D'après von Glasersfeld (1917, 2010), «la tâche de l'enseignant n'est pas de prodiguer des connaissances, mais d'offrir aux élèves des opportunités et des sources de motivation pour les construire » (Bächtold, 2012).

- Le constructivisme social de Lev Vygotsky (1896, 1934) (Labédie & Amossé, 2001)

Lev Vygotsky prétend que les interactions sociales sont primordiales dans un apprentissage. Le concept de conflit sociocognitif est loin de la conception individualiste de Piaget. La construction du savoir bien que personnelle s'effectue dans un cadre social. L'acquisition de connaissance dépend du contexte pédagogique (situation d'enseignement et d'apprentissage et des activités connexes). Les informations sont en lien avec le milieu social, le contexte et proviennent de la pensée personnelle et des interactions avec les autres.

D'autre part, une extension des travaux de Piaget et Vygotsky est fait par Doise et Mugny (Labédie & Amossé, 2001), dans laquelle, les auteurs affirment que les interactions entre les pairs représentent une source de développement cognitif à condition qu'elles suscitent des conflits sociocognitifs. Entre autres, l'interaction sociale est constructive dans la mesure où elle introduit une confrontation entre les conceptions différentes. Cette confrontation provoque un premier déséquilibre interindividuel qui apparaît au sein du groupe du fait que chaque apprenant est confronté à des points de vue divergents. Il prend ainsi conscience de sa propre pensée par

rapport à celle des autres. Cela provoque un deuxième déséquilibre entre les pairs, ainsi l'apprenant reconsidère, à la fois, ses propres représentations et celles des autres pour la construction d'un nouveau savoir.

### **4.3 Nouvelles pratiques pendant et après l'activité**

Le comportement de la réflexion de l'individu dans un contexte social est un processus principalement lié aux interactions sociales qui supportent la réflexion, qui provoque pour l'apprenant de nouvelles interactions (Lavoué *et al.*, 2015).

L'expérience de laboratoire des étudiants est l'un des aspects les plus difficiles à mettre en œuvre. Conformément aux exigences de l'ETAC / ABET<sup>9</sup> (Engineering Technology Accreditation Commission / Accreditation Board for Engineering and Technology), pour une compréhension parfaite du fonctionnement d'un équipement par les étudiants, ils doivent travailler sur cet équipement approprié pour l'activité pratique de chaque cours du programme.

Afin d'atteindre les objectifs pédagogiques à distance, les étudiants manipulent les équipements de laboratoire à travers des interfaces appropriés afin d'exploiter toutes les fonctionnalités offertes par ces équipements dans l'accomplissement de leurs expérimentations (Bal & Hamilton, 2014).

Ainsi, les environnements d'expérimentation des laboratoires à distance peuvent encourager la réflexion en invitant les étudiants à changer leur stratégie d'apprentissage ou à fournir une explication (Crippen et Earl, 2007).

Pour les enseignants, la réflexion sur les résultats des cours analysés leur permet de mieux comprendre les implications de certaines décisions, notamment la manière dont ils présentent cet outil aux étudiants et les motivent dans leur utilisation par rapport au comportement des étudiants (Viegas, 2018).

### **4.4 Allocation des sessions de TP**

L'allocation des ressources partagées pendant les sessions de TP entraînent souvent des contraintes de coordinations, qui influent considérablement sur le temps d'attente et d'accès aux ressources du laboratoire (Kalúz *et al.*, 2013). De ce fait, l'optimisation de la coordination est primordiale, elle permet d'améliorer l'expérience d'utilisation des ressources en termes de réduction du temps par utilisateur. Les systèmes actuels de laboratoire à distance ont généralement pris en charge la planification d'accès aux sessions de TP basée sur la réservation ou sur la file d'attente, mais rarement les deux (Lowe, 2013).

---

<sup>9</sup> <https://www.abet.org/>

- Réserve

Cette variante de demande d'accès permet aux utilisateurs de faire une réserve, qui garantira un accès pour la maquette de TP à un créneau horaire et durée spécifiées.

Le système de réserve offre les opérations suivantes :

1. Après authentification, l'utilisateur reçoit une liste des manipulations disponibles.
2. L'utilisateur sélectionne une manipulation (un groupe d'appareils), puis il se retrouve avec l'état actuel de la manipulation et la possibilité de faire une réserve.
3. Si l'utilisateur décide de faire « réserver », le système de réserve affiche les créneaux horaires disponibles.

Dans la réserve des ressources, il y a plusieurs cas d'utilisation. Si l'utilisateur a sélectionné un appareil individuel, alors les périodes indisponibles seront celles où l'appareil spécifié est explicitement réservé, il est marqué comme étant déconnecté pendant ce temps. Si l'utilisateur a sélectionné un ensemble de  $n$  appareils, alors les tranches horaires indiquées comme indisponibles seront uniquement ceux où le nombre de réservations est égal à  $n$  (nombre d'appareils disponibles).

Le système peut limiter le nombre de réservations faites par un utilisateur, pour empêcher l'utilisateur de faire plus qu'une réserve simultanée sur plusieurs appareils. Lorsqu'un utilisateur est connecté et qu'il est en attente de réserve, il aura un message d'un compte à rebours jusqu'au début de sa session. Dès que l'heure de réserve arrive, l'utilisateur est attribué à la plateforme matérielle en question, et la session de laboratoire commence immédiatement.

- File d'attente

Avec un système à file d'attente, lorsqu'un utilisateur fait une demande, il est ajouté en queue à une file d'attente. Chaque fois qu'un appareil devient disponible, il est attribué à l'utilisateur situé en tête de la file d'attente. Cette approche peut être hybridée avec la priorité qui assiste les utilisateurs 'prioritaires' capable de "sauter" dans la file d'attente. Un utilisateur peut faire la queue pour soit un appareil spécifié, soit le premier appareil disponible dans un groupe d'appareils. L'utilisateur peut prolonger une session de laboratoire si aucun ne l'attendait dans la file d'attente. Les systèmes à file d'attente ont l'avantage de maximiser l'utilisation des appareils. Dès qu'un appareil devient disponible, il peut être réaffecté à un utilisateur en attente sans attendre jusqu'à la prochaine réserve. Cependant, l'inconvénient est l'absence de garantie pour les utilisateurs d'avoir accès à l'heure précise.

## 5. Synthèse des Laboratoires à Distance existants

Dans cette section, nous étudions un certain nombre de projets de laboratoires distants en faisant apparaître les principales caractéristiques matérielles et logicielles, selon un modèle d'analyse basé sur les facteurs déterminants pour l'efficacité techniques et pédagogique des expérimentations à distance pour chaque système. Les résultats de cette analyse nous permettront d'identifier les défis à lever pour construire notre prototype de laboratoire à distance.

### 5.1 Le modèle d'analyse

Avant de faire notre analyse, nous avons défini un modèle d'analyse selon des critères proposés par (Bouabid, 2012), La grille d'analyse de (Benmohamed, 2007), Modèle d'évaluation de l'efficacité pédagogique des télé-TPs proposé par (Ma et Nickerson, 2006).

Notre modèle d'analyse se divise en cinq catégories de critères à identifier dans chacun des projets, comme illustré dans Tableau 1.2.

Cette synthèse tient compte des aspects suivants :

- Architecture matérielle et logicielle et aspect techniques
- Type d'expérience virtuelle / réelle
- Outils de développement Open source / payant
- Méthode de scénarisation pédagogique
- Méthode et stratégie d'accès aux ressources

**Tableau 1.2. Critères d'analyse des projets de Laboratoire à Distance**

Projet		Critères				
		Public cible / groupe étudiant	Technologie de développement	Type d'expérience Virtuel / réel	Méthode pédagogique - Scénario -	Utilisabilité / Efficacité
Weblab -Deusto <sup>10</sup>	Fédération	Universitaire	Outils web,	Réel	Inquiry based	Réservation / file d'attente
Lila <sup>11</sup>		Universitaire	Java	Virtuel	Tutorat, 3D	Accès contrôlé, réservation
Go-Lab <sup>12</sup>		Secondaire	Outils Web 2.0	Virtuel, Réel	Inquiry Learning	Large scale
NetLab <sup>13</sup>		Universitaire	LabView, Java	Réel (contrôle total)	Collaboratif	Groupe contrôlé, réservation
iLab <sup>14</sup>		Secondaire / Universitaire	Kits d'outils propriétaires	Réel	Inquiry based	File d'attente / Réservation
Labshare <sup>15</sup>		Universitaire	Java	Réel	Inquiry based	Hybride file d'attente- Réservation

<sup>10</sup> <http://weblab.deusto.es>

<sup>11</sup> <https://www.lila-project.org>

<sup>12</sup> [www.golabz.eu](http://www.golabz.eu)

<sup>13</sup> <http://netlab.unisa.edu.au>

<sup>14</sup> <https://icampus.mit.edu/projects/ilabs/>

<sup>15</sup> <http://www.labshare.edu.au/>

Notre étude de l'existant sur les projets de laboratoire à distance focalise sur les aspects de performance technique, et ne tient pas compte des considérations relatives avec les performances pédagogiques.

## 5.2 NetLab

NetLab est un laboratoire à distance développé à l'Université de l'Australie du Sud (UniSA). NetLab est un environnement collaboratif, interactif et multi-utilisateurs, spécialement développé à des fins pédagogiques pour soutenir des expériences dans des cours de génie électrique (Nedic, Z., & Machotka, J. F., 2007) (Teng, M. *et al*, 2016).

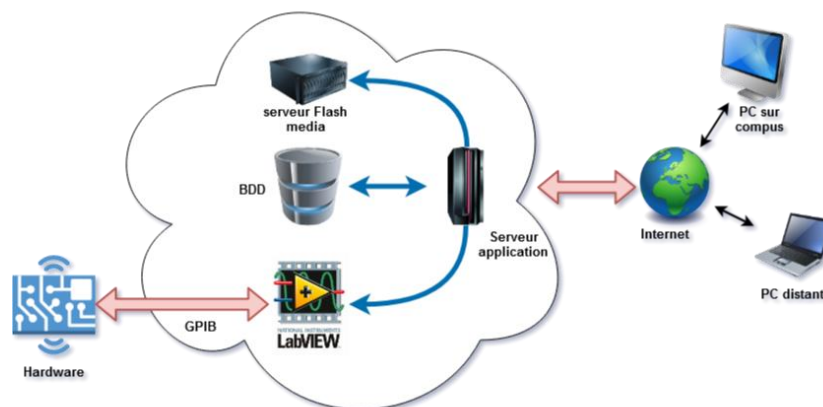


Figure 1.3. Architecture globale LMS Netlab

NetLab possède une interface utilisateur graphique développé par l'outil LabVIEW de NI, utilisant des images de la face avant des instruments (Figure 1.3). Le contrôle des instruments NetLab à l'aide de la souris imite le contrôle manuel de ces instruments en laboratoire réel.

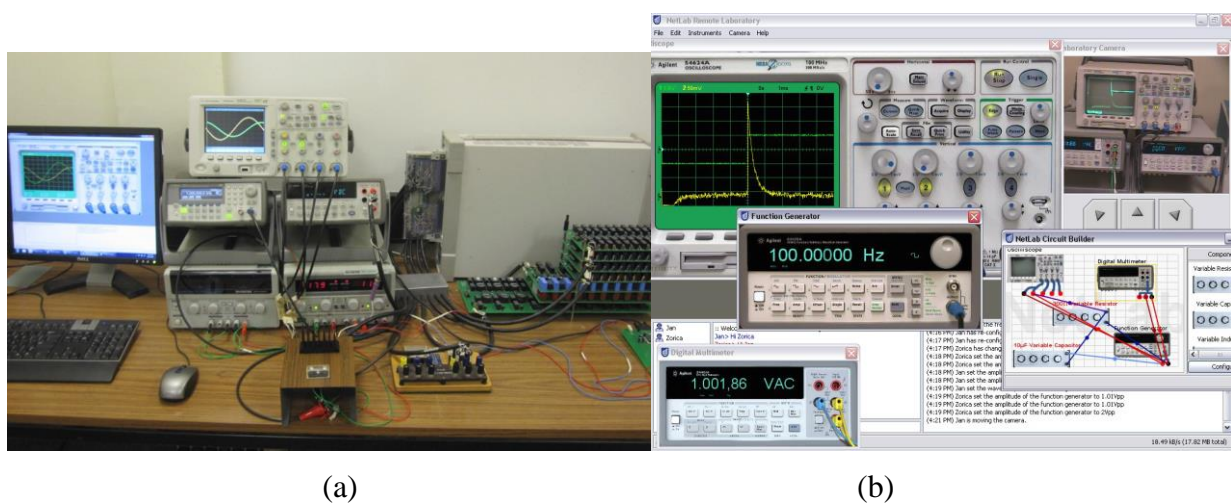


Figure 1.4. La plateforme NetLab2 (2015) et l'interface utilisateur (Teng *et al.*, 2010)

Tous les étudiants qui collaborent à une expérience ont un contrôle total sur tous les instruments du laboratoire. Le nombre des étudiants simultanés est limité à un groupe de trois

étudiants au maximum. Toutefois, lors de la réservation, les étudiants sont libres de choisir de travailler seuls ou en groupes de deux ou trois. La communication entre les étudiants connectés est assurée en mode texte, ainsi que la notification des actions réalisées sur un volet spécifique. Pour assurer la télé-présence dans le laboratoire distant, une caméra web 3D est utilisée avec toutes les fonctionnalités nécessaires.

De point de vue logiciel, grâce l'outil 'Circuit Builder' les étudiants peuvent câbler et configurer à distance des circuits réels de la même manière qu'au câblage dans un laboratoire réel en commandant une matrice de relais 16×16 de Agilent gérée par un bus VXI<sup>16</sup>, et capable de communiquer en externe avec le serveur NetLab via le protocole GPIB<sup>17</sup>; ainsi que l'utilisation des résistances variables basé sur un système de commutation.

Dans Netlab, chaque expérience est associée avec une tranche horaire suffisante, en dehors des activités de pré-lab et de post-lab afin d'optimiser l'utilisation du matériel.

### 5.3 Le projet WebLab-deusto

WebLab-Deusto<sup>18</sup> est un RLMS (système de gestion de laboratoire à distance) avec code source ouvert, développé principalement à l'Université de Deusto (Espagne) depuis 2004. En tant que RLMS, il fournit certaines fonctionnalités partagées de la plupart des laboratoires distants, à savoir l'authentification, l'autorisation, des outils d'administration, la planification, l'analyse et le partage de laboratoire. De ce fait, lors du développement d'un nouveau laboratoire, ces fonctionnalités sont déjà acquises. D'un autre côté, s'il y a publication de nouvelles versions du système, alors le développeur n'a qu'à faire une mise à niveau du système existant sans modifier le laboratoire pour bénéficier des nouvelles fonctionnalités intégrées dans les nouvelles versions (Orduña *et al.*, 2018).

#### 5.3.1 Architecture (Structure globale)

WebLab-Deusto est un ensemble d'outils logiciels et de bibliothèques qui permettent aux développeurs d'implémenter uniquement le distant et de laisser le RLMS gérer les outils d'administration. Pour cela, l'architecture proposée par WebLab-Deusto (Figure 1.5) autorise l'accès pour un client à un laboratoire suivant un créneau horaire. Ce dernier n'est contacté que lorsque l'utilisateur actuel est autorisé à utiliser le laboratoire à un moment donné, car l'accès à une expérience est géré en interne par une file d'utilisateurs.

Selon l'approche choisie par le développeur du laboratoire distant (planifié ou non), les communications avec le laboratoire seront effectuées directement avec le laboratoire demandé ou

---

<sup>16</sup> <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-5591E.pdf>

<sup>17</sup> <http://www.ni.com/product-documentation/3388/en/#toc3>

<sup>18</sup> <http://weblab.deusto.es>

bien via le serveur principal WebLab-Deusto qui se charge de stocker et transmettre les demandes des utilisateurs.

Ainsi, le développement peut se faire dans n'importe quel langage de programmation ou infrastructure Web. En utilisant certaines interfaces, WebLab-Deusto automatise le reste des processus. Si une personne souhaite développer un laboratoire utilisant un Raspberry Pi, contrôlant un ensemble de dispositifs électroniques, le développeur du laboratoire distant peut choisir son langage de développement (Python, PHP ou autres) compatible avec Raspberry Pi et une interface Web pour les utilisateurs. Ensuite, en fournissant des interfaces HTTP et en partageant quelques messages internes avec le serveur WebLab-Deusto (déployé dans le même Raspberry Pi ou sur un ordinateur ordinaire), le développeur n'a pas besoin de faire les actions suivantes car elles sont fournies par WebLab-deusto:

- Implémenter une connexion à Moodle LMS.
- Implémenter une file d'attente d'utilisateurs
- Implémenter le partage de laboratoire avec d'autres institutions
- Implémenter un logiciel d'analyse au moment de l'utilisation du laboratoire.

Les deux approches proposées par WebLab-Deusto sont indépendantes du langage de programmation. Cependant, les développeurs ont le libre choix du langage de programmation pour les implémenter (même des bibliothèques dans différents langages de programmation : Python, Node.js, Java, .NET, C ++ ou C) sont fournis par WebLab-Deusto); et les interfaces sont définies pour être aussi simples que possible, rendant la plupart des méthodes facultatives.

### 5.3.2 Architecture logicielle

WebLab-Deusto est un projet qui s'appuie sur différentes technologies Open Source. Le code source ainsi que la documentation sont disponibles dans GitHub<sup>19</sup>. De plus, WebLab-Deusto prend en charge le déploiement du serveur sous Linux, Microsoft Windows et Mac OS X. Le client étant un navigateur web standard qui peut être exécuté sur divers supports comme PC, tablettes ou autre supports mobiles. Certaines limitations sont appliquées sur les laboratoires qui utilisent une technologie qui ne fonctionne pas par défaut (par exemple, Adobe Flash, qui ne fonctionne pas sur les supports mobiles) ; d'autres laboratoires utilisant la technologie HTML5 comme le cas de VISIR<sup>20</sup>, sont compatibles avec l'ensemble des supports.

---

<sup>19</sup> <https://github.com/weblabdeusto/weblabdeusto>

<sup>20</sup> [https://github.com/JohanZackrisson/visir\\_html5](https://github.com/JohanZackrisson/visir_html5)

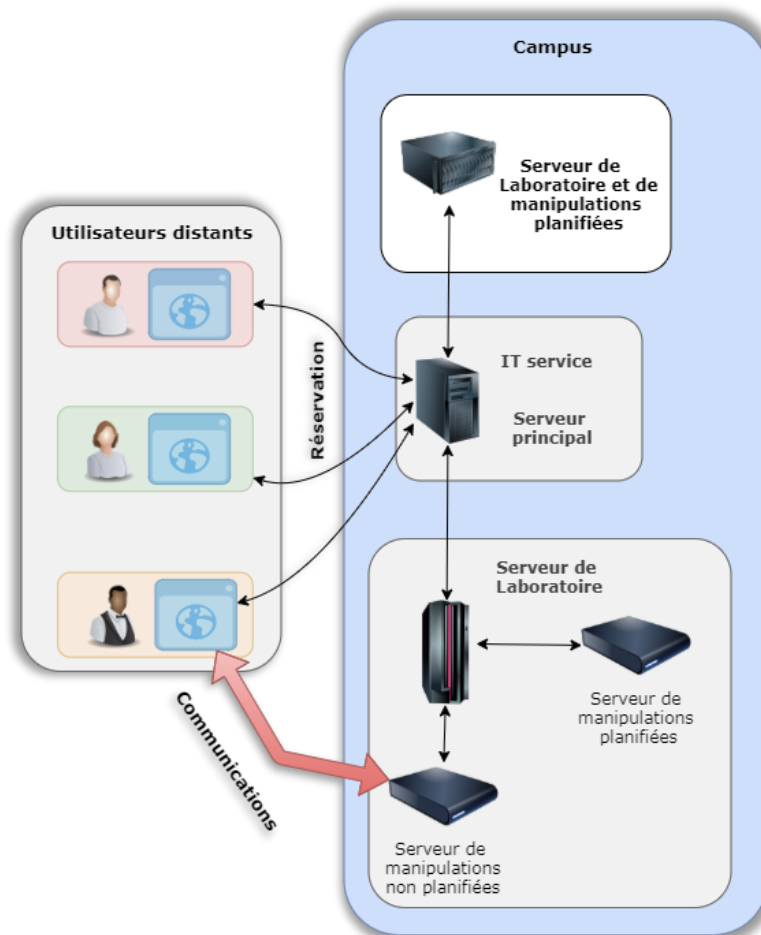


Figure 1.5. Architecture de Weblab Deusto

### 5.3.3 Fonctions avancées de WebLab-Deusto

- a) **Partage de laboratoires :** WebLab-Deusto prend en charge la fédération de laboratoires qui signifie qu'un déploiement de WebLab-Deusto partage ses laboratoires avec d'autres instances (Orduña, 2013). Pour partager une expérience, une université (A) crée un type d'utilisateur fédéré pour une autre université (B), avec lequel elle va partager un ensemble de laboratoires. A partir de ce moment, l'Université (B) a accès à l'expérience et peut donc être traitée comme toute autre expérience locale, de même, elle peut autoriser l'accès que pour un groupe d'étudiants. D'un autre côté, l'Université A ne sait pas qui est autorisé à l'Université B, les relations sont établies entre universités et non pas entre universités et utilisateurs.
- b) **Sécurité :** Weblab-Deusto prend en charge différents mécanismes d'authentification, permettant que les mots de passe ne soient pas stockés et même ne passe jamais sur le serveur principal. En outre, toutes les communications client/serveur lors du partage de laboratoires sont sécurisées à l'aide du protocole HTTPS.

- c) Interopérabilité : WebLab-Deusto prend en charge l'interopérabilité avec des outils externes à deux niveaux :
- Autres systèmes de gestion de laboratoire distants comme 'iLab' qui est une intégration bidirectionnelle.
  - Autres outils d'apprentissage comme Moodle, Sakai, Blackboard ou Open edX, par le développement d'un middleware nommé 'Gateway4Labs' qui supporte les protocoles IMS LTI, OpenSocial21 and HTTP (Orduña et al., 2015). Ce composant permet à tout laboratoire distant développé à l'aide de WebLab-Deusto d'être utilisé par les autres outils d'apprentissage précédents.

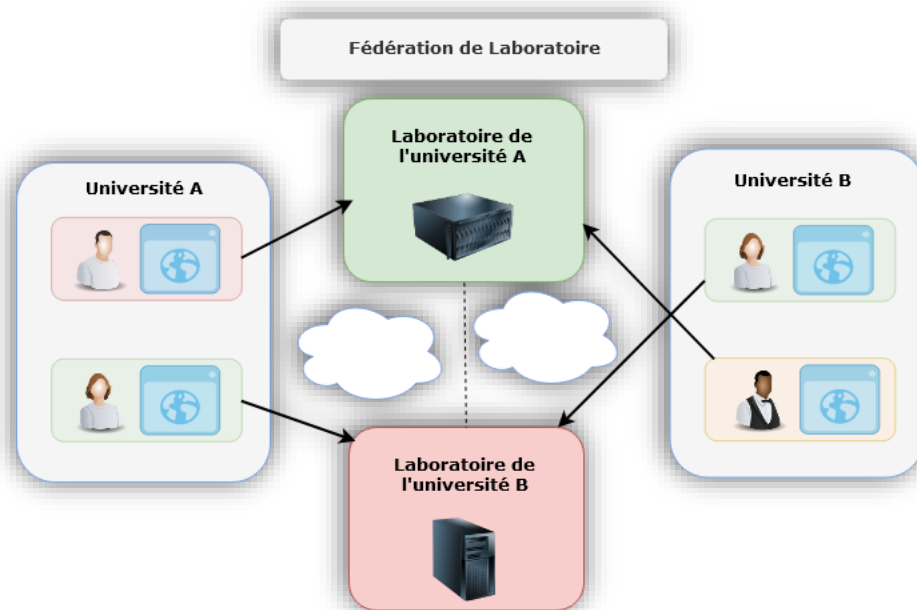


Figure 1.6. Fédération de laboratoires avec WebLab-Deusto

- d) Évolutivité et planification : WebLab-Deusto a été conçu pour être évolutif à différents niveaux : utilisateur, laboratoire et partage. Au niveau utilisateur, l'évolutivité se fait par l'ajout de plus de serveurs plus puissants afin de gérer des niveaux d'utilisation plus élevés des étudiants concurrents. Au niveau laboratoire, WebLab-Deusto prend en charge l'équilibrage de charge, en utilisant une file d'attente interne d'utilisateurs souhaitant accéder à une expérience particulière. Une autre solution consiste à gérer plusieurs copies du même laboratoire, les étudiants accèdent au hasard à l'un ou l'autre des exemplaires du laboratoire, les autres étudiants sont mis dans une file d'attente partagée.

<sup>21</sup> <http://graasp.eu>

## 5.4 Le projet Lila

Le projet *LiLa* (Richter *et al.*, 2011), abréviation de « Library of Labs » est un projet financé par la Communauté européenne visant à mettre en réseau des expériences à distance et des laboratoires virtuels. L'objectif de ce projet est la composition et la diffusion d'une infrastructure européenne d'échange mutuel de montages expérimentaux et de simulations, Lila cible plus particulièrement les études de premier cycle en ingénierie et en sciences.

L'architecture LiLa est structurée en quatre niveaux ou couches : contenu, accessibilité, intégration et interface, comme indiqué dans la Figure 1.7, Le niveau le plus bas est constitué du contenu (expériences à distance, laboratoires virtuels, documents statiques). L'une des tâches intégrées à Lila est que tous les modules de contenu doivent être annotés avec des métadonnées appropriées pour les rendre localisables et disponibles dans le réseau européen Lila.

Le deuxième niveau garantit l'accessibilité du contenu : d'une part, le contenu doit pouvoir être localisé dans le réseau paneuropéen LiLa, de la même manière qu'un catalogue de bibliothèque est utilisé pour localiser des livres appropriés. Par contre, les expériences à distance présentent une disponibilité limitée qui doit être partagée équitablement entre les utilisateurs et pour cela, différentes stratégies d'accès doivent être établies. Le deuxième niveau comprend un système de réservation permettant de gérer l'accès au contenu par les utilisateurs.

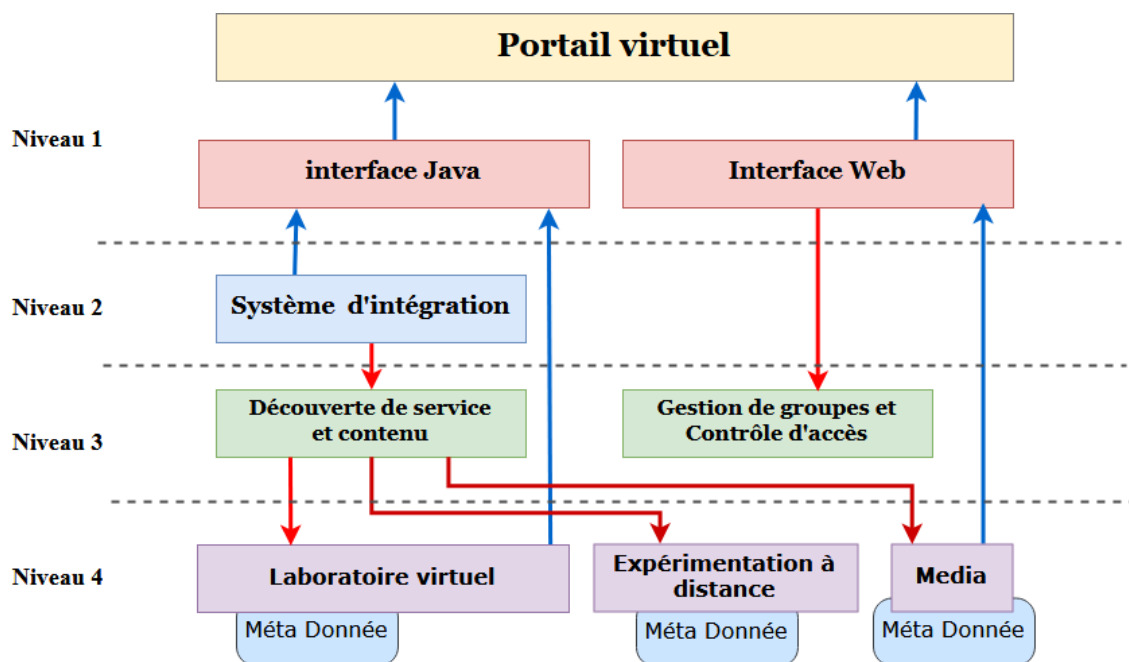


Figure 1.7 Architecture du projet Lila

Le troisième niveau est responsable de l'intégration des activités pratiques et documents pour les cours interactifs/intelligent guidant les étudiants à travers une expérience 'tutoring system'. La quatrième couche est représentée par une interface web pour les expériences.

Le 'portail virtuel' représente la couche supérieure de l'architecture, s'appuyant sur le projet 'Wonderland' développé par 'Sun Microsystem', qui est un monde virtuel en 3D. il permet l'accès aux différents laboratoires, ainsi que la communication entre différents utilisateurs avec la voix et en échangeant des documents de manière synchrone.

En outre, les enseignants utilisent le portail LiLa pour rechercher et identifier les expériences qu'ils préfèrent inclure dans leurs cours, puis téléchargent ces expériences depuis le portail LiLa, ensuite les chargent sur le système de gestion de l'apprentissage. Les expériences sont conçues, chargées et maintenues par des fournisseurs de contenu (Richter et al., 2011).

## 5.5 Le projet Go-Lab

Go-Lab (Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School), un projet européen pour la fédération de Laboratoires distants, a démarré en 2012 dans le but de développer une infrastructure technique prenant en charge des activités d'apprentissage pratique dans les disciplines scientifiques et d'ingénierie (Dikke, 2015).

Le portail Go-Lab<sup>22</sup> propose des activités d'apprentissage basées sur l'approche de l'apprentissage exploratoire guidée par un espace d'apprentissage structuré que ce soit virtuel ou réel (ILS : Inquiry Learning Space), cette approche favorise l'acquisition de connaissances approfondies dans le domaine conceptuel. Cette structure intègre les étapes du cycle exploratoire à savoir orientation, conceptualisation, investigation et conclusion) (de Jong *et al.*, 2014).

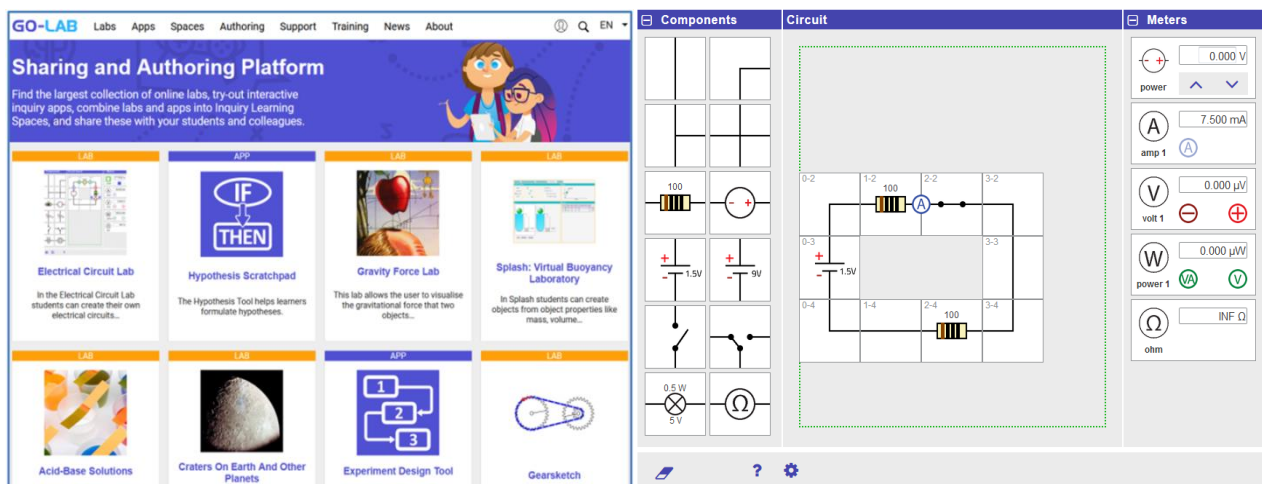


Figure 1.8 Portail Go-Lab et le laboratoire circuit électrique<sup>23</sup>

<sup>22</sup> [www.golabz.eu](http://www.golabz.eu)

<sup>23</sup> <http://go-lab.gw.utwente.nl/production/electricalCircuitLab/build/circuitLab.html?preview>

Les enseignants peuvent créer et adapter des phases et les conseils associés dans un ILS via une simple interface de type wiki. Ils peuvent également ajouter et adapter des outils d'apprentissage à un ILS (par exemple, changer le langage ou les concepts disponibles) en utilisant un outil auteur « compositeur d'application ». En plus, le système de fédération de laboratoire en ligne de Go-Lab offre la possibilité pour les établissements ayant des laboratoires de les brancher et de les partager dans le système Go-Lab en utilisant une interface ouverte (de Jong *et al.*, 2014).

On note tout de même l'absence d'évaluation par les paires, mais par contre, il dispose d'un système de gestion et d'exploitation de la traçabilité, qui permet d'avoir une vision globale sur certains critères liés à l'activité des étudiants, le temps passé par session, ... etc.

## 5.6 Le projet iLab

Le projet 'iLab' du MIT (Massachusetts Institute of Technology) est une architecture commune et distribuée pour le développement et le déploiement de laboratoires en ligne appelée architecture partagée iLab (ISA). iLab vise principalement la mise à l'échelle mondiale de l'accès aux laboratoires en ligne par des utilisateurs qui peuvent être répartis globalement sur un nombre arbitraire d'emplacements reliés uniquement par Internet. L'accès se fait à distance via une connexion unique et une interface administrative standard simple (Harward *et al.*, 2008).

Le projet a commencé en 1998 dans le contexte de l'apprentissage secondaire et universitaire en Microélectronique. En 2008, iLab était utilisé par différentes institutions et son architecture avait été adaptée aux nouvelles technologies du web, notamment par le passage à une infrastructure open source robuste et évolutive construite sur des services Web qui fournit un cadre logiciel unificateur pour prendre en charge l'accès à une grande variété de laboratoires en ligne.

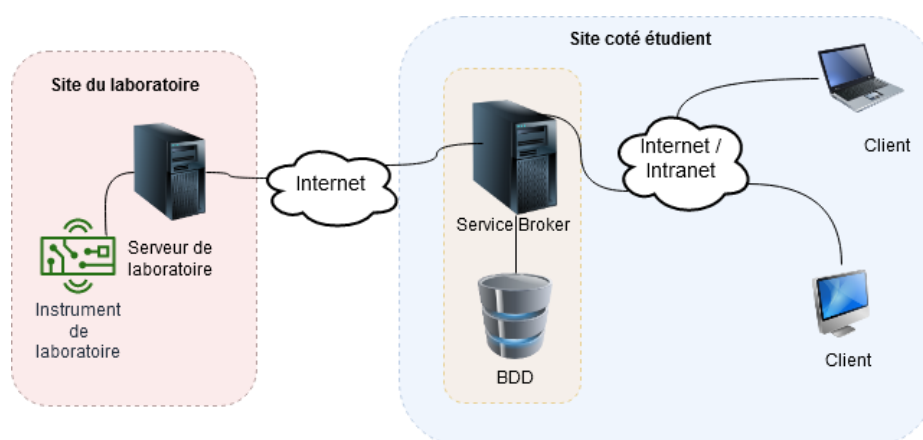


Figure 1.9. Composant ISA: Service Broker, Serveur de laboratoire et client du laboratoire

La structure 'ISA' fournit un ensemble de services de laboratoire génériques, tels que la gestion des comptes d'utilisateurs (*single sign-on*), la planification et le stockage de données, dans un système middleware accessible à l'aide de services Web (Figure 1.10).

L'architecture logicielle ISA s'applique à deux catégories d'expériences en ligne : batch et interactive (Figure 1.10) ; dans le mode en batch toute l'expérience est définie avant le début de l'exécution, par contre dans l'expérience interactive, l'utilisateur peut observer et modifier le déroulement de l'expérience en temps réel (Harward *et al.*, 2008).

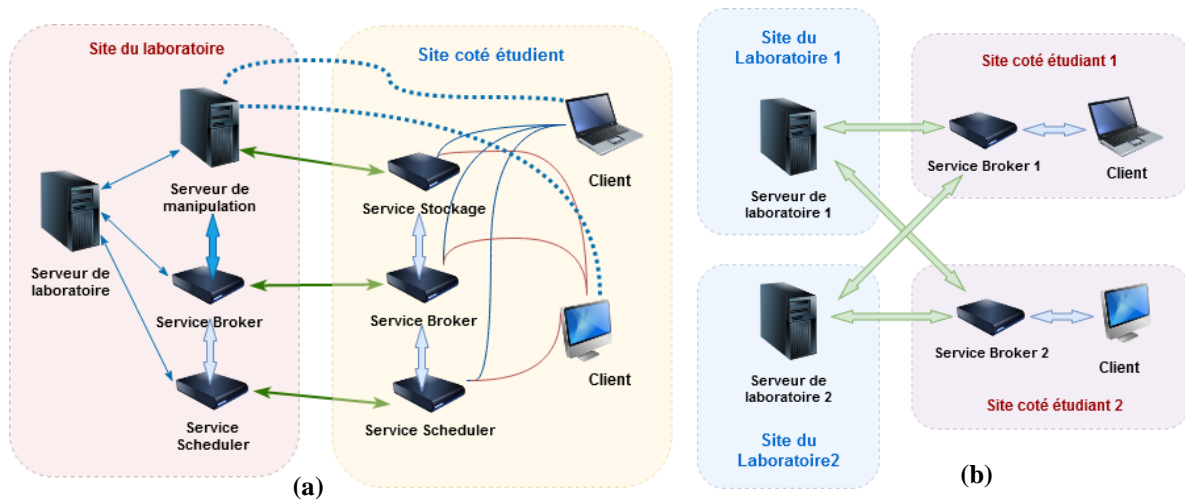


Figure 1.10. Mode d'expérience (a) interactive, (b) batch.

Dans le mode batch, les étudiants soumettent les paramètres de l'expérience sous forme d'une demande d'exécution, qui est placée dans une file d'attente. Lorsque les appareils du laboratoire distant sont disponibles, alors l'expérience est exécutée de manière asynchrone en tant que tâche « traitement par lots ». Dans ce cas, les résultats sont enregistrés et récupérés ultérieurement (Lowe, 2013).

Ce scénario implique que l'utilisateur n'interagit pas avec l'expérimentation en cours d'exécution, l'utilisation des appareils est limitée uniquement par les algorithmes gérant la file d'attente. En effet, les plus répandus sont les laboratoires interactifs qui permettent aux utilisateurs d'être affectés à une ressource de laboratoire et d'interagir avec l'expérience en temps réel.

D'un point de vue technique, le déroulement de l'opération expérimentale de laboratoire dépendra d'un certain nombre de facteurs, à savoir le nombre d'utilisateurs (simultanés); le nombre d'appareils disponibles; la durée typique de manipulation et la fréquence d'utilisation; ainsi que les garanties d'accès d'utilisateurs (temps d'attente) (Lowe, 2013).

D'un autre côté, l'architecture ISA est composée de 03 couches (tiers), le client, le serveur de laboratoire et un 'service broker' entre les deux, qui fait office d'un intermédiaire qui permet aux clients d'accéder à différents laboratoires, de manière transparente tant que le client et le laboratoire respectent la spécification des services web proposés par ISA.

Les laboratoires en mode interactif se distinguent par rapport aux laboratoires batch et interactif, par l'ajout d'un composant de stockage des informations d'expériences ainsi qu'un composant dédié à la réservation de laboratoires. Il est tout de même judicieux à signaler que « iLab » ne permet pas un accès collectif et donc d'utilisation simultanée par plusieurs utilisateurs pour la même expérience, du fait de la séparation franche entre les différentes couches que composent l'architecture ISA.

### 5.7 Le projet Labshare - SAHARA

Le premier laboratoire distant (Sahara release 1) de l'Université de Technologie de Sydney (UTS) a été mis au point entre 2000 et 2005, il a été adopté dans le cadre du projet beaucoup plus large de LabShare (Lowe *et al*, 2009 ; Lowe *et al*, 2013). LabShare<sup>24</sup> était une initiative conjointe des universités du groupe réseau australien de technologie (UTS, Curtin, UniSA, RMIT et QUT). LabShare visait à « mettre en place une approche nationale du partage des laboratoires distants qui fournirait aux laboratoires distants de meilleure qualité avec une plus grande flexibilité pour les étudiants, de meilleurs résultats scolaires, une durabilité financière améliorée et une évolutivité accrue en termes de gestion du grand nombre d'étudiants ». Par la suite, de nouvelles versions de Sahara (2,3, ...) sont apparues pour satisfaire chacun de ces objectifs.

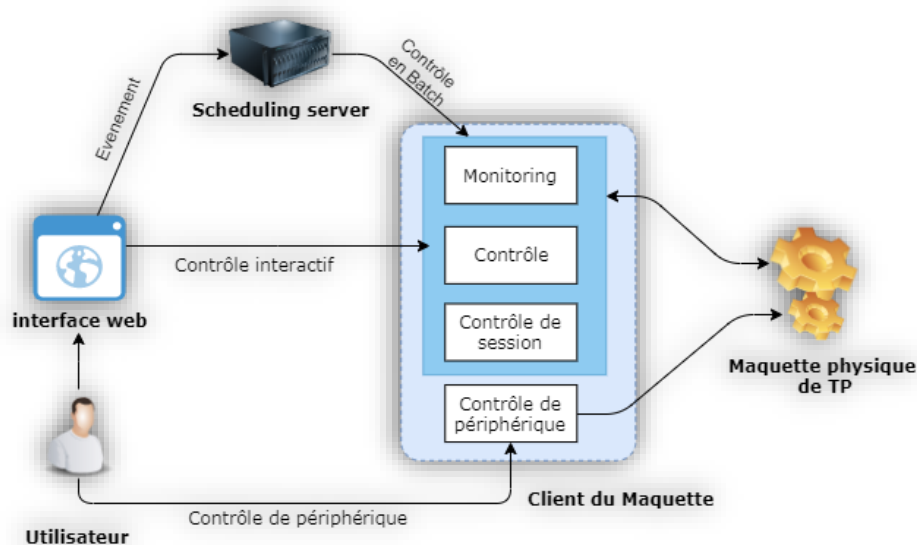


Figure 1.11 Architecture du Labshare - Sahara

<sup>24</sup> <http://www.labshare.edu.au/>

L'architecture de base du Sahara est composée de 03 parties, à savoir l'interface web, un serveur de planification et un client pour les 'rigs' (maquette de TP), comme illustrée à la Figure. 1.11 (Lowe *et al*, 2013)

- L'interface Web : à travers laquelle les utilisateurs sont authentifiés et autorisés à interagir avec l'ensemble des fonctionnalités du système, y compris la sélection des équipements concernés par l'expérience souhaitée.
- Le serveur de planification : est le middleware qui gère les processus de planification des maquettes des différents laboratoires distants, notamment le suivi de l'état des maquettes et leur attribution aux utilisateurs. Il gère également les sessions en cours en fonction des temps alloués, ainsi que de la journalisation de tous les événements et activités.
- Le client de maquettes : Ce composant fournit un outil d'abstraction de chaque maquette traduisant ainsi les requêtes abstraites du serveur de planification en actions spécifiques sur la maquette de TP.

On note l'absence d'interactions sociales dans ce projet.

## 6. Conclusion

Ce chapitre décrit brièvement l'impact de la technologie au cours des dernières décennies sur l'intégration des travaux pratiques dans l'enseignement des sciences et technologies, particulièrement l'amélioration des environnements de laboratoire classiques. Les travaux pratiques (sessions de laboratoire) ont été présentés en soulignant les différents types de laboratoires disponibles actuellement pour mener des activités pratiques, ou expérimentations à distance considérées comme composante essentielle dans l'enseignement des sciences. En analysant les différents types de laboratoires supportés par un ensemble de paramètres intrinsèques et les coûts impliqués pour leur développement et leurs stratégies d'accès et leurs limites, les laboratoires distants constituent une solution flexible et rentable pour conduire à distance des expérimentations réelles à travers une interface web.

Pour rendre compte de l'importance des laboratoires distants, la notion d'expérimentation à distance a été décrite, en présentant le contexte d'utilisation et les acteurs impliqués dans l'opération pédagogique. Les mesures techniques et pédagogiques pour l'application et le développement de laboratoires distants ont été ensuite détaillées, et certaines architectures de projets de laboratoires distants les plus répandues pour le domaine de Génie Electrique ont été présentées.

Les résultats de ce chapitre nous permettront d'identifier les considérations et les défis à lever pour construire notre prototype de laboratoire à distance, qui sera développé dans le chapitre suivant.

## **Chapitre II : Conception du Laboratoire à Distance**

### **1. Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté le contexte général des laboratoires à distance, ainsi que l'importance dans la conduite des activités expérimentales. Les différentes architectures utilisées par les laboratoires existants présentent un manque de standardisation dans la conception et la stratégie d'accès, et notamment dans la reconfiguration et la personnalisation à distance des modules utilisés pour réaliser les activités pratiques.

Ce chapitre fournit des éléments à prendre en compte pour la conception d'un laboratoire standard et reconfigurable. Nous présentons les modes de développement actuels en se concentrant sur les architectures logicielles et matérielles permettant l'interfaçage et l'accès distant à différents types d'instruments généralement utilisés dans les expériences en électronique.

L'architecture globale du laboratoire est présentée ainsi que les différentes composantes matérielles impliquées dans le développement du laboratoire. Nous avons détaillé également les différentes variantes du matériel utilisé, et les outils logiciels open-source utilisés pour le développement des différents modules logiciels compatibles avec les modules open hardware.

### **2. Motivation de recherche**

#### **2.1 Contexte de recherche**

Les travaux de thèse de H. Mostefaoui (Mostefaoui, 2018) sur la mise en œuvre de travaux pratiques à distance, ont abouti à la proposition d'un modèle de laboratoire qui s'appuie sur des standards de développement libres, supportant une faible bande passante. Les résultats sont satisfaisants pour un groupe de 36 étudiants tant sur le plan technique que pédagogique.

Le modèle étendu de ce laboratoire traite les travaux pratiques, comme des expériences multiples nécessitant des ressources qui sont généralement limitées. L'augmentation du nombre d'étudiant dans les établissements universitaires exige une gestion plus fiable des ressources destinées pour les activités pratiques. De plus, le système doit assurer une bonne expérience d'utilisation (utilisabilité) dans l'accomplissement des différentes expérimentations.

Nos travaux sur le support du partage de travaux pratiques en matière de ressources matérielles et logicielles, étendent, et s'appuient sur la solution proposée par H. Mostefaoui.

## 2.2 Contexte des travaux pratiques

L'enseignement de l'Electronique pour les étudiants du premier cycle universitaire passe initialement par l'enseignement de l'Electronique de base. Dans ces enseignements, où la pratique est mise en avant, les étudiants doivent acquérir un ensemble de connaissances théoriques liées à l'Electronique de base (ex. : Diviseur de Tension et de Courant, Théorème de Superposition et de 'Thevenin', Caractéristiques I(V) d'une diode, Caractérisation de signaux), ainsi que différentes compétences inhérentes à la maîtrise des manipulations des différents instruments et équipements nécessaires dans une expérience.

Dans ce contexte, les travaux pratiques représentent une part importante des enseignements au sein desquels les étudiants peuvent confronter leur compréhension des concepts théoriques à la réalité par la manipulation de différents composants d'une plateforme matérielle. Or, Les laboratoires d'Electronique mis à disposition à l'Université souffrent du problème du nombre insuffisant d'équipement relativement avec le nombre d'étudiant, avec des périodes d'accès restreintes.

## 2.3 Développement du laboratoire

Notre système est un environnement composé d'un Laboratoire Distant (RL : 'Remote Laboratory') qui repose sur un gestionnaire principal des expériences permettant l'hébergement et l'accès à la réalisation des expériences, et dont l'interface utilisateur propose des fonctionnalités propres à chaque manipulation.

Pour concevoir notre laboratoire, nous avons suivi une approche modulaire basée sur des modules et une série de tests comme illustré dans la liste suivante :

Module 1 : Back-end :

- Gestionnaire de l'accès aux ressources pédagogiques
- Gestionnaire des manipulations « middleware »

Module 2 : Front-end :

- Interface d'accès et de manipulation.

Module 3 : Composant pédagogique du middleware.

Module 4 : Composant technique du middleware

- Système de partage des laboratoires
- Gestionnaire de la traçabilité

Module 5 : Complément pédagogique

- Système d'auto évaluation.
- Evaluation par les pairs.

### 3. Conception du laboratoire

#### 3.1 Généralités

Généralement, dans un laboratoire distant, les ressources sont hébergées par un serveur de laboratoire et sont disponibles lors de l'expérimentation. La manipulation de ces ressources se fait à travers une interface utilisateur (Web) après avoir effectué un accès à l'environnement des activités pratiques.

Notre laboratoire propose un modèle particulier en exploitant les possibilités offertes par une infrastructure matérielle autour d'un système de commutation. Cette configuration permet de multiplier le nombre des variantes pour une même manipulation, ainsi qu'une reconfiguration rapide des circuits de TP. Finalement, notre modèle permet de personnaliser les tests pour un ensemble d'utilisateurs.

A travers la couche logicielle qui compose notre laboratoire, et dans le cadre d'une expérimentation donnée, l'interaction entre utilisateurs (pairs) peut se faire de façon synchrone, l'intervention de l'enseignant se déroule comme s'il est présent physiquement avec les étudiants. Enfin, l'interface Web offre la possibilité de manipuler en toute transparence une plate-forme matérielle gérée par des outils logiciels de natures différentes grâce aux adaptations faites pour assurer l'interopérabilité avec ces outils.

La Figure 2.1 illustre le diagramme de déroulement d'une expérimentation typique pour un utilisateur. Il commence par un accès à la plate-forme de TP pour choisir la manipulation via un serveur dédié. Ce dernier sollicite le serveur de manipulation qui gère la configuration et l'accès à la plate-forme matérielle. Finalement l'utilisateur distant aura accès à la manipulation souhaitée. Toutes les interactions réalisées seront tracées et enregistrées sur le serveur principal. Les interactions enregistrées concernent un ou plusieurs utilisateurs qui travaillent en parallèle. Cet aspect sera détaillé dans les sections suivantes.

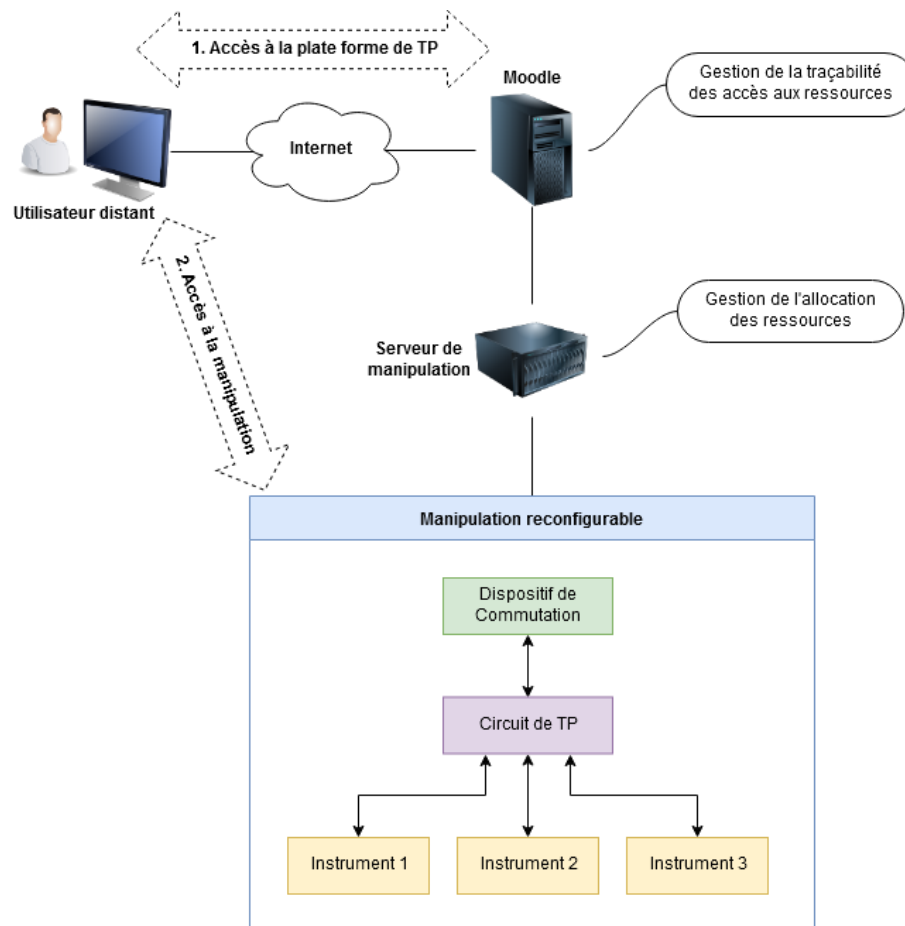


Figure 2.1 Diagramme de déroulement d'expérimentation

### 3.2 Partie matérielle du laboratoire

La partie matérielle du laboratoire représente la plate-forme qui assure le transit de tout le trafic pour arriver à tous les éléments constituant le laboratoire. Les éléments hardware sont connectés soit par des liens directs, soit par des liaisons uniformisées.

La partie matérielle est composée d'un ensemble d'instruments de mesure, des machines serveurs, des cartes de TP et d'un dispositif de commutation, plus les équipements d'interconnexion réseau.

L'architecture matérielle est basée sur l'interconnexion des plusieurs parties avec différents types de liaisons. Les instruments de mesures sont reliés au réseau local Ethernet en utilisant des liaisons RJ45. Les cartes de TP sont branchées avec le serveur de manipulation par une liaison directe sous forme d'une nappe à 40 points. La liaison entre les instruments de mesure et les cartes de TP se fait par des sondes.

La maquette de manipulation (rig en anglais) représente un environnement accessible à distance pour réaliser une expérimentation. Cet environnement est basé sur un circuit de TP, le dispositif de commutation, le serveur de manipulation, et un certain nombre d'instruments de mesure. La communication à l'intérieur de cet environnement est assurée par des règles et des

protocoles. Pour des raisons de montée en échelle ‘scalability’, la duplication des plates-formes de manipulation est envisageable.

Les éléments dotés d’une partie soft à exploiter directement :

- Les serveurs (serveur principal, serveur de manipulation)
- Les instruments de mesures.
- Les équipements de réseau et de liaison.

Les éléments à développer sont :

- Le dispositif de commutation
- Les cartes modulaires de TP

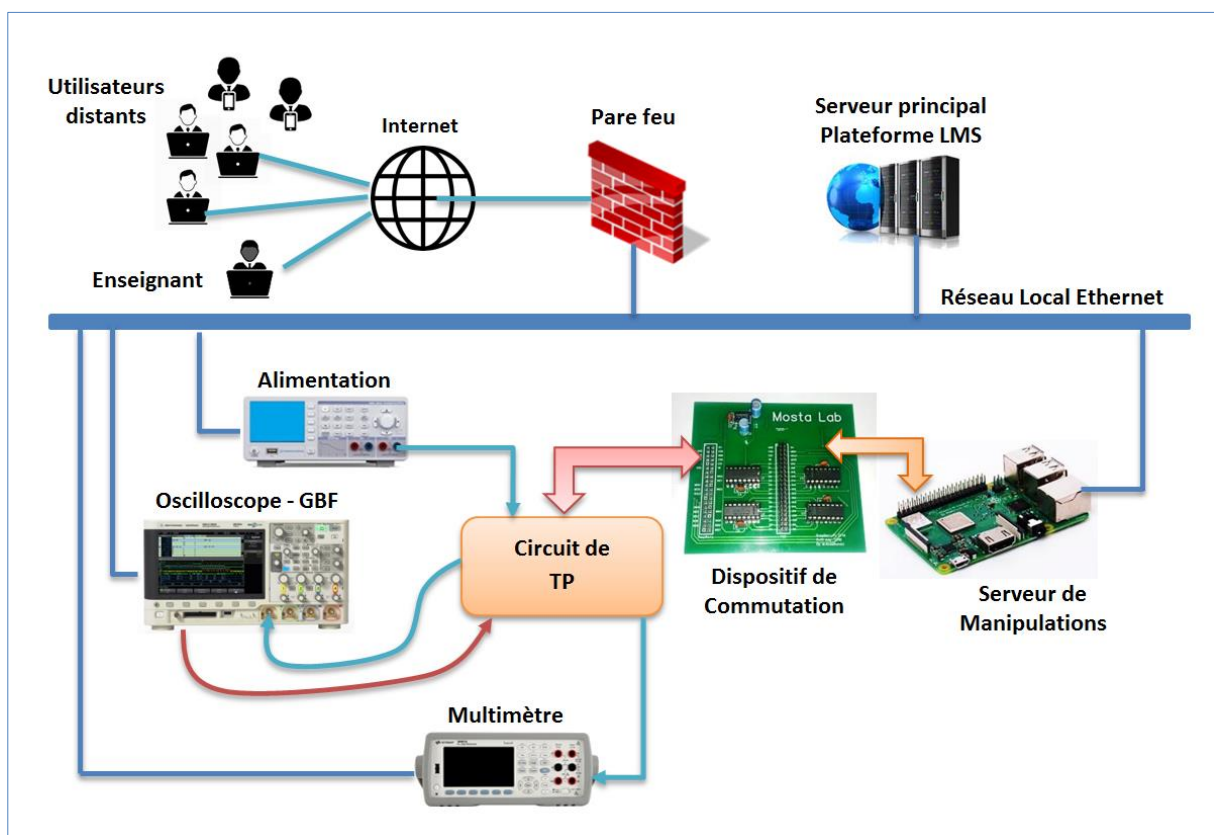


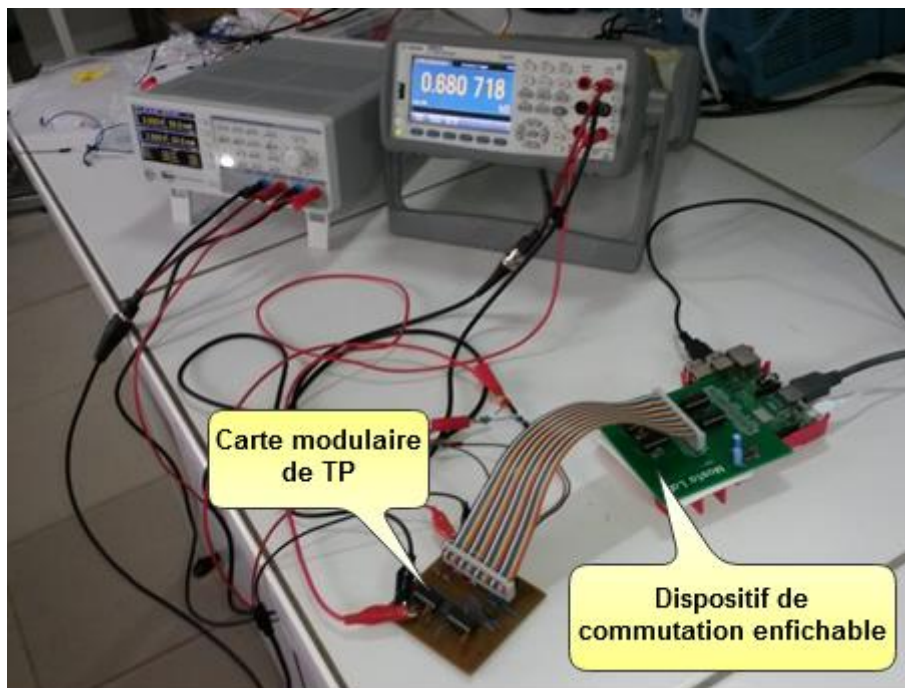
Figure 2.2 Architecture matérielle globale

### 3.2.1 Le dispositif de commutation

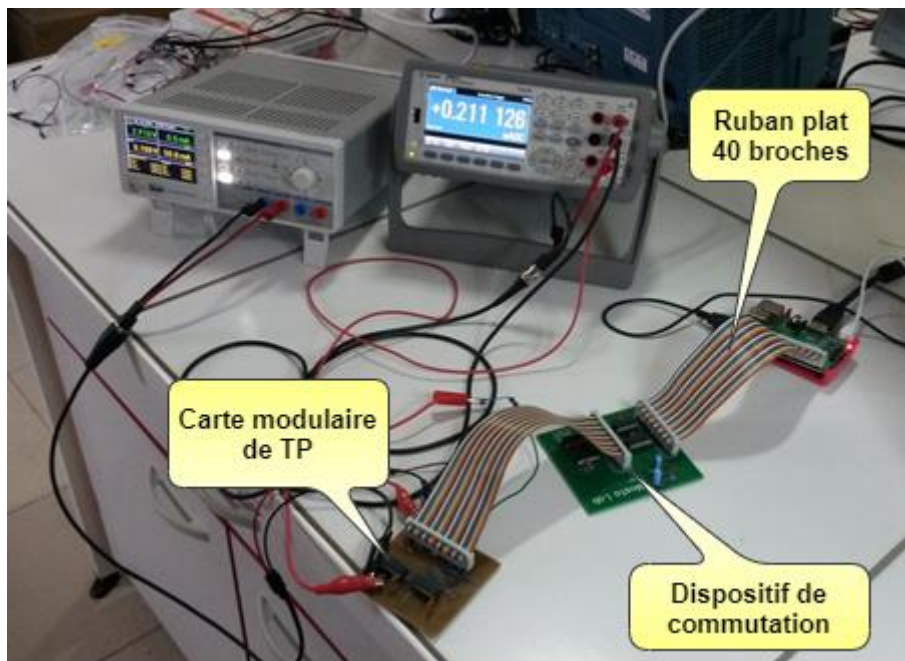
Le dispositif de commutation joue un rôle primordial dans la gestion des manipulations. C’est une pièce maitresse dans la conception des TPs. De ce fait, ce dispositif permet d’établir différentes configurations de montage entre équipements et composants électroniques. Grâce au dispositif de commutation, on peut basculer d’un montage à un autre par l’inclusion ou l’exclusion d’un tel équipement ou composant électronique présent dans le même environnement de l’expérimentation.

Le dispositif de commutation est composé d'un certain nombre de switches numériques. L'ouverture et la fermeture de ces switches permet à l'utilisateur de sélectionner la configuration de circuit souhaitée à partir d'une banque de circuits fournis par le concepteur. Le choix d'une configuration peut faire l'objet de simple changement de l'emplacement des points de mesure, de basculer entre composants de valeur différentes ou bien modification du circuit à étudier.

La conception du dispositif de commutation tient compte de la facilité d'utilisation. Le branchement avec le système de commande se fait soit par un simple branchement direct (carte enfichable – plugged card), ou via une nappe standardisée à 40 points. Les deux figures suivantes montrent la version enfichable et la version branchée par nappe de ce dispositif. Le dispositif de commutation relie les éléments nécessaires à la manipulation, à savoir les instruments de mesure, le système de commande et le circuit de TP.



**Figure 2.3 Dispositif de commutation enfichable**



**Figure 2.4** Dispositif de commutation branchée par nappe

Le dispositif de commutation a été conçu pour faciliter la maintenance et la gestion quotidienne. En effet, en production le dispositif de commutation, les instruments de mesure, la carte de commande et la carte de TP sont reliés. Le passage d'un TP à un autre se fait par changement uniquement de la carte de TP.

Le système de commande utilisé est un système embarqué à base d'ordinateur mono-carte comme le Raspberry Pi, PcDuino ou Redpitaya. Bien que l'architecture interne diffère d'une carte à l'autre, nous avons adapté un système de commande valable pour chaque carte qui réalise la même fonction.

### 3.2.1.1 Conception du dispositif de commutation

Dans notre approche, le laboratoire distant fournit un montage spécifique pour chaque apprenant ou groupe d'apprenants dans le cadre d'une expérience définie par un enseignant. L'objectif principal du gestionnaire du dispositif de commutation est donc de permettre de concevoir une topologie de montage correspondant à l'expérience, puis de basculer automatiquement pour chaque expérimentation.

Le gestionnaire doit également proposer un modèle de contrôle permettant à chaque apprenant d'accéder à son propre montage, et d'interagir avec les dispositifs qui y sont présents comme par exemple : changer le mode d'un multimètre Ampèremètre/Voltmètre. Ces différents besoins nous amènent à proposer le gestionnaire du dispositif de commutation présenté dans la section §3.4.

Le dispositif de commutation est composé d'un ensemble de commutateurs sous forme de relais mécaniques ou 'switches' analogiques à commande numériques. Dans la section suivante, nous allons présenter les principales évolutions et changements qu'a subie notre dispositif de commutation ainsi que le système de commande en matière de composant utilisés, limites et performance réalisée, technique de développement logiciel, ainsi que les critères de choix derrière nos motivations.

### 3.2.1.2 Evolution du dispositif de commutation

La première version a été conçue pour répondre au besoin de reconfigurer le circuit de TP pour un seul étudiant (Figure 2.5).

Elle est caractérisée par l'utilisation de relais électromagnétique de 5V. Les instruments de mesure (Multimètre, alimentation, Générateur de fonctions ...etc.) sont reliés à cette carte par voie filaire. A ce niveau, les composants électroniques de la carte de TP sont soit placés sur une 'breadboard', soit implantés sur une carte PCB. De ce fait, basculer vers un autre TP implique de refaire tous les branchements filaires nécessaires pour la nouvelle carte. Ce qui représente une tâche un peu lourde à accomplir à chaque fois, et peut être une source de perte de temps et d'effort. Le système de commande dans cette première version était un Arduino Ethernet.

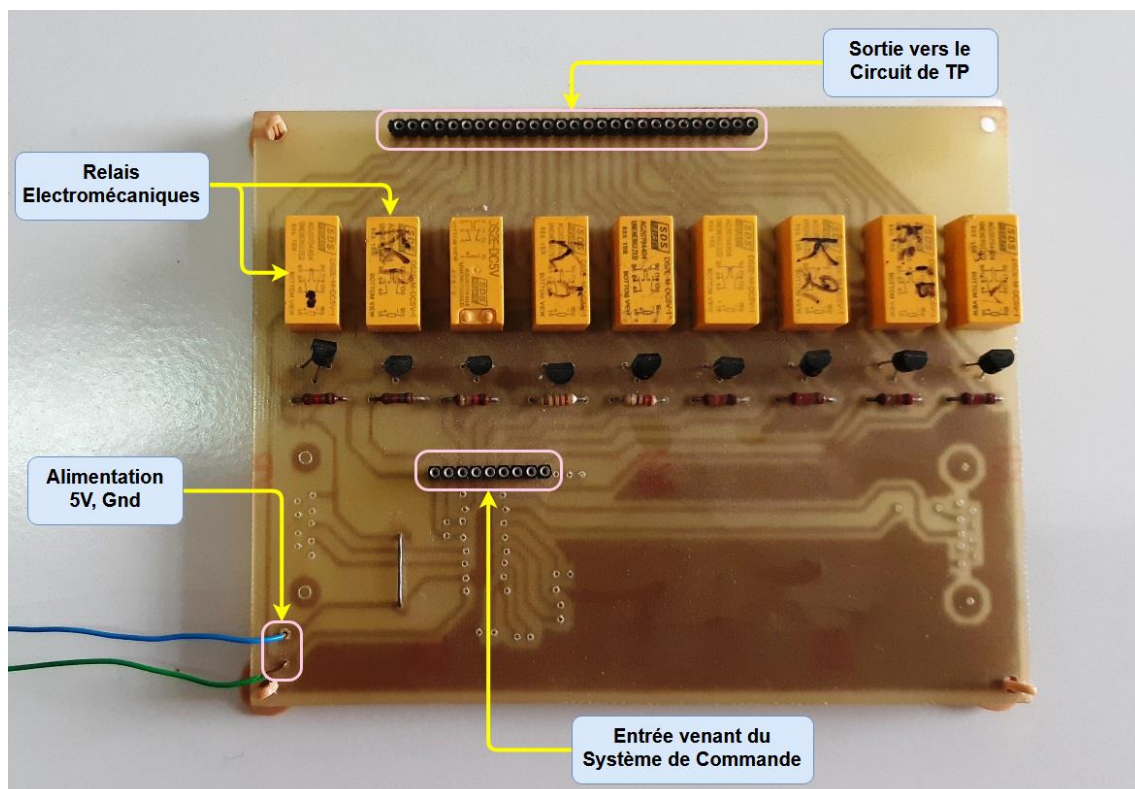


Figure 2.5 Dispositif de Commutation à base de Relais

La figure 2.6 représente la deuxième version du dispositif de commutation, dans laquelle les relais sont toujours présents, avec la modification du système de commande qui devient un

PcDuino qui tourne avec un système d'exploitation de type linux Ubuntu. La nouveauté dans cette carte c'est l'uniformisation de la sortie vers la carte de TP par l'utilisation d'une nappe standard à 40 points. Cette uniformisation facilite le basculement d'une carte de TP à l'autre, elle permet entre autres d'uniformiser le protocole de conception des cartes de TP. Néanmoins, cette approche limite le nombre des relais à utiliser et ne permet que 13 relais, du fait que chaque relais nécessite trois (03) points de la nappe. Les leds (rouge/vert) sont utilisés pour surveiller l'état d'activation des relais (Farah *et al*, 2016).

Dans la 3<sup>ème</sup> version illustrée par la figure 2.7, le dispositif de commutation est conçu de manière à être enfichable directement sur la carte de commande, donc la liaison est uniformisée pour intégrer l'alimentation, les ports de commande numérique et les ports des différents protocoles de communication (SPI, I2C, ...). De plus, nous avons remplacé les relais SPDT par des switches analogiques à commande numérique de type SPST. Ce passage nous a permis d'aller jusqu'à 16 switches et ne consommer que 32 fils, les autres sont mis à profits pour étendre le bus SPI, les lignes 5V et GND.

La liaison avec les cartes modulaire de TP est uniformisée en utilisant une nappe (ruban plat à 40 broches), ce qui unifie le protocole de développement et d'interaction avec les cartes de TP. Cette dernière génération se caractérise par ses performances et son faible coût autour de 40 Euro (Adda Benattia *et al.*, 2019).

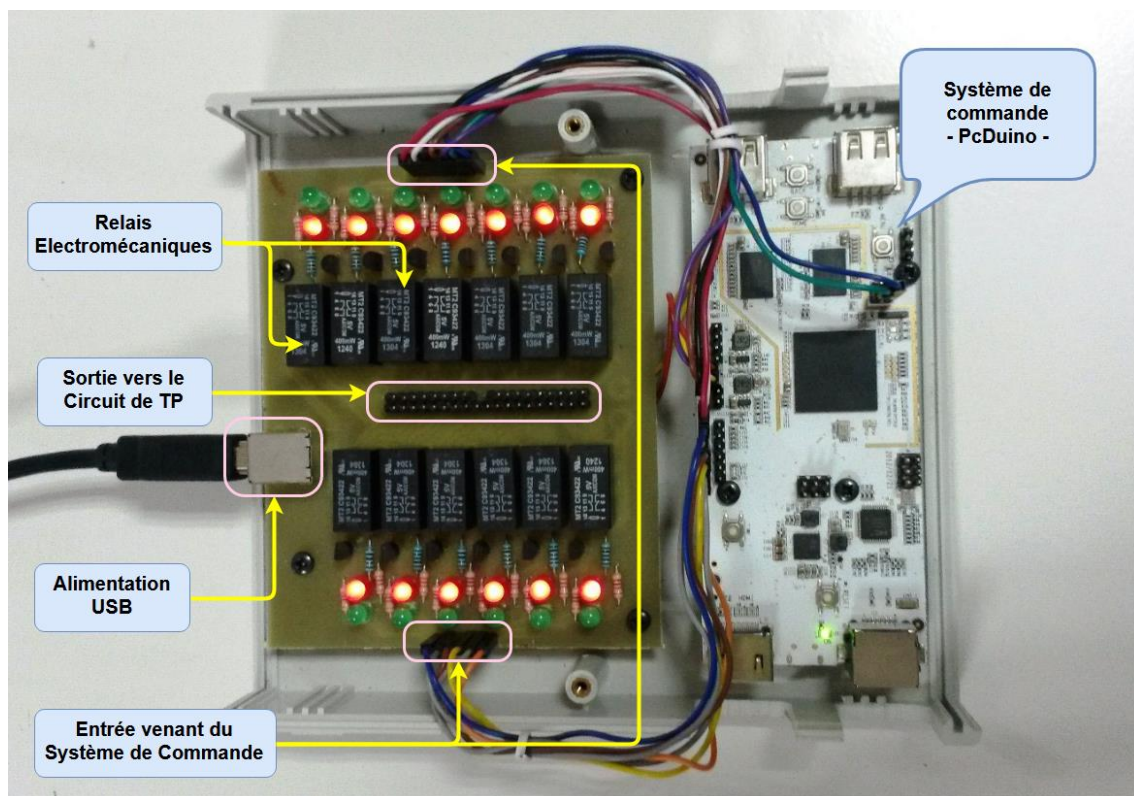


Figure 2.6 Dispositif de Commutation à base de Relais commandée par PcDuino

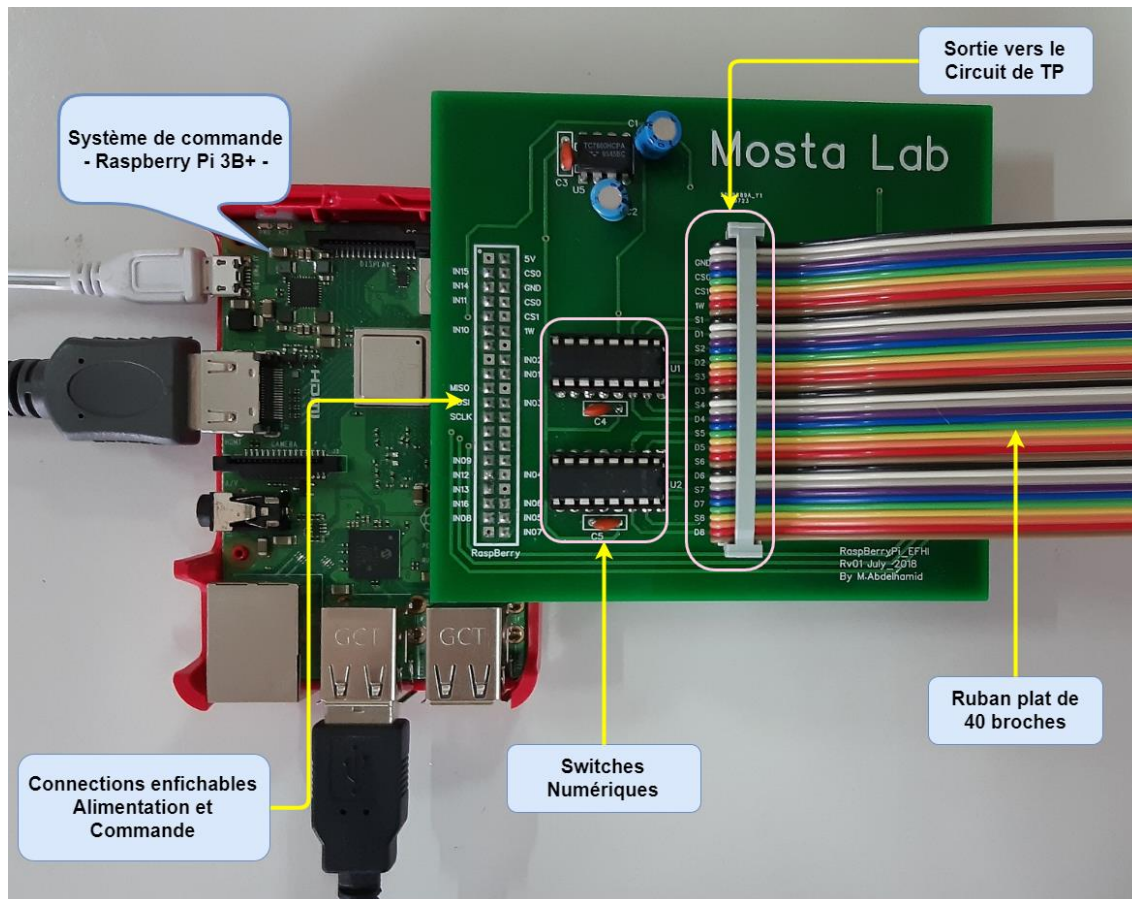


Figure 2.7 Dispositif de Commutation enfichable sur Raspberry Pi B+

### 3.2.2 La carte modulaire de TP

La conception de la carte modulaire de TP tient compte de la conformité vis-à-vis de l'accessibilité, la facilité de branchement et de la flexibilité (reconfiguration). De ce fait, il est envisageable d'implanter plusieurs variantes du même TP sur la même carte, soit par l'intégration de différent type de composants électroniques (résistance, condensateur, diode, bobine, ... etc), ou par l'utilisation de composants à valeur variable comme les potentiomètres.

La conception de la carte de TP prévoit l'utilisation de quelques instruments de mesures. L'emplacement du branchement de ces instruments est reconfigurable grâce à l'utilisation des switches du dispositif de commutation. Cette flexibilité permet de multiplier le nombre de TP autour de la même carte.

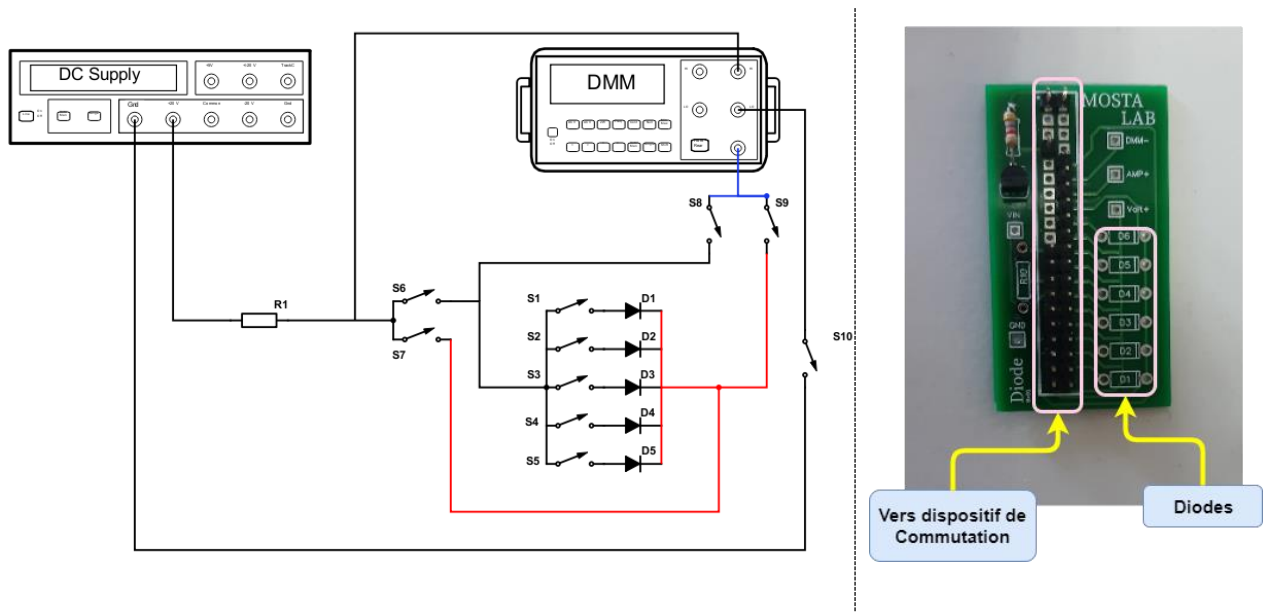


Figure 2.8 Carte de TP diodes

La figure 2.8 présente le schéma de conception de la carte de TP diodes, et la carte réelle réalisée.

Suivant la variante du TP à présenter, le développeur de la partie logicielle qui est chargé d’implémenter l’interface de manipulation, est appelé à inclure les composants concernés ainsi que les valeurs énoncées dans l’interface web à présenter pour l’étudiant.

### 3.3 Architecture logicielle globale

Notre conception du laboratoire illustrée par la figure 2.9 est structurée selon une architecture en 3-tiers, que l’on peut trouver dans iLab (Harward *et al.*, 2008). Ainsi, une séparation nette entre l’interface utilisateur et le gestionnaire de la plate-forme matérielle est mise au point afin de permettre une meilleure intégration de services pédagogiques et organisationnels.

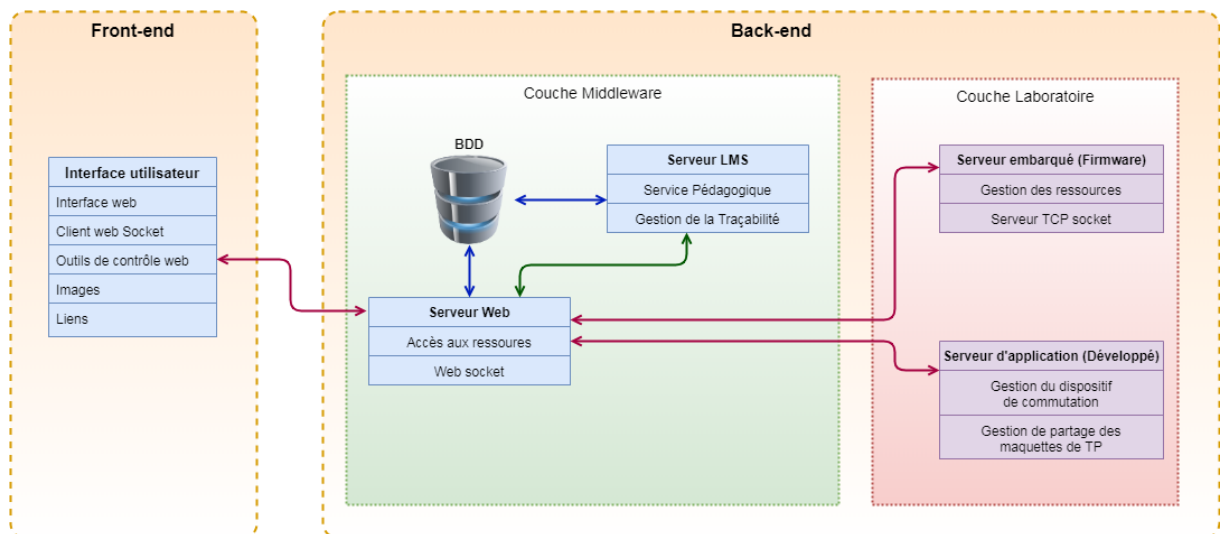


Figure 2.9 Architecture logicielle globale

Le « front-end » constitue la partie visible de l'application par l'utilisateur, elle définit l'ensemble de programmes (interface web) permettant à l'utilisateur distant de manipuler et d'interagir avec les programmes du côté serveur. Tandis que le « back-end » représente les composants logiciels (programmes serveurs) qui tournent en arrière-plan et qui sont plus appropriés à communiquer avec les ressources requises. Le front-end peut interagir avec les programmes d'arrière-plan par un programme intermédiaire (middleware) qui assure la médiation et la coordination entre les activités frontales et d'arrière-plan (niveau laboratoire).

### 3.4 Gestionnaire du dispositif de commutation (Serveur de manipulations)

C'est le système de commande du dispositif de commutation. Ce système est conçu pour être à l'écoute en permanence des commandes venant de l'interface web d'un utilisateur distant et d'appliquer la configuration désirée sur le dispositif de commutation ainsi que sur les composants de la carte de TP.

Comme le dispositif de commutation, le gestionnaire de commande a connu certains changements relativement avec la carte sur laquelle il est implanté. La fonctionnalité principale n'a pas changé avec le changement des cartes utilisées. Cependant, la performance du serveur de manipulation est nettement améliorée. L'évolution des caractéristiques techniques du hardware est un facteur déterminant. De plus, pour mieux exploiter le hardware, les différents outils de développement logiciel ont beaucoup évolué en parallèle. Par exemple, la carte Arduino représente un outil de développement intégré hardware et software.

#### 3.4.1 Arduino

Le système de commande à base d'*Arduino*<sup>25</sup> est conçu sous forme d'un serveur web (Mostefaoui, 2018). Dans ce cas, à la connexion d'un client la page web de manipulation est téléchargée au niveau du PC de l'utilisateur distant ; ainsi le serveur reste à l'écoute des commandes venant d'un client sous la forme d'un message qui contient la configuration du circuit de TP et les valeurs à appliquer. Par la suite, les résultats de mesures sont affichés sur l'interface web de l'utilisateur distant avec une mise en forme appropriée.

#### 3.4.2 Pcdduino

Une autre variante du système de commande consiste à utiliser une carte *PcDuino*<sup>26</sup>. C'est une carte munie d'un microprocesseur avec un système d'exploitation Linux ubuntu. PcDuino implémente l'ensemble des fonctionnalités d'un Arduino avec des performances supplémentaires d'un PC. PcDuino permet de développer des applications en utilisant différents langages de programmation comme C, C++, JavaScript et Python.

---

<sup>25</sup> [www.arduino.org](http://www.arduino.org)

<sup>26</sup> <http://www.linksprite.com/linksprite-pcdduino1/>

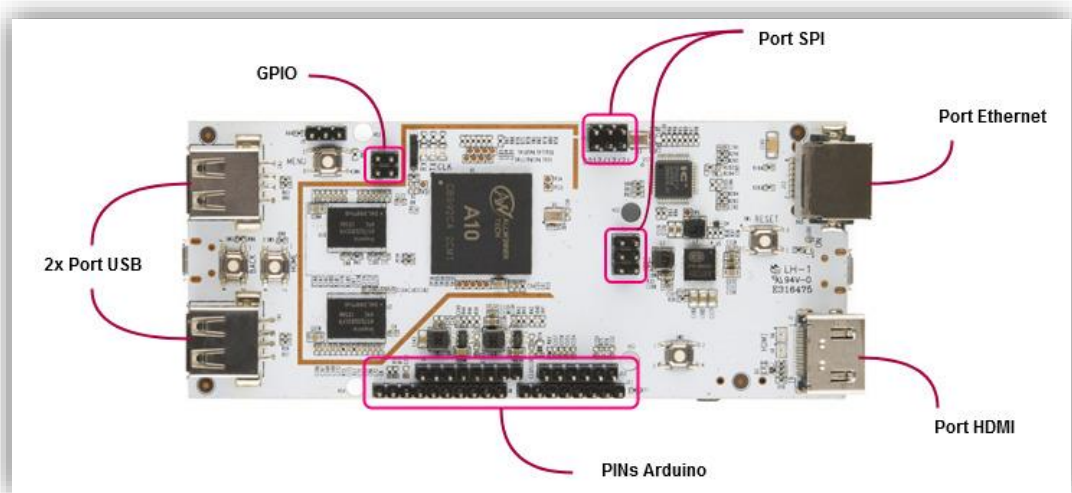


Figure 2.10 Pcduino v1

La carte pcduino se distingue par les caractéristiques techniques suivantes :

### Hardware

- Processeur : 1GHz ARM Cortex A8
- GPU : OpenGL ES2.0, OpenVG 1.1 Mali 400 core
- Mémoire : 1GB DRAM
- Mémoire flash : 2GB Flash, microSD card (TF) slot for up to 32GB
- Vidéo : Sortie HDMI
- Connectivité : 10/100Mbps RJ45 and USB WiFi extension (not included)
- Alimentation : 5V, 2000mA
- Taille : 125mm X 52mm

### Software

- Système d'exploitation : Linux3.0 + Ubuntu 12.04 / Android ICS 4.0
- Langue : Anglais
- API : Toutes les broches de la carte Arduino sont accessibles avec l'API fournie
- Les API permettent d'accéder aux interfaces suivantes : UART, ADC, PWM, GPIO, I2C, SPI
- Langages de programmation supportés : C, C++, Java/Android SDK, Python

### 3.4.3 Raspberry pi

Le système de commande du dispositif de commutation est devenu plus mature à base de *Raspberry Pi*<sup>27</sup>. La carte Raspberry Pi dans la version 3B+ apparue en 2017, offre des caractéristiques techniques capables d'assurer de bonnes performances. Le système d'exploitation 'linux Ubuntu' qui gère cette carte permet de développer des programmes très performant, en utilisant différents langages de programmation comme java, C, C++, JavaScript, python ...etc.

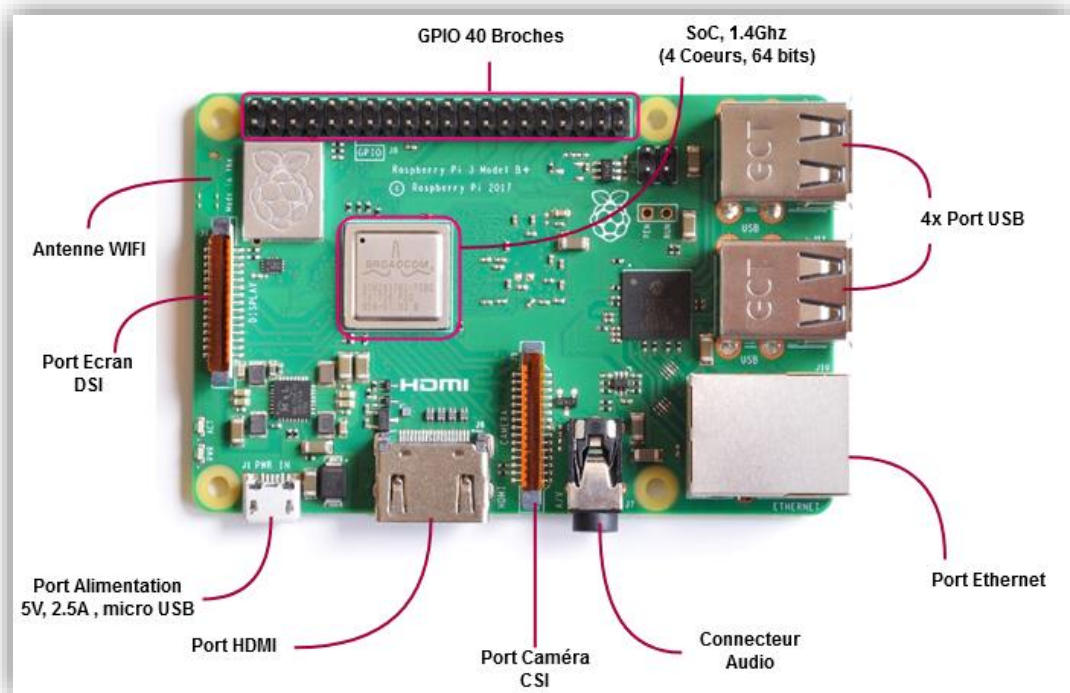


Figure 2.11 Raspberry 3B+<sup>28</sup>

Les caractéristiques techniques de la carte Raspberry Pi modèle 3B+, sont présentées ci-dessous :

- Processeur : Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
- Mémoire : 1GB LPDDR2 SDRAM
- 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE
- Gigabit Ethernet USB 2.0 (300 Mbps)
- 4 × USB 2.0 ports
- GPIO : 40 PIN GPIO
- Sortie HDMI, MIDI DSI port écran, MIPI CSI port caméra
- 4 sorties stéréo Output et port vidéo composite

<sup>27</sup> [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org)

<sup>28</sup> <https://raspi.tv/2018/new-raspberry-pi-model-3b-1-4-ghz-330mbit-ethernet-802-11ac-poe>

- Multimédia : H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics
- Support carte SD : Micro SD format pour chargement de la distribution et la sauvegarde de données
- Connecteur 5V/2.5A DC via connecteur Micro USB
- Alimentation via le Header GPIO
- Via le Power Over Ethernet (POE) - carte POE HAT séparée
- Température d'utilisation : entre 0° C et 50° C

Nous présentons maintenant un fragment du code source qui compose le programme serveur qui gère le dispositif de commutation :

```
function onRequest(request,response) {
  var params = querystring.parse(url.parse(request.url).query);
  response.writeHead(200,{"Content-Type":"text/html",'Access-Control-Allow-Origin':'*'});
  if ('v1','v2','v3','v4','v5','v6','v7','v8','v9','v10','v11','v12','v13','v14','v15','v16'
  in params) {
    for (i = 0; i < 16; i++) {
      exec('echo 1 > /sys/devices/virtual/misc/gpio/mode/gpio'+i);
    }
    exec('echo '+params['v1'] +' > /sys/devices/virtual/misc/gpio/pin/gpio0');
    exec('echo '+params['v2'] +' > /sys/devices/virtual/misc/gpio/pin/gpio1');
    exec('echo '+params['v3'] +' > /sys/devices/virtual/misc/gpio/pin/gpio2');
    ...
    ...
    exec('echo '+params['v15'] +' > /sys/devices/virtual/misc/gpio/pin/gpio14');
    exec('echo '+params['v16'] +' > /sys/devices/virtual/misc/gpio/pin/gpio15');
  }
  else{
    response.write('Les ports gpio_i doivent avoir une valeur, non ?');
  }
  response.end();
}
```

Figure 2.12 Fragment du code du serveur en JavaScript

Ce fragment de code est écrit en JavaScript, en utilisant les bibliothèques du framework Nodejs. Dans ce fragment de code, la fonction ‘onRequest(req,res)’ permet de gérer l’état binaire des pins GPIO qui commande l’état des switches.

Cette fonction reçoit les paramètres ‘v1 ... v16’ en tant qu’état des switches, applique ces paramètres sur les fichiers ‘.../pin/gpio’ qui gèrent les ports GPIO. Ces ports GPIO commande l’état des switches appropriés qui sont reliés avec la carte Raspberry par une liaison directe (ruban plat à 40 broches) comme indiqué dans les figures 2.7 et 2.11.

### 3.4.4 Redpitaya

La carte *Redpitaya*<sup>29</sup> appelé aussi *STEM Lab*, est un mini laboratoire développé autour d'un instrument de mesure reconfigurable. En effet, il peut remplacer de nombreux instruments de mesure coûteux. De plus, Redpitaya est un objet connecté basé sur le système d'exploitation Linux. Il comprend les technologies d'acquisition et de génération de signaux, le FPGA et le traitement du signal numérique.

Redpitaya dispose d'un microprocesseur et d'un FPGA, il intègre des GPIO qui permettent de remplacer le pcDuino et Raspberry, mais aussi des entrées sorties analogiques rapides qui en font un générateur de fonctions et un oscilloscope. D'autres outils de traitement numériques de signaux sont installés sur la carte, comme le 'Bode plotter', l'analyseur de spectres et l'analyseur logique.

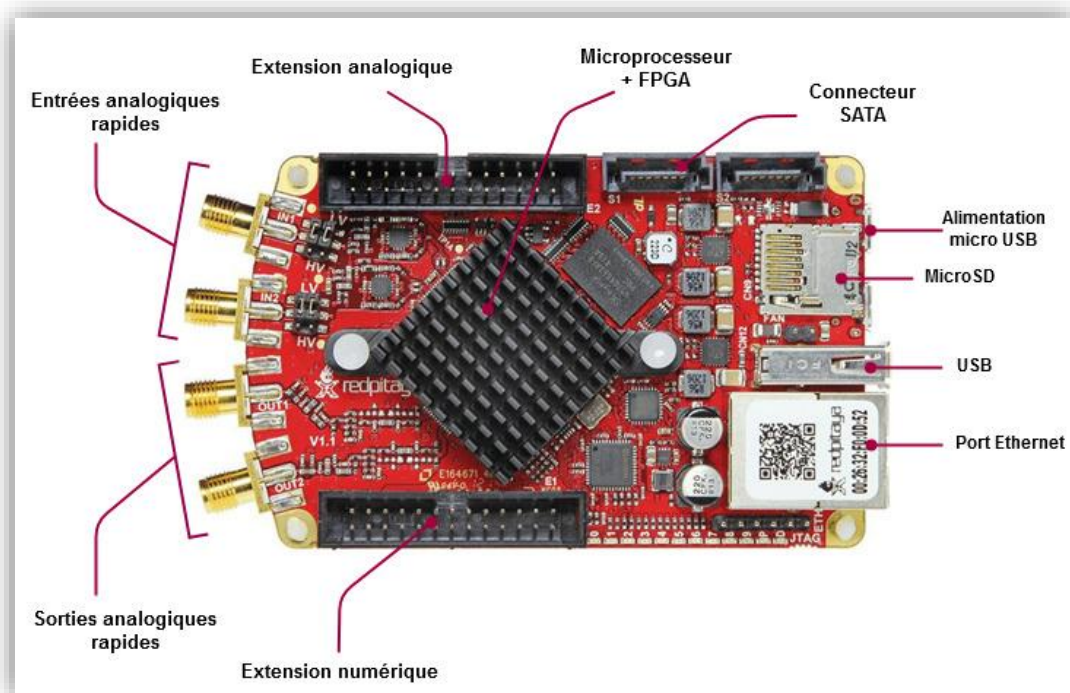


Figure 2.13 Redpitaya

### 3.4.5 Outils de développement et critère de choix

Pour assurer une bonne fiabilité du système, les outils de développement doivent être choisis pour garantir une certaine compatibilité, ce qui assure par la suite l'interopérabilité entre les objets développés par ces mêmes outils. Un autre critère pesant sur notre choix c'est le critère de coût, nous avons choisis des outils libres pour développer l'ensemble des blocs logiciels qui composent les différentes couches de l'application en utilisant différents outils et langages de programmation.

<sup>29</sup> <https://www.redpitaya.com/>

En premier lieu, le front-end. Ce qui s'affiche sur l'écran de l'utilisateur. Son rôle c'est de permettre à l'utilisateur distant de communiquer avec les différents serveurs de données et d'application. Il permet d'interagir avec une plateforme matérielle et affiche les résultats de ces interactions selon une certaine mise en forme, compatible avec l'aspect général des manipulations visant à améliorer l'expérience d'utilisation ou l'utilisabilité.

Le back-end est la partie cachée pour l'utilisateur, chargée de traiter et répondre à toutes les interactions de l'utilisateur. Le serveur de manipulation occupe une place importante dans le back-end (Figure 2.9), dans la mesure où il gère le dispositif de commutation et commande le circuit de TP. Pour développer ce serveur, nous avons utilisé Node.js<sup>30</sup>, un environnement d'exécution JavaScript asynchrone et orienté événement. Node.js est conçu pour gérer des applications réseau concurrente et évolutives, ce qui convient parfaitement avec la fonction principale du serveur de manipulation. De plus, l'utilisation de Node.js évite les problèmes d'inter-blocage des processus puisqu'il n'y a pas de verrouillage, donc le processus est non bloquant. De plus, pour gérer des processus qui s'exécute en parallèle, et notamment ceux qui exécute des programmes externes, on utilise les processus fils 'child\_process'. Parmi ces programmes externes, on trouve le programme en Python qui commande des composants électroniques sur la carte de TP.

D'autre part, le serveur de manipulation gère la communication par socket entre le front-end et le back-end. Cette communication est conçue en deux couches, pour éviter d'exposer les équipements directement avec l'externe. Le serveur de manipulation tel qu'il est conçu en Node.js implémente la communication avec le front-end par 'web socket', et avec les 'firmware' installés sur les instruments par 'TCP Socket'. La figure 2.14 illustre un exemple de communication par 'webSocket' entre l'interface utilisateur et le serveur d'application (Gestionnaire du dispositif de commutation).

---

<sup>30</sup> <https://nodejs.org/fr/>

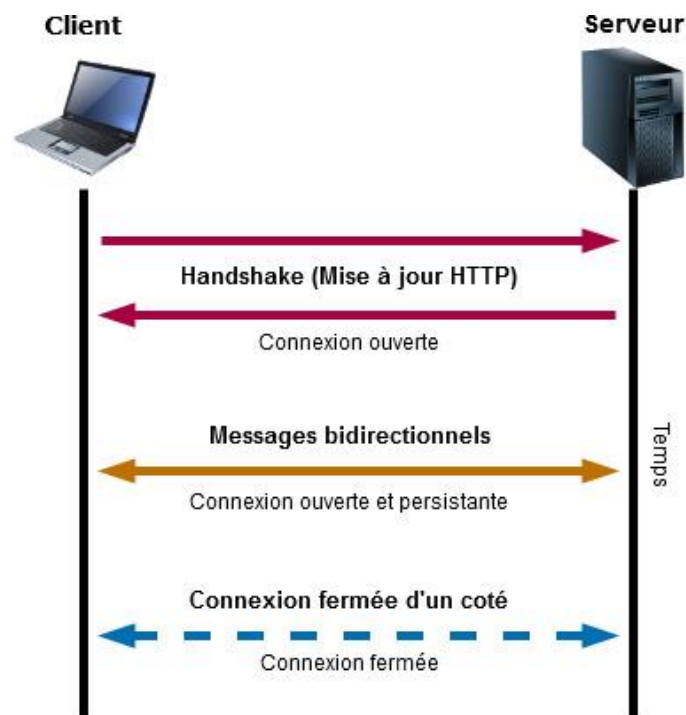


Figure 2.14 Communication Client-Serveur par WebSocket

### 3.5 Intégration dans l'environnement d'apprentissage (Moodle LMS)

Moodle<sup>31</sup> LMS (Learning Management System) est un environnement d'apprentissage intégré gratuit, Open source et multilingue. Nous utilisons Moodle pour gérer la classe virtuelle et la matière pédagogique à l'instar des travaux présentés dans (de la Torre, 2015) et (Sousa, 2010), mais le plus important, c'est d'avoir des outils pour communiquer les résultats des travaux expérimentaux pour l'étudiant. De plus et d'un point de vue développeur, Moodle permet de collecter et de fournir facilement les données pour analyser l'activité, l'implication et le degré de satisfaction des étudiants afin qu'on puisse appuyer et rapporter nos conclusions.

#### 3.5.1 Accès aux ressources partagées

Bien que notre laboratoire à distance, permet de gérer facilement le cycle de vie d'une expérimentation à savoir la conception, l'adaptation et l'intégration dans Moodle LMS, l'accès aux machines serveurs et équipement doit être traité séparément. Une liaison multiple et directe avec les équipements n'est pas concevable pour des raisons organisationnelles et de sécurité, même si l'on veut multiplier le nombre de plateformes de manipulation. Pour ces raisons, nous avons utilisé un gestionnaire approprié implanté au niveau de la couche middleware.

L'accès concurrent aux ressources partagées (équipements de laboratoire) se fait de manière indirecte grâce au serveur de manipulation qui implémente à fois un serveur 'web socket' et un client 'TCP socket' qui permet d'initier et fermer une connexion 'TCP socket' avec un équipement en se servant de son adresse IP comme identifiant et un port approprié. L'interface

<sup>31</sup> <https://moodle.org/>

web de l'étudiant implémente un client 'web socket', qui se connecte au serveur 'web socket' et ainsi, une liaison bidirectionnelle va se créer (figure 2.15).

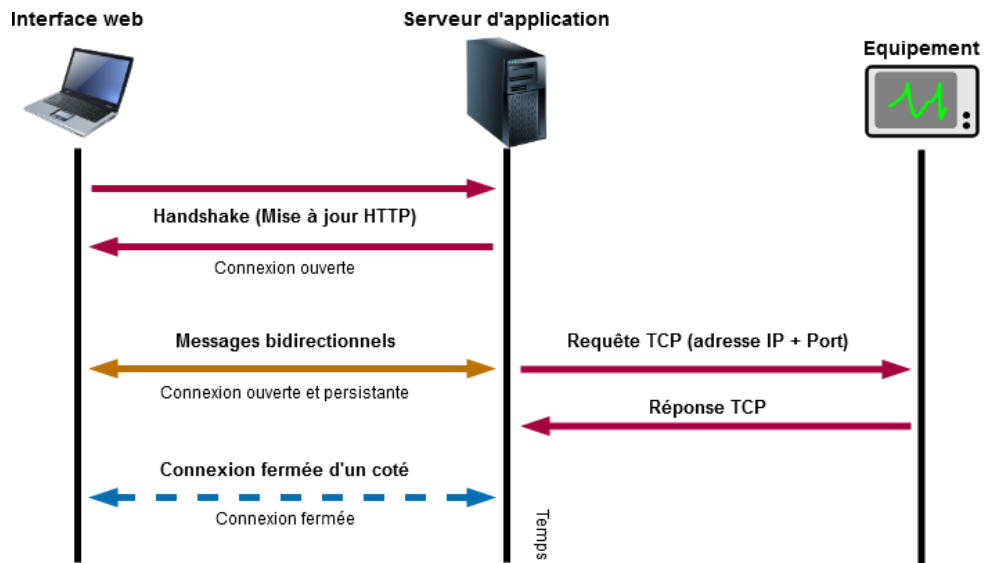


Figure 2.15 Accès indirect aux ressources

Les utilisateurs accèdent de manière concurrente au serveur de manipulation à travers leurs interfaces web. Le serveur de manipulation assure un accès synchronisé aux ressources partagées du laboratoire. La gestion d'accès aux ressources conserve toutes les performances des interactions avec des ressources distantes. Cette approche permet à l'utilisateur distant de ne percevoir aucune altération dans ses interactions. Ainsi, l'interaction avec l'équipement distant se déroule comme s'il est en présentiel (figure 2.16).

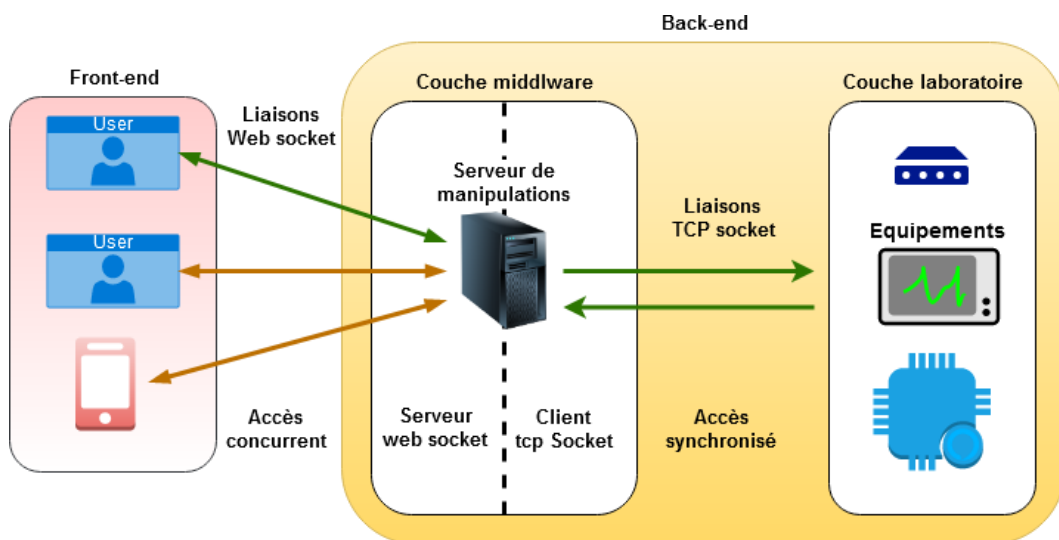


Figure 2.16 Accès concurrent et synchronisé aux ressources partagées

### 3.5.2 Services pédagogiques

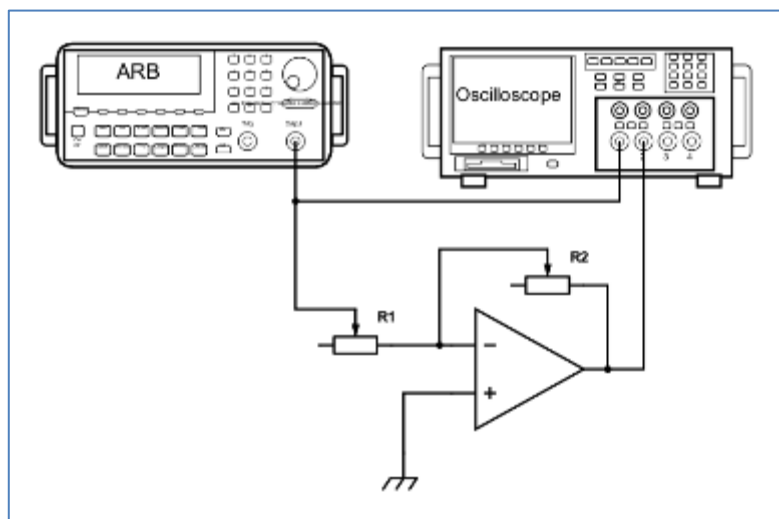
Le composant « Gestion pédagogique » de notre laboratoire s'occupe de tout ce qui est lié avec la pédagogie, et notamment assurer l'automatisation de différents traitements, liés à la création des variantes de test, et plus particulièrement l'automatisation de l'évaluation.

- Création de tests

Un test sous Moodle est composé d'une série de questions. Une première étape consiste à créer une banque de questions avec tous les réglages nécessaires, notamment l'évaluation sommative (note) et le feed-back formatif (observation). Les questions de même type sont regroupées sous forme de catégories. Des sous-catégories sont utilisées pour des variantes au sein des questions de même type.

Pour illustrer cette démarche, on considère le TP avec plusieurs variantes sur les amplificateurs opérationnels de type inverseur (figure 2.17). Le TP contient plusieurs variantes suivant les valeurs des résistances R1 et R2 comme suite :

- Variante #1 : R1 est fixe et R2 est variable,
- Variante #2 : R1 est variable et R2 est fixe,
- Variante #3 : R1 et R2 sont variables.



**Figure 2.17 TP Amplificateur Opérationnel avec plusieurs variantes**

Dans Moodle LMS, il s'agit de créer une catégorie de questions pour chaque variante de TP. La figure 2.18 présente la page de création de questions de même type sous la catégorie « M01\_inverseur\_R1\_Fixe », ces questions prévoient une valeur fixe et connue pour la résistance R1 et une valeur variable pour la résistance R2 à parcourir. Ces questions sont créées sous le nom « Gain01\_R2\_Slider\_R1\_xx », avec « xx » représente une valeur fixe de R1.

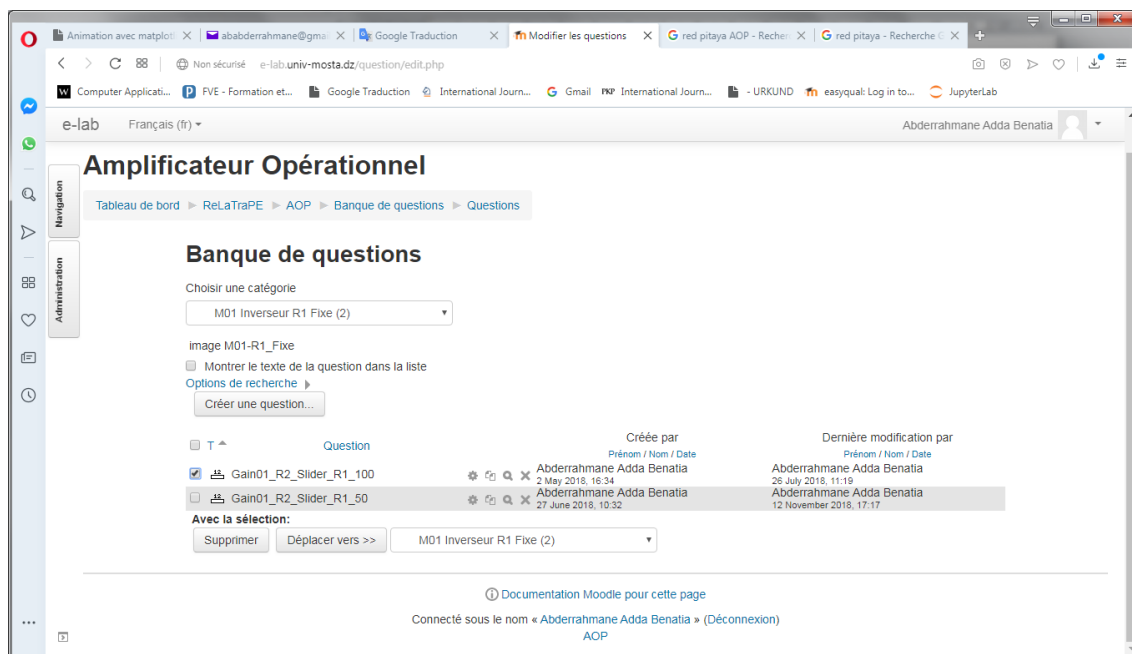


Figure 2.18 Création de questions dans une catégorie sous Moodle

- Création de test à partir de question d'une catégorie

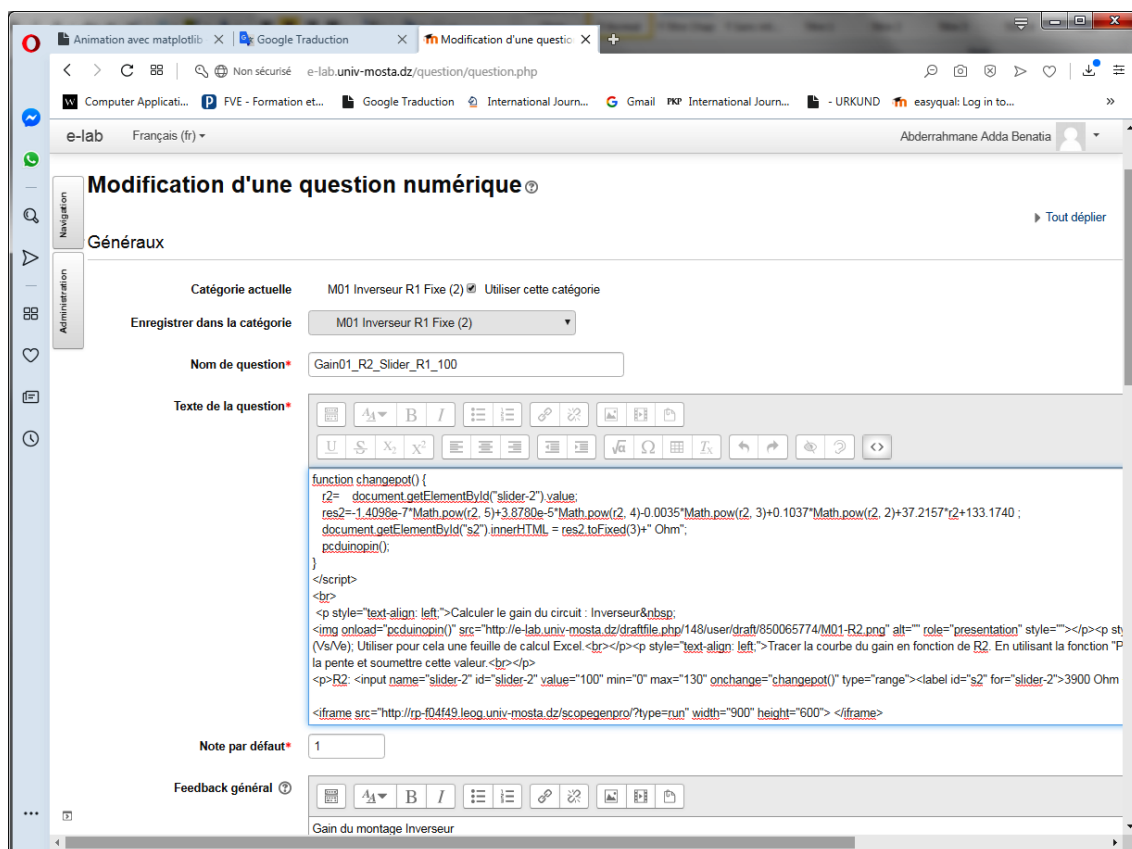


Figure 2.19 Edition d'une question numérique sous Moodle

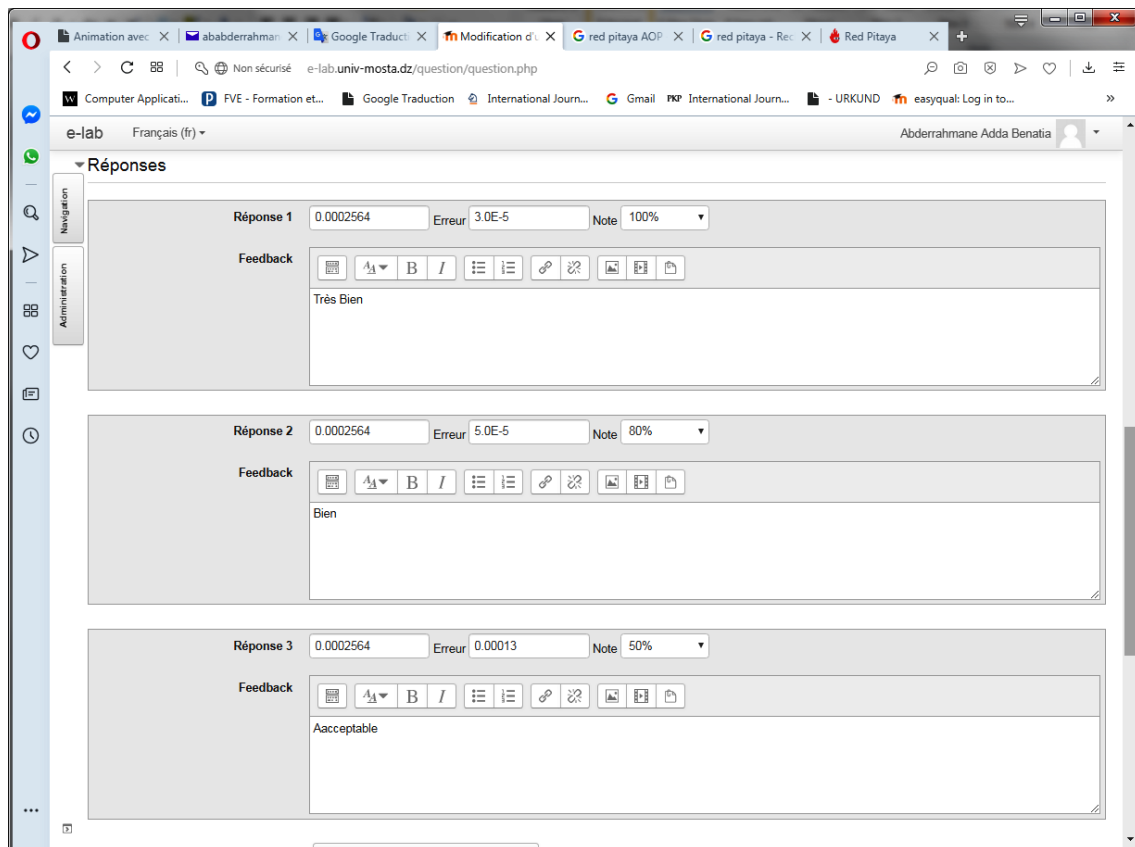
L'édition d'une question (figure 2.19), consiste à préparer l'énoncé de la question avec toutes les indications (texte, schéma, images, ...), les objets d'interaction avec la page web de la question (bouton, slider, stepper, ...), les scripts permettant d'interagir avec les ressources

distantes (fonction, iframe,...), et finalement les zones de saisie des réponses imbriqués avec tous les réglages nécessaires. La figure 2.21 illustre les réglages pour une réponse correcte, les erreurs autorisés (tolérance), la note et le feed-back correspondant.

The screenshot shows a web browser window titled "Prévisualisation de la question : Gain01\_R2\_Slider\_R1\_100 - Opera". The URL is "e-lab.univ-mosta.dz/question/preview.php". The page content includes:

- Question 1**: Pas encore répondu, Noté sur 1.00.
- Diagram**: A circuit diagram of an inverting amplifier. It features an operational amplifier with a feedback resistor  $R_2$  and an input resistor  $R_1$ . A signal generator (ARB) and an oscilloscope are connected to the circuit.
- Text**: "Calculer le gain du circuit : Inverseur".
- Instructions**: "Varier R2 et noter les gains obtenus ( $V_s/V_e$ ); Utiliser pour cela une feuille de calcul Excel. Tracer la courbe du gain en fonction de R2. En utilisant la fonction "PENTE", calculer la pente et soumettre cette valeur."
- Slider**: A slider for  $R_2$  is set to 3900 Ohm.
- Oscilloscope**: A screenshot of the oscilloscope interface showing two sine waves. The input signal (red) and the output signal (yellow) are displayed. The interface includes controls for "SHOW", "SINE", "Internal", "Frequency /Hz" (1000), "Amplitude /V" (0.9), "Offset /V" (0), "Phase / deg" (0), and "Delay cycle /s" (50.0). A "fine" adjustment knob is also visible.
- Response**: A text input field labeled "Réponse :".

Figure 2.20 Prévisualisation de la question du test



**Figure 2.21 Réglage des réponses imbriquées dans le test**

- Evaluation automatique

L'évaluation automatique est une démarche qui consiste à implémenter dans le même environnement de test les réponses aux questions et les valeurs correctes. Les valeurs saisies par l'étudiant sont comparées avec les valeurs stockées dans l'environnement afin de donner une évaluation sommative. Cette méthode d'évaluation permet de personnaliser les tests destinés à un nombre élevé d'étudiant et limiter donc l'intervention de l'enseignant dans l'évaluation des activités. Ihantola (Ihantola, 2010) signale l'existence d'environnements pour l'évaluation automatique pour les exercices portant sur la programmation en utilisant différents langages comme JAVA, C/C++, Python.

- Evaluation par les pairs

L'évaluation par les pairs est une démarche qui permet d'évaluer le travail d'un étudiant par d'autres étudiants. Elle peut être sous la forme d'un feedback formatif ou d'une évaluation sommative. Cette méthode permet d'examiner de manière critique les processus d'apprentissage propres pour l'évaluateur et pour l'évalué.

L'évaluateur commence par développer ses capacités à se poser les bonnes questions de forme et de fond à propos de l'ensemble du travail. L'évaluateur pourra exploiter cette capacité pour s'auto-évaluer dans son travail et être ainsi responsable de son propre apprentissage (Bostock,

2000). Par la suite, après l'évaluation, l'étudiant évalué pourra se remettre en question, détecter les parties les plus importantes de son travail, etc. (Topping, 2009).

Les éléments à évaluer peuvent inclure la rédaction, les résultats, les performances de test et autres comportements qualifiés, selon un barème présenté sur la plateforme (Topping, 2009).

### 3.5.3 L'interface utilisateur

Le front-end de notre laboratoire implémente l'environnement client pour la réalisation des expériences. Cet environnement est conçu sur pour être utilisé sur divers types de supports, et tient sur une seule page, c'est-à-dire conçu pour améliorer l'utilisabilité et la présentation en évitant notamment le surcharge de la page, en utilisant un affichage minimal des fonctionnalités fournies par les instruments de mesure utilisés. Les affichages des résultats diffèrent d'un étudiant à l'autre travaillant en parallèle, du fait de la personnalisation des valeurs d'entrée et des configurations des circuits expérimentaux sur les cartes modulaires de TP.

- Interface web

L'interface web permet à l'utilisateur d'interagir avec la plate-forme matérielle, l'accès aux fonctionnalités des équipements distants se fait en utilisant des objets de base d'une page web comme les menus, les boutons, les 'sliders' et des liens hypertexte, plus une zone d'affichage pour visualiser les résultats en temps réels (Figure 2.17).

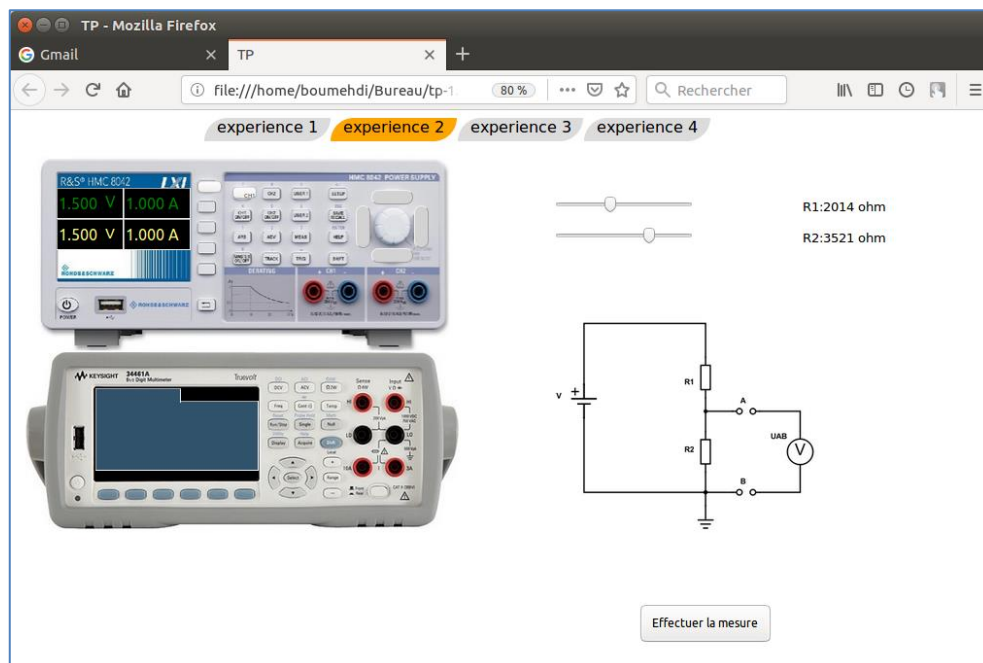


Figure 2.22 Interface web utilisateur pour une expérimentation

- Interface mobile

L'interface mobile est utilisée sur des supports mobiles dotés du système Android<sup>32</sup> ou i-OS<sup>33</sup>, l'interface est développée sous la forme d'une application téléchargeable sur le support mobile de l'étudiant, et permet ainsi d'interagir à distance avec les équipements du laboratoire. Il s'adapte facilement aux différents formats des supports mobiles existant (figure 2.18).

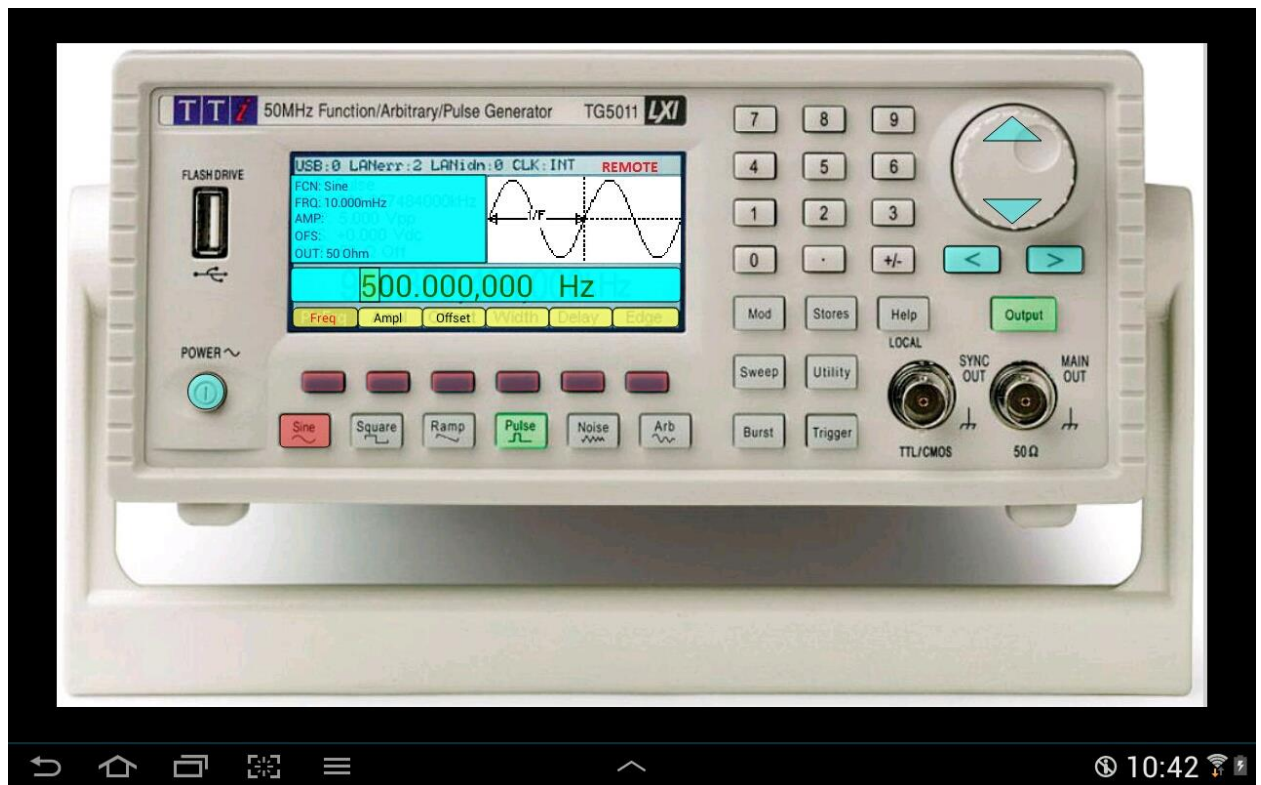


Figure 2.23 Interface de manipulation mobile

Cette interface mobile (figure 2.23) permet d'interagir avec un générateur de fonction dans une expérimentation sur les filtres. Cette interface implémente les fonctions nécessaires pour un générateur de fonction, notamment le choix du type du signal, sa fréquence ou période, amplitude et/ou offset, ou encore activer/désactiver la sortie du signal (Output). L'interface tient sur une page et reproduit fidèlement l'allure d'un instrument réel.

### 3.5.4 Outils d'implémentation

Les couches logicielles sont implémentées en utilisant divers outils et langages de programmation. Tous les outils utilisés sont libres et open sources. Certaines parties de la plateforme logicielle ne sont pas développés comme les 'firmware' de certains équipements. Le langage HTML5/Javascript/CSS est utilisé pour développer l'interface utilisateur, l'outil 'Node.js' est utilisé pour développer une partie du back-end qui est le serveur d'application chargé de gérer le dispositif de commutation et la carte modulaire de TP. Le langage 'Python' est

<sup>32</sup> <https://www.android.com>

<sup>33</sup> <https://www.apple.com/ios/ios-13/>

utilisé pour gérer l'interaction avec les 'potentiomètres' sur la carte de TP suivant une architecture maître/esclave du protocole de communication SPI. Le langage 'PHP' est utilisé pour implémenter une grande partie des interactions sur le serveur principal comme l'authentification et la gestion de la traçabilité, et sur le serveur de manipulation notamment l'interaction avec certains équipements en utilisant le mécanisme de communication par socket. Nous avons développé des interfaces de manipulation mobiles en utilisant le langage 'Lua', ces interfaces sont destinées à être exécutées sur des supports mobiles supportant les deux systèmes d'exploitation Android et i-OS (OS-agnostic<sup>34</sup>).

### 3.5.5 Mise en place d'une expérimentation

La transformation d'une expérimentation qui se fait initialement en présentiel en une activité pratique qui se fait à distance passe par des transformations techniques et pédagogiques. Passant en premier lieu par la conception de la couche pédagogique par l'implémentation du scénario pédagogique correspondant à toutes les combinaisons possibles, et qui répond au référentiel de compétences visées par l'expérimentation dans la matière enseignée. En second lieu, on conçoit la carte de TP avec toutes les spécifications techniques exigées par la manipulation. L'intégration des switches à ce niveau permet la réalisation des différentes combinaisons. Cette démarche est répétée jusqu'à ce que le concepteur pédagogique et le concepteur de la carte se mettent d'accord sur la faisabilité.

Finalement, on développe de la couche logicielle chargée d'assurer l'intégration et l'interaction avec cette carte nouvellement développée, tant du côté client que du côté serveur. Cette étape consiste également à implémenter les outils d'évaluation technique et pédagogique, comme la gestion de la traçabilité et les systèmes d'évaluation formative et sommative.

## 4. Traçabilité des activités

La gestion de la traçabilité se fait au niveau du serveur principal. Cette opération vise à enregistrer dans un fichier texte toutes les opérations élémentaires effectuées par l'utilisateur distant dans le but de faire des analyses de consolidation avec les traces enregistrées dans le système LMS, pour avoir une vue globale sur le comportement du laboratoire pendant une session d'activité, et finalement pour faire des analyses de performance.

### 4.1 Gestion des traces

La gestion des traces des activités se fait suivant un modèle de données qui consiste à implémenter la sauvegarde sur un fichier de texte des informations concernant l'utilisateur

---

<sup>34</sup> <https://www.yourdictionary.com/os-agnostic>

(identificateur, adresse IP, date/heure), des informations sur la manipulation effectuées (configuration des composants, valeurs de références), et finalement des informations sur les entrées et sorties (valeurs soumises et résultats obtenus).

La méthode utilisée pour enregistrer les traces consiste à exécuter un script (fichier PHP) qui tourne en permanence sur le serveur qui gère l'accès aux manipulations. Lors de l'arrivée d'une requête distante, le script lance une opération d'écriture d'une ligne (une entrée) sur le fichier 'log'. Cette entrée inclue entre autres les données qui proviennent du site distant et les résultats issues des équipements de mesure.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	id	ip	date	heure	vout	sense	type	vdc	i	adc	
5409	eo20	197.118.50.225	27/11/2018	18:05:24	3,5	direct	Silicium	0,733384	VDC	5,82376	mADC
5410	a086	197.118.109.249	27/11/2018	18:05:28	3	inversé	Silicium	3,00429	VDC	0,0063	μADC
5411	a644	41.98.123.97	27/11/2018	18:05:39	4,5	direct	Led Bleue	2,77489	VDC	3,63842	mADC
5412	e2kg	197.118.50.225	27/11/2018	18:05:40	2	direct	Led Bleue	2,00383	VDC	0,0073	μADC
5413	a086	197.118.109.249	27/11/2018	18:05:47	3,5	inversé	Silicium	3,5045	VDC	0,0077	μADC
5414	e2kg	197.118.50.225	27/11/2018	18:05:50	3	direct	Led Bleue	2,63034	VDC	0,667089	mADC
5415	a086	197.118.109.249	27/11/2018	18:06:02	4	direct	Silicium	4,50497	VDC	0,0092	μADC
5416	a644	41.98.123.97	27/11/2018	18:06:09	0,2	inversé	Led Bleue	0,202852	VDC	0,0061	μADC
5417	e2kg	197.118.50.225	27/11/2018	18:06:13	3,5	direct	Led Bleue	2,68824	VDC	1,71697	mADC
5418	eo20	197.118.50.225	27/11/2018	18:06:18	4,5	direct	Silicium	0,75756	VDC	7,87239	mADC
5419	a644	41.98.123.97	27/11/2018	18:06:22	0,5	inversé	Led Bleue	0,502958	VDC	0,0053	μADC
5420	a086	197.118.109.249	27/11/2018	18:06:33	0,1	inversé	Germanum	0,102656	VDC	0,2592	μADC
5421	a644	41.98.123.97	27/11/2018	18:06:36	1	inversé	Led Bleue	1,00328	VDC	0,0052	μADC
5422	e2kg	197.118.50.225	27/11/2018	18:06:41	4,5	direct	Led Bleue	2,77483	VDC	3,63857	mADC

Figure 2.24 Modèle de trace : Exemple TP diode

Les données enregistrées dans cette sauvegarde suivant notre modèle jouent un rôle important dans le traitement qui va se faire par la suite pour analyser le comportement et les performances du laboratoire. Les critères d'analyse sont liés avec la durée des manipulations, le nombre maximum d'étudiants travaillant en parallèle sur une durée limitée, les tranches horaires les plus sollicitées, en plus de la durée mini/maxi d'exécution des requêtes.

#### 4.2 Gestion des interactions

Les interactions entre les différents composants du laboratoire sont de nature interne et externe. Les interactions externes représentent les requêtes émises par l'utilisateur vers le système et les résultats obtenus qui seront affichés sur l'interface web de l'utilisateur. Les interactions internes représentent les différentes actions relatives à la gestion d'accès et de la traçabilité, les requêtes internes qui constituent l'ensemble des actions d'entrée/sortie réalisées sur les ressources matérielles qui composent l'environnement de manipulation.

La Figure 2.25 illustre les interactions qui existent entre les trois couches du système. L'utilisateur commence par l'authentification sur la plate-forme, suivi par le choix de la manipulation disponible. Le système valide l'accès en indiquant la disponibilité de la ressource matérielle. Ainsi, l'utilisateur commence l'interaction avec la plate-forme matérielle. Les

résultats d'interaction sont à la fois formatés et retournés à l'utilisateur pour être affichés sur l'interface, et sauvegardés au niveau du serveur dans un fichier 'log'. La totalité du flux de données passe par le serveur principal.

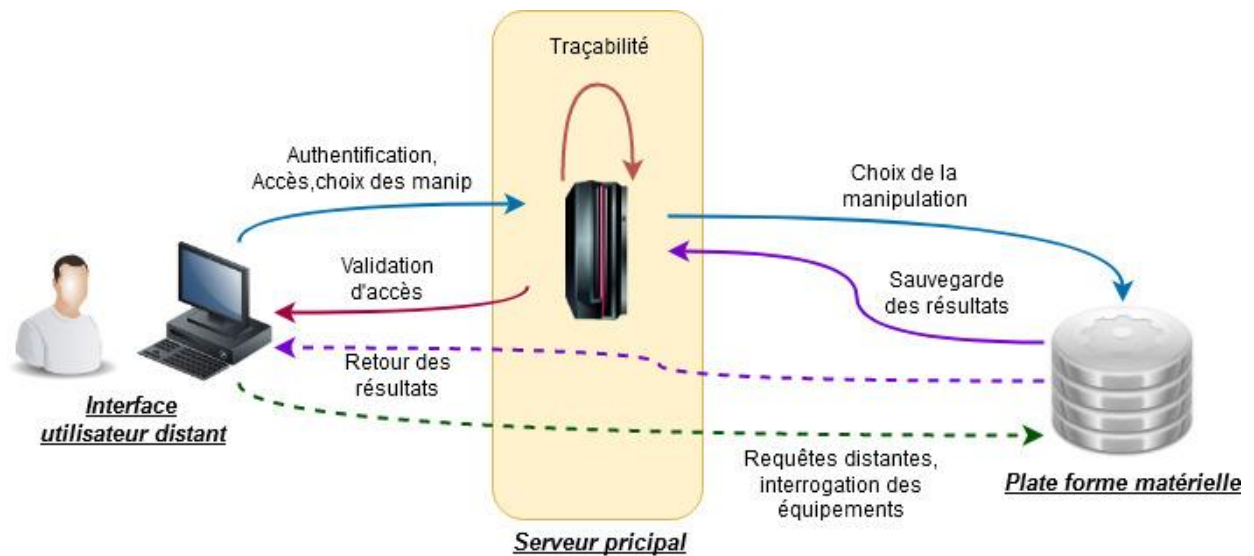


Figure 2.25 Interactions entre les composants du laboratoire

### 4.3 Analyse de données

Les données collectées lors d'une activité de laboratoire sont divisées en trois types : données pédagogiques relatives aux différentes évaluations sommatives, données de la traçabilité technique sous forme de fichier 'log', et finalement les données issues des questionnaires relatifs à l'évaluation de l'utilisabilité du système par les étudiants.

L'analyse des données issues de la traçabilité vise à évaluer les performances techniques du laboratoire, à savoir la durée typique d'une manipulation, le nombre maximum d'étudiants présents en parallèle face à une plateforme de manipulation pendant une durée déterminée, les tranches horaires qui marquent un taux de présence élevé des étudiants, la fiabilité des résultats de mesures en termes de répétabilité.

L'analyse des données de l'utilisabilité permet d'évaluer le taux de satisfaction des utilisateurs sur la facilité d'utilisation du système, et non pas l'efficacité du système en termes d'amélioration des résultats pédagogiques.

L'analyse des résultats pédagogiques n'est pas prise en compte dans ce manuscrit.

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les critères techniques sur lesquels nous nous sommes appuyés pour concevoir les différents composants de notre laboratoire. Comment les systèmes open hardware peuvent être exploités pour fournir des outils capables de supporter la flexibilité

matérielle. Dans notre contexte de situation d'apprentissage pratique, nous avons défini les paramètres permettant de dimensionner notre laboratoire, en termes de nombre d'étudiants supportés, nombre de plateformes de manipulation à disposer, le nombre d'actions à réaliser par manipulation ainsi que le temps global à réserver pour une expérimentation donnée. En outre, nous avons proposé un outil pour la collecte et la gestion de la traçabilité sous format texte, exploitable en temps réel et à posteriori pour analyser la performance du laboratoire.

L'outil d'auto-évaluation permet à l'apprenant de mesurer sa performance et sa progression en temps réel, sans avoir à faire intervenir l'enseignant notamment lorsque le nombre est très élevé. Pendant l'activité, l'apprenant peut également se référer au travail des autres, à l'aide de l'outil d'évaluation par les pairs, qui lui permet de consulter les comptes rendus de ses pairs. Proposant une vision plus globale, l'outil d'évaluation par les pairs après les manipulations représente une sorte d'évaluation et de progression collective des apprenants.

Dans la suite de ce manuscrit, nous présenterons une étude de cas d'utilisation de notre laboratoire à distance traitant une série d'expérimentation selon différentes configurations.

## **Chapitre III : Mise en œuvre du laboratoire à distance**

### **1. Introduction**

Nous avons utilisé notre laboratoire dans un environnement d'enseignement pratique avec les mêmes contraintes d'une expérience de travaux pratiques. Dans la phase exploitation, nous avons réalisé diverses expérimentations sur la plate-forme matérielle avec près de 109 étudiants du premier cycle à la faculté des Sciences et Technologies.

Dans la première partie du présent chapitre, nous procédons à leur présentation et à l'analyse des résultats obtenus. La seconde section expose l'étude de l'utilisabilité du laboratoire, la méthode utilisée ainsi que l'analyse des résultats obtenus du point de vue étudiant. La dernière section est réservée à la présentation des outils utilisés pour traiter et analyser les traces de manipulation des étudiants afin de les exploiter pour évaluer les performances techniques de notre laboratoire.

### **2. Etude de cas d'utilisation du laboratoire**

#### **2.1 Contexte d'utilisation**

##### **2.1.1 Public cible et contexte pédagogique (objectif du TP)**

Les expérimentations décrites dans cette partie sont réalisées en utilisant notre laboratoire. L'accès est ouvert pour des étudiants en deuxième année du premier cycle à la faculté des Sciences et Technologies sur une période de 03 mois. La matière enseignée s'inscrit dans le domaine des Sciences et Technique, filière d'Electronique, et concerne le module d'Electronique de base identifiée dans le canevas du programme pédagogique national du ministère par Electronique Fondamentale1.

Les activités de laboratoire proposées visent les objectifs pédagogiques préconisés par l'ABET (Feisel, 2005), décrit dans le premier chapitre de ce manuscrit, notamment, les objectifs liés avec l'utilisation de l'instrumentation, procédure de l'expérience, l'analyse de données, le travail d'équipe et la communication.

Les compétences ciblées pour les étudiants à l'issue des activités pratiques selon les TPs considérés peuvent être cités dans la liste suivante :

- Savoir manipuler un instrument de mesure.
- Comparer les résultats pratiques avec celles théoriques.
- Extraire de l'information à partir d'un graphique.
- Déterminer une règle à partir de résultats expérimentaux.

- Générer un signal avec des paramètres donnés (amplitude, fréquence).
- Visualiser un signal sur oscilloscope et déterminer ses paramètres (amplitude, fréquence, phase).
- Caractériser un filtre passif (type, fréquence de coupure).

Les expérimentations considérées suivant un scénario pédagogique, ne couvrent pas tous les objectifs de l'ABET tels que le travail en équipe et la communication. Le but étant d'évaluer la faisabilité et l'utilisabilité de notre laboratoire selon le contexte technique choisi.

### 2.1.2 Eléments techniques

Le déploiement logiciel du laboratoire a été réalisé sur un serveur physique, hébergé au laboratoire LEOG à l'INES (Site II de l'université). Une partie des composantes logicielles du laboratoire sont localisées sur le serveur physique qui assure l'accès aux manipulations, le reste des parties logicielles sont localisées sur le serveur de manipulation qui se présente comme un mini-ordinateur de type mono-carte. Tous les serveurs sont accessibles depuis l'extérieur.

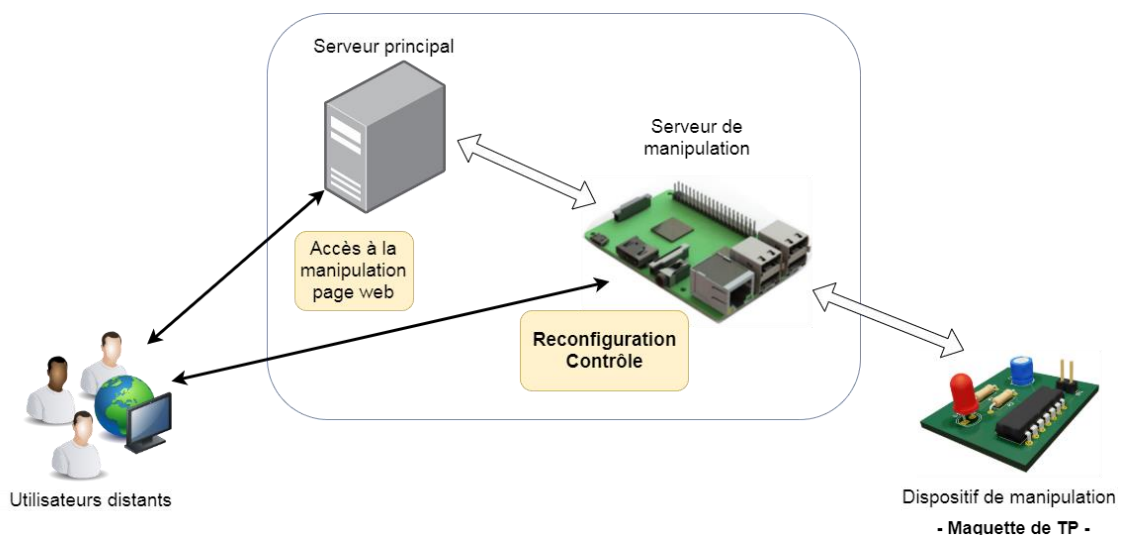


Figure 3.1 Déploiement des composants logiciels

Les données techniques qui caractérisent notre laboratoire se résument dans le tableau suivant :

Tableau 3.1 Données techniques des équipements du laboratoire

Elément	Caractéristiques	
Serveur	Serveur principal	Serveur de manipulation
Référence du serveur	DELL PowerEdge T420	Raspberry Pi 3 B+
Processeurs	02 Intel Xeon E5-2400 2,4 Ghz	CPU 64 bit quad core ARM Cortex-A53 intégré et cadencé à 1,4 GHz

Mémoire vive	16 Go	1GB LPDDR2 SDRAM
Espace disque	05×300 Go SAS	Micro SD port pour lancer le système et stockage de données de 16 Go.
Connexion Réseau	02 ports Gigabit Ethernet LAN 10/100/1000 Mbps	01 port RJ45 (Ethernet 10/100/300 Mbps)
		2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE
		Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300 Mbps).
Coût de l'équipement	300 000 DZD (1 200 €)	11 500 DZD (42 €)
<b>La couche logicielle installée est la suivante</b>		
Système d'exploitation	Debian GNU/Linux 8.11	Linux Ubuntu 14.04
Serveur d'applications / web	nginx <sup>35</sup>	Nodejs
SGBD	Mysql	Mysql, JSON
<b>Instruments de mesures</b>		
Multimètre numérique <sup>36</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle : 34461A 6 ½ Digit, Truevolt DMM</li> <li>• Max. Vitesse de lecture : 1000 lectures / s</li> <li>• Précision DCV : 0,0035%</li> <li>• Fonctions de mesure : DCV et ACV, DCI et ACI, Résistance à 2 et 4 fils, Fréquence, Capacitance, Test de diode, Test de continuité, Température</li> <li>• Connectivité : USB, LAN / LXI core</li> <li>• Graphiques statistiques : Histogramme, Diagramme à bandes, Tableau de bord</li> <li>• Prix : 150 000 dzd</li> </ul>	
Alimentation <sup>37</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle : R&amp;S®HMC8042</li> <li>• Nombre de voies : 02</li> <li>• Puissance de sortie max : 100 W</li> <li>• Tension de sortie Min/Max : 0 V - 32 V</li> <li>• Courant de sortie max : 5 A</li> <li>• Interface : LAN/LXI - USB</li> <li>• Prix : 140 000 DZD</li> </ul>	
Oscilloscope <sup>38</sup> Générateur de fonctions	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle : DSO-X 3014A</li> <li>• Nombre de voies : 04 voies</li> <li>• Générateur de fonctions WaveGen intégré : 20 MHz</li> </ul>	

<sup>35</sup> <https://www.nginx.com>

<sup>36</sup> <https://www.keysight.com/en/pdx-2891615-pn-34461A/digital-multimeter-6-digit-truevolt-dmm>

<sup>37</sup> [https://www.rohde-schwarz.com/fr/produit/hmc804x-page-de-demarrage-produits\\_63493-61542.html](https://www.rohde-schwarz.com/fr/produit/hmc804x-page-de-demarrage-produits_63493-61542.html)

<sup>38</sup> <https://www.keysight.com/en/pdx-x201842-pn-DSOX3014A/oscilloscope-100-mhz-4-channels>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bande passante : 100 MHz</li> <li>• Profondeur de mémoire max : 2 Mpts standard,</li> <li>• Taux d'échantillonnage max : 4 GSa / s</li> <li>• ADC Bits : 08 bits</li> <li>• Système d'exploitation intégré : firmware (3000A X-Series Oscilloscope Software)</li> <li>• Interface : LAN/LXI, GPIB / IEEE, USB, Vidéo(VGA)</li> <li>• Prix : 400 000 dzd</li> </ul>
RedPitaya	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modèle : STEMLAB 125-14</li> <li>• Connectivité : USB, LAN, WIFI</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nombre de voie sortie RF : 02</li> <li>• Nombre de voie entrée RF : 02</li> <li>• Taux d'échantillonnage : 125 MSa/s</li> <li>• Type de connecteur : SMA</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrée / Sortie numériques : 16</li> <li>• Entrées analogiques : 4</li> <li>• Plage de tension des entrées analogiques 3,5V</li> <li>• Taux d'échantillonnage 100kS/s</li> <li>• Résolution : 12 bits</li> <li>• Sorties analogiques : 04</li> <li>• Interfaces de communication I2C, SPI, UART</li> <li>• Tensions disponibles + 5V, + 3,3V, -4V</li> </ul>

Le tableau 3.2 présente l'ensemble des données techniques concernant l'utilisation de notre laboratoire. Le nombre d'utilisateurs « Nb\_étud » fait référence au nombre d'étudiants qui ont effectué au moins une fois une requête de manipulation élémentaire sur le dispositif de manipulation du laboratoire pendant une session de TP. Pour le TP1, le nombre d'étudiants ayant participé à cette expérimentation est différent du nombre d'utilisateurs qui ont participé au TP2, et même au TP3. La colonne « Durée TP » indique le nombre de tentatives autorisées avec (×) la durée du TP. La durée du premier TP est de deux heures avec trois (03) tentatives autorisées, alors que pour le TP2, on a autorisé six (06) tentatives d'une (01) heure.

La colonne « période » indique la période pendant laquelle le TP reste accessible, cette période n'est pas identique pour les trois TPs, du fait que le TP2 inclue plusieurs parties.

Tableau 3.2 Contexte technique

TP	Intitulé	Nb_étud	Durée TP (Heure)	Période (Jour)
TP1	Diviseur potentiométrique	109	3×02	15
TP2	Théorème de Superposition et de Thevenin	104	6×01	30
TP3	Caractéristiques I(V) d'une diode	95	(illimité)×01	15
TP4	Génération - Caractérisation de signaux	102	3×02	30

Les équipements cités dans le tableau 3.1 sont utilisés pour monter un seul banc de mesure destiné aux étudiants pour effectuer leurs manipulations à distance (TP1, TP2 et TP3). Cependant, le TP4 utilise huit (08) dispositifs de manipulation (maquette de TP).

### 2.1.3 Scénario pédagogique

- En présentiel

Les étudiants sont regroupés une seule fois, pour visiter les équipements et les instruments sur lesquels ils vont travailler, cette rencontre avec les enseignants chargés de TP se fait en début de chaque session de laboratoire. Cette rencontre permet d'expliquer la méthode d'accès et de manipulation, présenter le matériel disposé et pour répondre aux éventuelles questions tant sur le plan technique que pédagogique.

Les questions techniques concernent les supports utilisés pour l'authentification à la plateforme LMS comme PC, Tablettes ou Smartphones, le lieu d'accès intra ou extra-campus, le réseau utilisé à savoir le réseau de l'université, le réseau ADSL ou le réseau mobile 3G/4G des différents opérateurs, la durée de manipulation ainsi que le délai pour remettre le compte rendu.

Les questions pédagogiques sont liées beaucoup plus avec la méthode de manipulations en utilisant l'interface web, et l'objectif pédagogique derrière cette manipulation pour comprendre tous les aspects théoriques en question.

- A distance

Les étudiants réalisent les TPs de manière individuelle et non pas en binôme. La documentation relative à la manipulation est disponible, ainsi que des séquences vidéo explicatives pour faciliter l'expérience de l'utilisation. Les équipements du labo sont accessibles de différents endroits, sans aucune restriction ni de temps ni d'espace, comme l'indique les données de la traçabilité (Chapitre 2, Section 2.1). Pendant les expérimentations, les étudiants interagissent avec les équipements en introduisant des valeurs de consignes et en lisant les

résultats qui sont affichés instantanément sur l'écran de l'utilisateur. Après une série d'entrée-sortie, l'étudiant se retrouve avec une série de résultats bruts qui nécessite une certaine analyse. Afin d'extraire les résultats pertinents, l'étudiant complète son travail par un calcul théorique et les tracés graphiques nécessaires. Finalement, l'étudiant parvient à avoir tous les éléments pour soumettre les réponses aux questions, et rédiger un compte rendu qui va être chargé et évalué.

#### 2.1.4 Allocation des sessions de TP

L'allocation des ressources partagées lors des activités pratiques entraînent souvent des contraintes de coordinations, qui influent considérablement sur le temps d'attente et d'accès aux ressources du laboratoire (Kalúz *et al.*, 2013). De ce fait, l'optimisation de la coordination est primordiale afin d'améliorer l'expérience d'utilisation des ressources en réduisant le temps d'utilisation et d'attente par utilisateur.

Dans cette partie, nous examinons le comportement du laboratoire et les problèmes qui se posent lorsque la manipulation s'effectue sur un seul dispositif de manipulation. Bien que les systèmes actuels de laboratoire à distance ont généralement pris en charge la planification d'accès aux sessions de TP basée sur la réservation ou sur la file d'attente (Lowe, 2013), notre approche n'intègre ni la réservation ni la file d'attente. D'une part, l'approche est fondée sur le fait que chaque requête d'interaction est une succession de trois actions telles que :

- Reconfiguration du dispositif de commutation,
- Consigne : soumission des valeurs d'entrée,
- Lecture des résultats de mesures.

D'autre part, les instruments de mesure utilisés sont caractérisés par un temps de réponse très court.

#### 2.1.5 Durée de manipulation

Cette section est consacrée à l'étude de l'impact de la durée de manipulation sur le déroulement de l'activité pratique et l'achèvement du travail demandé, basé sur les critères suivants : la performance du système, l'achèvement du travail demandé et les interactions avec la maquette de TP. Notre objectif pour cette expérimentation est de dimensionner le temps nécessaire pour une expérimentation à distance en utilisant notre laboratoire, et de la comparer avec la durée utilisée pour un TP classique en présentiel.

- Variante #1

La première variante consiste à allouer une durée de deux (02) heures par expérimentation, avec un nombre de tentatives limité à trois (03).

- Variante #2

Dans la deuxième variante, la durée allouée pour une manipulation est d'une (01) heures, avec un nombre de tentatives autorisées limité à six (06).

- Variante #3

La troisième variante consiste à allouer une (01) heures par expérimentation, cependant le nombre de tentatives autorisées est illimité.

#### 2.1.6 Utilité de l'interface Web

L'interface web est l'outil incontournable pour réaliser un TP à distance dans un contexte convivial. Sa conception implémente les méthodes d'interaction avec les équipements à distance, en utilisant des objets simples comme des boutons, des sliders et/ou steppers, et des zones de saisie. En plus, l'utilisation de zones d'affichage soit par des images synthétiques ou par des affichages animés par de vraies données temps réel.

- Interface avec circuit pré-câblé

Cette variante permet de présenter à l'étudiant distant un circuit d'étude pré-câblé. L'objectif derrière cette méthode consiste à réduire le temps nécessaire pour réaliser une requête élémentaire (mesure à distance), du fait que la requête pour la construction du circuit est effectuée au même moment que la requête de soumission de la consigne et de la lecture des résultats, avec une coordination des actions pour assurer la fiabilité des résultats. Cette approche permet de réduire considérablement le temps de mobilisation des appareils, ce qui permet de remédier aux contraintes d'allocation présenté dans la section 2.1.4. Néanmoins, cette variante considère pour certains étudiants une lacune, dans la mesure où ils veulent pratiquer le câblage de composants dans un circuit d'étude.

- Individualisation des manipulations et correction automatique

Nous avons adopté cette approche dans le contexte où le nombre des utilisateurs est élevé, dans la mesure où plusieurs manipulations peuvent se faire en parallèle. Pour rendre plus performant le processus d'apprentissage, nous avons implémenté des activités sous forme de test individualisés pour éviter les réponses identiques. En plus, le système de correction automatique permet d'accélérer le processus d'évaluation sommative. La Figure 3.3 illustre l'implémentation des réponses imbriquées sur la même page web de test avec un barème de notes (Adda Benattia *et al.*, 2018).

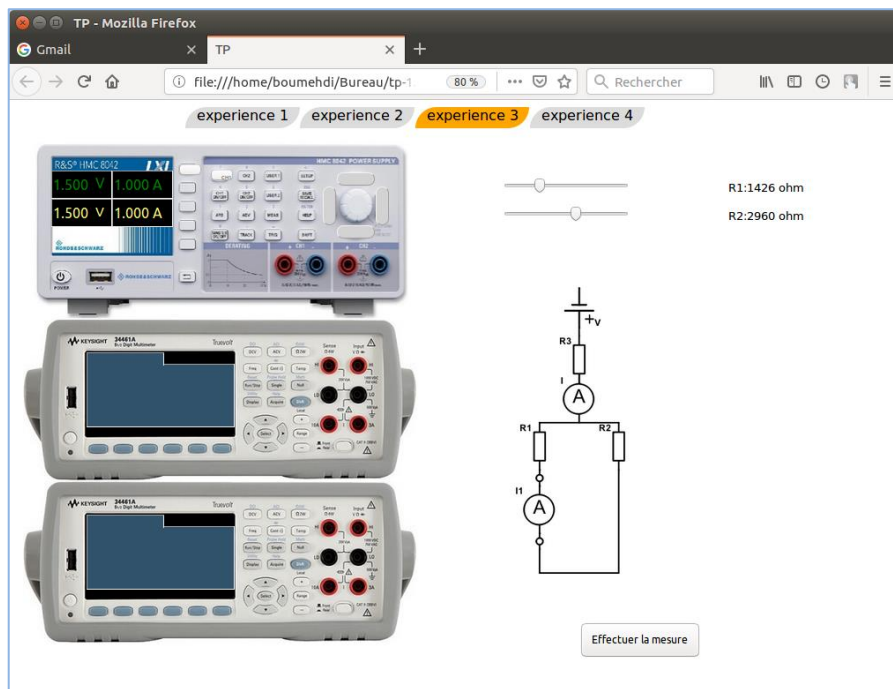


Figure 3.2 Interface utilisateur avec circuit pré-câblé

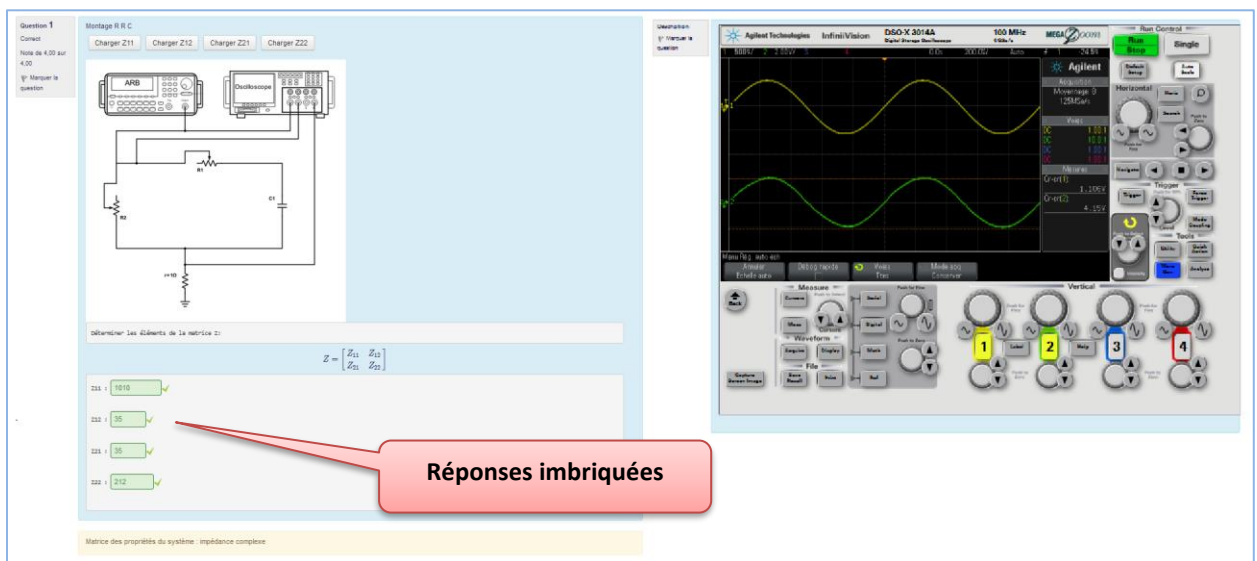


Figure 3.3 Interface de manipulation avec réponses imbriquées

- Evaluation par les pairs

L'évaluation par les pairs a été implémentée en utilisant l'outil intégré à Moodle LMS. L'outil permet de définir le rapport entre la note obtenue avec l'évaluation par les pairs et celle obtenue en faisant évaluer les pairs. Dans un groupe d'évaluation composé de trois (03) étudiants, chacun des étudiants est appelé à évaluer deux comptes rendus des autres éléments du groupe. Cet outil permet aussi de charger (uploader) le corrigé type sur lequel l'étudiant se base pour noter le travail des autres. Le système permet entre autres de fixer les délais pour terminer l'évaluation. L'évaluation par les pairs n'a pas été testée avec de vrais étudiants.

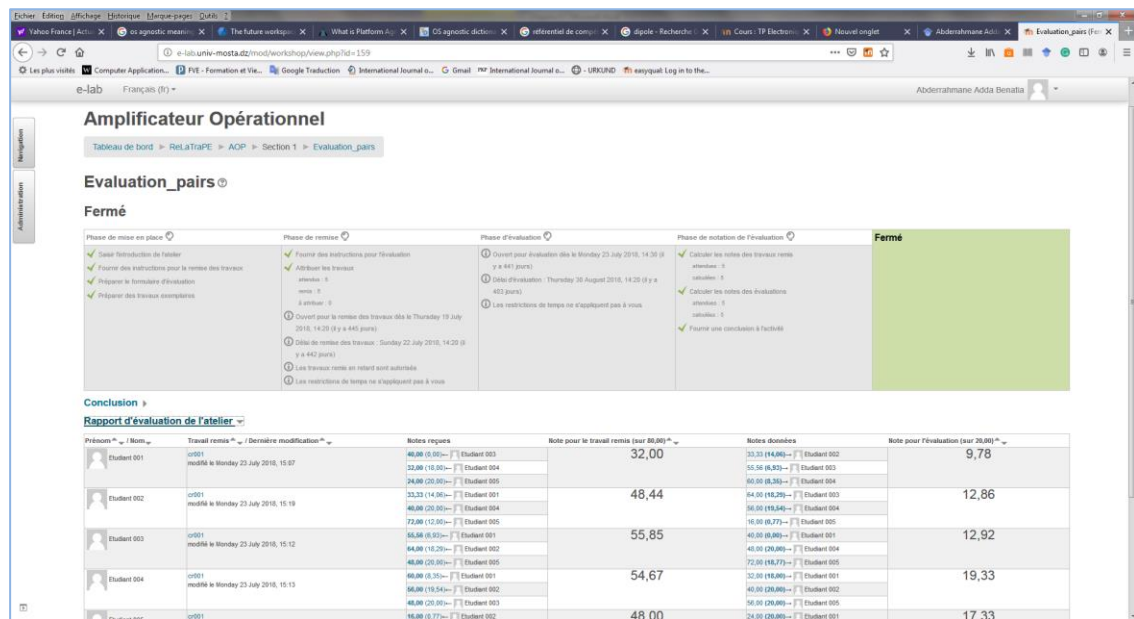


Figure 3.4 Interface de résultats de l'évaluation par les pairs

## 2.2 Conception et protocole expérimental (mode opératoire)

Les sessions de TP ont été réalisées dans le cadre du cours de l'Electronique fondamentale1. Les sessions pratiques de ce cours visaient chez les étudiants l'exploration et la consolidation par la pratique des connaissances prévues dans la matière.

Les manipulations concernent différents concepts liés aux théorèmes fondamentaux de l'électronique, caractéristiques des filtres passifs et caractéristiques des diodes. Pendant les sessions de TP, les étudiants ont travaillé en monôme, nous considérons donc les résultats observés comme étant individuels. L'intervention de l'enseignant est garantie par les outils d'interaction sociale comme la messagerie instantanée et les forums, qui sont des outils importants de toute plate-forme LMS. En effet, nous avons implémenté quatre (04) protocoles pour exécuter les sessions de TP.

Dans la période où l'expérience est accessible, l'étudiant peut à tout moment consulter ou éventuellement refaire l'expérience pour consolider ses connaissances théoriques acquises avec les résultats expérimentaux trouvés.

Finally, at the end of these TP sessions, a questionnaire was made available to the students, to evaluate their satisfaction with the ease of use of the system during practical activities.

In the following, we present the description of these different protocols.

### 2.2.1 Protocole expérimental #1

La première expérimentation a impliqué 109 étudiants, elle commence par un regroupement en présentiel d'une (01) heure, le reste du travail se fera entièrement à distance pour une durée de deux (02) heures, avec un nombre de tentatives autorisées fixé à trois (03). La session de TP est ouverte pendant 15 jours, de manière à permettre aux étudiants de réaliser le travail demandé et remettre le compte rendu.

Cette session de TP portait sur le diviseur de tension et de courant. Les étudiants devaient découvrir et tester par eux-mêmes les tensions et les courants à partir de leurs terminaux, puis exploiter ces résultats pour les représenter sous forme graphique et déterminer les différentes relations qui existent afin d'en extraire la loi qui régit ces résultats. Les étudiants devaient soumettre également un compte rendu. Ces rapports devaient être chargés sur la plate-forme LMS (Moodle) avant la fin du délai.

Durant cette session, l'enseignant chargé de TP effectuait une démonstration du laboratoire et de ses fonctionnalités pour les groupes d'étudiants pendant les 20 premières minutes de la première session. Pour cette première expérimentation, notre laboratoire disposait des fonctionnalités suivantes :

- Authentification et choix de la manipulation,
- Interaction avec les instruments de mesure,
- Outils de Communication asynchrone,
- Outils d'auto-évaluation.

L'objectif pédagogique de cette manipulation est d'un côté, exprimer une tension de sortie en fonction d'une tension d'entrée dans un montage de résistances en série. De l'autre côté, exprimer le courant de sortie en fonction du courant d'entrée dans montage de résistance en parallèle.

Pour étudier le diviseur de tension, l'étudiant procède premièrement à fixer une tension d'entrée au borne d'un circuit de 02 résistances montées en série, ensuite varier la valeur de la deuxième résistance et mesurer la tension aux bornes de cette dernière. Dans la deuxième étape, varier la valeur de la première résistance et mesurer la tension aux bornes de la deuxième résistance (Figure 3.5). La manipulation se fait par l'interface web en agissant sur les sliders et boutons appropriés. Avec les résultats de mesure, l'étudiant trace les courbes et détermine les paramètres de linéarité (la pente et l'ordonnée à l'origine) en utilisant l'outil MS Excel. Ainsi, l'étudiant établit la loi du diviseur de tension par la pratique, et non pas seulement de vérifier cette loi. La même procédure est appliquée pour le diviseur de courant (Figure 3.6).

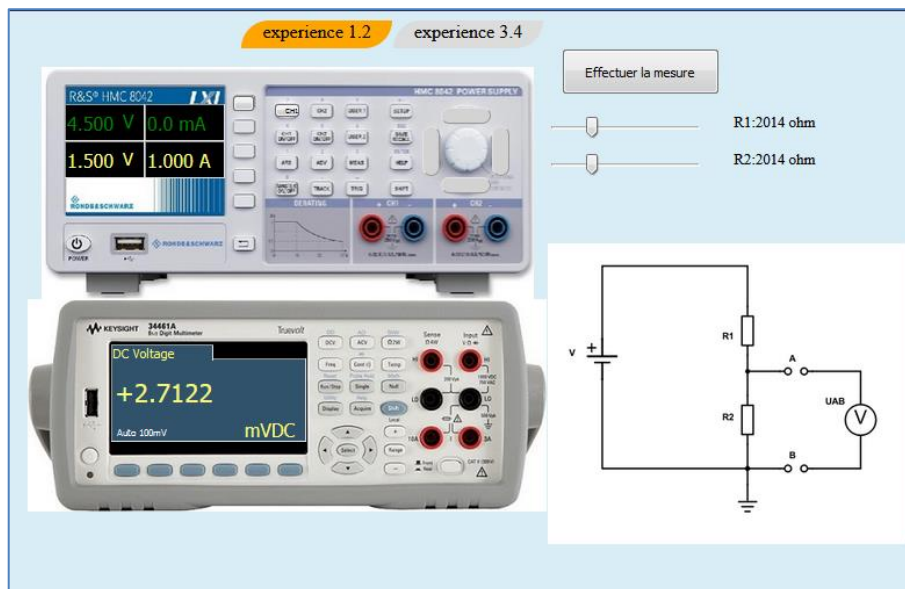


Figure 3.5 Interface de manipulation diviseur de tension

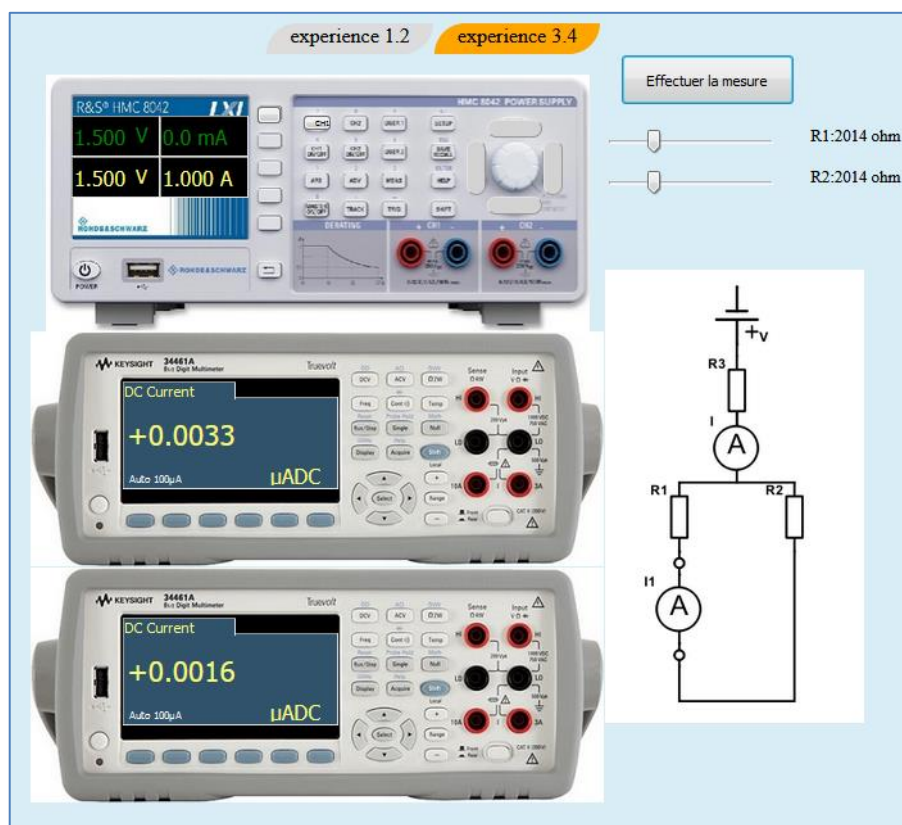


Figure 3.6 Interface de manipulation diviseur de courant

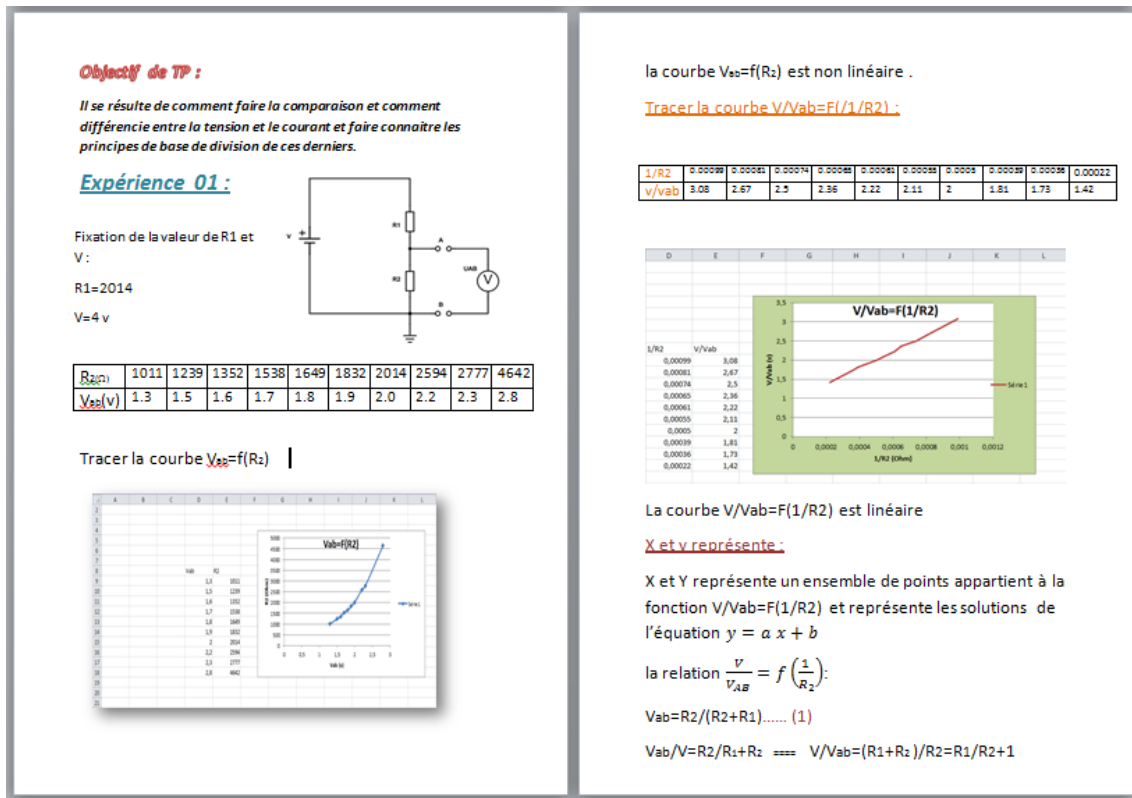


Figure 3.7 Compte rendu du TP1

La Figure 3.7 montre une partie du compte rendu d'un étudiant après mesures, traçage des courbes et détermination des différents paramètres de l'expérience à partir des données recueillies. Ce compte rendu est télé-versé par l'étudiant sur la plateforme LMS, l'enseignant corrige ce compte rendu et donne une évaluation sommative (note).

Dans cette première session de TP, nous voulons analyser la durée de manipulation réalisée par les étudiants par rapport à la durée autorisée. L'optimisation de cette durée contribue au renforcement de la performance du laboratoire.

### 2.2.2 Protocole expérimental #2

La deuxième expérimentation a fait participer 104 étudiants. Elle commence toujours par un regroupement en présentiel d'une (01) heure. Pour ce nouveau protocole la durée de manipulation est fixée à une (01) heure, avec six (06) tentatives autorisées. La session de TP est ouverte pendant 30 jours.

Les étudiants disposaient, au sein du laboratoire distant, de différents équipements et instruments de mesures qu'ils devaient manipuler pour réaliser sept (07) expériences portant sur les théorèmes fondamentaux de l'électronique :

- Théorème de la superposition,
- Théorème de Thevenin et de Northon.

L'objectif pédagogique de cette activité pratique est la démonstration expérimentale des théorèmes fondamentaux. Ces théorèmes permettent de calculer le courant dans les différentes branches, et déterminer la tension entre deux points quelconques dans un circuit comprenant un ou plusieurs générateurs de tension et un réseau complexe de résistances.

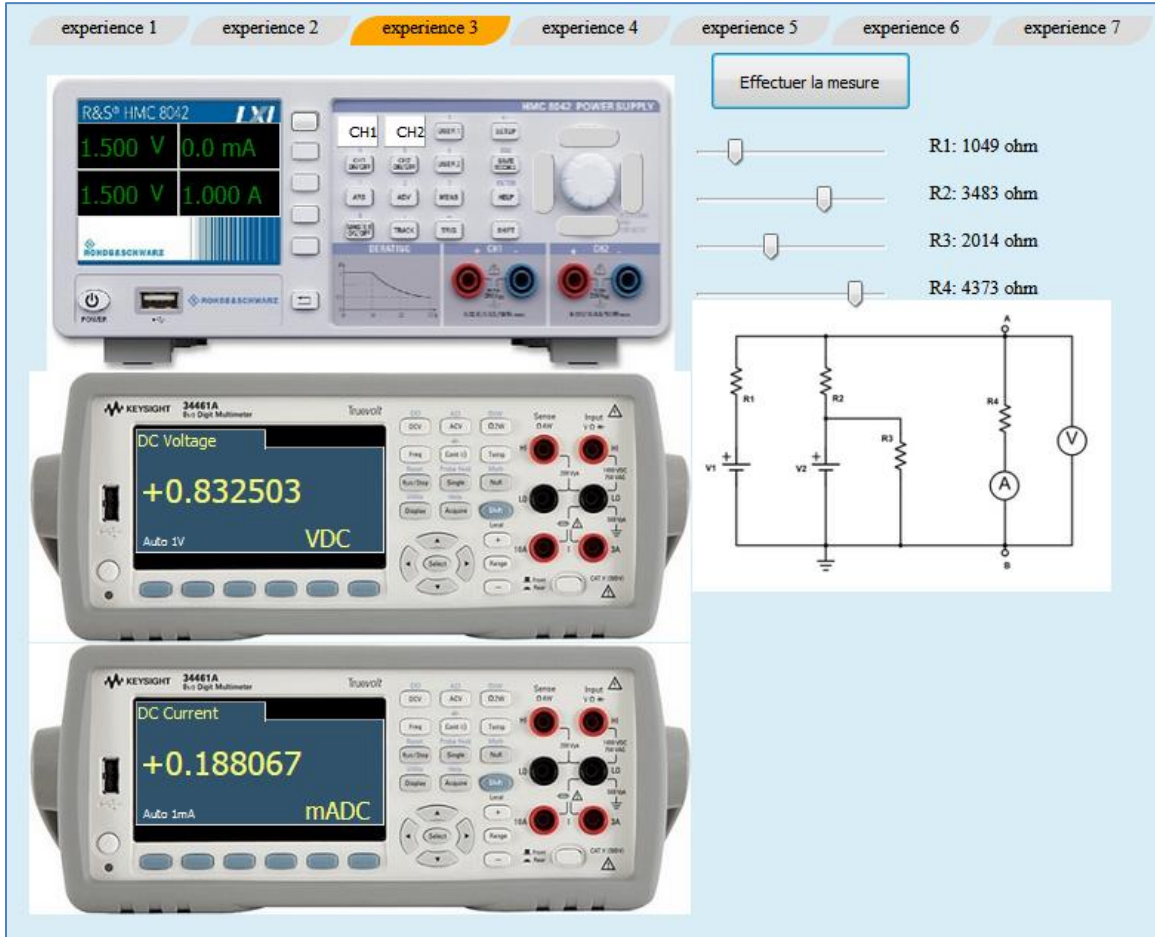


Figure 3.8 Interface de manipulation TP2

La série d'expériences sur les différents types de circuits, consiste à varier la disposition des sources de tension et des résistances. En faisant des mesures et des représentations graphiques, l'étudiant sera en mesure d'établir la règle de calcul général d'une tension globale en fonction de toutes les tensions intermédiaires, et ainsi ses conclusions s'accordent avec le théorème de la superposition. Par la suite, l'étudiant rédige et soumet un compte rendu sur la plateforme LMS (Figure 3.9).

Dans cette session de TP (TP2), chacun des étudiants manipule sa propre maquette de TP, le serveur de manipulation reconfigure cette maquette à chaque interaction. En arrière-plan, d'une manière transparente à l'étudiant, nous relevons les données de manipulation des étudiant pour déterminer les paramètres d'accès en parallèle des étudiants que supporte notre laboratoire et quelle est la limite qui maintient un niveau acceptable de performance technique.

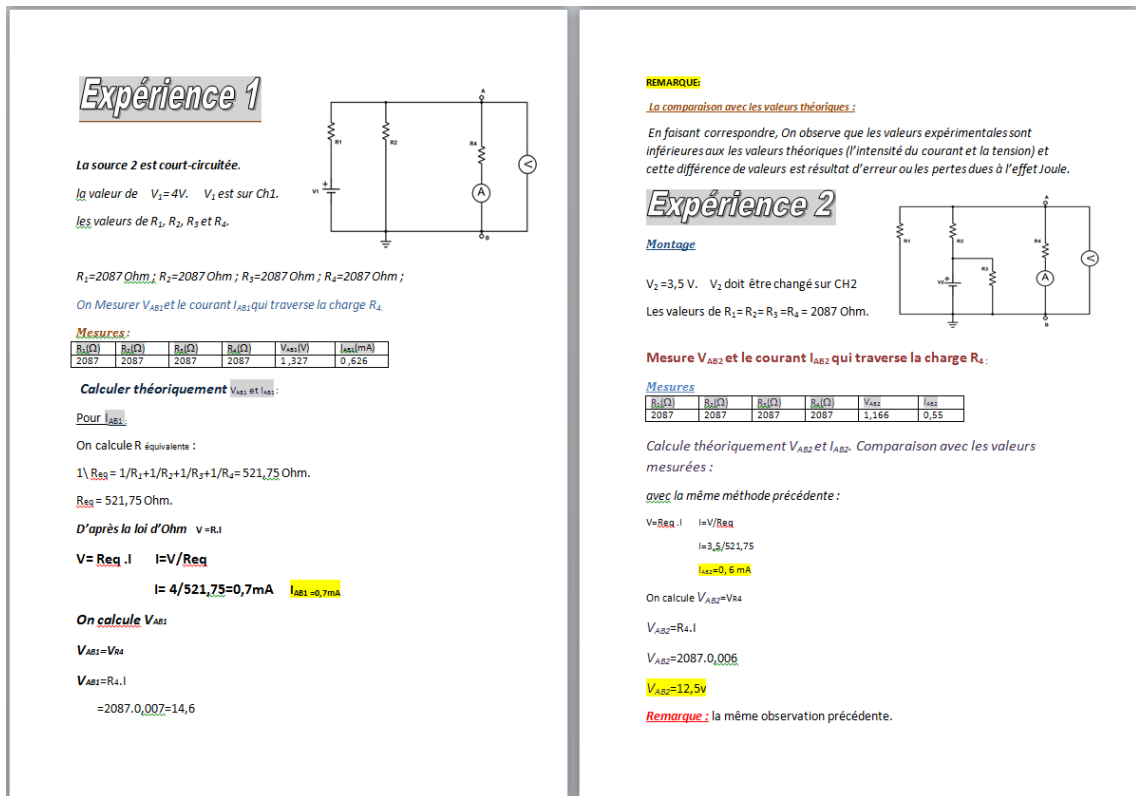


Figure 3.9 Compte rendu du TP2

### 2.2.3 Protocole expérimental #3

Le nombre d'étudiants qui ont participé dans la troisième expérimentation est de 95 étudiants. La durée de manipulation qui se fait entièrement à distance est fixée à une (01) heures, avec un nombre illimité de tentatives autorisés. Cette session de TP reste ouverte pendant 15 jours.

Les étudiants manipulent à distance différentes équipements et instruments de mesures afin de relever la caractéristique I(V) d'une diode. L'expérimentation porte sur différents types de diode :

- Germanium,
- Silicium,
- Led rouge, verte et bleue

L'objectif pédagogique de cette manipulation est de déterminer et tracer la caractéristique I(V) d'une diode. L'étudiant procède à la variation de la tension d'entrée aux bornes d'une diode en utilisant une série de valeurs bien choisies, et extraire la valeur du courant traversant le type de la diode choisie suivant la polarité directe et inversée. La soumission des valeurs et la lecture des mesures se fait à travers l'interface web. Les résultats de mesures recueillies sont exploités pour tracer une courbe qui représente la variation du courant ( $I_D$ ) en fonction de la tension ( $V_D$ ). L'étudiant est appelé d'une part, à déterminer graphiquement la tension seuil ( $V_s$ ) et la résistance

interne ( $R_D$ ). D'autre part, écrire à partir du schéma du circuit électrique de la diode polarisée en direct, l'équation de la droite de charge statique :  $V_D = f(R_p, E, I_D)$  (figure 3.12).

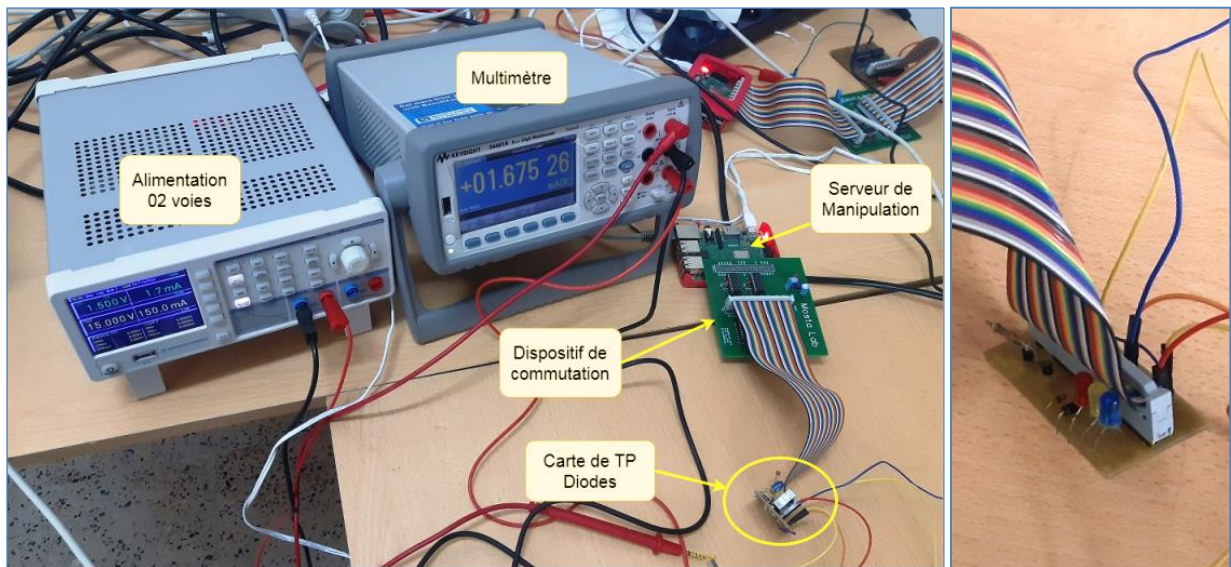


Figure 3.10 Maquette de TP3 – Diodes

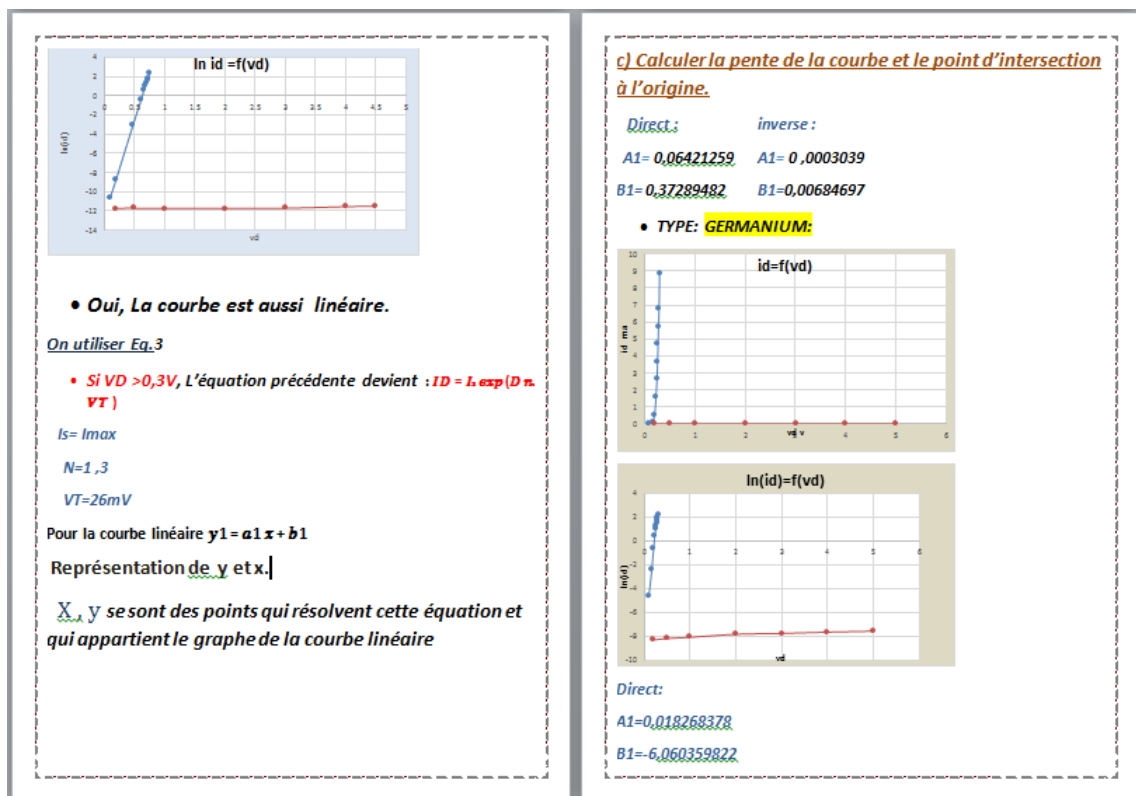


Figure 3.11 Compte rendu d'étudiant du TP3

Une alimentation<sup>39</sup> (source de tension à 02 canaux) est utilisée pour générer des tensions aux bornes de la diode. Pour mesurer les valeurs du courant / tension aux bornes de la diode, nous avons utilisé un seul multimètre<sup>40</sup>, le temps de réponse très courts de l'instrument (400ms) nous a

<sup>39</sup> [https://www.rohde-schwarz.com/fr/produit/hmc804x-page-de-demarrage-produits\\_63493-61542.html](https://www.rohde-schwarz.com/fr/produit/hmc804x-page-de-demarrage-produits_63493-61542.html)

<sup>40</sup> <https://www.keysight.com/en/pdx-2891457-pn-34465A/digital-multimeter-6-digit-truevolt-dmm>

permis d'implémenter le basculement entre les deux fonctions voltmètre/ohmmètre dans la même requête de mesure. Cette approche donne la sensation pour l'étudiant d'avoir utilisé deux instruments, et permet de rentabiliser le matériel existant du côté développement du laboratoire.

Lors de cette manipulation, chaque requête élémentaire de mesure est précédée d'une opération de reconfiguration de la maquette de TP, qui consiste à restaurer le contexte de manipulation à savoir le choix du type et le sens de la diode. Ainsi, la nouvelle mesure est appliquée sur un environnement propre à un utilisateur ayant accès à la maquette. Les résultats de mesures sont affichés sur l'interface utilisateur et le dispositif de manipulation est libéré pour un autre utilisateur.

Dans cette session de TP, nous souhaitons déterminer la distribution de la charge du laboratoire par tranches horaire pendant 24 heures. De plus, déterminer les tranches horaires préférées des étudiants qui marquent plus d'activité.

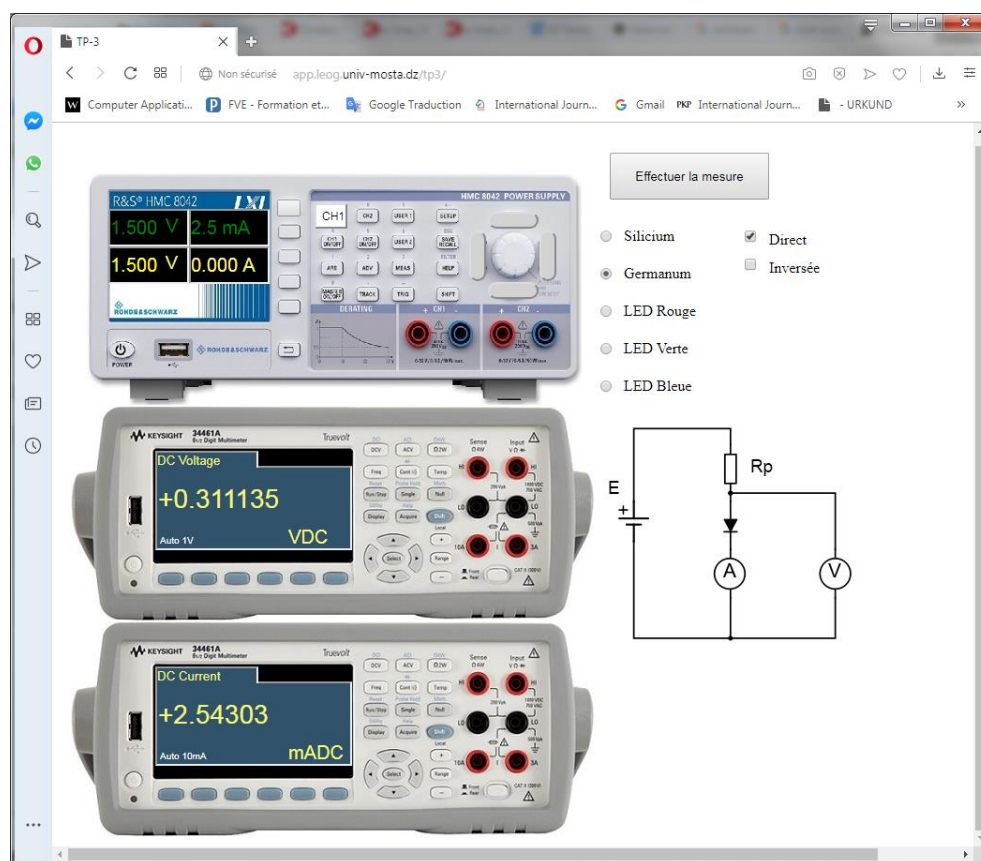


Figure 3.12 Interface de manipulation TP3 - Caractéristique I(V) de diode

### 2.2.4 Protocole expérimental #4

Le nombre d'étudiants impliqués dans la 4<sup>ème</sup> expérimentation est de 102 étudiants. La durée de manipulation dans cette expérimentation à distance est fixée à deux (02) heures, avec trois (03) tentatives autorisées. Cette session de TP reste ouverte pendant 15 jours.

Les étudiants manipulent à distance un oscilloscope afin de réaliser une expérimentation sur la caractérisation de signaux périodiques. L'expérimentation permet de déterminer des différents paramètres des signaux à savoir : La fréquence, la période, l'amplitude et le déphasage, ...etc.

Les étudiants utilisent les curseurs horizontaux pour comparer l'amplitude entre deux signaux, et les curseurs verticaux pour comparer la phase. D'autres résultats de mesures peuvent être affichés instantanément comme l'amplitude crête-à-crête ou encore le Max/Min/Valeur efficace...etc (Figure 3.13).

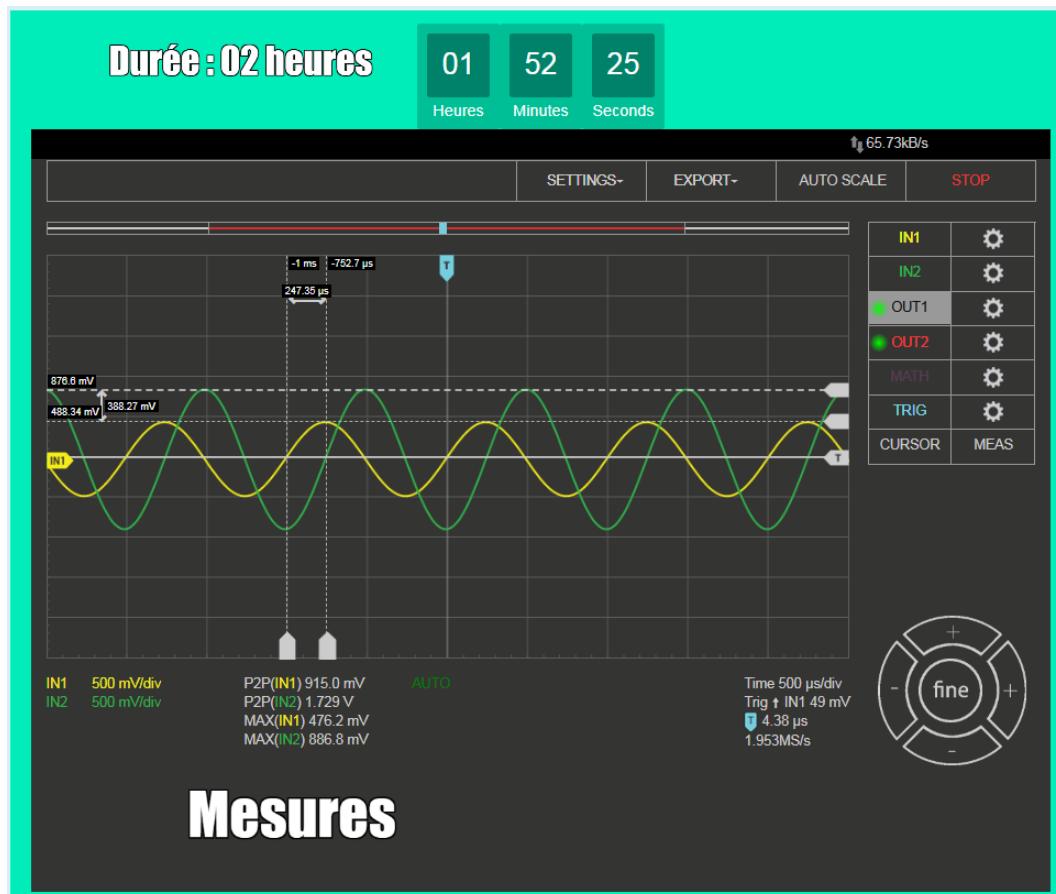


Figure 3.13 Interface de TP Caractéristiques des signaux

La particularité de cette expérience par rapport aux autres, réside dans la méthode d'allocation de la ressource oscilloscope. L'accès se fait en continu pendant un créneau horaire précis (deux heures). Pour assurer l'accès pour un ensemble d'étudiants, nous avons procédé à la duplication

des instruments (Figure 3.14). En effet, nous avons mis à la disposition huit (08) oscilloscopes accessibles à distances en utilisant une interface web approprié (Figure 3.13).

L'allocation des sessions d'activité pratiques se fait suivant la disponibilité des ressources matérielles. Les maquettes de TP sont indexées, ainsi l'allocation de la maquette d'indice (i+1) se fait après avoir alloué toutes les maquettes d'indice (1) jusqu'à (i). Par exemple, l'allocation de la 3<sup>ème</sup> maquette se fait après avoir alloué la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> maquette, ce qui donne (03) maquettes occupées par (03) étudiants en parallèle.

L'accès aux ressources se fait simultanément, ainsi huit (08) étudiants peuvent travailler en parallèle, le 9<sup>ème</sup> se met dans une file d'attente. La gestion du blocage des étudiants en attente se fait de manière flexible, en affichant un compteur à rebours à partir d'une durée maximale d'attente. La libération d'une ressource (désallocation) peut se faire volontairement à la fermeture de la page web, à la fin du créneau horaire, ou suite d'une durée d'inactivité paramétrable dans le système de gestion d'accès. La ressource libérée est allouée automatiquement au premier utilisateur bloqué en attente.

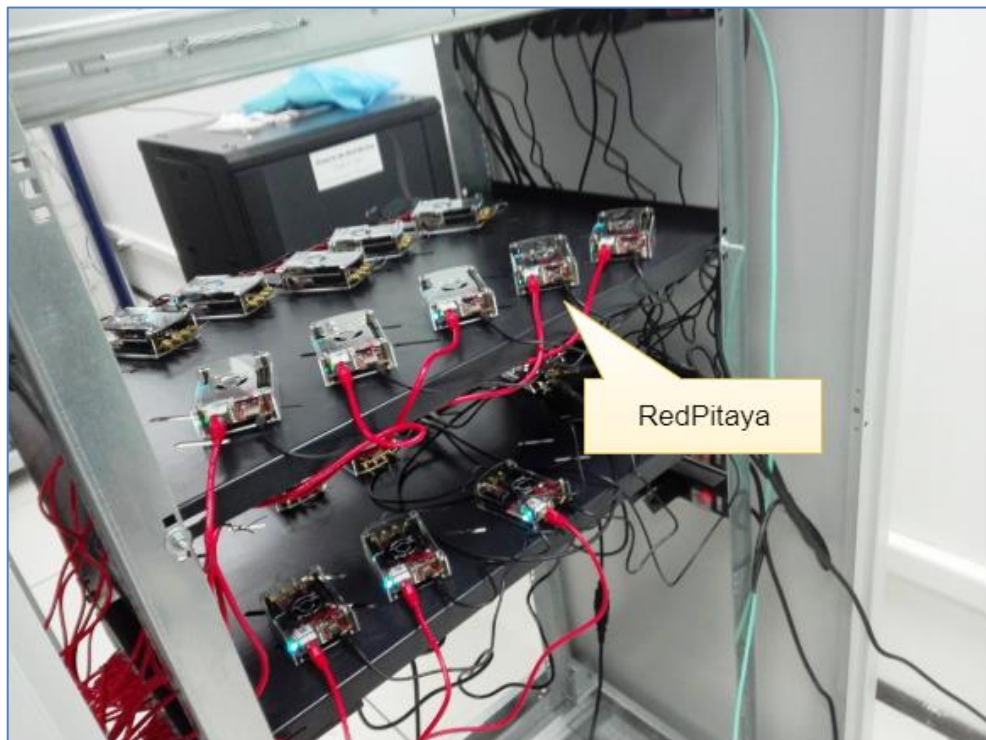


Figure 3.14 Déploiement des RedPitaya (Oscilloscope)

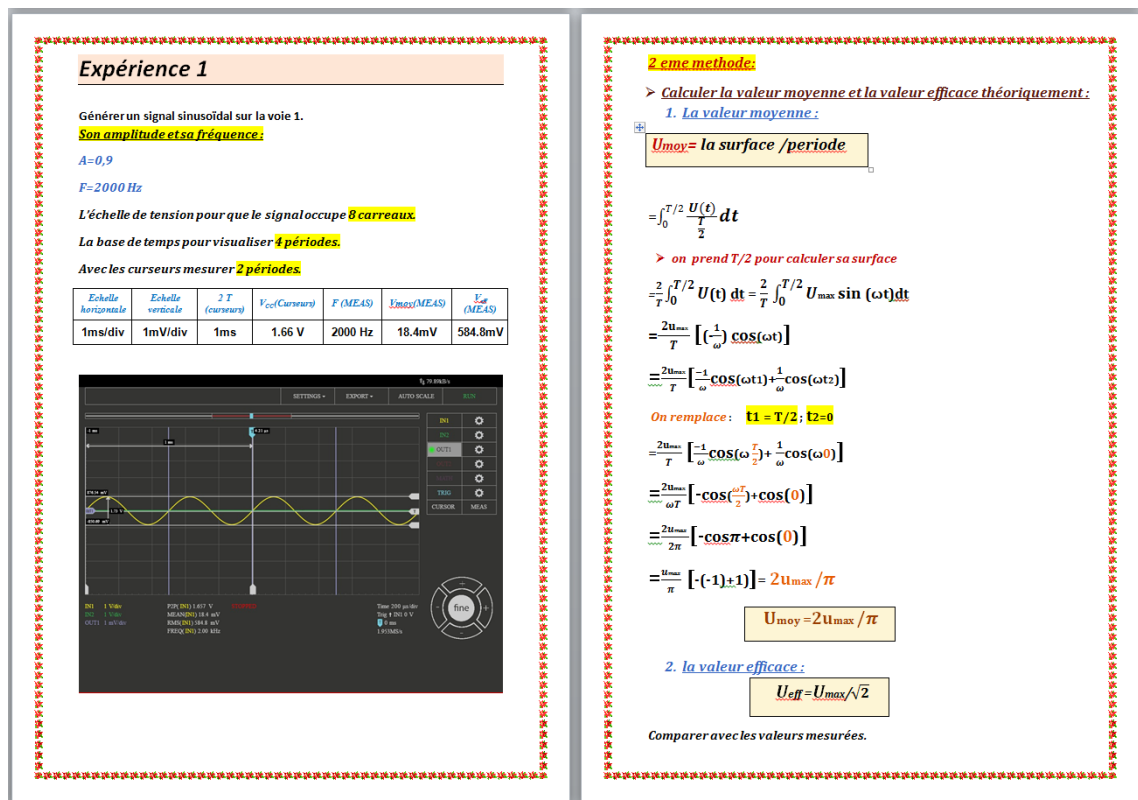


Figure 3.15 Compte rendu d'étudiant du TP4

### 3. Analyse des traces de manipulations

#### 3.1 Traces techniques

L'analyse des traces de manipulation se fait en traitant les fichiers 'log' enregistrés au niveau du serveur principal. Les données brutes sont traitées et synthétisées sous forme de graphique, en utilisant l'outil MS-Excel et notamment la fonction de l'analyse en croisé dynamique. Cette fonction permet de comparer et analyser un attribut d'un un type de donnée par rapport à un autre. Il est possible calculer le nombre maximal des étudiants ayant accédé pendant une heure durant 15 jours. D'autre part, on peut regrouper des données suivant un critère, ainsi le nombre de requêtes d'interaction peut être groupé par heure ou par jour.

Des conclusions pertinentes peuvent être tirées en exploitant cet outil de manière convenable :

- Quelles sont les tranches horaires qui marquent plus d'activité par jour ?
- Quelle est le nombre maximal d'étudiants en parallèle par heure, par jour ?
- Quelle est la charge maximale du laboratoire ?
- Quelle est la durée moyenne pour l'achèvement d'une activité pratique ?

Ces conclusions feront l'objet d'une discussion dans les sections suivantes.

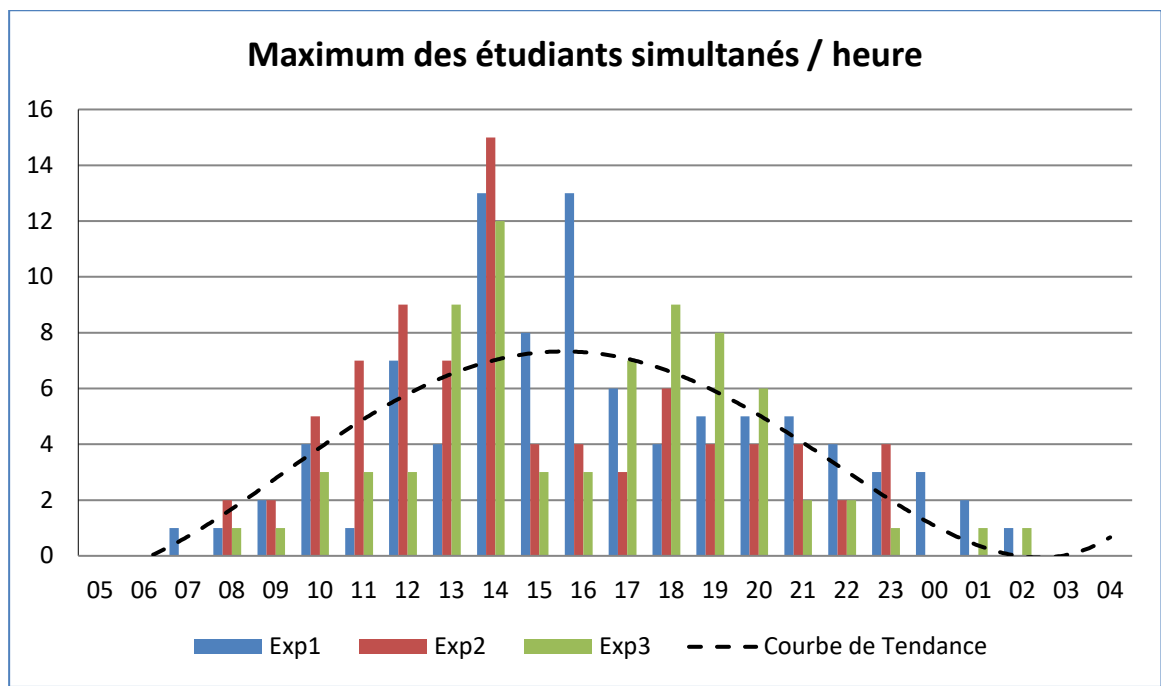


Figure 3.16 Affichage de données synthétisées

### 3.2 Traçabilité LMS

En plus des traces issues du serveur principal du laboratoire, nous avons également consulté les traces d'activités par étudiants au niveau de la plate-forme Moodle LMS. Les traces de Moodle sont confrontées avec les traces du serveur principal pour déterminer des informations du type date/heure de début d'accès au laboratoire et date/heure de fin d'activité, durant toutes les sessions de TP. Ces données sont très utiles dans notre analyse pour déterminer des informations de synthèse comme le nombre d'étudiants ayant effectué une seule tentative, ou la durée moyenne d'une tentative.

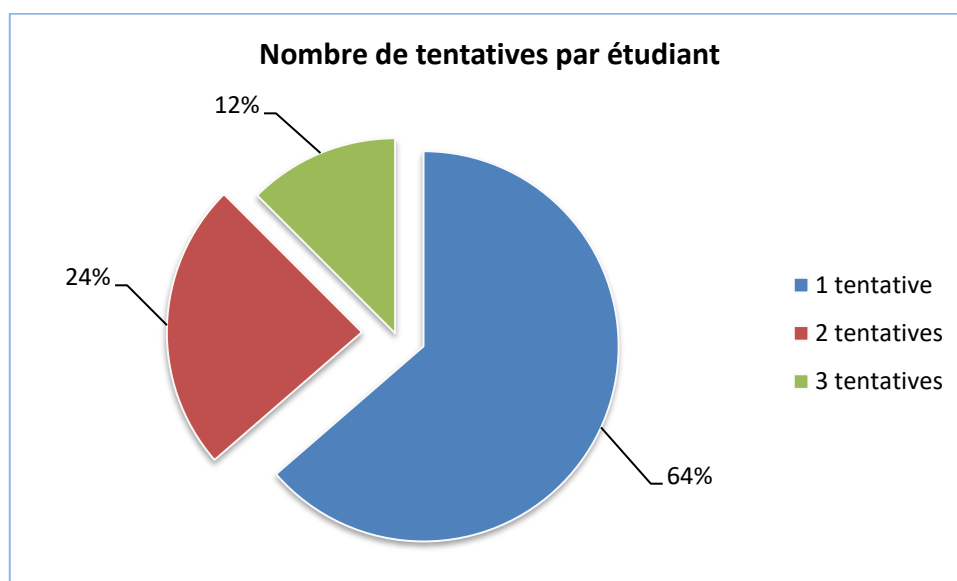


Figure 3.17 Nombre de tentatives par étudiant

La Figure 3.17 montre que 64% des étudiants ont effectué une seule (01) tentative pour réaliser la manipulation, pendant la première session de TP (TP1).

### 3.3 Résultats des protocoles expérimentaux

#### 3.3.1 Résultats du protocole #1

A l'issue de l'application de ce premier protocole, nous avons obtenu des résultats en termes durée de manipulation réalisée par les étudiants par rapport à la durée autorisée. Les résultats obtenus révèlent que 76% des étudiants ont effectué l'expérimentation en moins d'une heure, et que 96% en moins de deux heures (Figure 3.18). Pendant le reste du temps, le laboratoire est sous utilisé, donc la durée de manipulation nécessite un certain ajustement.

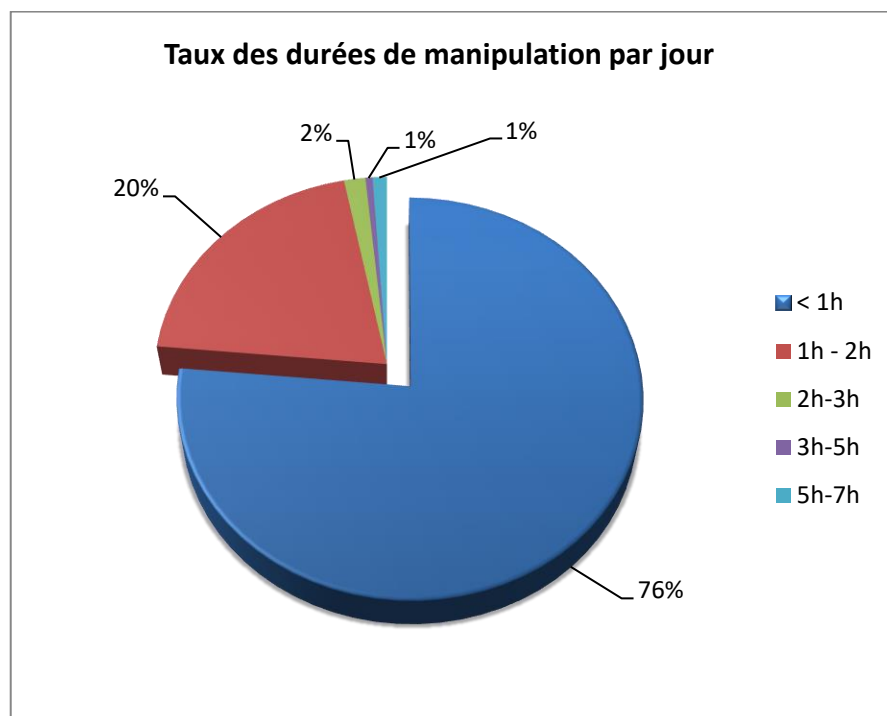


Figure 3.18 Taux des durées de manipulation par jour (TP1)

#### 3.3.2 Résultats du protocole #2

En analysant les fichiers de traçabilité, nous avons obtenus les résultats suivants concernant les paramètres d'accès en parallèle.

Pendant l'expérimentation et lors de la création des requêtes d'interaction, le système de gestion de la traçabilité ne fournit aucune description sur la performance technique du labo. C'est qu'à la fin de la session, et en analysant les fichiers des traces qu'on peut extraire des informations sur les accès en parallèle des étudiants (Figure 3.19) :

- Le maximum d'étudiant ayant travaillé simultanément sur un créneau d'une heure est de 15 étudiants.

- Le taux d'étudiants ayant effectué une (01) ou deux (02) tentatives pendant les deux premières heures est de 95%.

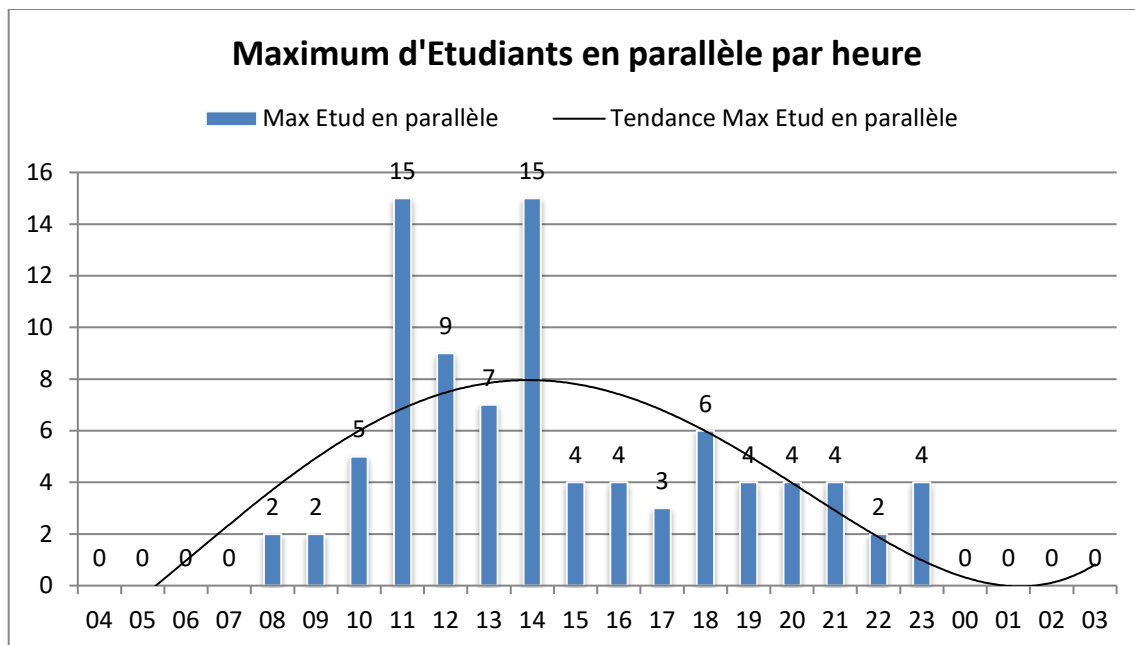


Figure 3.19 Résultats protocole 2 - Maximum d'étudiants en parallèle par heure

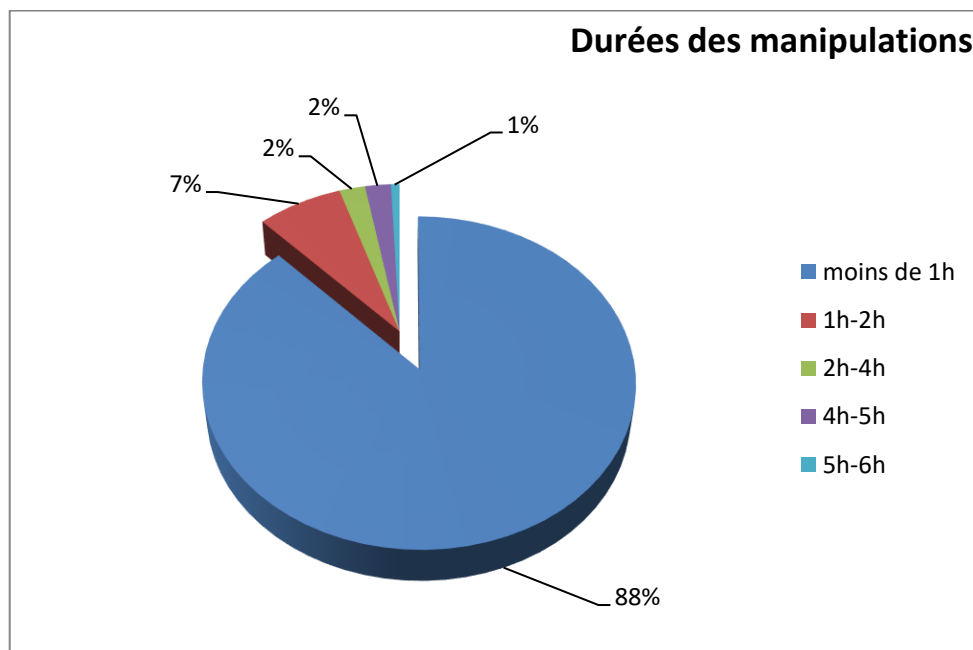


Figure 3.20 Résultats protocole 2 – Taux des durées des manipulations par jour

### 3.3.3 Résultats du protocole #3

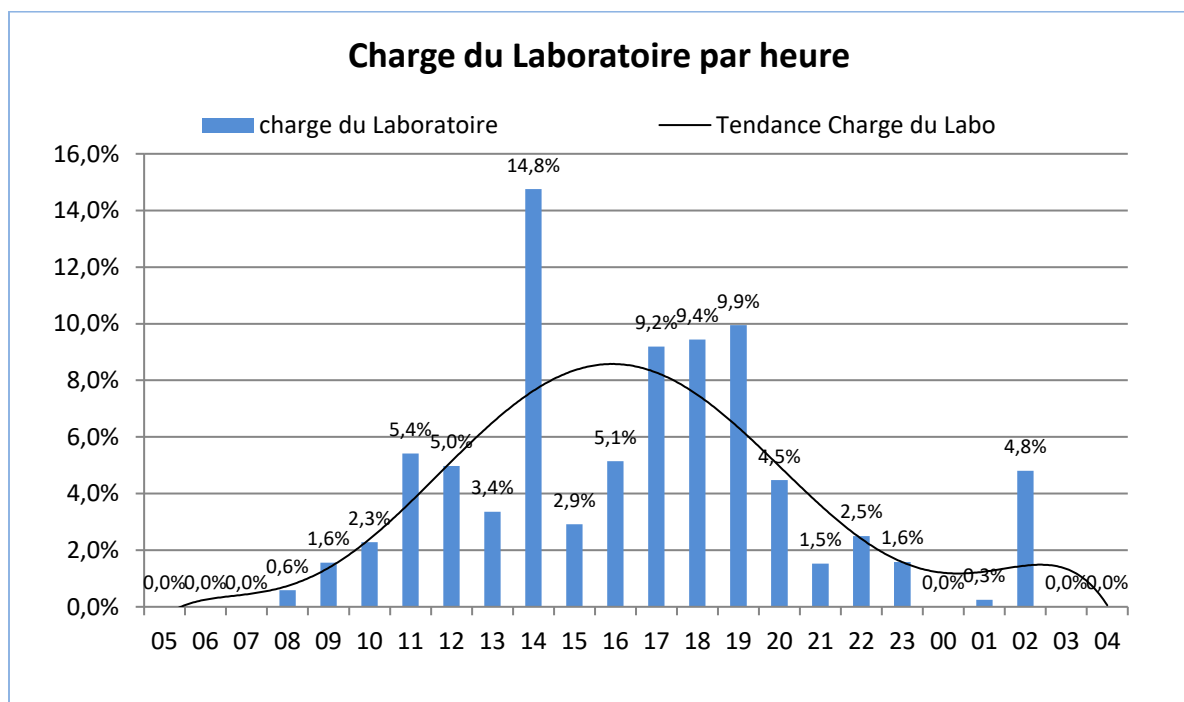
A l'issue de l'application de ce troisième protocole pendant 15 jours, les résultats techniques obtenus se résument dans le tableau 3.3.

Sachant que la charge du laboratoire est définie comme étant un rapport qui représente le taux d'occupation du laboratoire. Supposant que la durée d'une requête de manipulation est de (1s), une charge de 100 % correspond à 3600 requêtes d'interaction par heure, ainsi un nombre maximal d'interactions par heure de 531 correspond à une charge de 14.75%. Un seul banc de mesure pour 105 donne une charge de 14,75%. De ce fait, pour atteindre une charge de 100%, notre laboratoire peut accueillir jusqu'à 700 étudiants.

**Tableau 3.3 Capacités techniques du laboratoire**

Mesure	Valeur
Nombre maximal de session ouverte en parallèle par heure	12
Taux d'étudiants ayant accompli l'activité pendant la première heure	88%
Tranche horaire préférée marquant plus d'activité	12h – 19h
Maximum de la charge du laboratoire / heure	14,75%
Nombre Maximal d'interaction avec le laboratoire / jour	1325
Nombre Maximal d'interaction avec le laboratoire / heure	531
Temps moyen d'une interaction avec le laboratoire	1s

De plus, une interaction à distance avec le laboratoire comprend trois (03) actions élémentaires, une action de configuration de la maquette du TP en utilisant le dispositif de commutation, une consigne appliquée sur des équipements (alimentation), et finalement une action de lecture et transfère des mesures à partir d'instruments (multimètre).



**Figure 3.21 Résultats TP3 – Maximum de charge du laboratoire par heure sur 24h**

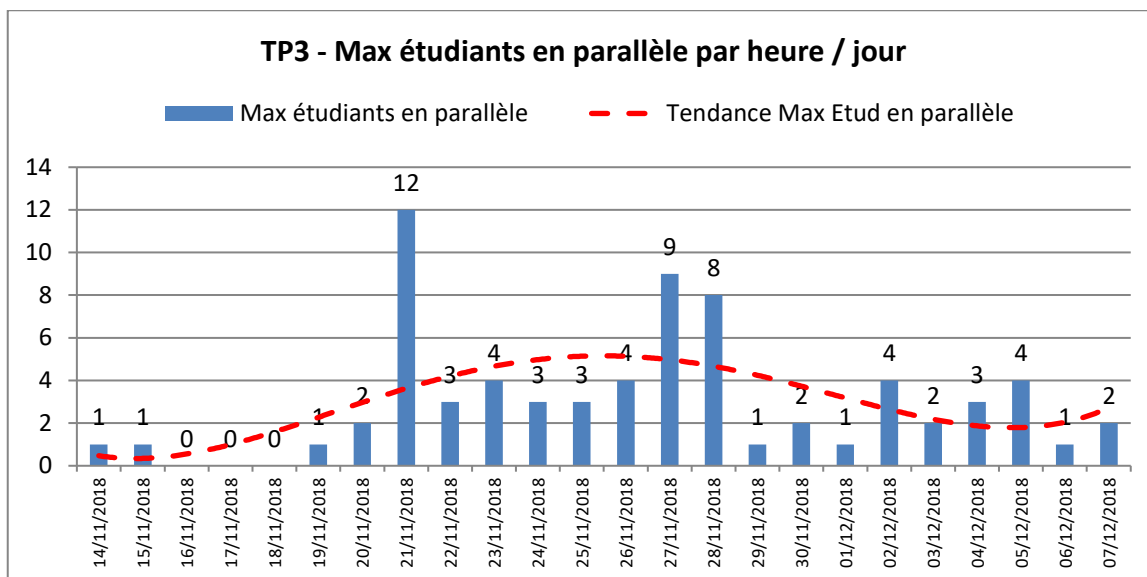


Figure 3.22 Résultats TP3 - Maximum d'étudiants travaillant en parallèle par heure / jour

### 3.3.4 Résultats du protocole #4

La dernière session d'activité pratique porte sur la manipulation d'un oscilloscope qui nécessite un accès en continu. A l'issue de l'application du quatrième protocole pendant 30 jours, nous avons obtenu les résultats techniques illustrés par les figures suivantes :

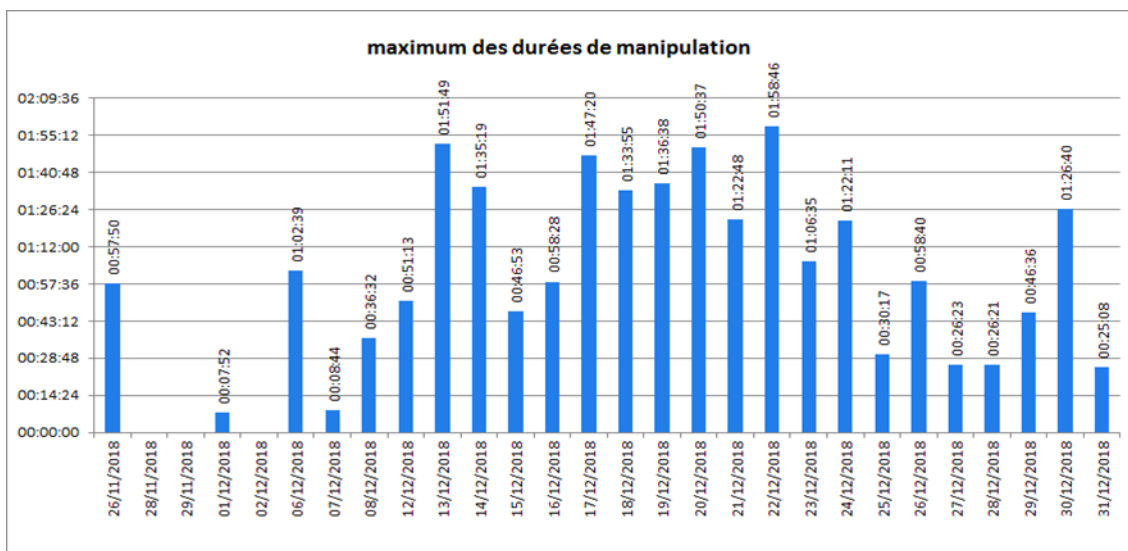


Figure 3.23 Maximum des durées de manipulation par jour - TP4

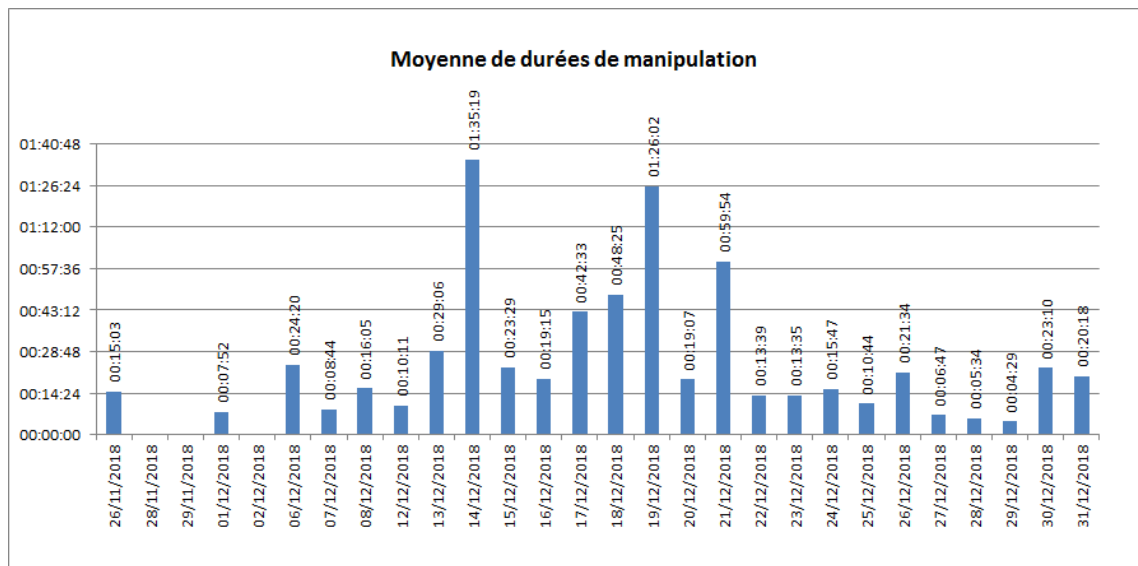


Figure 3.24 Moyenne des durées de manipulation par jour - TP4

La figure 3.23–a indique que la durée maximale pour la manipulation mesurée dans une journée atteint une (01) heure et 58 minutes et 46 secondes (01:58:46), sur toute la période d’étude. Les moyennes des durées de manipulation par jour sont représentées par la Figure 3.24.

La mesure de la durée de manipulation en fonction des tranches horaire est illustrée par la Figure 3.25 sur la même période d’études. La moyenne des durée de manipulation est de (00:15:40) sur toute la période d’étude. De ce fait, notre choix pour la durée de manipulation autorisé (deux heures) est largement suffisant.

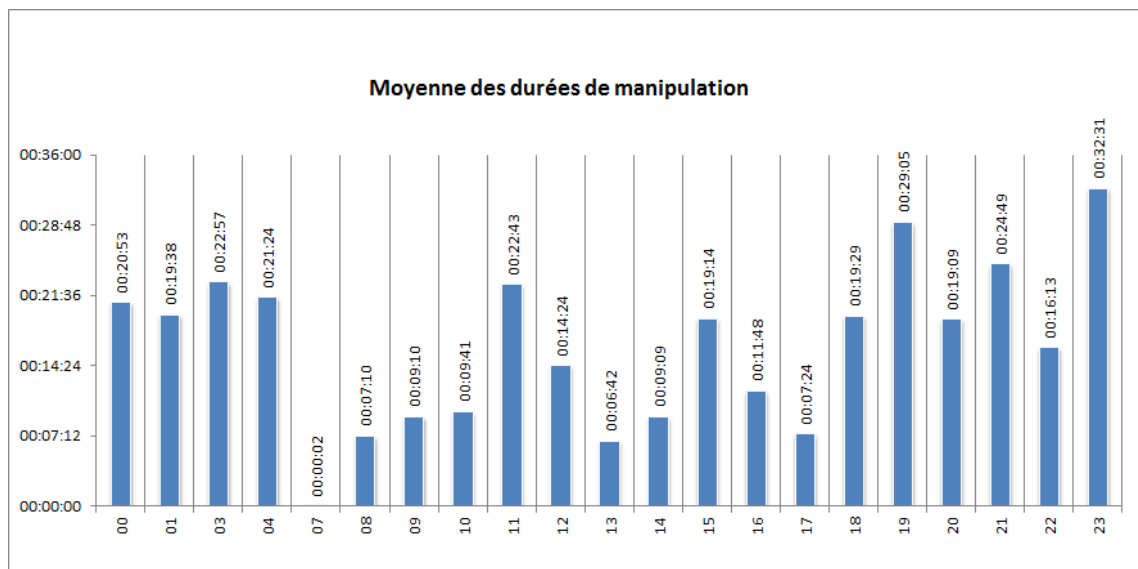


Figure 3.25 Moyenne des durées de manipulation par tranches horaires - TP4

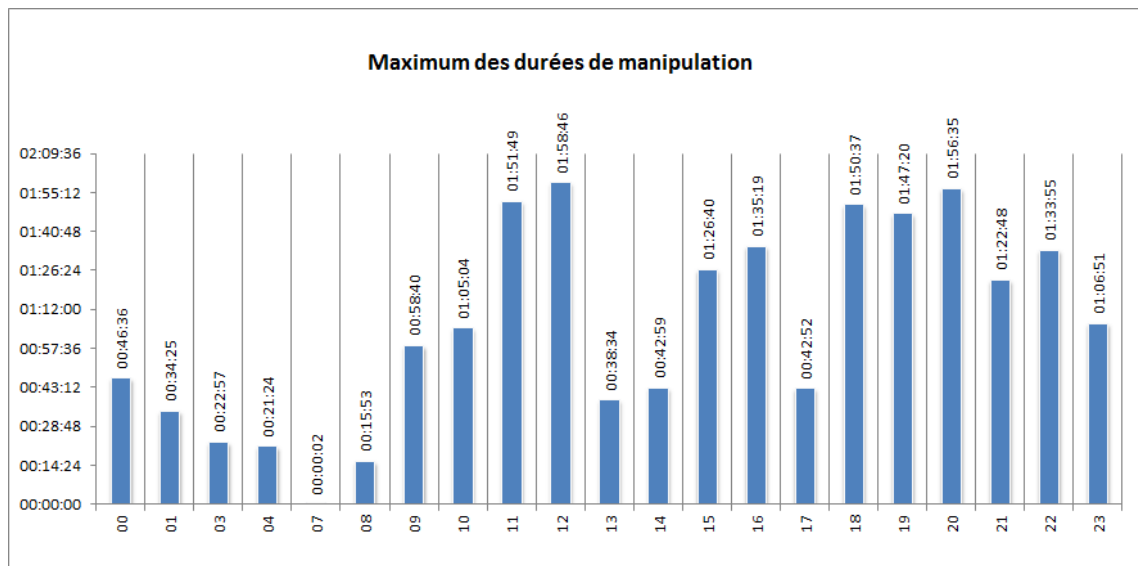


Figure 3.26 Maximum des durées de manipulation par tranches horaires - TP4

D'autre part, les étudiant utilisent les maquettes de TP en mode contrôle total dans cette session. Pour mesurer le nombre maximal d'étudiants travaillant en parallèle, nous avons mesuré les taux d'occupation des maquettes de TP. La Figure 3.27 illustre que seulement quatre maquettes de TP sont mobilisées en parallèle, c'est-à-dire que au plus 04 étudiants travaillent simultanément.

La première maquette (rp-f05006) est la plus sollicitée avec un taux d'occupation de 47,16%, suivie par la deuxième (rp-f04f74) avec un taux de 32,97%. En effet, on constate que dans la plupart du temps (80%) deux étudiants travaillent en parallèle au plus, et que rarement (5,95%), il y a (04) étudiants qui travaillent simultanément (Figure 3.27). Ainsi, les quatre (04) maquettes de TP restantes sont toujours libres.

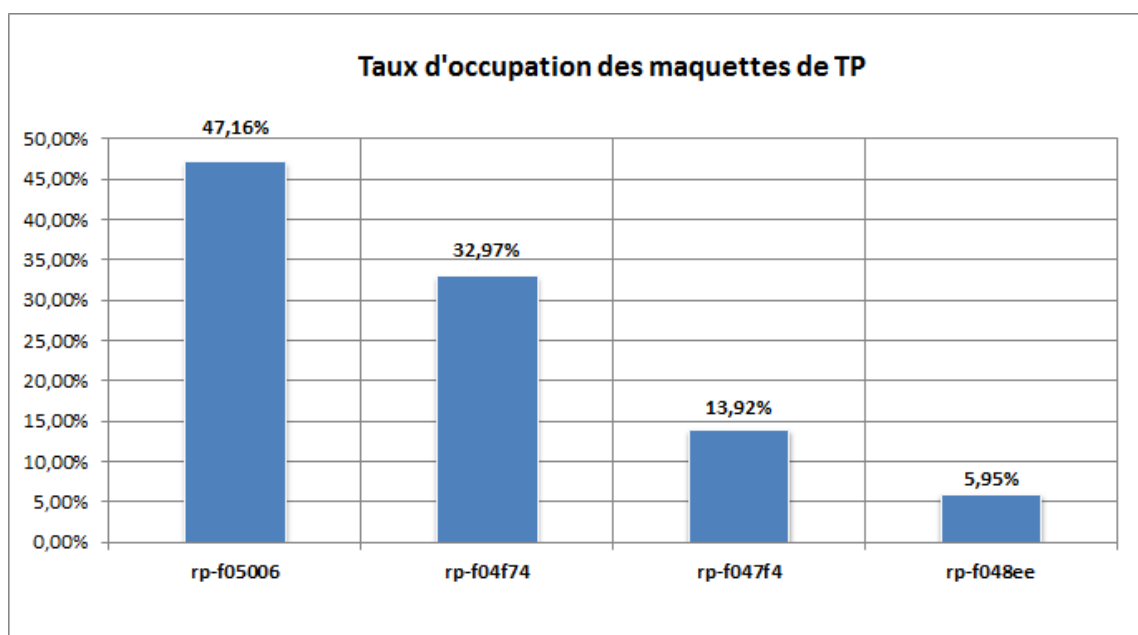


Figure 3.27 Taux d'occupation des maquettes de TP - TP4

## **4. Etude de l'utilisabilité du laboratoire**

### **4.1 Système d'échelle d'utilisabilité (SUS)**

À la fin de la dernière session de TP, les groupes d'étudiants ont été invités à répondre au questionnaire SUS (System Usability Scale). Ce questionnaire est reconnu comme un outil rapide et fiable pour mesurer l'utilisabilité d'un système (Brooke *et al.*, 1996). En effet, SUS comporte 10 questions dont les réponses sont fournies sur une échelle de Likert (Likert Scale) divisée en cinq (05) niveaux allant de 1 à 5 :

- Pas du tout d'accord,
- Plutôt pas d'accord,
- Neutre,
- Plutôt d'accord,
- Tout à fait d'accord.

### **4.2 Implémentation et résultats du SUS**

Nous avons utilisé l'outil intégré à Google (Google form) pour mettre en œuvre le système d'analyse de l'utilisabilité. Chacun des utilisateurs inscrit ses coordonnées personnelles (Figure 3.28), ensuite il procède à la réponse aux questions de l'échelle de Likert (Brooke *et al.*, 1996) comme illustré dans la Figure 3.29. L'étudiant a le choix entre cinq réponses pour chaque question. La réponse (1) est la plus négative (complètement en désaccord), la réponse (5) est la plus positive (complètement d'accord).

Les résultats du questionnaire SUS permettent de construire le score de satisfaction, qui a pour objectif de mesurer le degré de satisfaction sur l'expérience d'utilisation. Celui-ci est compris entre 0 à 100. On estime en général qu'un score est « bon » à partir de 75, « passable » ou « correct » entre 50 et 75. Un score inférieur à 50 révèle de gros problèmes en termes de satisfaction de l'utilisateur.

← Questionnaire SUS

ENVOYER

QUESTIONS RÉPONSES 52

Rubrique 1 sur 3

MostaL@b

Prière de bien remplir ce formulaire sur deux pages:

Titre de l'image

Nom \*

Prénom \*

Sexe \*

Quel est le type de connexion Internet vous utilisez ? \*

Quelle est votre fréquence de connexion à Internet ? \*

Quel type de dispositif vous utilisez pour effectuer le TP ? \*

Après la section 1 Passer à la section suivante

**Figure 3.28 Données personnelles à remplir**

Les résultats bruts sont récupérés à partir du fichier 'Google forms', comme l'indique la Figure 3.30. Pour chaque étudiant, le score final SUS n'est pas un simple pourcentage du fait qu'il est calculé à partir des scores élémentaires des questions. Les dix (10) questions posées sont classé en 02 types, questions impaires et questions paires :

- Pour les questions impaires, on doit soustraire un (1) du résultat donné, si la réponse est quatre (4), alors le score élémentaire correspondant est trois (3) (4–1).
- Pour les questions paires, le score élémentaire est égal à cinq (5) moins le résultat donné par l'étudiant, si la réponse correspond à trois (3), alors le score élémentaire est égal à deux (2) (5–3).
- Pour obtenir le score SUS final, le total des scores élémentaires est multiplié par (2,5). Ainsi, on obtient un score compris entre 0 et 100.

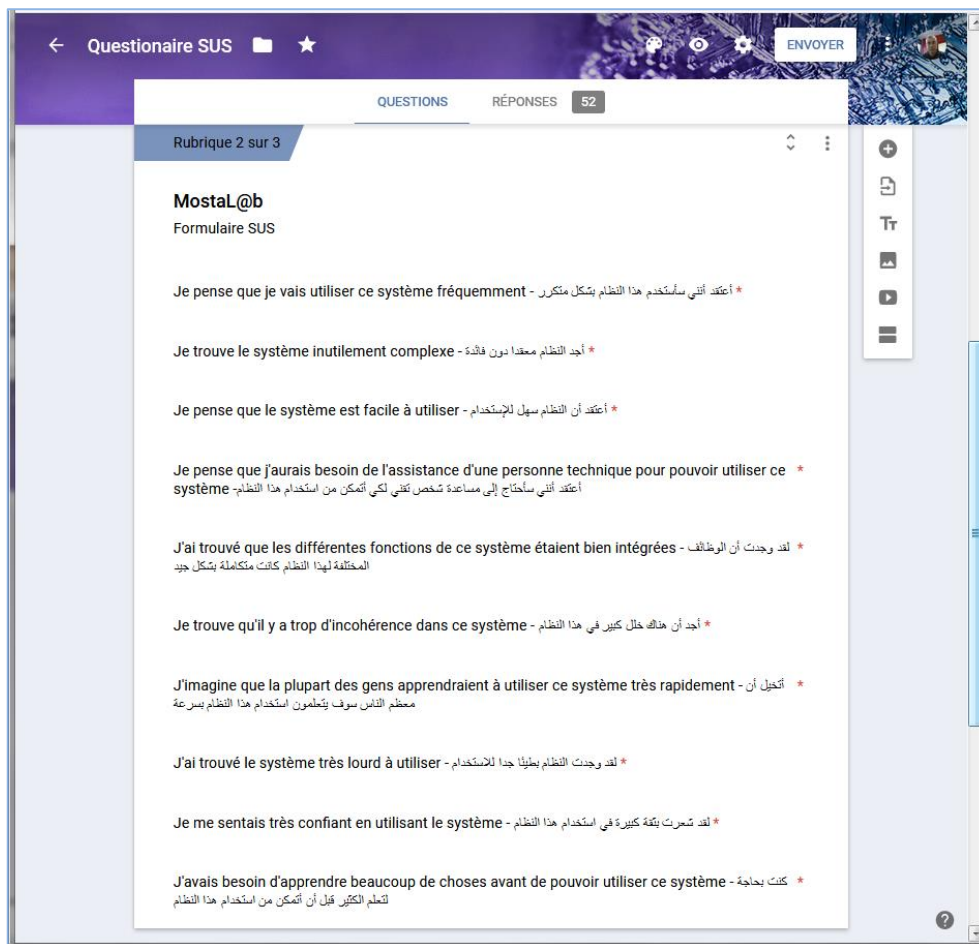


Figure 3.29 Questions du système SUS

Nous avons utilisé MS Excel pour réaliser le calcul du score SUS final pour chaque étudiant. Après récupération des résultats bruts, nous avons implémenté la formule de calcul du score SUS pour chaque étudiant, ainsi que le score SUS final (moyenne) correspondant à l'ensemble du groupe d'étudiants concernés par le questionnaire comme illustré par la Figure 3.31.

En utilisant Google docs, d'autres résultats relatifs au questionnaire peuvent être extraits, comme le pourcentage pour chaque type de réponse, la distribution des étudiants suivant les critères émis dans le formulaire d'inscription comme le sexe, type connexion (fixe/mobile), type de support utilisé (pc/tablette), fréquence de connexion ... etc. (Figure 3.32).

Nom	Prénom	Sexe	Quel est le type de connexion Internet vous utilisez ?	Quelle est votre fréquence de connexion à Internet ?	Quel type de dispositif vous utilisez pour effectuer le TP ?	Je pense que je vais utiliser ce système fréquemment.	Je trouve le système inutilement complexe.	Je pense que le système est facile à utiliser.	J'ai trouvé que les différents fonctions de ce système étaient bien intégrées.	Je trouve qu'il y a trop d'incohérence dans ce système.	Image des pages à utiliser très peu.	
1	djourdem	mostafa	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC de bureau	5	1	5	2	5	1
2	boussad	wafaa	Féminin	Adsl	Au moins 03 fois par sema	PC portable	3	2	4	4	3	1
3	HAMDI	TOUATI MOHAMED EL	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	3	3	2	2	3	1
4	Maghmoul	Anis	Masculin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par sem	PC portable	4	3	3	2	4	3
5	ndiou	gift	Masculin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par sem	PC portable	3	2	3	5	3	5
6	benchikh	aymen abdessalem	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	3	4	3	2	4	4
7	DANI	Chemseddine	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC de bureau	5	3	2	3	2	5
8	lorat	tahar nor el houda	Féminin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	3	2	3	1	5	3
9	Boukara	Mhammed	Masculin	Adsl	Au mois 03 fois par sema	PC de bureau	4	2	4	4	5	1
10	HAMDI	Rachida	Féminin	Adsl	Quotidiennement	Smart phone	2	5	2	5	3	2
11	gorne	youcef	Masculin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par sem	Smart phone	1	2	2	2	2	1
12	baï	rabila	Féminin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par 15 p	PC portable	3	5	1	2	2	4
13	leloub	wassila	Féminin	Mobile (3G, 4G)	Quotidiennement	PC portable	3	3	3	3	3	3
14	Lagraa	Zohra	Féminin	Mobile (3G, 4G)	Au mois 03 fois par sema	PC portable	2	3	2	4	1	5
15	HAMDI	Rachida	Féminin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	2	3	2	5	2	1
16	benchikh	aymenabdessalem	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	3	3	4	2	4	4
17	bouhermi	mustapha	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	5	1	5	3	4	1
18	djourdem	mostafa	Masculin	Adsl	Quotidiennement	PC de bureau	5	1	5	1	5	1
19	boutefra	kaouter	Féminin	Adsl	Quotidiennement	PC portable	5	1	5	1	5	1
20	sebhi	nourelhouda	Féminin	Adsl	Au mois 03 fois par sema	PC portable	3	2	4	4	3	2
21	Hadj Belkacem	Chaima Nor El Houda	Féminin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par sem	PC portable	1	3	1	5	3	1
22	ndiou	gift	Masculin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par sem	PC portable	3	3	5	4	4	3
23	korch	Malika	Féminin	Mobile (3G, 4G)	Au moins 01 fois par 15 p	PC portable	2	1	4	1	3	2
24	benouali	noureddine	Masculin	Adsl	Au mois 03 fois par sema	PC portable	3	2	4	3	3	2

Figure 3.30 Résultats bruts du SUS sous forme numériques

Formule SUS: 
$$= ((I21 - I15 + J21 + K21 - L15 + M21 - L15 + N21 + O21 - I15 - P21 + Q21 - I15 - R21) * 2,5)$$

Moyenne SUS: 58,39

SD: 7,50

Score SUS par étudiant

Nom	Prénom	SUS	SD
19	benchikh aymenabdessalem	60	1,61
20	bouheni mustapha	92,5	34,11
21	djourdem mostafa	100	41,61
22	boutefra kaouter	92,5	34,11
23	sebhi nourelhouda	60	1,61
24	Hadj Belkacem Chaima Nor El Houda	35	-23,39
25	ndiou gift	57,5	-0,89
26	korch Malika	72,5	14,11
27	benouali noureddine	67,5	9,11
28	youssoufi hamza	70	11,61
29	HAMMOUDI Soltana	45	-13,39
30	Khalifa Cherifa	42,5	-15,09
31	bouziane zakana	85	26,61
32	sisoko Fatoumata	32,5	-25,89
33	DALLAH Isselmou	87,5	29,11
34	sidahmed bellakehal	52,5	-5,89
35	Maghmoul Anis	70	11,61
36	bouziane zakana	50	-8,39
37	Neze Chaib Naim El Safa	30	-28,39
38	BEY ABDELKADER	55	-3,39
39	lakehal zineb	42,5	-15,89
40	moumen boualem	60	1,61
41	Kies Mohammed el Amine	60	1,61

Figure 3.31 Résultats traités du système SUS sous forme numériques

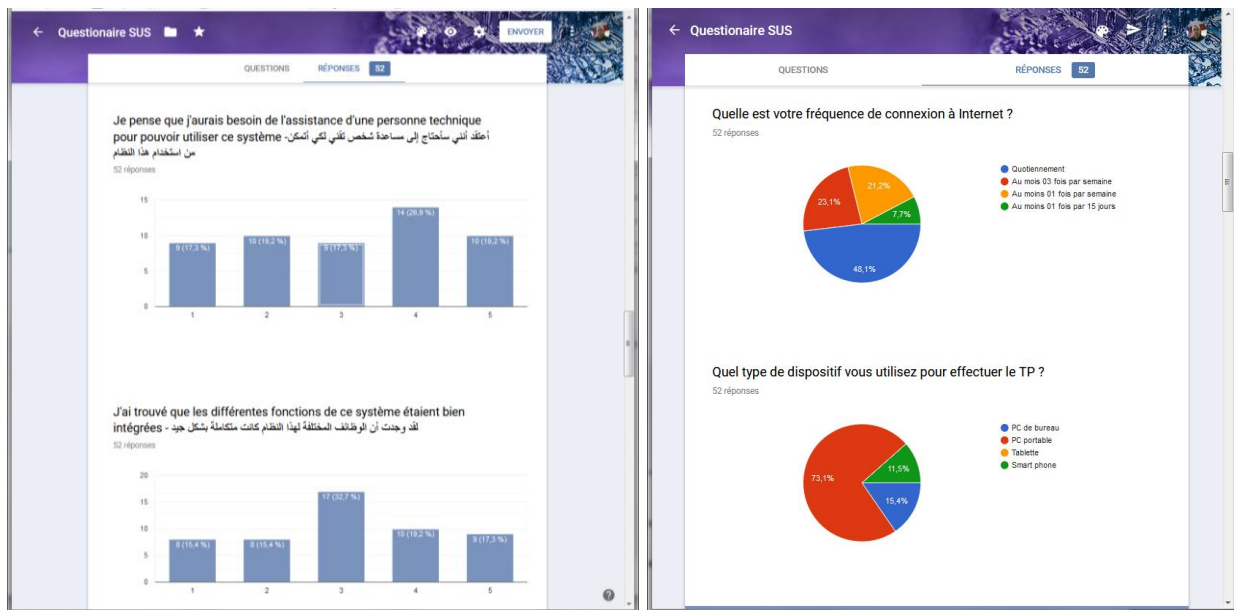


Figure 3.32 Résultats du questionnaire sous forme graphique

## 5. Evaluation des performances du laboratoire

### 5.1 Méthodes d'accès au laboratoire

Dans les trois premières sessions d'activité pratiques, la méthode adoptée pour l'accès au laboratoire n'intègre ni réservation ni file d'attente, les résultats techniques obtenus sont illustrés dans la section 3.3. Cette approche permet d'optimiser la méthode d'accès, et réduire la charge du laboratoire particulièrement avec un nombre élevé d'étudiants.

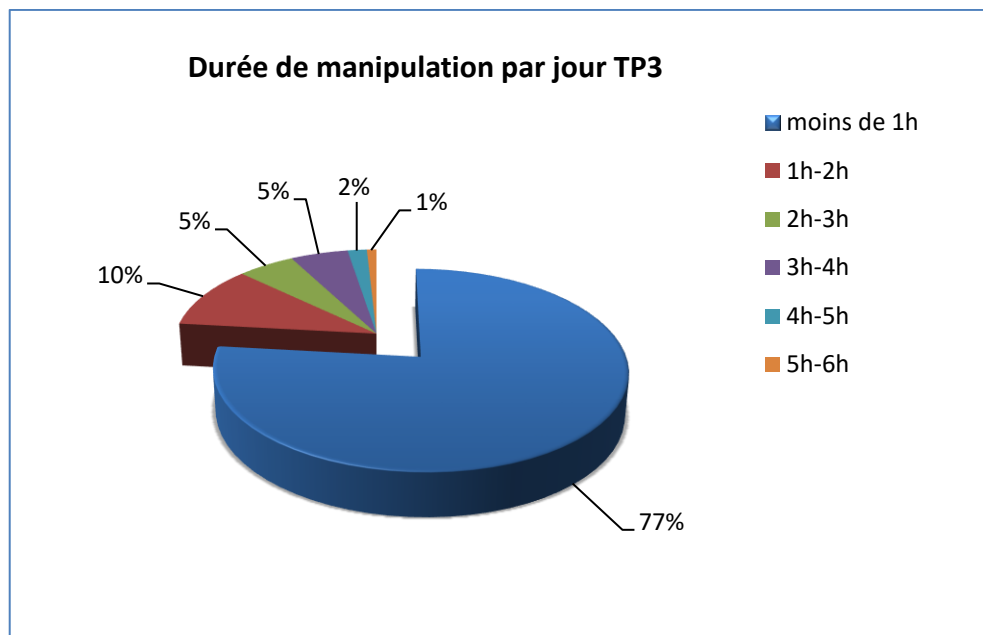
Dans la quatrième session, une gestion intelligente a été adoptée pour gérer l'allocation des ressources de manipulation. Une opération de demande d'accès doit être faite en premier lieu, si la maquette est libre, alors l'accès se fait automatiquement, sinon l'utilisateur est mis en attente avec un compte à rebours affiché sur l'interface utilisateur. La durée affichée est une durée maximale estimée, la durée d'attente réelle est nettement inférieure. La durée moyenne de manipulation est de 15mn 40s sur toute la période d'étude (Figure 3.24). Ainsi, le choix pour la mise en place de 08 Redpitaya est largement suffisant, du fait que seulement 04 ont été utilisés, ce qui signifie aussi qu'on n'a jamais eu de temps d'attente.

### 5.2 Temps d'exécution (durée des manipulations)

En analysant les résultats des durées de manipulation suivant la configuration technique, on conclue que la quasi-totalité des manipulations ne dépassent pas 01 heure, donc il est judicieux de choisir une durée de manipulation minimale de 01 heure tout en gardant la régularité dans l'accomplissement des activités pratiques.

**Tableau 4.4 Résultats de la répartition des durées de manipulation par TP**

Durée des manipulations	TP1 3x2h	TP2 6x1h	TP3 illimitéx1h
<1h	76%	88%	77%
1h-2h	20%	7%	10%
2h-3h	2%	2%	5%
3h-4h	1%	1%	5%
4h-5h	1%	1%	2%
5h-6h	1%	1%	1%



**Figure 3.33 Répartition des durées de manipulation / TP3**

### 5.3 Partage d'expérimentations

L'adaptation du scénario technique suivant un scénario pédagogique, consiste à minimiser au maximum le temps d'allocation des ressources matérielles (temps de charge), ce qui réduit considérablement la charge du laboratoire. Ainsi, on constate un gain en termes de disponibilité des ressources du laboratoire.

La Figure 3.35 montre que la charge du laboratoire maximale inscrite est de 14,75%, correspondant à 12 étudiants travaillant en parallèle et partageant le même dispositif de manipulation. Ce résultat nous indique que notre laboratoire reste toujours sous utilisé, en d'autres termes « il tourne à l'aise ». Ces résultats valident nos choix techniques, notamment en matière d'adaptation des configurations techniques et pédagogiques.

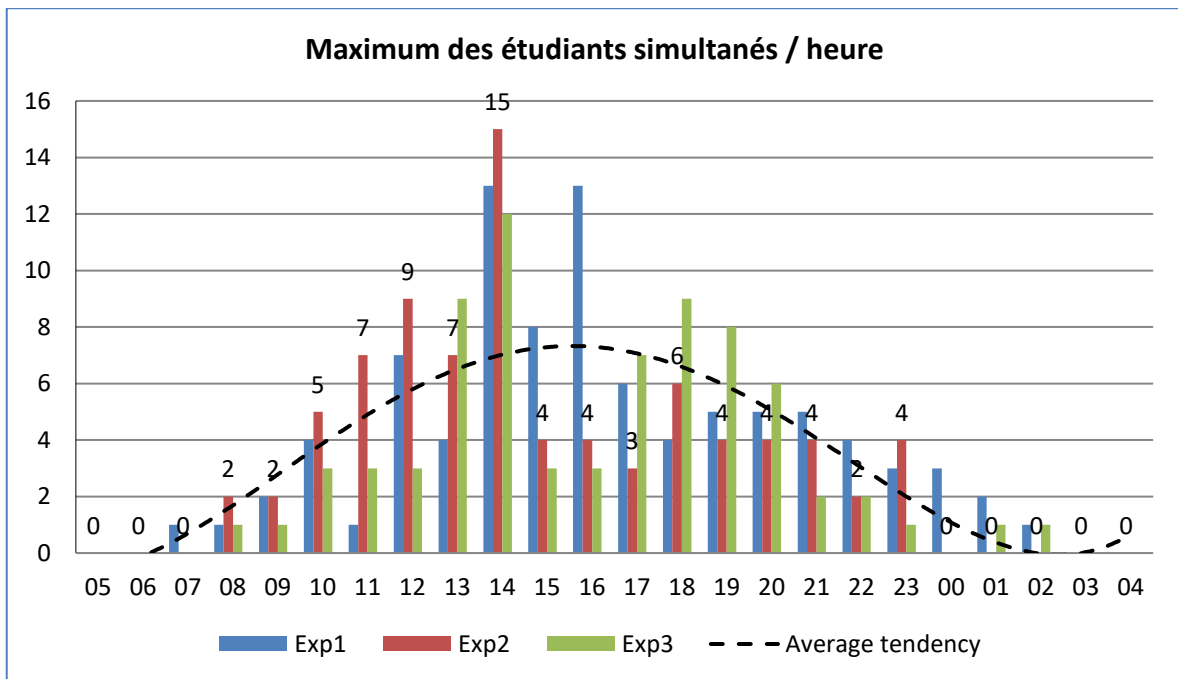


Figure 3.34 Nombre maximal des étudiants en parallèle par heure

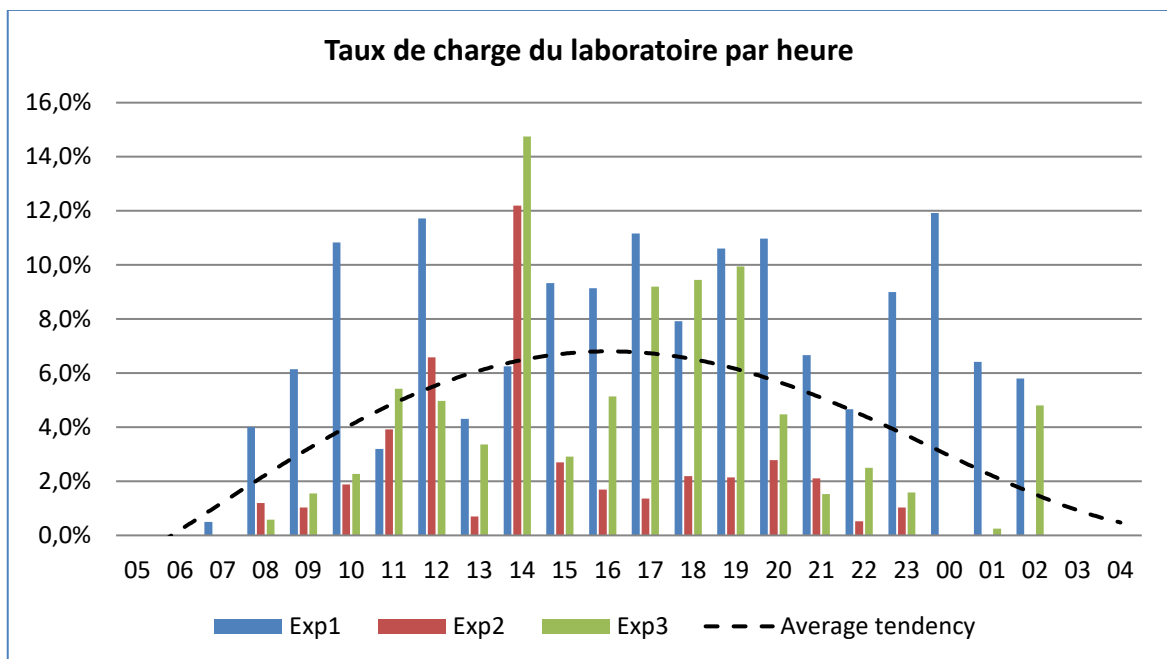


Figure 3.35 Pourcentage de la charge du laboratoire pour les 03 TP

#### 5.4 Analyse du score d'utilisabilité

Le score de l'utilisabilité nous donne un indice sur le taux de satisfaction vis-à-vis de la facilité d'utilisation d'un système. Le Tableau 3.5 illustre que 66% des étudiants donnent un avis correct et bon, par contre 34 % émettent un avis défavorable envers notre système. En effet, ce résultat s'explique par le fait que c'est la première expérience pour les étudiants, qui sont habitués à travailler avec la méthode classique. Dans ce cas, il est très facile pour avoir de

bonnes notes par la triche à travers la duplication des réponses, ou tout simplement ajouter son nom sans rien faire.

Dans le même sens, la moyenne du score SUS est de 58,43%, ce qui représente un score pas trop bon, du fait que les réponses des étudiants étaient trop dispersées telle que l'écart type atteint 07,57.

**Tableau 3.5 Analyse du score SUS**

<i>Analyse du score SUS</i>		
	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart type</i>
	58,43	07,57
<i>Taux d'étudiants par rapport au score SUS</i>		
<i>Score SUS</i>	<i>Nombre d'étudiants</i>	<i>Taux d'étudiants</i>
(mauvais) 0-50	15	34,09%
(correct) 50-75	22	50,00%
(bon) 75-100	07	15,91%

## 6. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les considérations techniques pour mettre en œuvre notre laboratoire, ainsi que les scénarios pédagogiques et techniques suivant des cas d'utilisation.

Nous avons présenté également, les méthodes et outils utilisés pour évaluer le laboratoire selon des critères techniques : durée typique d'une manipulation, nombre d'étudiant en parallèle, la tranche horaire la plus sollicitée par jour, ... etc.

Pour étudier l'utilisabilité du laboratoire, nous avons présenté le système SUS et l'implémentation sous-jacente, ainsi que l'exploitation des résultats des réponses au questionnaire.

En analysant les résultats d'évaluation obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- La durée de manipulation à distance autorisée est suffisante pour accomplir l'activité pratique suivant un scénario pédagogique adapté.
- Notre laboratoire peut supporter un nombre beaucoup plus élevé d'étudiant, notamment si on doit intégrer plus de maquettes de TP.

- Le niveau d'utilisabilité de notre système est satisfaisant, les étudiants n'ont pas de problèmes avec l'environnement technologique pour interpréter les consignes. Ils se sentent motivés et considèrent le laboratoire à distance comme un outil efficace pour l'apprentissage.
- La présence de l'enseignant est facultative pour réaliser l'expérience l'activité pratique à distance.
- La stratégie d'accès aux ressources adoptée est efficace dans la mesure où le comportement du laboratoire reste fiable, même avec les sessions en parallèle.

L'intégration de notre laboratoire distant dans le cursus traditionnel à la faculté des sciences et technologies, à résolu le problème de surcharge des laboratoires en augmentant les créneaux horaires au-delà des horaires réguliers. Le département de génie électrique n'a plus besoin de multiplier les laboratoires avec des équipements spécifiques pour faire face au nombre croissant d'étudiant puisqu'une salle équipée d'ordinateurs connectés à Internet ou à l'intranet local devrait suffire.

Par ailleurs les enseignants peuvent illustrer leur cours par des démonstrations pratiques sans déplacer les équipements en accédant au laboratoire depuis les amphithéâtres ou salles de cours à condition que ces derniers soient connectés au réseau de l'établissement.

Cette étude nous a montré que les améliorations apportées par les laboratoires distants contribuent à engager les étudiants dans la réflexion, dans l'implication pour améliorer ses compétences en matière de recherche et d'exploration, dans l'incitation à l'apprentissage actif.

Cependant, les performances du laboratoire sont mesurées uniquement dans notre institution, la suite pour ce travail devra être la fédération des manipulations des équipements du laboratoire pour d'autres établissements, sur une échelle géographique et avec un nombre d'étudiants plus large.

## Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est la conception de développement d'une plate-forme de TéléTP sous la forme de laboratoire distant dans le domaine de l'électronique. Les travaux développés dans cette thèse présentent une contribution aux méthodes de pilotage de TP à distance à travers une interface Web qu'elle soit dans ou hors campus. Les motivations de cette thèse partent du constat que la majorité des travaux effectués dans le domaine des travaux pratiques à distance se basent sur des équipements coûteux ou nécessitent des logiciels payants. Cette thèse a montré qu'il est en effet possible de contrôler les TP d'électronique en ligne avec l'utilisation de solution open source, en mettant en œuvre une technologie qui réduit le coût de développement et de maintenance.

Pour développer une activité pratique à distance, nous étions chargés de mettre en place une architecture matérielle spécifique et de développer une application Web performante et facile à utiliser permettant à un étudiant distant de réaliser un TP à distance. Dans le contexte de conception de laboratoire on a pris en considération la taille de la page Web qui s'adapte aux connexions à faible débit et facile à intégrer dans la plateforme d'éducation. Les TéléTP peuvent être déployés sur plusieurs laboratoires géographiquement éloignés.

Un état de l'art sur les laboratoires à distance a été réalisé, afin d'identifier tous les aspects techniques et pédagogiques. L'architecture matérielle et logicielle de chaque laboratoire a été traitée dans le deuxième chapitre. Par la suite, nous avons présenté notre propre structure et abordé toutes les parties du système. Les travaux réalisés permettent de piloter les cartes modulaires de travaux pratiques grâce aux systèmes embarqués modernes comme pcDuino, Raspberry Pi et Redpitaya. Ces cartes implémentent un serveur Web embarqué et un autre serveur d'application développé qui contrôle le dispositif de commutation par les sorties numériques. De plus, ces systèmes embarqués assurent l'interaction avec les équipements connectés avec l'environnement de l'expérimentation. L'ensemble des équipements et des circuits constituant la maquette de TP sont reliés au réseau, et sont ainsi accessible depuis l'extérieur.

Pour évaluer l'utilité et l'efficacité de cette solution, un groupe d'étudiants de la Faculté des Sciences et Technologies a testé le dispositif sur des TPs faisant partie de leur cursus de premier cycle, pendant 03 mois.

Pour évaluer l'utilisabilité du système, à la fin du semestre, les étudiants ont répondu à un questionnaire. Le résultat de ce test montre que les étudiants acceptent quand même l'utilisation

du laboratoire à distance avec un taux de 58%. Ceci a été mis en évidence par les résultats obtenus par les étudiants ayant effectué le TP à distance et le temps mis pour accomplir les activités pratiques.

En termes de performances, notre laboratoire a supporté jusqu'à 15 accès par heure d'étudiants en parallèle sans la moindre altération, pour une expérience avec une seule maquette avec un taux de charge de laboratoire de 14%. Pour l'autre type d'expérience avec un control total sur la maquette du TP, sur les huit (08) maquettes disponibles, le nombre d'accès en parallèle s'est limité à 04 par heure pour 109 étudiants travaillant à distance. Ainsi, notre laboratoire tourne en toute fluidité sans aucune attente d'accès, et donc sur la base de ces résultats, les capacités du laboratoire permettent d'accueillir jusqu'à 700 étudiants.

Finalement, l'amélioration des performances du laboratoire passe par le développement de nouvelles thématiques de TP avec un nombre d'étudiant plus large.

Les interfaces utilisateurs doivent s'adapter aux besoins émergents, notamment les nouvelles technologies de communications mobiles. L'utilisation des environnements de développement modernes est primordiale afin d'assurer plus de portabilité à travers les différents supports existant actuellement comme les pc, tablettes et Smartphone.

La partie matérielle doit intégrer de nouvelles fonctionnalités pour permettre de fédérer plusieurs laboratoires de même type afin de mutualiser les ressources entre plusieurs établissements, qui peuvent être géographiquement éloignés avec des faisceaux horaires différents, ou encore dans des pays différents.

L'aspect pédagogique peut également être perfectionné pour permettre le travail collaboratif et favoriser les interactions sociales entre les pairs, dans les différentes phases de l'apprentissage exploratoires pour créer plus de dynamique dans un apprentissage actif.

## Annexes

## Annexe 1

## 1. Potentiomètre numérique MCP42X1

## MCP42X1 Dual Potentiometer

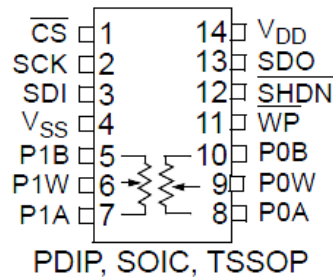


Figure A.1. Schéma de brochage du MCP4231.

MCP 42X1 est potentiomètre numérique, comme les potentiomètres mécaniques, sont des résistances dont les valeurs peuvent être modifiées par l'intermédiaire d'une entrée externe. La différence est que les potentiomètres analogiques sont commandés par la position d'un arbre de commande de rotation, et la résistance d'un potentiomètre numérique est déterminée par une entrée logique. Les potentiomètres numériques ne sont pas variables de manière continue, mais ne changent de valeur que par étapes. Ils ne peuvent donc prendre qu'un nombre fini de valeurs de résistances possibles. L'échelle de correspondance entre les valeurs numériques et les différentes valeurs de résistances sont propres à chaque modèle de potentiomètre.

Ils sont également très limités dans la quantité de courant qu'ils peuvent gérer, de sorte qu'ils sont le plus souvent utilisés dans les boucles de rétroaction des amplificateurs opérationnels pour contrôler le gain de l'ampli opérationnel, et dans d'autres environnements similaires à courant faible.

Dans notre projet, on a utilisé le potentiomètre numérique MCP4231. Il est piloté par Raspberry pi en utilisant le bus SPI, pour configurer une valeur de résistance donnée. La Figure A.1 illustre le schéma de brochage du MCP4231.

Le Tableau A.1 résume les broches du circuit intégré.

Tableau A.1

N ° de broche	Nom de broche	Description
1	CS	La broche CS ou Chip Select est la broche SS (Slave Select) pour l'interface SPI. Il est actif bas. 0V signifie que la puce est sélectionnée et 5V signifie qu'elle n'est pas sélectionnée.

2	SCLK	SCLK est l'horloge partagée / série. Il s'agit de la ligne d'horloge SPI.
3	SDI	Ces broches sont les données série, également connues sous le nom de MOSI.
4	VSS	C'est là que la masse est connectée.
5	P1B	Il s'agit d'une borne du potentiomètre 1.
6	P1W	Il s'agit de la borne wiper du potentiomètre 1.
7	P1A	Il s'agit d'une borne du potentiomètre 1.
8	PA0	Il s'agit d'une borne du potentiomètre 0.
9	PW0	Il s'agit de la borne wiper du potentiomètre 0.
10	PB0	Il s'agit d'une borne du potentiomètre 0.
11	WP	C'est la protection en écriture. Peut être ignoré. Il n'est pas connecté (NC).
12	SHDN	Il s'agit de la broche d'arrêt. Il est actif bas. Lorsqu'il est maintenu bas, le matériel déconnecte le wiper du réseau de résistances internes. Pour maintenir le potentiomètre actif, garder cette broche connectée à + 5V.
13	SDO	Il s'agit de la broche de sortie des données série. Cette broche est également connue sous le nom de MISO.
14	VDD	Connexion de la source de tension positive.

## 2. Gestionnaire des potentiomètres - programme en Python

```

1  #!/usr/bin/python
2
3  import spidev
4  import time
5  import sys
6
7  spi = spidev.SpiDev() # create spi object
8  spi.open(0, 0) # spi.open(bus, device) open spi port 0, device (CS) 0
9  spi.max_speed_hz = 100000
10 spi.cshigh = False
11 spi.bits_per_word = 8
12
13 spi.mode = 0b00
14
15 try:
16     i=int(sys.argv[1])
17     j=int(sys.argv[2])
18     resp = spi.xfer2([0x00, i]) #0x00 @pot0
19     resp = spi.xfer2([0x10, j]) #0x10 @pot1
20     time.sleep(1)
21 finally:
22     spi.close()

```

Figure A.2 Programme python : gestionnaire de potentiomètre

## Annexe 2. Gestion des sockets

Fragment du code source pour la gestion des sockets

```

1  <?php
2  $hostM = "192.168.10.205"; //address local Digit Multimetre
3  $host = "192.168.10.170"; //address local Power Supply
4  $port = 5025; //Port pour les sockets PS
5  $sportM = 5025;
6  $msgPs=$_GET['msg1'];
7  $msgDmm=$_GET['msg2'];
8  $msgDmm2=$_GET['msg3'];
9  $FuncPs=$_GET['PSfunc'];
10 $FuncDmm1=$_GET['DMfunc1'];
11 $FuncDmm2=$_GET['DMfunc2'];
12 $RolePs=$_GET['rolePs'];
13 $RoleDmm1=$_GET['roleDm1'];
14 $RoleDmm2=$_GET['roleDm2'];
15 $sw1=$_GET['swdmm1'];
16 $sw2=$_GET['swdmm2'];
17 $res=$_GET['Res'];
18 $user=$_GET['user'];
19 $voltps=$_GET['psvolt'];
20 $nomExp=$_GET['nom'];
21 function senddata($pf,$etat) {
22
23     $socket = socket_create(AF_INET, SOCK_STREAM, SOL_TCP) or die("Hors service\n");
24     socket_connect($socket, $host, $port) or die("Could not connect to server\n");
25     socket_write($socket, $msgPs, strlen($msgPs)) or die("Could not send data to server\n");
26     $result1 = socket_read($socket, 1024) or die("Could not read server response1\n");
27     senddata($sw1,"sw");
28     senddata($res,"res");
29     usleep(250000);
30     $socketdmm = socket_create(AF_INET, SOCK_STREAM, SOL_TCP) or die("Could not create socket\n");
31     socket_connect($socketdmm, $hostM, $sportM) or die("Could not connect to server\n");
32     socket_write($socketdmm, $msgDmm, strlen($msgDmm)) or die("Could not send data to server\n");
33     $resultvol = socket_read($socketdmm, 1024) or die("Could not read server response2\n");
34     socket_close($socketdmm);
35     if($RoleDmm1!=$RoleDmm2){senddata($sw2,"sw");
36 }
37 switch($FuncDmm1){case 'volt':$signvol=substr($resultvol,-4,1);
38 }
39
40     socket_close($socket);
41
42     $result1=(float)$result1;
43     $result1 = number_format($result1, 3, '.', ' ');
44     // measure curr ps
45     $socket2 = socket_create(AF_INET, SOCK_STREAM, SOL_TCP) or die("Could not create socket\n");
46     socket_connect($socket2, $host, $port) or die("Could not connect to server\n");
47     $vol1="INST OUT1\n MEASure:CURRent?\n";
48     socket_write($socket2, $vol1, strlen($vol1)) or die("Could not send data to server\n");
49     $result3 = socket_read($socket2, 1024) or die("Could not read server

```

Figure A.3 Gestion des sockets en php

## Annexe 3. : Gestionnaire de la commutation

Création du serveur node.js : fragment de code source du gestionnaire de la commutation

```

1  const http = require('http');
2  const fs = require('fs');
3  const path = require('path');
4  const url = require('url');
5  const querystring = require('querystring');
6  const child_process = require('child_process');
7
8  s = http.createServer( function (request, response) { // Create an http server
9    console.log("Requested URL: "+request.url);
10   var pathname = url.parse(request.url).pathname;
11   if(request.url === '/'){
12     fs.readFile('html/index.htm', function (err, data) {
22     }
23   } else if (request.url.match(/.htm$/)){
35   } else if (request.url.match(/.js$/)){
41   } else if (request.url.match(/.css$/)){
42     /*var cssPath = path.join( dirname, 'Styles', request.url);
46     fs.readFile('Styles'+request.url, function (err, data) {
56     }
57   } else if (request.url.match(/.(png|jpg|ico)$/)){
63   } else { response.writeHead(404, {'Content-Type': 'text/html'}); response.end('Page Not
Found'); }
64   }).listen(8080);
65
66   const WebSocket = require('ws');
67   const wss = new WebSocket.Server({ server: s });
68   var sleep;
69
70   wss.on('connection', function connection(ws) {
71     ws.on('message', function incoming(message) {
72       //console.log('received: %s', message);
73       var msg = JSON.parse(message);
74       console.log(msg);
75       child_process.exec('python Scripts/mat.py ' + msg.param + ' ' + msg.pot0 + ' ' + msg.pot1 +
'+ msg.pot2 + ' ' + msg.pot3,function (error, stdout, stderr) {
76         if (error) {
77           console.log(error.stack);
78           console.log('Error code: '+error.code);
79           console.log('Signal received: '+error.signal);
80         }
81
82         else {
83           console.log(stdout);
84           /*
102          }
103
104         });
105       });
106     });
107     console.log('Server running on port 8080');

```

Figure A.4 Gestion de la commutation en JavaScript (Node.js)

## Interface utilisateur (page web) par les codes sources HTML

```

* C:\Users\utilisateur\Desktop\TP.html - Notepad++
File Edit Search View Encoding Language Settings Macro Run Plugins Window ?
10.1007%2F978-3-319-76935-6_1.bb x new 5 x TODO.txt x index.html x scpi.php x server.js x server.js x TP.html x
1 <!-- saved from url=(0037)http://app.leog.univ-mosta.dz/tp-1.1/ -->
2 <html><head><meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
3 <link rel="stylesheet" type="text/css" href="/TP_files/style.css">
4
5 <title>TP</title>
6 </head><body onload="ipaddr();"><div class="menu"></div>
7
8 <script type="text/javascript" src="/TP_files/experience .js.téléchargé"></script>
9 <script type="text/javascript" src="/TP_files/jq.js.téléchargé"></script>
10 <!--script type="text/javascript" src="/js/ajax1.js"></script-->
11 <script type="text/javascript" src="/TP_files/show.js.téléchargé"></script>
12 <script type="text/javascript" src="/TP_files/ajax.js.téléchargé"></script>
13 <script type="text/javascript" src="/TP_files/hide.js.téléchargé"></script>
14
15 <script type="text/javascript" language="javascript">
107
108 <div id="pagelogin" style="display: none;">
109 <div id="login">
110 <form>
111 <h2><center>TP diviseur de current diviseur de tension</center></h2>
112 <div id="deco"></div>
113 <input class="labemail" readonly="true" value="ID:">
114 <input class="textemail" id="user_id" type="text" onkeypress="if(event.keyCode == 13) getFile();">
115 <!--input class="labpassword" readonly="true" value="Password:">
116 <input class="textpassword" id="password" type="password"-->
117 <input type="button" class="btnlogin" id="login" value="Login" onclick="getFile();">
118 </form>
119 </div>
120 </div>
121
122 <div id="digit1" style="">
123 <div class="menu">
124 <div class="menu1" style="background-color: orange;"> <center>experience 1.2</center></div>
125 <div class="menu2" style="background-color: gainsboro;"><center>experience 3.4</center></div>
126 <!--div class="menu3"><center>experience 3</center></div>
127 <div class="menu4"><center>experience 4</center></div-->
128 </div>
129 <div id="img" style="width: 500px; height: 470px; position: absolute; top: 250px; left: 580px;
background-repeat: no-repeat; background-image: url(&quot;image/Sch01.png&quot;);"></div>
130 <div id="multimeter1" style="width: 558px; height: 229px; background-image:
url(&quot;image/multimetre2.jpg&quot;); position: absolute; top: 310px; left: 20px; display: block;">
131 <input class="labecran" readonly="true">
132 <input class="labin" id="in" readonly="true">
133 <input class="textboxd" id="textbox" type="text" readonly="true">
134 <input class="textbox1d" id="textbox1" type="text" readonly="true">
135 <input class="labelb" id="clb1" readonly="true">
136 </div>
137 <div id="multimeter2" style="width: 558px; height: 229px; background-image:
url(&quot;image/multimetre2.jpg&quot;); position: absolute; top: 540px; left: 20px; display: none;">
Hyper Text Markup Language file length: 10613 lines: 184 Ln:112 Col:22 Sel:0|0 UNIX UTF-8 w/o BOM INS

```

Figure A.5 Code HTML pour l'interface web

L'interface web générée par le code HTML précédent est donnée par la figure suivante :

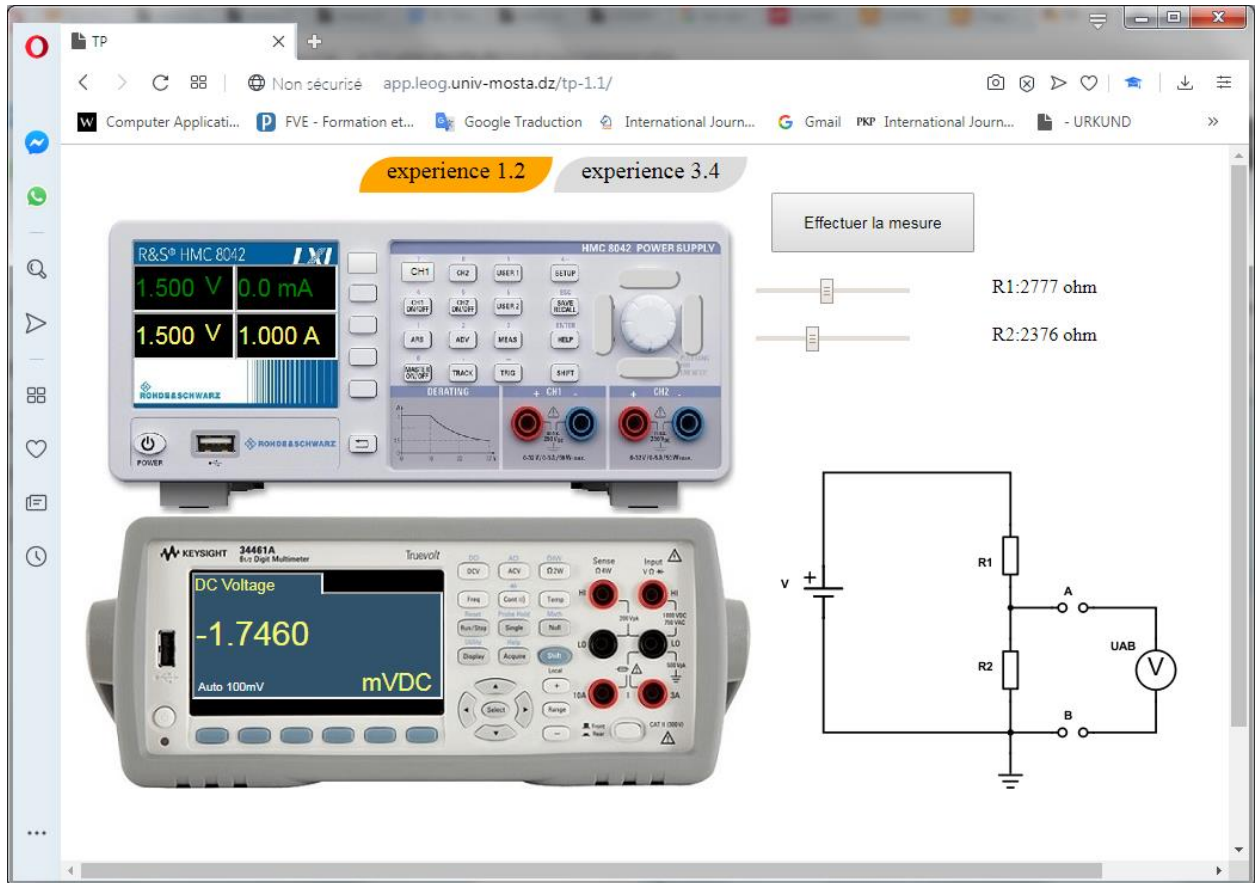


Figure A.6. Interface web

#### Annexe 4. Système d'échelle d'utilisabilité

Comme le montre la Figure A.7, la version standard du SUS comporte 10 éléments, chacun avec cinq étapes ancrées avec « fortement en désaccord » et « tout à fait d'accord ». Il s'agit d'un questionnaire à tonalité mixte dans lequel les éléments impairs ont un ton positif et les éléments pairs ont un ton négatif. La première étape de la notation d'un SUS consiste à déterminer la contribution au score de chaque élément, qui variera de 0 (une mauvaise expérience) à 4 (une bonne expérience). Pour les éléments à formulation positive (nombres impairs), la contribution au score est la position de l'échelle moins 1. Pour les éléments à formulation négative (nombres pairs), la contribution au score est de 5 moins la position de l'échelle. Pour obtenir le score SUS global, multipliez la somme des contributions au score de l'article par 2,5, ce qui produit un score pouvant aller de 0 (très faible utilisabilité perçue) à 100 (excellente facilité d'utilisation perçue) par incréments de 2,5 points.

		Fortement en désaccord				Tout à fait d'accord
		1	2	3	4	5
<b>1</b>	Je pense que je vais utiliser ce système fréquemment					
<b>2</b>	Je trouve le système inutilement complexe					
<b>3</b>	Je pense que le système est facile à utiliser					
<b>4</b>	Je pense que j'aurais besoin de l'assistance d'une personne technique pour pouvoir utiliser ce système					
<b>5</b>	J'ai trouvé que les différentes fonctions de ce système étaient bien intégrées					
<b>6</b>	Je trouve qu'il y a trop d'incohérence dans ce système					
<b>7</b>	J'imagine que la plupart des gens apprendraient à utiliser ce système très rapidement					
<b>8</b>	J'ai trouvé le système très lourd à utiliser					
<b>9</b>	Je me sentais très confiant en utilisant le système					
<b>10</b>	J'avais besoin d'apprendre beaucoup de choses avant de pouvoir utiliser ce système					

**Figure A.7.** Système d'échelle d'utilisabilité – version standard

Remarque : la question 8 montre «awkward : maladroit» à la place du «cumbersome : lourd» d'origine.

## **Annexe 5. Production scientifique**

### **Publications**

- Adda Benattia. A, Benachenhou. A, Moussa. M, Mebrouka. A, (2019). Design of a Low Cost Switching Board Enabling a Reconfigurable Remote Experiment. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 15(12), 32-41, 2019.
- Mostefaoui. H, Benachenhou. A, Adda Benattia, A. (2017). Design of a Low Cost Remote Electronic Laboratory Suitable for Low Bandwidth Connection. *Computer Application in Engineering Education (CAE)*, 25(3), 480-488, 2017. DOI 10.1002/cae.21815.

### **Communications internationales**

- Adda Benattia, A., Benachenhou, A., Moussa, M., & Mebrouka, A. (2019, February). Design of a Low Cost Switching Matrix for Electronics Remote Laboratory. 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV2019).
- Adda Benattia, A., Benachenhou, A., & Moussa, M. (2018, March). Development of an Automatic Assessment in Remote Experimentation Over Remote Laboratory. In *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation* (pp. 136-143). Springer, Cham.
- Adda Benattia, A., Benachenhou, A., & Moussa, M. (2017, July). Development of a Flexible Remote Laboratory Enabling Automatic Assessment. 9th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN17). Barcelona, Spain, 3-5 of July, 2017.
- Adda Benattia. A, Benachenhou. A. (2015, November). Remote interactive mobile learning application in electronics learning. In 2015 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL) (pp. 1-3). IEEE.
- Adda Benattia, A., & Benachenhou, A. (2014, November). Remote laboratory via interactive mobile technology. In *2014 International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL2014)* (pp. 373-375). IEEE.

### **Communications nationales**

- Adda Benattia, A., & Benachenhou, A. (2014, Octobre). Laboratoire à distance en Electronique - Internet pour un enseignement pratique, Université de la Formation continue, *Colloque international, Veille technologique et e-novation pédagogique en formation continue*, Alger 18-20 Octobre 2014.

## Références bibliographiques

- [1]. Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- [2]. Adda Benattia. A, Benachenhou. A, Moussa. M, (2018). Development of an Automatic Assessment in Remote Experimentation Over Remote Laboratory. *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (Rev18)*. Springer, Cham, 136-143, 2018.
- [3]. Adda Benattia. A, Benachenhou. A, Moussa. M, Mebrouka. A, (2019). Design of a Low Cost Switching Matrix for Electronics Remote Laboratory. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 15(12), 32-41, 2019.
- [4]. Bächtold, M., Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation, *Tréma (En ligne)*, 38 | 2012, mis en ligne le 01/12/2014, consulté le 11 octobre 2019. URL : <http://journals.openedition.org/trema/2817> ; DOI : 10.4000/trema.2817
- [5]. Bal, M., & Hamilton, O. H. (2014). Assessment of Remote Laboratory Practices in Engineering Technology Distance Education. *age*, 20, 1
- [6]. Bostock, S. (2000). Student peer assessment. *Learning Technology*, Volume 5.
- [7]. Bouabid, M. E. A. (2012). De la conception à l'exploitation des travaux pratiques en ligne: application d'une approche générique à l'enseignement de l'informatique (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- [8]. Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills*. Colorado Springs, CO: BSCS.
- [9]. Crippen, K. J., & Earl, B. L. (2007). The impact of web-based worked examples and self-explanation on performance, problem solving, and self-efficacy. *Computers & Education*, 49(3), 809-821.
- [10]. De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
- [11]. De Jong, T., Sotiriou, S., & Gillet, D. (2014). Innovations in STEM education: the Go-Lab federation of online labs. *Smart Learning Environments*, 1(1), 3.
- [12]. de la Torre, L., Guinaldo, M., Heradio, R., & Dormido, S. (2015). The ball and beam system: A case study of virtual and remote lab enhancement with moodle. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(4), 934-945.
- [13]. Dikke, D., & Faltin, N. (2015, July). Go-Lab MOOC—An online course for teacher professional development in the field of Inquiry-based science education. In *7th International Conference on Education and New Learning Technologies*.
- [14]. Dikke, D., Tsourlidaki, E., Zervas, P., Cao, Y., Faltin, N., Sotiriou, S., & Sampson, D. G. (2014, July). Golabz: Towards a federation of online labs for inquiry-based science education at school. In *6th International Conference on Education and New Learning*

- Technologies (EDULEARN 2014).
- [15]. Duran, L. B., & Duran, E. (2004). The 5E Instructional Model: A Learning Cycle Approach for Inquiry-Based Science Teaching. *Science Education Review*, 3(2), 49-58.
- [16]. Edward, N. S. (2002). The Role of Laboratory Work in Engineering Education: Student and Staff Perceptions. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 39(1), 11–19. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.39.1.2>
- [17]. Engum, S. A., Jeffries, P., & Fisher, L. (2003). Intravenous catheter training system: computer-based education versus traditional learning methods. *The American journal of surgery*, 186(1), 67-74.
- [18]. Farah, S., Benachenhou, A., Neveux, G., Barataud, D., Andrieu, G., & Fredon, T. (2016). Multi-User And Real-Time Flexible Remote Laboratory Architecture for Collaborative and Cooperative Pedagogical Scenarios. *International Journal of Online Engineering*, 12(4).
- [19]. Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 121-130.
- [20]. Giordan, A., & De Vecchi, G. (1987). *Les origines du savoir*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.
- [21]. Harward, V. J., Del Alamo, J. A., Lerman, S. R., Bailey, P. H., Carpenter, J., DeLong, K., ... & Long, P. D. (2008). The ilab shared architecture: A web services infrastructure to build communities of internet accessible laboratories. *Proceedings of the IEEE*, 96(6), 931-950.
- [22]. Hawkins, I., & Phelps, A. J. (2013). Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry?. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 516-523.
- [23]. Hcene BENMOHAMED : ‘ICTT@ Lab : un environnement informatique pour la génération et l’exécution de scénarios de téléTP’. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2007.
- [24]. Heradio R., de la Torre L., Galan D., Cabrerizo F.J., Herrera-Viedma E. & Dormido S., *Virtual and Remote Labs in Education: a Bibliometric Analysis* (2016). *computers & Education*. doi: 10.1016/j.compedu.2016.03.010.
- [25]. Ihantola, P., Ahoniemi, T., Karavirta, V., & Seppälä, O. (2010, October). Review of recent systems for automatic assessment of programming assignments. In *Proceedings of the 10th Koli calling international conference on computing education research* (pp. 86-93). ACM(Association for Computing Machinery), Finland.
- [26]. Kalúz, M., Orduña, P., García-Zubia, J., & Fikar, M. (2013). Sharing control laboratories by remote laboratory management system weblab-deusto. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17), 345-350.
- [27]. Kay, G. (2014). *Science practical work: what types of knowledge do secondary science teachers use?* (Doctoral dissertation, University of Cape Town).
- [28]. Labédie, G., & Amossé, G. (2001). *Constructivisme ou socio-constructivisme*. Pädagogisches Institut der deutschen Sprachgruppe, Bozen DDEC de Nantes.
- [29]. Lavoué, É., Molinari, G., Prié, Y., & Khezami, S. (2015). Reflection-in-action markers for reflection-on-action in Computer-Supported Collaborative Learning settings. *Computers &*

- Education, 88, 129-142.
- [30]. Lowe, D. (2013). Integrating reservations and queuing in remote laboratory scheduling. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6(1), 73-84.
- [31]. Lowe, D., Berry, C., Murray, S., & Lindsay, E. (2009). Adapting a remote laboratory architecture to support collaboration and supervision. *International Journal of Online Engineering*, 5, 51-56.
- [32]. Lowe, D., Newcombe, P., & Stumpers, B. (2013). Evaluation of the use of remote laboratories for secondary school science education. *Research in Science Education*, 43(3), 1197-1219.
- [33]. Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *High school science laboratories: Role and vision*, 1-24.
- [34]. Mostefaoui, H., 'Conception de laboratoire d'électronique accessible à distance', Thèse de Doctorat LMD, Université de Mostaganem, 2018.
- [35]. Mustafa, M. E. I. (2016). The Impact of Experiencing 5E Learning Cycle on Developing Science Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). *Universal Journal of Educational Research*, 4(10), 2244-2267.
- [36]. N. Sousa, G. R. Alves, and M. G. Gericota, 'An Integrated Reusable Remote Laboratory to Complement Electronics Teaching', *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 3, no. 3, pp. 265–271, 2010.
- [37]. Nedic, Z., & Machotka, J. F. (2007). Remote laboratory NetLab for effective teaching of 1st year engineering students. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, 3(3).
- [38]. Nedic, Z., Machotka, J., & Nafalski, A. (2003). Remote laboratories versus virtual and real laboratories (Vol. 1, pp. T3E-T3E). IEEE.
- [39]. Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80(1), 163-183.
- [40]. Orduña, P. (2013). Transitive and scalable federation model for remote laboratories. Universidad De Deusto, Bilbao, Spain, Thesis doctoral, 86, 78-91.
- [41]. Orduña, P., Garcia-Zubia, J., Rodriguez-Gil, L., Angulo, I., Hernandez-Jayo, U., Dziabenko, O., & López-de-Ipiña, D. (2018). The WebLab-Deusto Remote Laboratory Management System Architecture: Achieving Scalability, Interoperability, and Federation of Remote Experimentation. In *Cyber-Physical Laboratories in Engineering and Science Education* (pp. 17-42). Springer, Cham.
- [42]. Orduña, P., Zutin, D. G., Govaerts, S., Zorroza, I. L., Bailey, P. H., Sancristobal, E., & Castro, M. (2015). An extensible architecture for the integration of remote and virtual laboratories in public learning tools. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 10(4), 223-233.
- [43]. Ricardo Jorge Guedes da Silva Nunes da Costa, 'An IEEE1451.0-compliant FPGA-based reconfigurable weblab', PhD Thesis Information Sciences and Technologies, University of Columbia, Portugal, 2014.

- [44]. Richter, T., Tetour, Y., & Boehringer, D. (2011, December). Library of labs-a european project on the dissemination of remote experiments and virtual laboratories. In 2011 IEEE international symposium on multimedia (pp. 543-548). IEEE.
- [45]. Sicker, D. C., Lookabaugh, T., Santos, J., & Barnes, F. (2005, October). Assessing the effectiveness of remote networking laboratories. In Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference (pp. S3F-S3F). IEEE.
- [46]. Sousa, N., Alves, G. R., & Gericota, M. G. (2010). An integrated reusable remote laboratory to complement electronics teaching. *IEEE Transactions on learning technologies*, 3(3), 265-271.
- [47]. Teng, M., Considine, H., Nedic, Z., & Nafalski, A. (2016). Current and Future Developments in the Remote Laboratory NetLab. *International Journal of Online Engineering*, 12(8).
- [48]. Topping, K. J. (2005). Trends in peer learning. *Educational psychology*, 25(6), 631-645.
- [49]. Topping, K. J. (2009). Peer assessment. *Theory into practice*, 48(1), 20-27.
- [50]. Venant, R. (2017). Les learning analytics pour promouvoir l'engagement et la réflexion des apprenants en situation d'apprentissage pratique (Doctoral dissertation, Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)).
- [51]. Viegas, C., Pavani, A., Lima, N., Marques, A., Pozzo, I., Dobboletta, E., ... & Lima, D. (2018). Impact of a remote lab on teaching practices and student learning. *Computers & Education*, 126, 201-216.
- [52]. Zhang Chunli (2000), Nouvelle exploration de la théorie de l'apprentissage par la migration, *Journal de l'Université des sciences et technologies électroniques de Chine: Social Science Edition*, 2 (1), 97-98.