

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM



Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique
Département de Mathématiques et informatique
Filière : Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique

Option : **Ingénierie des Systèmes d'Information**

Présenté par :

Termoul abdelkader ferhat

Achour Abdenour

THEME :

**Génération automatique et déploiement facile des
laboratoires virtuels**

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

	Université de Mostaganem	Président
	Université de Mostaganem	Examineur
MOHAMED Moussa	Université de Mostaganem	Encadreur

Année Universitaire 2022-2023

Dédicace

Nous dédions ce projet À nos chères parents, qui ont toujours été présents pour nous, n'ont soutenu dans tous mes choix et ont toujours cru en nous. Leur amour, leur patience et leur encouragement ont été mes plus grands moteurs pendant cette période d'études.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet. Tout d'abord, je remercie mon superviseur monsieur moussa qui m'a apporté un soutien et un encadrement tout au long de ce travail, m'a prodigué des conseils précieux et m'a aidé à surmonter les difficultés que j'ai rencontrées.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers les membres de mon jury pour leur précieuse évaluation et leurs commentaires constructifs qui m'ont permis d'améliorer ce travail.

Je remercie également mes amis et ma famille pour leur soutien moral, leur encouragement et leur patience pendant cette période d'intense travail.

Enfin, je suis reconnaissant envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce projet de quelque manière que ce soit, en me fournissant des données, des informations, des équipements, ou en m'offrant leur expertise et leur aide technique.

Merci à tous pour votre soutien inestimable !

Liste des abréviations

Acronyme	Désignation
AJX	Asynchronous JavaScript and XML
Go-Lab	Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School.
HTML	HyperText Markup Language.
CSS	Cascading Style Sheets.
JS	JavaScript.
LIUM	Laboratoire d'Informatique de l'Université du Mans.
RwmLAB	Remote Wiring and Measurement Laboratory.
LMS	Learning Management System.
PHP	Hypertext Preprocessor.
Télé-TP	TP à distance.
VISIR	Virtual Instrument Systems in Reality.
URL	Uniform Resource Locator.
LAN	Local Area Network.
RLS	Remote Laboratory systeme.

Table des figures

1	Taxonomie des travaux pratiques assistés par ordinateur.	16
2	Les laboratoires distants.	16
3	Les laboratoires virtuels.	17
4	Les laboratoires hybrides.	18
5	Interface web de LIUM	20
6	Interface web Netlab	21
7	Une carte de test virtuel utilisée dans VISIR.	22
8	Interface utilisateur de RemotElectLab.	23
9	Interface utilisateur de RwmLab.	24
10	Usage spécifique d'un TPD	27
11	Architecture de laboratoire a distances	28
12	Diagramme de déroulement d'expérimentation	30
13	Architecture matérielles d'un TPD	32
14	Exemple déploiement d'une expérience dans MOSTA LAB	33
15	Carte de TP diodes	34
16	Dispositif de commutation	35
17	Dispositif de Commutation à base de Relais	36
18	Dispositif de Commutation à base de Relais commandée par PcDuino	37
19	Dispositif de Commutation enfichable sur Raspberry Pi B+	38
20	Type Architecture du réseau d'instrument	38
21	Architecture logicielle	39
22	Raspberry Pi	40
23	Redpitaya	40
24	Architecture logicielle	42
25	Diagramme de classes général de TPD	44
26	Diagramme de séquence pour TPD (Situation expérience)	45
27	interface authentication enseignant	51
28	interface de gestion des Travaux pratiques	52
29	interface de ajouter de Travaux pratiques	53
30	interface Création de Travaux pratiques	54
31	interface Interface étudiant	55
32	Basse de données en Postgres.	58
33	ensemble packages de nodejs.	58

Table des matières

1	Contexte	12
2	Problématiques de recherche	12
2.1	question de recherche	12
2.2	Méthodologie	13
3	Généralité sur les laboratoires distants et état de l'art	14
3.1	Introduction	14
3.2	Aperçu Historique	14
3.3	Élaboration des spécifications pour les travaux pratiques dans la formation en ingénierie	15
4	Les télé-TPs	15
4.1	Laboratoires virtuels et distants	16
4.1.1	Laboratoires distants (Remote Laboratory)	16
4.1.2	Laboratoires virtuels	17
4.1.3	Laboratoires hybrides	18
5	Les avantages d'un Télé-TP	19
6	Quelques travaux sur les Télé-TPs	19
6.1	La Robotique Pédagogique au LIUM (Université du Maine-France)	20
6.2	NetLab Université du Sud de l'Australie	21
6.3	VISIR. Institut de Technologie de Blekinge (Suède)	22
6.4	RemotElectLab Institut Polytechnique de Porto	23
6.5	RwmLAB. L'université de Western Michigan (Etats-Unis))	24
7	Conclusion	25
8	Conception des laboratoires distants	26
8.1	Contexte des travaux pratiques :	26
8.2	Aperçu et développement du laboratoire	27
8.3	Topologies des laboratoires distants	27
8.4	Prototype des laboratoires distants	28
8.5	Développement du laboratoire	29
8.5.1	Généralité	29
8.5.2	Les configurations du dispositif intelligent	31
8.5.3	Partie matérielle du laboratoire	31
8.5.4	La carte modulaire de TP	34
8.5.5	Le dispositif de commutation	35
8.5.6	Évolution du dispositif de commutation	36
8.5.7	Architecture du reseau d'instrument	38
8.5.8	Architecture logicielle globale	39

8.5.9	Gestionnaire du dispositif de commutation (Serveur de manipulations)	39
8.5.10	Interface du logiciel de simulation	41
8.5.11	Méthodes et outils de développement d'interfaces graphiques . . .	41
8.5.12	Architecture logicielle de laboratoire a distance	42
9	Développement de système	43
9.0.1	Vue générale de système	43
9.0.1	L'interface utilisateur	46
9.0.2	Interface web	46
10	Conclusion	46
11	Mise en œuvre du laboratoire à distance	48
12	Environnement de développement	48
12.1	Système de gestion de base de données	48
12.2	Backend	48
12.3	frontend	49
13	Éléments techniques	50
14	Présentation de l'application	51
15	Conclusion	56

Résumé

Les travaux pratiques constituent une partie essentielle de l'enseignement pour les STEM (sciences technology engineering mathematics). Cependant, leur réalisation en présentiel dans les salles de travaux pratiques au sein du campus implique un coût élevé pour les universités en termes d'équipement et d'infrastructure, surtout compte tenu de l'augmentation importante du nombre d'apprenants.

Dans ce contexte, les travaux pratiques à distance (TPD) constituent une alternative économique pour offrir un accès à des activités pratiques via des infrastructures partagées à grande échelle. Ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ont vu le jour pour aborder les défis techniques liés à ces nouvelles pratiques, tels que la génération automatique et le déploiement facile de laboratoires virtuels, la réutilisation de ressources, la fédération de laboratoires, la standardisation des protocoles de développement et la gestion d'accès aux ressources.

Le projet vise principalement à développer une solution de génération automatique et de déploiement facile des laboratoires virtuels à distance (TPD). Cette solution sera basée sur les techniques actuelles de développement, en se concentrant sur les architectures logicielles et matérielles permettant l'accès distant et l'interfaçage avec différents types d'instruments à partir d'un navigateur Internet, à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'université. Nous présentons une architecture client-serveur flexible pour l'instrumentation à distance dans le cadre de TPDs distribués. Pour ce faire, nous avons mis en place un prototype de TPD en électronique et traitement du signal pour les apprenants selon leur cycle universitaire. Notre objectif est double : a) Nous présentons un modèle offrant aux enseignants la possibilité d'intégrer aisément de nouvelles expériences au sein de la structure de base du laboratoire, avec une grande flexibilité et extensibilité. b) Assister les enseignants dans la création de TPs destinés aux apprenants, sans nécessiter l'intervention d'un développeur d'applications ou d'un fournisseur de laboratoire. Le système est accessible via la plate-forme Moodle, avec une authentification requise. Les interfaces utilisateur sont intégrées à Moodle sous forme de ressources URL ou fichier. Les fonctionnalités de groupe de Moodle permettent plusieurs scénarios pédagogiques. Mots-clés : laboratoire à distance, laboratoire virtuel, enseignement en ligne, télétravail, instruments.

Abstract

The project aims primarily to develop a solution for the automatic generation and easy deployment of remote virtual laboratories (TPDs). This solution will be based on current development techniques, focusing on software and hardware architectures that enable remote access and interfacing with different types of instruments from an internet browser, both within and outside the university. We present a flexible client-server architecture for remote instrumentation in distributed TPDs. To do so, we have implemented a prototype TPD in electronics and signal processing for students according to their university cycle. Our objective is twofold :

a) We present a model that offers teachers the ability to easily integrate new experiments into the basic structure of the laboratory, with great flexibility and extensibility.

b) To assist teachers in creating TPs for students, without requiring the intervention of an application developer or laboratory supplier.

The system is accessible via the Moodle platform, with authentication required. User interfaces are integrated into Moodle as URL or file resources. Moodle's group features allow for multiple pedagogical scenarios. Keywords : distance laboratory, virtual laboratory, online teaching, telecommuting, instruments.

Introduction générale

Les travaux pratiques sont indispensables pour l'acquisition de compétences, mais leur mise en place dans des laboratoires physiques nécessite souvent des infrastructures coûteuses pour les institutions de formation. Cette situation peut rendre difficile la prise en charge d'un nombre croissant d'apprenants. Ces dernières années, la recherche s'est donc concentrée sur la distribution à grande échelle de ressources et d'activités d'apprentissage en ligne.

Les laboratoires virtuels accessibles via des interfaces Web sont de plus en plus courants. Dans ce cadre, la génération automatique de ces laboratoires à distance est devenue très pratique. Ces laboratoires sont l'équivalent numérique de l'équipement de laboratoire utilisé par les apprenants à l'université, et ils peuvent être expérimentés à distance grâce à des interfaces Web.

Depuis leur introduction, ces technologies ont permis aux apprenants d'acquérir des compétences expérientielles à distance, sans avoir besoin de se déplacer physiquement sur le campus de l'université. Ainsi, les apprenants peuvent désormais expérimenter depuis chez eux ou depuis les bibliothèques traditionnelles en utilisant des technologies de laboratoire à distance.

L'équipe de recherche se concentre sur différents défis techniques et pédagogiques, notamment :

- a) La génération automatique de travaux pratiques pour faciliter leur déploiement.
- b) L'organisation des composants de laboratoire pour permettre la réalisation de multiples expériences avec un même équipement pour les enseignants.
- c) Le développement de l'architecture logicielle la plus adaptée.
- d) La rentabilisation et la mutualisation des équipements existants par la création d'interfaces logicielles pour les instruments intelligents (smart devices) qui équivalent les équipements réels.
- e) La gestion des traces d'accès et d'interactivité avec la plateforme matérielle pour personnaliser l'apprentissage et dimensionner les futures manipulations.

En somme, les laboratoires à distance peuvent éviter les contraintes géographiques et temporelles imposées par les laboratoires traditionnels.

Les universités sont de plus en plus intéressées par cette solution, car en plus des avantages mentionnés précédemment, elle leur permet de diversifier leur public cible. Les personnes handicapées qui ne peuvent pas accéder physiquement au laboratoire, ainsi que les apprenants en formation continue, ne sont plus obligés de se rendre à l'uni-

versité pour effectuer des travaux pratiques. C'est pourquoi plusieurs solutions ont été développées au cours de la dernière décennie.

Notre travail s'inscrit dans la même perspective consistant à concevoir et à mettre en œuvre un environnement d'apprentissage à distance dans le domaine de l'électronique. Dans cet environnement, les apprenants sont les utilisateurs, les enseignants sont les fournisseurs de contenu éducatif, et les propriétaires de laboratoire sont les fournisseurs de services. À travers une interface utilisateur conviviale, les apprenants ont accès à un environnement qui leur permet de manipuler de véritables dispositifs techniques. Ce nouvel environnement est préparé par les enseignants en collaboration avec les fournisseurs de services pour proposer des expériences avec des smart devices et des composants qui répondent aux mêmes objectifs que les laboratoires classiques.

Ce document est divisé en trois chapitres, qui sont brièvement présentés dans le paragraphe suivant :

Le premier chapitre se concentre sur l'importance des travaux pratiques (TP) dans l'enseignement des sciences. Il explore les modèles pédagogiques et la caractérisation des TP, y compris les TP à distance (TéléTP). Il résume également les concepts fondamentaux des environnements d'apprentissage en laboratoire de sciences, ainsi que les principaux laboratoires à distance existants dans le monde, en décrivant la partie matérielle et logicielle de chacun d'entre eux.

Le deuxième chapitre propose une nouvelle approche de conception de TP accessibles à distance. Il décrit l'architecture logicielle et matérielle de notre solution, ainsi que ses différentes composantes.

Le troisième chapitre présente un exemple de TP académique, qui démontre la mise en œuvre de notre approche. Nous rapportons les résultats d'un test de ce TP, déployé à la fois localement et à distance, qui nous a permis d'évaluer l'efficacité de notre solution proposée.

1 Contexte

Avec l'augmentation du nombre d'apprenants dans les établissements d'enseignement supérieur, les méthodes d'enseignement traditionnelles sont devenues inappropriées pour répondre aux besoins croissants. Cela est particulièrement vrai pour l'Université de Mos-taganem, où le nombre d'apprenants a considérablement augmenté ces dernières années. Dans ce contexte, l'adaptation de l'enseignement supérieur est nécessaire, et la formation à distance est devenue une solution largement adoptée dans le monde entier depuis une décennie.

Cependant, même avec un grand nombre d'apprenants, les activités pratiques à distance ne sont pas encore très répandues, bien qu'elles soient une composante obligatoire de l'enseignement des Sciences et Technologies. Par conséquent, pour délocaliser les travaux pratiques qui se déroulent traditionnellement en présentiel dans des laboratoires classiques, il est nécessaire de les rendre accessibles en ligne.

Notre travail s'est concentré sur les défis liés à la mise en place de laboratoires distants pour les travaux pratiques à distance, tels que les stratégies d'accès aux ressources, l'interopérabilité des solutions logicielles pour permettre un accès simultané à grande échelle, ainsi que l'intégration de ces travaux pratiques dans les plateformes LMS (Learning Management System) comme Moodle.

2 Problématiques de recherche

2.1 question de recherche

La majorité des laboratoires à distance actuels utilisent des logiciels propriétaires et un matériel coûteux. Par ailleurs, les travaux pratiques en électronique nécessitent de nombreuses manipulations de la part des apprenants, qui doivent être prises en compte dans l'architecture utilisée pour la manipulation à distance.

Du point de vue technique, l'augmentation du nombre d'apprenants et la disponibilité limitée du matériel représentent des contraintes pour l'accès aux ressources. En termes d'expérience utilisateur, il est essentiel que les travaux pratiques soient conçus et déployés de manière à ce que les apprenants puissent y accéder et les manipuler facilement, sans avoir besoin d'installer des **logiciels spécifiques**.

De manière similaire à ce qui précède, les questions de recherche abordées sont les suivantes :

1. Comment créer un environnement d'apprentissage pratique en ligne qui réponde aux mêmes contraintes qu'un environnement présentiel et réel ?

2. Comment aider les enseignants à générer automatiquement des laboratoires distants, sans recourir à des développeurs d'applications ni à des fournisseurs de laboratoires ?

Il est impératif d'avoir une architecture adaptable prenant en compte toutes les configurations de manipulation prévues lors de l'exécution des travaux pratiques à distance.

2.2 Méthodologie

Pour réaliser notre projet, nous avons suivi la méthodologie de recherche suivante :

- Les enseignants ont préparé des expériences en arrangeant l'équipement pour de multiples expériences avec la même configuration.
- Nous avons défini les éléments nécessaires et spécifié les dispositifs intelligents pour la conception d'un environnement d'apprentissage qui prend en charge une composante d'activités pratiques.
- Nous avons conçu et mis en œuvre des interfaces web permettant l'accès au laboratoire distant et la manipulation de l'infrastructure matérielle selon des scénarios pédagogiques, avec une traçabilité de toute l'activité enregistrée.

Chapitre I

3 Généralité sur les laboratoires distants et état de l'art

3.1 Introduction

Ce premier chapitre vise à fournir une base de compréhension pour le travail présenté dans ce mémoire. Tout d'abord, nous décrirons la spécification des travaux pratiques dans la formation en ingénierie et nous comparerons les laboratoires virtuels et les laboratoires à distance. Ensuite, nous examinerons les différents types de laboratoires existants (classiques, virtuels, à distance), nous les comparerons et présenterons quelques exemples. Enfin, nous discuterons des définitions et des caractéristiques de la manipulation distante des ressources à des fins d'apprentissage.

Cet état de l'art dressera les grandes tendances passées et actuelles de ce type de procédés. Cette étude bibliographique mettra en évidence les forces et faiblesses actuelles de ces systèmes.

Les travaux pratiques (TP) sont considérés comme une activité pédagogique essentielle, en particulier dans les STEM (sciences, technologies, ingénierie, mathématiques), par la communauté des enseignants et chercheurs.

Le but de ces TP est d'acquérir des connaissances scientifiques tout en développant des compétences exploratoires telles que la définition d'hypothèses ou l'interprétation de résultats.

De nos jours, les laboratoires virtuels et distants sont de plus en plus utilisés, notamment en ingénierie, où les exercices de laboratoire sont cruciaux pour relier les connaissances théoriques au monde réel. Ces systèmes proposent des outils interactifs d'apprentissage qui peuvent compléter les cours en salle de classe. [1]

3.2 Aperçu Historique

L'enseignement à distance a une longue histoire, remontant au XIXe siècle avec l'apparition des cours par correspondance à l'Université de Londres destinés à des citoyens britanniques ne pouvant pas s'inscrire dans une université traditionnelle. Au fil du temps, l'introduction de nouveaux moyens de communication, tels que la radio, le téléphone, la télévision et les satellites, a enrichi l'enseignement à distance, bien que celui-ci soit resté limité aux sujets ne nécessitant pas de laboratoires, à l'exception de l'informatique. Cependant, l'enseignement de l'électronique a été facilité par l'apparition de laboratoires distants, mais ces derniers requièrent des ressources spécifiques différentes de celles des laboratoires traditionnels, que ce soit en termes de matériel pour construire l'expérience

ou de logiciel pour créer une interface d'accès dédiée, afin de garantir l'interactivité souhaitée. Ces laboratoires présentent des inconvénients tels que leur spécificité, leur coût en ressources, leur long temps de développement, leur faible réutilisation et leur manque de flexibilité, ce qui peut potentiellement limiter leur utilisation généralisée.[2]

Analysons le terme "laboratoire distant". En fait, il est la traduction du terme anglais "remote laboratory" qui se réfère aux séances de travaux pratiques réalisées à distance. Cette confusion linguistique est courante dans la communauté scientifique française qui s'intéresse à cette approche visant à rapprocher les apprenants de l'expérimentation, en particulier ceux qui ne peuvent pas se déplacer (ainsi que les enseignants).

Un laboratoire virtuel est un environnement d'apprentissage qui permet un accès et un contrôle à distance de ses instruments via des réseaux informatiques.

3.3 Élaboration des spécifications pour les travaux pratiques dans la formation en ingénierie

Les TP sont généralement définis comme une méthode d'enseignement basée sur l'apprentissage pratique, impliquant la réalisation d'expériences concrètes pour valider et enrichir les concepts enseignés dans les cours théoriques.

Les travaux pratiques sont principalement associés aux sciences expérimentales. Contrairement aux autres types de cours qui sont généralement dispensés à l'oral ou à l'écrit, les séances de travaux pratiques impliquent souvent l'utilisation de matériel spécifique tel que des produits chimiques et de la verrerie en chimie, des circuits électriques en physique ou des ordinateurs en informatique.

4 Les télé-TPs

Un laboratoire distant ou un TéléTP désigne une version en ligne des travaux pratiques, qui peut être une adaptation ou une extension d'un TP classique pour permettre un accès à distance via Internet ou d'autres moyens similaires.

Les TéléTPs sont une technologie qui permet aux utilisateurs de contrôler à distance des expériences réelles et d'observer les résultats en temps réel.

Les télé-TPs sont utilisés dans divers domaines de l'enseignement technologique, mais leurs finalités peuvent varier. Il est possible de distinguer les télé-TPs qui impliquent des instruments réels et ceux qui impliquent une simulation. Ces deux types de télé-TPs ont des tenants et aboutissants pédagogiques différents, ainsi que des solutions technologiques différentes. Par ailleurs, il existe deux catégories de TP assistés par ordinateur, comme le montre la figure 1. Nous détaillerons chacune de ces possibilités et nous identifierons les situations où chacune d'entre elles est la plus appropriée.



FIGURE 1 – Taxonomie des travaux pratiques assistés par ordinateur.

4.1 Laboratoires virtuels et distants

Les laboratoires virtuels et distants sont considérés comme une solution novatrice pour dispenser un enseignement pratique à un grand nombre d'apprenants, en utilisant des plateformes d'enseignement appelées "Learning Management System" (LMS).

4.1.1 Laboratoires distants (Remote Laboratory)

Un laboratoire distant ou virtuel est un système logiciel et matériel qui permet aux apprenants d'accéder à des équipements réels situés dans leur établissement ou à distance. Les apprenants peuvent interagir avec ces équipements en envoyant des commandes via un navigateur Web standard. Les résultats des expériences sont ensuite affichés à distance sur l'écran de l'utilisateur. Cette solution permet aux apprenants de réaliser des activités pratiques sans avoir à être physiquement présents dans le laboratoire.

Les laboratoires distants font référence aux travaux pratiques effectués à distance sur des équipements réels (voir figure 2). Cette approche présente des défis plus complexes, car les apprenants, les enseignants et les équipements peuvent être géographiquement éloignés les uns des autres, ce qui peut réduire considérablement la communication entre eux.

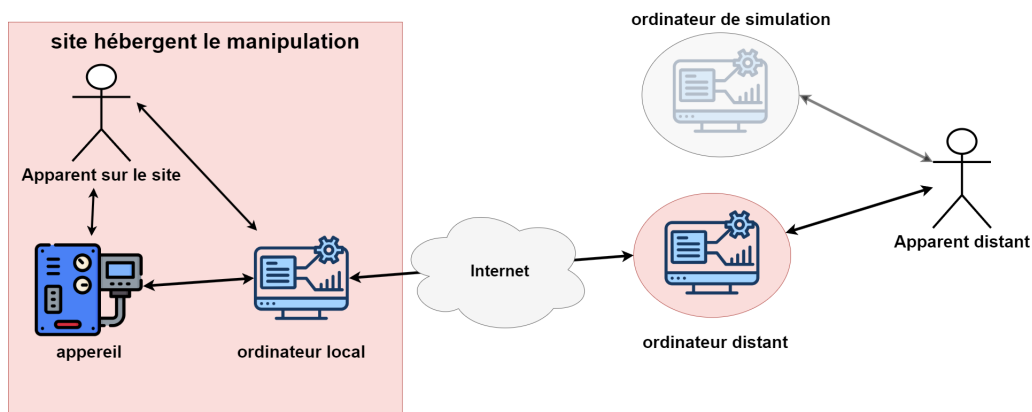


FIGURE 2 – Les laboratoires distants.

Il est vrai que les apprenants pratiquant un télé-TP depuis leur chambre d'étudiant peuvent se sentir isolés par rapport à une pratique en laboratoire local. Cependant, il est important de souligner que les laboratoires distants ne sont pas une solution systématique de remplacement des laboratoires locaux.

En effet, bien que les apprenants préfèrent souvent les laboratoires distants aux laboratoires locaux, il existe des situations où les laboratoires locaux ne sont pas envisageables en raison de la dangerosité, de l'accessibilité, du temps ou des coûts. Les laboratoires distants peuvent alors constituer une alternative possible pour pallier l'impossibilité d'un TP.

4.1.2 Laboratoires virtuels

Une option supplémentaire à considérer lorsque les laboratoires locaux ne sont pas possibles consiste à virtualiser le dispositif. Cette approche, qui est déjà ancienne, se fonde sur des simulations de phénomènes physiques, où l'étudiant est invité à interagir avec un modèle mathématique qui simule aussi fidèlement que possible les conditions nécessaires à la manipulation de l'objet d'étude.

Alors que les laboratoires distants permettent une interaction avec une véritable plateforme matérielle, les outils logiciels utilisés servent à garantir l'accès aux ressources, à gérer la traçabilité et, sur le plan pédagogique, à garantir l'atteinte des objectifs.

En fait, au lieu de construire une architecture logicielle complète sur Internet, reliant le réseau local de l'étudiant à celui du laboratoire, on pourrait envisager l'utilisation d'un algorithme qui simule le comportement du dispositif.

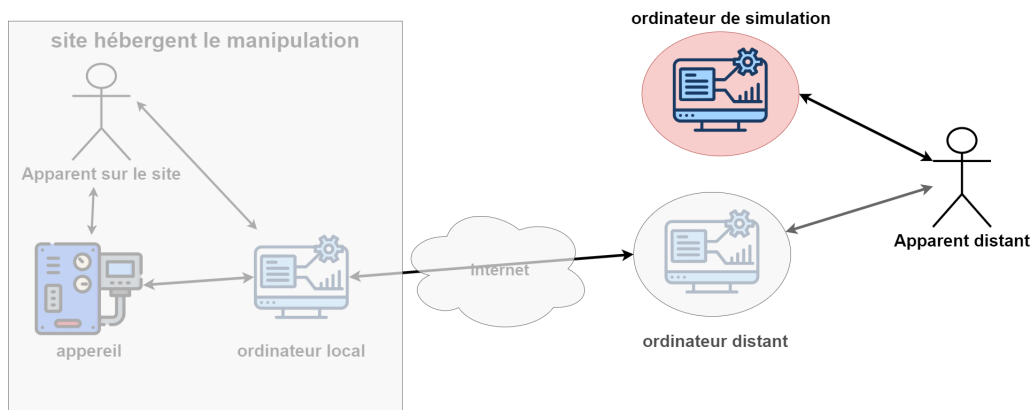


FIGURE 3 – Les laboratoires virtuels.

4.1.3 Laboratoires hybrides

Il existe également une catégorie de laboratoires, appelée laboratoires hybrides, qui combinent les avantages des laboratoires distants et des laboratoires virtuels. Ces laboratoires consistent en partie à effectuer des manipulations sur des dispositifs réels à distance, mais incluent également des simulations basées sur une modélisation, tout comme les laboratoires virtuels.

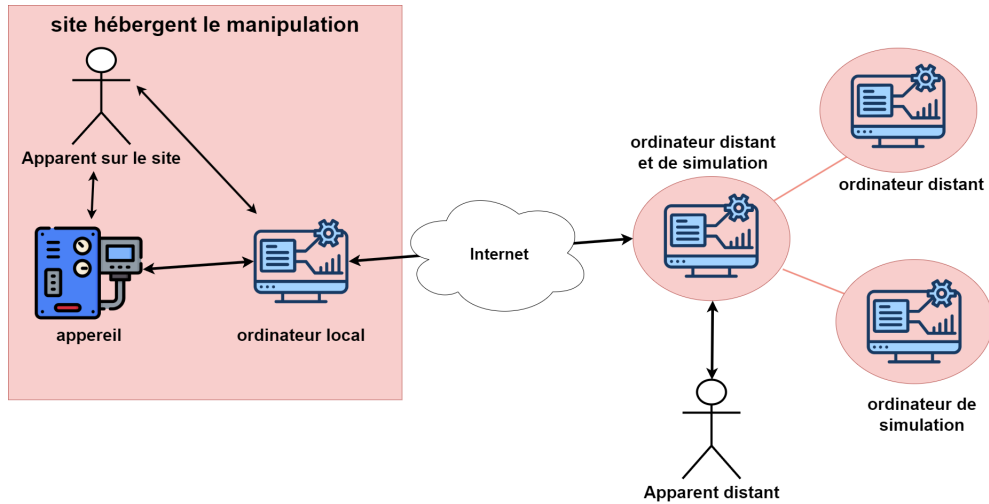


FIGURE 4 – Les laboratoires hybrides.

Il existe une catégorie de travaux pratiques qui combinent la manipulation de dispositifs réels avec des simulations pour intégrer des systèmes à grande échelle, difficilement reproductibles en laboratoire. Par exemple, dans le domaine des réseaux informatiques, un laboratoire hybride permettrait aux apprenants de configurer des routeurs à distance, puis de les intégrer à des routeurs virtuels pour créer un réseau plus vaste. Ainsi, un nœud réel du réseau pourrait être configuré à distance par l'apprenant, tandis que l'intégration d'un réseau métropolitain serait simulée.

5 Les avantages d'un Télé-TP

Les laboratoires virtuels et distants offrent de nombreux avantages par rapport aux laboratoires traditionnels, notamment :

- **Accessibilité** : Les laboratoires virtuels et distants permettent aux apprenants d'accéder aux équipements et aux outils à distance, ce qui facilite l'accès aux ressources et aux équipements coûteux, notamment pour les apprenants qui ne peuvent pas se rendre physiquement sur le campus.
- **Flexibilité** : Les laboratoires virtuels et distants permettent aux apprenants de travailler à leur propre rythme et de s'adapter à leur propre emploi du temps, ce qui offre une plus grande flexibilité que les laboratoires traditionnels.
- **Sécurité** : Les laboratoires virtuels et distants permettent aux apprenants d'effectuer des expériences sans risque de blessure ou de dommage matériel, ce qui réduit les risques liés à la sécurité.
- **Coûts** : Les laboratoires virtuels et distants sont souvent moins coûteux que les laboratoires traditionnels, car ils nécessitent moins de ressources matérielles et sont plus faciles à mettre en place.
- **Collaboration** : Les laboratoires virtuels et distants permettent aux apprenants de collaborer avec des pairs du monde entier, ce qui offre une expérience d'apprentissage internationale et diversifiée.
- **Évolution** : Les laboratoires virtuels et distants peuvent être facilement mis à jour et améliorés pour répondre aux besoins changeants des apprenants et des enseignants, ce qui offre une expérience d'apprentissage continue et évolutive.
- **Enregistrement des résultats** : Les laboratoires virtuels et distants permettent d'enregistrer les résultats de manière numérique, ce qui facilite l'analyse et le suivi des progrès de l'étudiant.

6 Quelques travaux sur les Télé-TPs

Nous avons recensé ici les projets les plus importants de la communauté scientifique en matière d'ExCAO (Expérimentation Assistée par Ordinateur).

L'objectif de tous ces laboratoires et projets est de rendre les travaux pratiques accessibles en ligne.

6.1 La Robotique Pédagogique au LIUM (Université du Maine-France)

Le LIUM (Laboratoire d'Informatique de l'Université du Mans) est un laboratoire de recherche en informatique qui s'intéresse notamment à l'utilisation de la robotique dans le domaine de l'éducation. Dans ce cadre, le LIUM développe des projets de robotique pédagogique visant à aider les enfants et les jeunes à apprendre de manière ludique et interactive.

Les robots développés au LIUM sont conçus pour être facilement utilisables par les enfants, même sans connaissance préalable en robotique ou en programmation. Les enfants peuvent ainsi programmer les robots pour réaliser des actions simples, comme se déplacer ou ramasser des objets, mais également pour interagir avec leur environnement ou avec d'autres personnes.



FIGURE 5 – Interface web de LIUM

6.2 NetLab Université du Sud de l'Australie

NetLab est un laboratoire virtuel en ligne développé par l'Université du Sud de l'Australie (UniSA). Il permet aux apprenants en génie électrique d'accéder à une grande variété d'expériences de laboratoire virtuel à distance. Les apprenants peuvent effectuer des simulations et des expérimentations dans un environnement sécurisé et contrôlé, avec des équipements de laboratoire virtuels et des outils de mesure virtuels.[3]

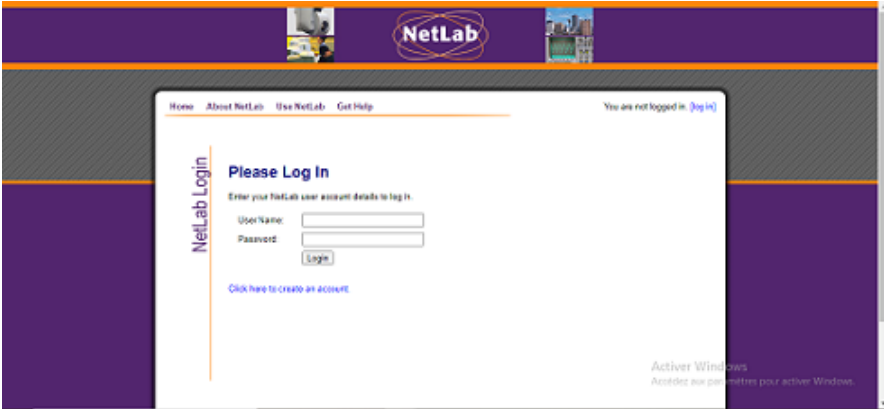


FIGURE 6 – Interface web Netlab

6.3 VISIR. Institut de Technologie de Blekinge (Suède)

Le Département Traitement du Signal de l'Institut de la technologie en Suède a mis en place un laboratoire à distance appelé VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality) pour offrir aux apprenants des expériences pratiques dans le domaine électrique. Cette plateforme virtuelle permet aux apprenants de créer et de tester leurs propres circuits électriques en utilisant des composants et des dispositifs réels tels que l'oscilloscope, le générateur de fonction, le multimètre et l'alimentation. Pour offrir une expérience familière, l'interface utilisateur de VISIR a été conçue avec les mêmes panneaux que ceux utilisés en présentiel pour permettre aux apprenants de reproduire les mêmes actions et procédures dans un laboratoire réel. VISIR complète et imite le travail effectué dans les laboratoires locaux.

L'interface utilisateur (Figure 22) a été conçue en utilisant les mêmes panneaux que ceux utilisés par les étudiants en présentiel. Cela leur permet de reproduire les mêmes actions et procédures dans un environnement de laboratoire réel. [4].

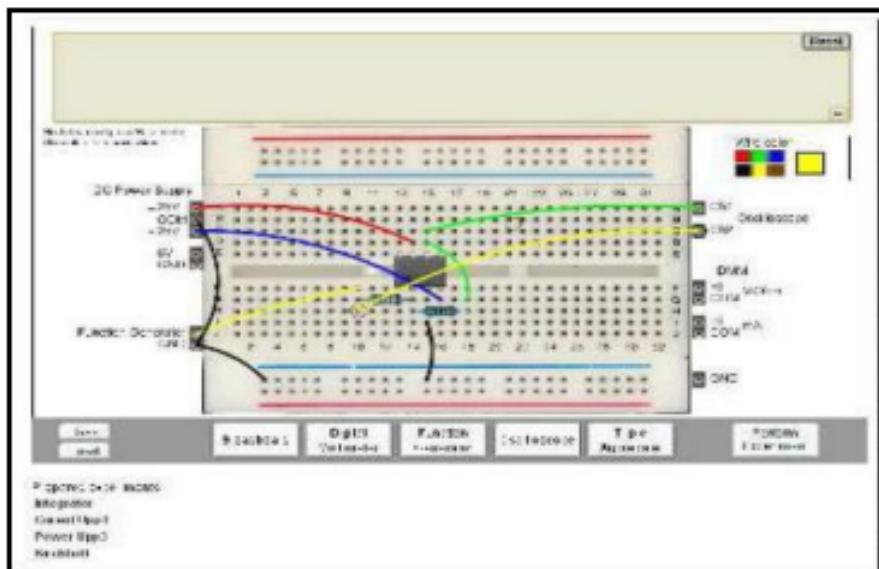


FIGURE 7 – Une carte de test virtuel utilisée dans VISIR.

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.[5]

6.4 RemotElectLab Institut Polytechnique de Porto

RemotElectLab est un laboratoire de recherche en ingénierie électrique situé à l'Institut Polytechnique de Porto au Portugal. Le laboratoire se concentre sur la recherche et le développement de nouvelles technologies pour l'enseignement de l'ingénierie électrique à distance. il offre un environnement de laboratoire virtuel pour permettre aux apprenants de travailler sur des projets pratiques de génie électrique en ligne, à partir de n'importe quel endroit et à tout moment. Les apprenants peuvent accéder aux équipements de laboratoire à distance, tels que les oscilloscopes, les générateurs de signaux, les multimètres, les moteurs et les alimentations électriques (**figure 9**), en utilisant une interface en ligne conviviale (**figure 10**).

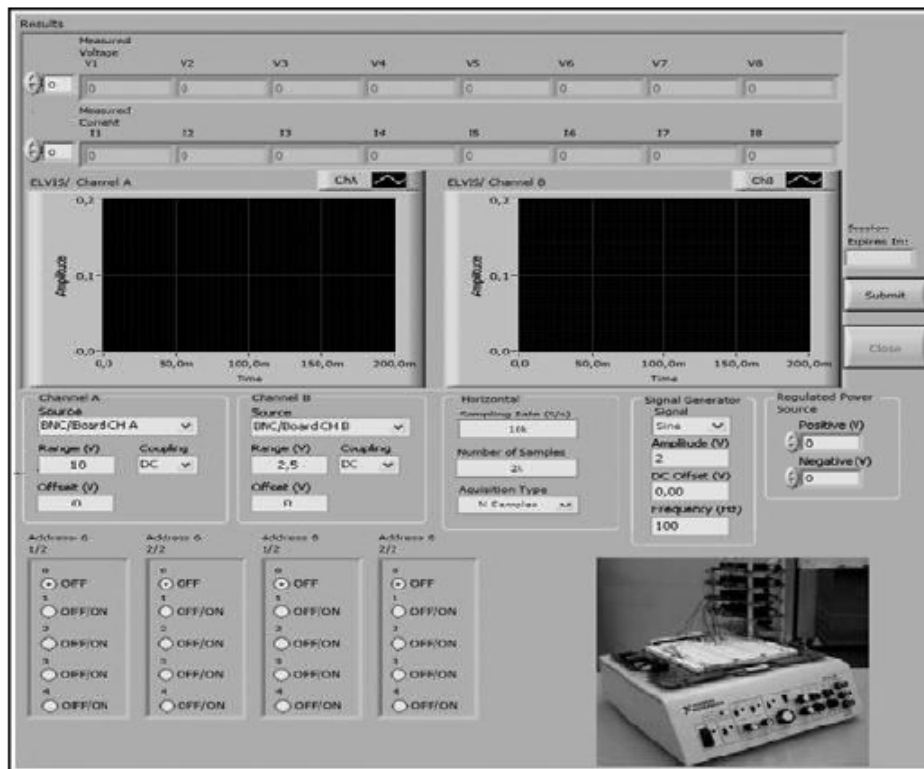


FIGURE 8 – Interface utilisateur de RemotElectLab.

6.5 RwmLAB. L'université de Western Michigan (Etats-Unis)

RwmLAB, également connu sous le nom de Remote Wiring and Measurement Laboratory, est un laboratoire à distance développé par le Département de l'université de Western Michigan pour les étudiants en génie électrique et informatique. L'objectif principal de ce laboratoire distant est de permettre aux étudiants de manipuler et de câbler des circuits électriques et électroniques à distance en temps réel. Cela est réalisé grâce à une interface web qui offre une représentation virtuelle d'un circuit électronique classique. Les étudiants ont la possibilité de connecter des instruments au circuit, de modifier leurs paramètres et d'effectuer des mesures.[6]

RwmLAB est développé en utilisant les langages HTML et JavaScript. Lorsque l'uti-

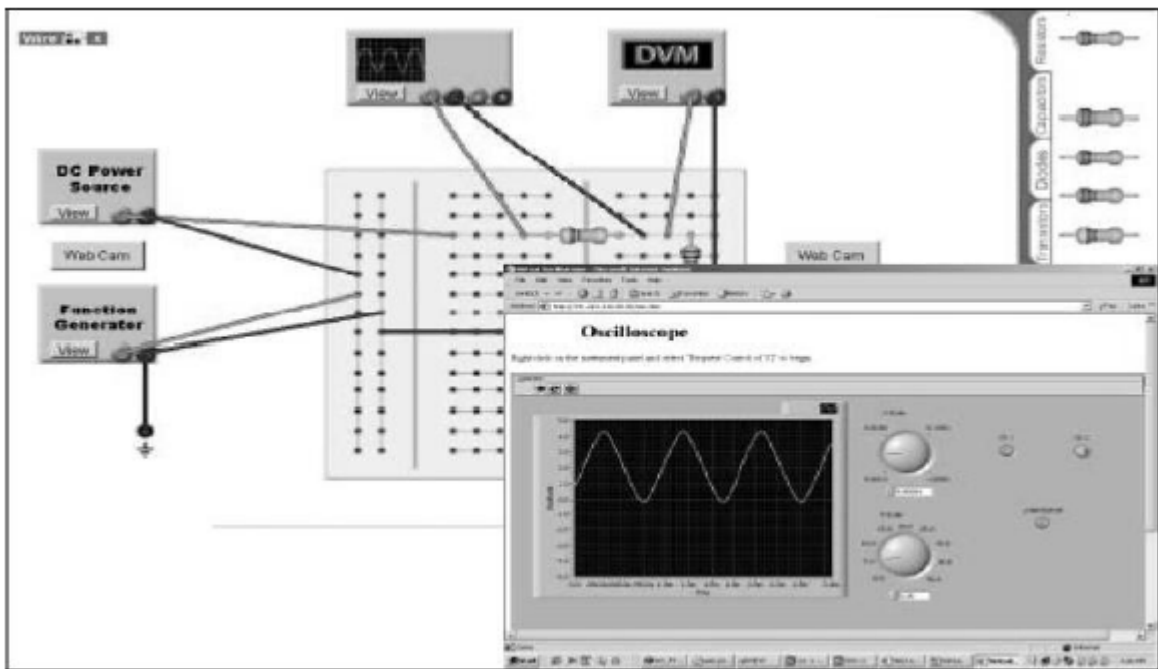


FIGURE 9 – Interface utilisateur de RwmLab.

lisateur effectue le câblage du circuit sur la carte de test virtuelle, le logiciel génère un code numérique représentant les connexions des nœuds du circuit. Ce code est ensuite transmis en utilisant le protocole CGI (Common Gateway Interface) implémenté en langage C. Les commandes et les affichages des instruments sont développés à l'aide du logiciel LabVIEW de National Instruments.

7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné l'état actuel de l'Expérimentation Assistée par Ordinateur et l'impact de la technologie sur l'intégration des travaux pratiques dans l'enseignement des sciences et technologies. Nous avons souligné l'amélioration des environnements de laboratoire classiques grâce à l'implication des laboratoires, des industries et des instituts supérieurs de formation. Nous avons également abordé les différentes configurations envisageables pour l'architecte d'un Télé-TP, telles que les laboratoires distants, virtuels ou hybrides.

Cependant, l'architecte doit tenir compte des théories actuelles en sciences humaines et sociales, notamment l'approche « constructiviste », pour garantir l'efficacité de son système. Les laboratoires virtuels constituent une solution flexible et rentable pour réaliser des expérimentations à distance via une interface web.

Les prochains chapitres présenteront les résultats de notre étude sur les architectures de Télé-TPs et identifieront les considérations et les défis à relever pour construire notre prototype de génération automatique et de déploiement facile des laboratoires virtuels à distance, qui sera développé dans le chapitre suivant.

Chapitre II

8 Conception des laboratoires distants

Introduction

La consultation de la littérature spécialisée sur les laboratoires à distance a été essentielle pour établir les exigences de notre propre laboratoire à distance et définir son architecture. Pour concevoir les TéléTPs, il était crucial d'examiner les avantages et les limites des projets existants, et de formuler une stratégie et des objectifs précis.

Ce chapitre a pour objectif de présenter la conception d'un TP à distance, incluant un laboratoire standard et reconfigurable. Il a pour but d'accompagner les enseignants dans le choix des expériences et la création des interfaces Web correspondantes, en prenant en compte l'environnement d'apprentissage en ligne, et en répondant à la question de recherche suivante : "Comment pouvons-nous aider les enseignants à générer des applications web configurables sans avoir besoin d'un développeur d'applications ou du fournisseur de laboratoire?"

Nous exposons les méthodes de développement courantes tout en mettant l'accent sur les architectures matérielles et logicielles qui permettent l'interface et l'accès à distance à divers types d'instruments.

8.1 Contexte des travaux pratiques :

Nous avons concentré nos travaux sur le support du partage de TP à distance en nous appuyant sur les aspects techniques et fonctionnels du projet, ainsi que sur les recherches antérieures.

Les travaux pratiques sont cruciaux dans l'enseignement de l'électronique, car les apprenants doivent non seulement acquérir des connaissances théoriques, mais aussi les mettre en pratique en manipulant différents composants, instruments et équipements dans leur contexte.

Cette étape permet aux apprenants de tester leur compréhension des concepts théoriques et de combler les lacunes éventuelles dans leur apprentissage. Les travaux pratiques offrent également aux enseignants un moyen d'évaluer la compréhension des apprenants et de leur fournir un retour d'information pour améliorer leur apprentissage.

De plus, les TPD offrent aux apprenants la possibilité de réaliser des expériences en toute sécurité et de simuler des conditions extrêmes telles que la force de gravité ou une température ambiante très élevée, ce qui serait difficilement réalisable dans un laboratoire traditionnel.[7]

Afin de répondre à cette demande croissante en matière de ressources pratiques pour un plus grand nombre d'apprenants, nous avons proposé un modèle de laboratoire flexible basé sur des normes de développement open source.

8.2 Aperçu et développement du laboratoire

Nous avons mis en place un environnement de laboratoire virtuel à distance qui a pour objectif d'aider les enseignants à choisir les expériences et à créer les TP eux-mêmes, en se basant sur des normes de développement flexibles et libres. Ce système a été conçu pour répondre aux besoins de l'apprentissage en ligne ciblé, avec une orientation pédagogique claire. Le laboratoire virtuel distant a été construit en fonction des spécifications du dispositif intelligent, ce qui permet la génération automatique de laboratoires virtuels et offre un gestionnaire principal des expériences pour héberger et accéder aux expériences, avec une interface utilisateur proposant des fonctionnalités adaptées à chaque manipulation.

Il est essentiel qu'un TPD offre une expérience d'apprentissage de qualité qui enrichisse la formation des apprenants. Dans certains cas, il peut être utilisé en complément d'un laboratoire en présentiel pour les apprenants locaux. Cela peut notamment résoudre le problème du manque d'équipement par rapport au nombre d'apprenants, ainsi que celui des périodes d'accès limitées.

Bien que le laboratoire à distance puisse être perçu comme une solution peu coûteuse, il est important de considérer les coûts de conception, de développement et de maintenance associés.[8]

Pour permettre aux apprenants d'accéder aux TP à distance, un laboratoire distant est mis en place, qui utilise à la fois des outils logiciels et matériels. Les interfaces web permettent aux apprenants d'interagir avec les équipements réels qui sont situés dans l'université, comme illustré dans la figure 11.

Il convient de souligner que les laboratoires virtuels à distance peuvent différer des équipements réels, car ils sont souvent des simulations plutôt que des équipements physiques.[9]



FIGURE 10 – Usage spécifique d'un TPD

8.3 Topologies des laboratoires distants

Pour créer un laboratoire à distance utile et fonctionnel, il est important de prendre en considération différentes étapes telles que l'identification des utilisateurs potentiels, des technologies appropriées, et de la manière dont le laboratoire sera intégré dans le

programme d'études.

En considérant l'architecture du laboratoire distant, il est important de développer une architecture qui répond à la fois aux besoins actuels et aux utilisations futures potentielles. Par exemple, la figure 12 illustre la structure d'un laboratoire éventuel.

Il est possible que plusieurs utilisateurs distants puissent accéder aux expériences à l'aide d'un système de connexion et de mot de passe. Cependant, il est important de prendre en compte les aspects de sécurité, notamment l'utilisation de HTTPS (Hyper Text Transfer Protocol Secure) plutôt que HTTP, afin de garantir un transfert de données crypté et prévenir toute interception de données lors du transfert entre l'utilisateur et le laboratoire distant. Le laboratoire distant est connecté à Internet via un ordinateur faisant office de serveur web.

Les architectures les plus courantes utilisées pour les laboratoires distants sont basées sur le modèle client-serveur, où le serveur est l'équipement physique du laboratoire et le client fournit une application logicielle permettant aux utilisateurs d'y accéder.[10]

Le système est équipé de deux types de serveurs Web : un serveur Web de passerelle pour les laboratoires distants, qui est basé sur un serveur PC, et un serveur Web intégré, qui est basé sur un microcontrôleur **MCS-51**, pour les modules de contrôle des expériences.

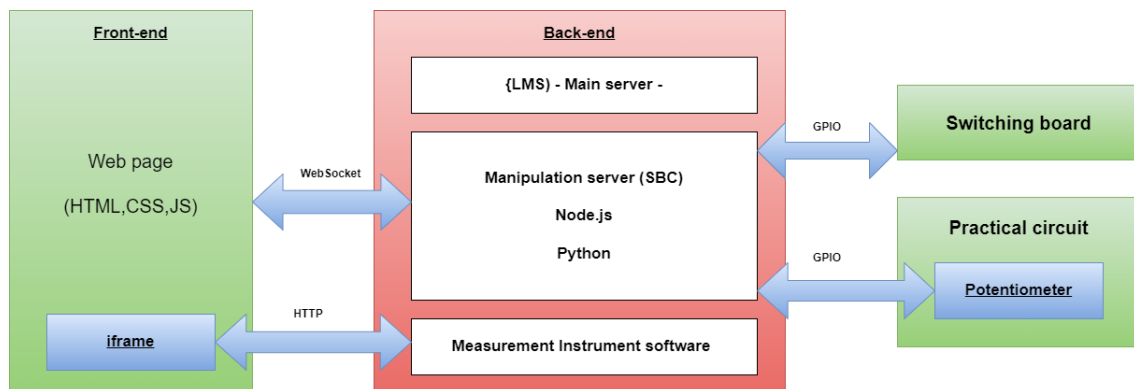


FIGURE 11 – Architecture de laboratoire a distances

8.4 Prototype des laboratoires distants

Nous avons développé notre laboratoire à distance en gardant à l'esprit ses principaux objectifs, tels que sa validité et son efficacité en tant que système de contrôle et de mesure pour accéder à des "expériences". Les expériences sont des activités permettant aux apprenants de manipuler un ensemble de paramètres, et nous considérons la combinaison des composants de l'équipement de laboratoire utilisés dans une expérience comme des "configurations".

Les dispositifs intelligents (SDs), également appelés instruments, sont des dispositifs dotés de capacités de traitement et de communication. La spécification des SDs fournit deux types de directives : les méta-données, destinées à la communication avec l'application Web d'interfaçage et obligatoires, et les fonctionnalités, des pratiques recommandées pour les mécanismes internes du CPL.

Notre projet est architecturé en deux parties, avec une approche modulaire hiérarchique.

- **Module 1 : Back-end :**
 - Le gestionnaire de l'accès aux ressources pédagogiques comprend l'interface utilisateur principale, qui doit être cohérente et intuitive, ainsi que l'interface d'administration pour les enseignants et l'interface utilisateur pour les apprenants.
 - Le gestionnaire des manipulations agit en tant que couche intermédiaire (middleware) entre l'interface utilisateur et les équipements de laboratoire.
- **Module 2 : Front-end :**
 - Le module gère l'accès et la manipulation des équipements de laboratoire.
- **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

8.5 Développement du laboratoire

8.5.1 Généralité

Lorsqu'on utilise une architecture de laboratoire comme celle décrite précédemment, l'accès aux configurations et aux ressources hébergées sur le serveur de laboratoire est possible pendant l'expérience grâce à des services Web qui sont accessibles via l'interface utilisateur.

Notre laboratoire repose sur une configuration permettant d'étendre la spécification des dispositifs intelligents pour décrire les configurations ou expériences possibles des laboratoires qui prennent en charge une ou plusieurs expériences. Cette configuration offre également une reconfiguration rapide des circuits de travaux pratiques.

Nous avons mis en place une couche logicielle dans notre laboratoire qui permet une interaction synchrone entre les utilisateurs pendant l'expérimentation. L'enseignant peut intervenir comme s'il était physiquement présent avec les apprenants, à condition qu'il connaisse l'adresse IP et le numéro de port sur lesquels se déroule l'expérience.

Lorsque l'enseignant crée un TP en sélectionnant une ou plusieurs expériences, l'application propose un onglet pour chaque configuration expérimentale sélectionnée. En cliquant sur un onglet, l'utilisateur accède à l'expérience correspondante. Le serveur de manipulation gère la configuration et l'accès à la plateforme matérielle, et tous les dispositifs intelligents (SD) associés à cette configuration sont affichés. Les interactions réalisées sont enregistrées sur le serveur principal pour être tracées et consultées ultérieurement, même si plusieurs utilisateurs travaillent en parallèle.

La Figure 12 représente le déroulement d'une expérience standard pour un utilisateur.

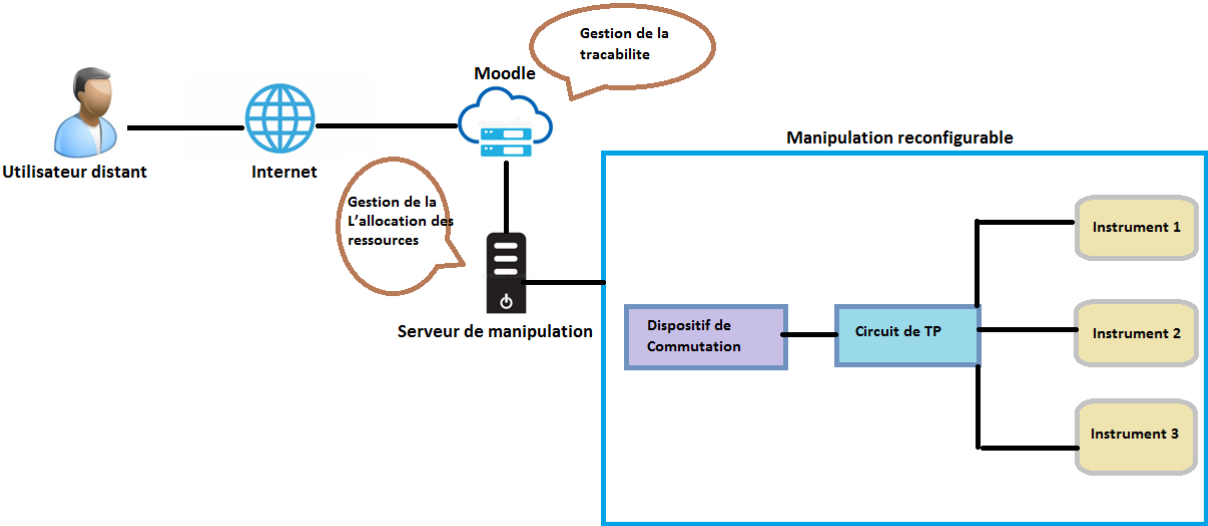


FIGURE 12 – Diagramme de déroulement d'expérimentation

8.5.2 Les configurations du dispositif intelligent

Les laboratoires réutilisables peuvent être utilisés pour mener plusieurs expériences en réorganisant leurs composants. Lorsque les configurations physiques des laboratoires sont utilisées, les enseignants passent d'une expérience à l'autre en reconfigurant les équipements ou en fournissant des instructions aux élèves. Toutefois, il est difficile de reproduire cette fonctionnalité dans un laboratoire cyber-physique en raison de divers facteurs liés à l'architecture du système.

Dans ce contexte, le serveur joue le rôle d'interface entre la configuration physique et le logiciel, tandis que le client fournit une application logicielle permettant aux utilisateurs de commander le TP en se connectant au serveur. L'architecture du système détermine la manière dont le serveur et le client interagissent et la mesure dans laquelle ces composants dépendent les uns des autres.

Dans certains cas, le serveur et le client sont conçus pour fonctionner ensemble de manière étroite, ce qui signifie que toute modification apportée au serveur nécessite une modification du client pour que l'ensemble du système reste opérationnel. Cela représente un défi pour les développeurs, car ils doivent s'assurer que toutes les parties du système sont synchronisées pour garantir une expérience utilisateur cohérente.

8.5.3 Partie matérielle du laboratoire

La section physique du laboratoire désigne la plate-forme qui achemine l'ensemble du trafic vers tous les composants du laboratoire. Les composants matériels sont connectés par des liens directs ou normalisés.

Chaque expérience nécessite différents matériels tels que des instruments de mesure, des générateurs de fonctions et des alimentations. Ces matériels sont connectés au réseau local Ethernet à l'aide de liaisons RJ45 et de sondes, et sont reliés aux cartes de TP via une nappe à 40 points. La carte de TP est directement connectée au serveur de manipulation.

Ces équipements représentent la plate-forme du laboratoire qui permettent le transit de tous les trafics entre les différents matériels.

En outre, un laboratoire est également composé de machines serveurs, d'un dispositif de commutation et d'équipements d'interconnexion réseau qui jouent un rôle crucial dans l'architecture globale du système.

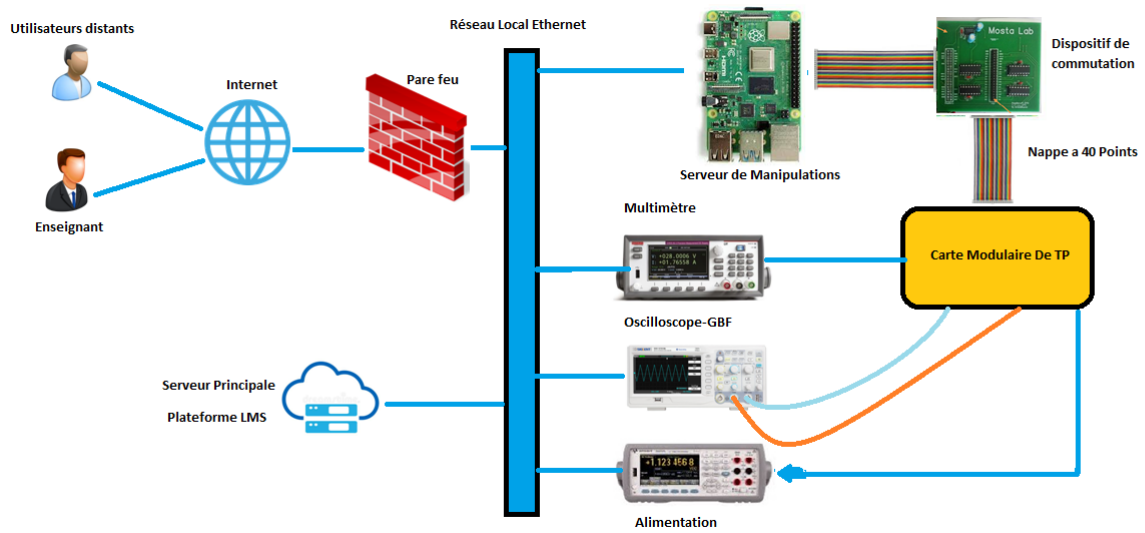


FIGURE 13 – Architecture matérielles d'un TPD

Pour réaliser une expérimentation complète d'un TP à distance, il est nécessaire de monter la manipulation en mettant à distance une plateforme matérielle. Cette plateforme matérielle est composée dans notre cas de :

- 33220A Générateur de fonctions
- Multimètre numérique 34410A
- Oscilloscope DSO5012A
- Alimentation N5746A
- La carte modulaire de TP
- Le dispositif de commutation
- Les serveurs (serveur principal, serveur de manipulation)



FIGURE 14 – Exemple déploiement d'une expérience dans MOSTA LAB

8.5.4 La carte modulaire de TP

La carte de TP a été spécialement conçue pour permettre à l'utilisateur à distance de bénéficier des mêmes fonctionnalités que celui présent en laboratoire. Elle offre toutes les options de configuration possibles, notamment le choix des composants, l'emplacement d'injection de signaux et la position des sondes des instruments de mesure.

La conception de la carte modulaire de TP prend en compte l'accessibilité, la facilité de branchement et la flexibilité. Ainsi, elle permet l'intégration de plusieurs variantes du même TP sur une seule carte, grâce à l'utilisation de différents types de composants électroniques comme les résistances, les condensateurs, les diodes, les bobines et les potentiomètres.

En outre, la carte de TP inclut quelques instruments de mesure et leur emplacement de branchement est reconfigurable à l'aide des commutateurs du dispositif de commutation. Cette flexibilité offre la possibilité de réaliser plusieurs TP à partir d'une seule carte.

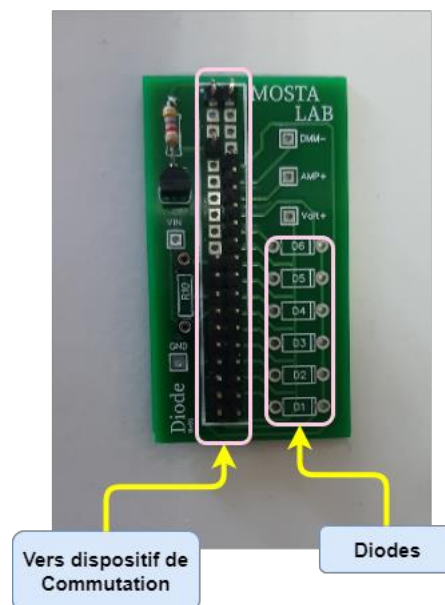


FIGURE 15 – Carte de TP diodes

8.5.5 Le dispositif de commutation

Le rôle crucial du dispositif de commutation est de gérer les manipulations en permettant la configuration de différentes configurations de montage entre les équipements et les composants électroniques. En effet, il est possible de basculer d'un montage à un autre en incluant ou excluant un équipement ou un composant électronique présent dans le même environnement d'expérimentation. Par conséquent, ce dispositif est considéré comme une pièce maîtresse dans la conception des TPs.



FIGURE 16 – Dispositif de commutation

La version initiale du dispositif de commutation est constituée de plusieurs interrupteurs numériques. En ouvrant et en fermant ces interrupteurs, l'utilisateur peut choisir la configuration de circuit souhaitée parmi une banque de circuits fournie par le concepteur.

8.5.6 Évolution du dispositif de commutation

La première version du dispositif de commutation est composée de switches numériques permettant à l'utilisateur de sélectionner la configuration de circuit souhaitée à partir d'une banque fournie par le concepteur. Cette version utilise des relais électromagnétiques de 5V et les connecteurs des instruments de mesure (générateur de fonctions, alimentation, etc.) sont reliés à la carte de TP par insertion, sans nappe de connexion.

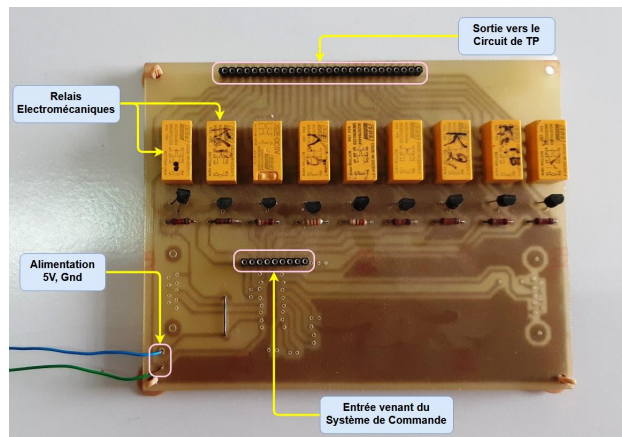


FIGURE 17 – Dispositif de Commutation à base de Relais

Une deuxième version de la matrice de commutation a été développée, dans laquelle les relais électromagnétiques sont toujours présents. Cependant, le système de commande a été modifié pour utiliser un PcDuino fonctionnant sous un système d'exploitation Linux Ubuntu. Cette modification a été apportée en raison du besoin de trois (03) points de connexion pour chaque relais. La figure 19 illustre cette version du système.

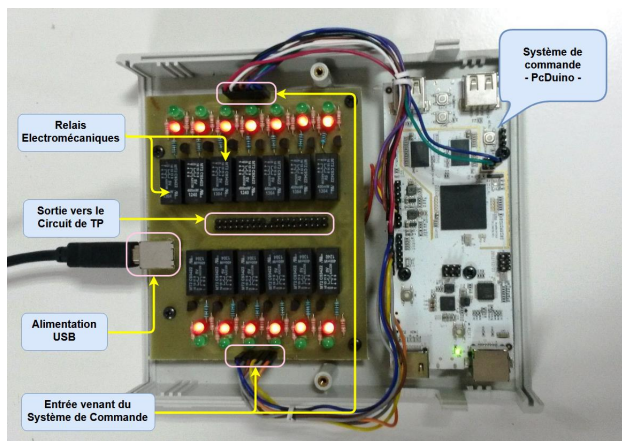


FIGURE 18 – Dispositif de Commutation à base de Relais commandée par PcDuino

Dans la troisième version, le dispositif de commutation est directement enfichable sur la carte de commande, ce qui permet d'uniformiser la liaison avec les ports numériques, les ports des différents et l'alimentation. Les relais SPDT ont été remplacés par des switches analogiques à commande numérique de type SPST, permettant d'aller jusqu'à 16 switches tout en utilisant seulement 32 fils. Les autres fils sont mis à profit pour étendre le bus SPI, les lignes 5V et GND. La liaison avec les cartes modulaires de TP est uniformisée grâce à une nappe de connexion à 40 broches.

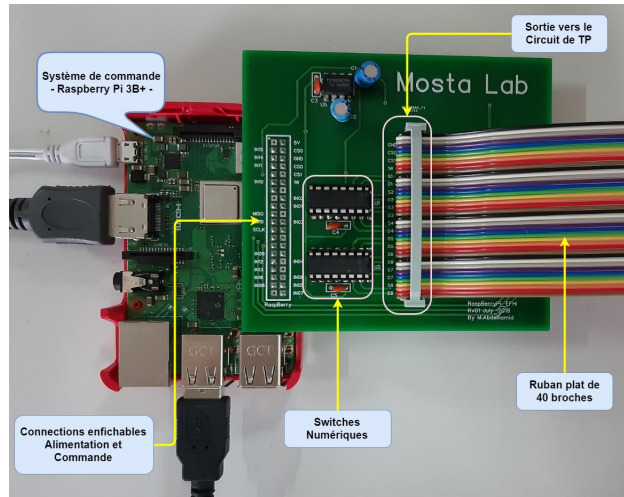


FIGURE 19 – Dispositif de Commutation enfichable sur Raspberry Pi B+

8.5.7 Architecture du reseau d'instrument

Après le déploiement des instruments, ils sont connectés à un concentrateur (hub) par l'intermédiaire de l'interface. Le concentrateur connecte également l'ordinateur qui exécute les applications Control Server. Les instruments implémentent tous le protocole DHCP, ce qui leur permet d'obtenir une adresse IP locale connue et utilisée par l'ESS pour adresser les commandes et les réponses générées par les équipements.[15]

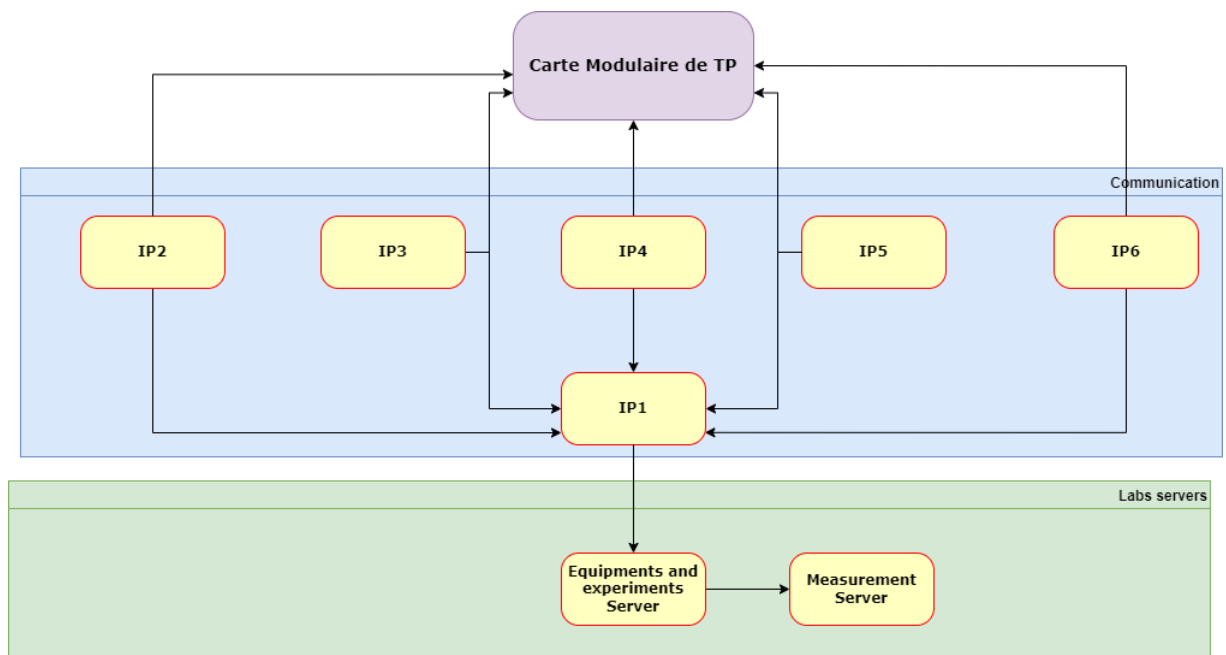


FIGURE 20 – Type Architecture du réseau d'instrument

8.5.8 Architecture logicielle globale

Notre architecture de laboratoire présentée dans la figure est structurée en trois couches distinctes. La couche « front-end » correspond à l'interface utilisateur visible. La couche « back-end » est constituée des composants logiciels (serveurs) qui fonctionnent en arrière-plan et qui sont chargés de communiquer avec les ressources nécessaires. Enfin, la couche « laboratoire » contient deux serveurs.

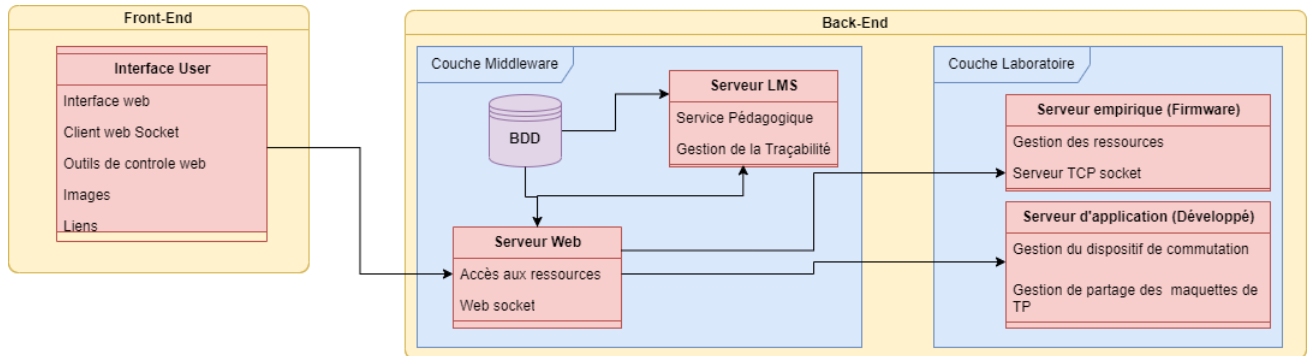


FIGURE 21 – Architecture logicielle

8.5.9 Gestionnaire du dispositif de commutation (Serveur de manipulations)

Notre système de commande est l'interface entre l'interface web utilisateur et le dispositif de commutation. Il est chargé d'appliquer les configurations souhaitées sur le dispositif de commutation et les composants de la carte de TP en écoutant en permanence les commandes provenant de l'interface web à distance. Bien que cette carte électronique ait subi des modifications et des mises à jour qui ont amélioré ses performances, sa fonctionnalité de base est restée inchangée.

Pour tirer le meilleur parti de notre matériel, de nombreux outils de développement logiciel ont évolué en parallèle. Par exemple, **Arduino** est un outil de développement matériel et logiciel intégré qui, lorsqu'il est connecté à un client, télécharge la page web de manipulation sur le PC de l'utilisateur distant. Les résultats de mesure sont ensuite affichés sur l'interface web de l'utilisateur distant avec une mise en forme appropriée. **Pduino** implémente toutes les fonctionnalités d'un Arduino avec des performances supérieures à celles d'un PC.

Raspberry Pi offre également des performances supérieures, avec un système d'exploitation basé sur Linux Ubuntu qui permet de développer des programmes très performants en utilisant divers langages de programmation tels que Java, C, C++, JavaScript, Python, etc.

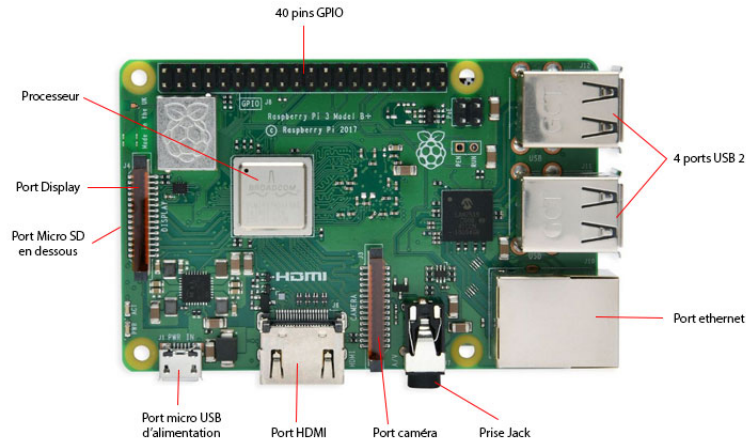


FIGURE 22 – Raspberry Pi

Redpitaya est une nouvelle architecture de mini-laboratoire développée autour d'un instrument de mesure reconfigurable qui peut remplacer à la fois Pcdiuno et Raspberry, tout en offrant des entrées/sorties analogiques rapides qui le transforment en un générateur de fonctions et un oscilloscope.

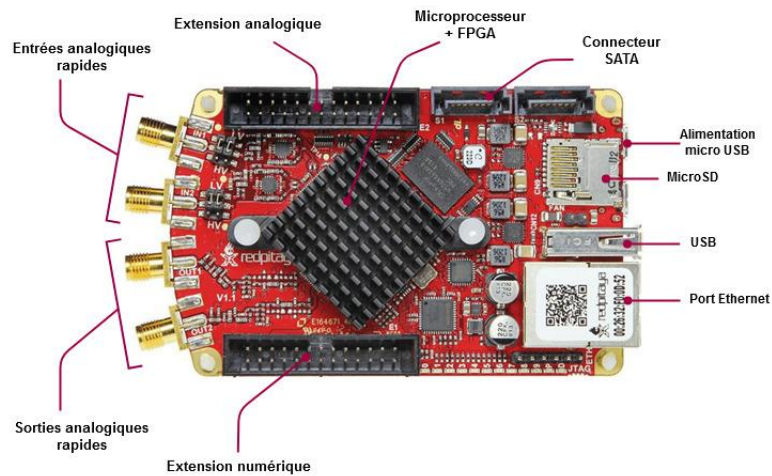


FIGURE 23 – Redpitaya

8.5.10 Interface du logiciel de simulation

Après la création et le déploiement automatique d'un laboratoire virtuel, la simulation devient la partie centrale du processus car elle calcule l'état réel de l'environnement virtuel lorsque l'utilisateur interagit avec le laboratoire. Cependant, il y a deux problèmes importants à prendre en compte lors de la mise en place de la simulation. Tout d'abord, à mesure que la complexité de l'exercice de laboratoire augmente, la simulation peut devenir très gourmande en ressources CPU et mémoire. Deuxièmement, les simulations sont souvent mises en œuvre en utilisant différents progiciels et bibliothèques, avec des exigences système très différentes.[16]

Dans le cadre d'une expérimentation à distance, l'utilisateur contrôle l'état du laboratoire en utilisant une interface utilisateur Web, qui est le front-end. Lorsque l'utilisateur effectue des manipulations, telles que la sélection d'un travail ou le réglage d'une valeur de curseur, les paramètres sont envoyés à distance au backend sous forme de requête. Le backend reçoit les paramètres en arrière-plan à partir d'une interface de haut niveau, et transfère les valeurs de différents composants et instruments de mesure inclus dans la configuration. Enfin, le backend renvoie les résultats de mesure à l'interface utilisateur, qui les affiche de manière appropriée.

8.5.11 Méthodes et outils de développement d'interfaces graphiques

Un schéma d'architecture de laboratoire à distance basé sur des Web Services et une représentation EJS des instruments a été proposé dans le but de faciliter l'intégration des IHM des clients de laboratoire à distance. Bien que cette approche soit similaire à la nôtre, nous différons dans notre vision en considérant que l'IHM appartient à la partie logicielle. Notre approche s'intéresse particulièrement aux questions suivantes dans le contexte des laboratoires à distance :

- Comment proposer une IHM adaptée aux compétences de l'apprenant pour les actions qu'il mène ?
- Comment aider les apprenants en difficulté ?
- Comment assurer la transparence de la localisation des instruments et le déménagement d'un laboratoire à distance vers un autre instrument géographiquement éloigné pendant les manipulations ?
- Comment construire des manipulations impliquant plusieurs instruments ?
- Comment garantir un accès sécurisé au dispositif pour plusieurs utilisateurs ?

Le futur système devra être compatible avec des systèmes de gestion de l'apprentissage déjà existants, tels que Moodle.[12] Le responsable du laboratoire pourra utiliser

l'interface web existante pour authentifier et autoriser les enseignants via leurs comptes existants. Le système devra permettre de lier les exercices de laboratoire virtuels définis par les enseignants à l'interface TP. Afin de répondre à ce besoin, le système devra être en mesure de collecter et d'enregistrer les interactions des apprenants avec les laboratoires virtuels pour garantir la **traçabilité**. Cette fonctionnalité pourra être réalisée en utilisant des outils de surveillance et de journalisation Web existants.[13]

8.5.12 Architecture logicielle de laboratoire a distance

L'émulation d'un appareil virtuel doit reproduire fidèlement le comportement et les caractéristiques de l'appareil réel. Pour ce faire, nous visons à émuler les trois propriétés essentielles d'un appareil virtualisé : la connectivité, la configurabilité et la déployabilité. Nous proposons une architecture de référence générique qui peut être personnalisée pour répondre aux besoins d'un laboratoire spécifique et assurer un déploiement optimal.

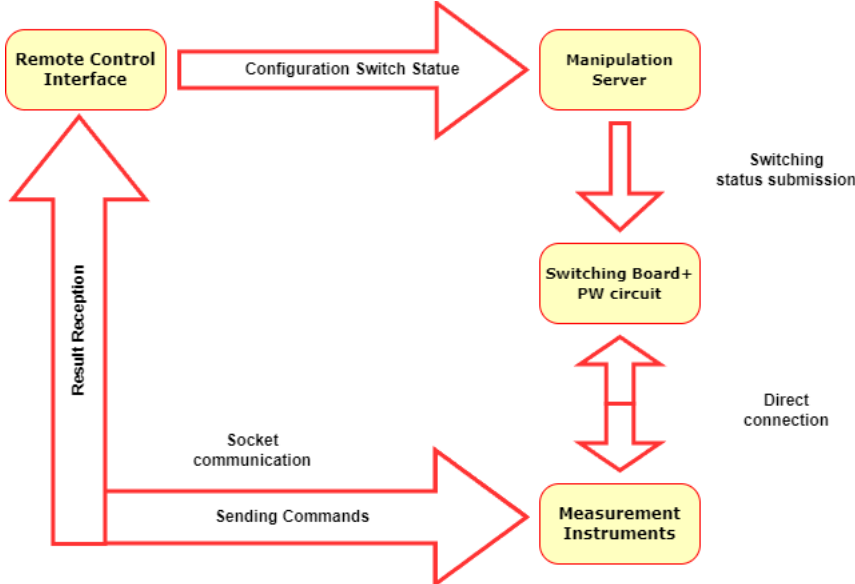


FIGURE 24 – Architecture logicielle

9 Développement de système

Notre système est une application Web génératrice qui sert d'interface entre les laboratoires. Cette plateforme est composée d'une partie utilisateur qui utilise des interfaces pour permettre à l'enseignant de gérer les TPs et d'une autre partie de déploiement où les enseignants peuvent facilement sélectionner les instruments et les composants pour créer le TP. Ce dernier peut être composé de plusieurs expériences.

9.0.1 Vue générale de système

Notre système repose sur l'hébergement des ressources dans un laboratoire préalablement configuré sur un serveur, afin de faciliter les échanges entre les différentes interfaces. Les utilisateurs accèdent au laboratoire via des interfaces spécifiques, et peuvent manipuler les ressources qui y sont disponibles. Les enseignants utilisent cette interface pour créer un TP ainsi que les ressources nécessaires pour chaque étudiant.

Le diagramme de classe

Nous avons opté pour l'utilisation de la méthode UML (Unified Modeling Language) et de ses différents diagrammes pour visualiser, spécifier, construire et documenter les abstractions de notre système logiciel. UML est considéré comme une boîte à outils qui propose des techniques de modélisation décrites par un langage standard. La Figure 26 présente le diagramme de classes de notre système, qui représente les différentes entités intervenant dans le système.

Notre modèle intègre la notion de TP en tant qu'instance de ce modèle, destinée à un ou plusieurs utilisateurs. Chaque apprenant est propriétaire de son propre TP virtuel.

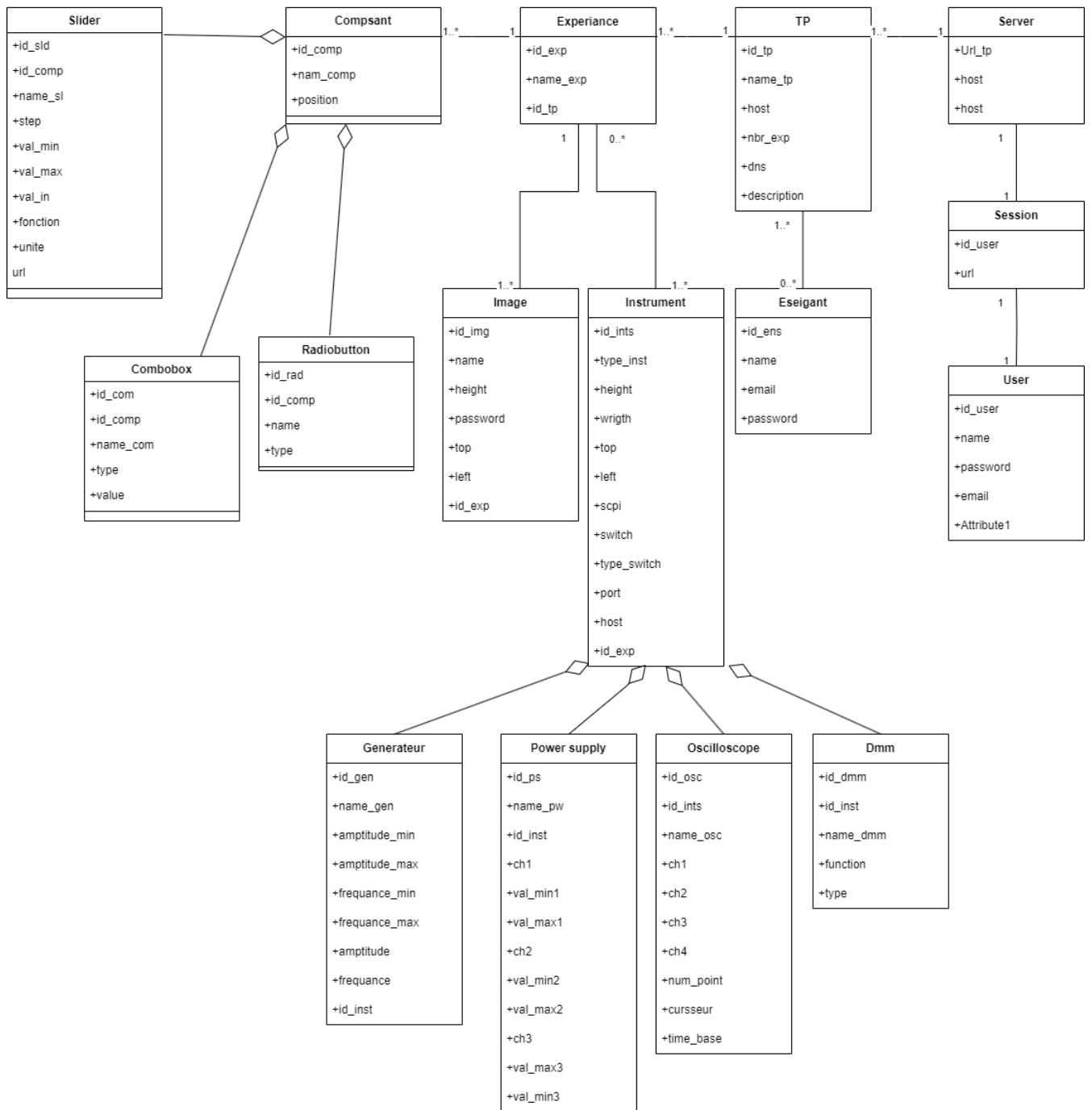


FIGURE 25 – Diagramme de classes général de TPD

Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence a pour objectif de visualiser les interactions entre les différents acteurs et le système en question, dans le cadre d'un scénario spécifique. Il permet de décrire de manière graphique le déroulement des actions entre les différents acteurs ou objets impliqués. Dans notre système, le diagramme de séquence représente le déroulement d'une expérience spécifique, comme illustré dans la Figure 26.

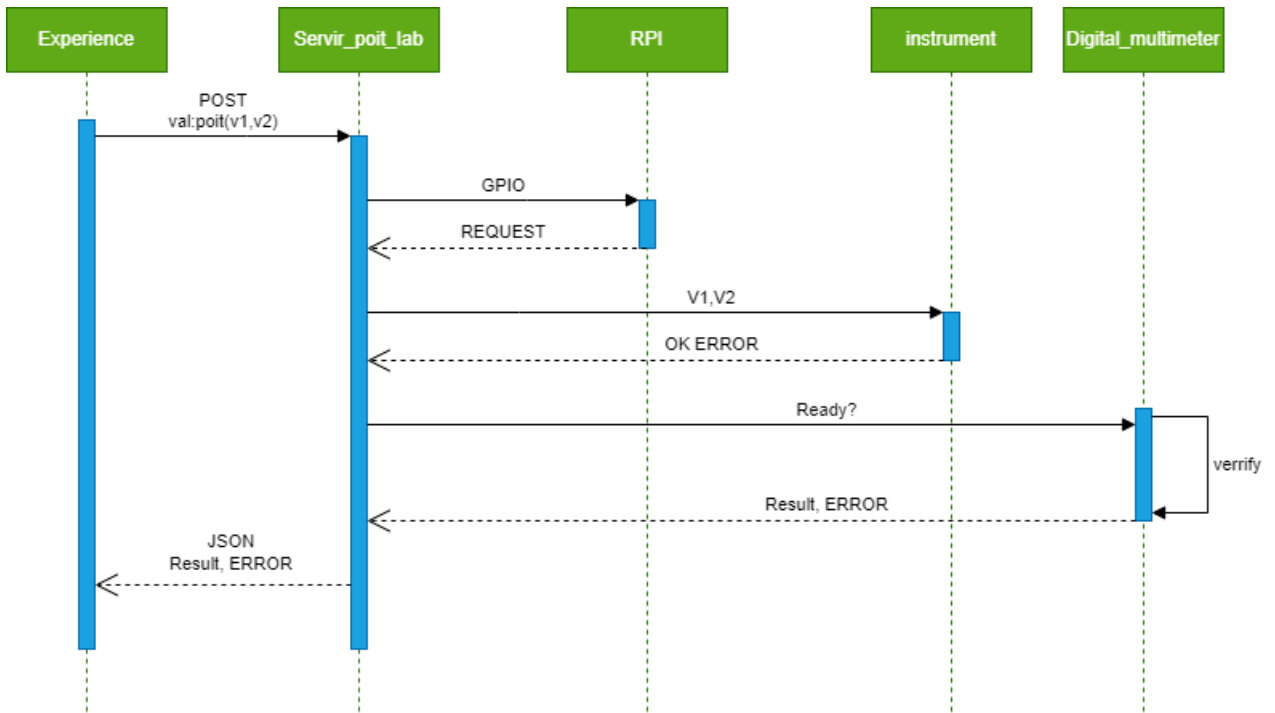


FIGURE 26 – Diagramme de séquence pour TPD (Situation expérience)

9.0.1 L'interface utilisateur

La création de laboratoires virtuels à distance est cruciale pour offrir aux professeurs un environnement flexible pour la création des TPs, accessible aux apprenants à tout moment. Dans cette partie, nous abordons l'utilisation de la technologie et des protocoles de communication dans les différentes parties de notre système pour réaliser l'interface utilisateur.

L'interface utilisateur pour la création des TPs est accessible via la page web frontale de notre laboratoire, qui offre de nombreuses fonctionnalités similaires pour faciliter la mise en œuvre des TPs dans le processus d'apprentissage. Les capacités et les limitations de ces fonctionnalités sont associées aux types de compte. Les interfaces utilisateur sont intégrées à Moodle sous forme de ressources URL.

9.0.2 Interface web

Nous utilisons une interface web comme interface utilisateur pour permettre au professeur de créer des expériences en ajoutant différents composants et instruments. Les fonctionnalités des équipements distants sont manipulées par des éléments de base d'une page web tels que des **menus**, des **boutons**, des **curseurs** et des **zones d'affichage**. Les résultats sont visualisés en temps réel sur l'interface à l'aide d'objets HTML et EJS. Ces objets sont utilisés pour contrôler les instruments réels, tels que le générateur de signaux ou l'oscilloscope, en ajustant les paramètres appropriés, tels que la fréquence ou la division de tension, pour produire un affichage graphique sur l'ordinateur client.

10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé l'approche de génération automatique de laboratoires virtuels qui vise à simplifier la création de TP par les enseignants, sans nécessiter l'intervention d'un développeur ou d'un ingénieur système. Nous avons également détaillé la spécification des dispositifs intelligents qui permettent de supporter différentes configurations en vue de soutenir les différentes expériences.

Les architectures classiques des laboratoires distants impliquent des PC agissant comme serveurs avec des instruments connectés via des bus d'instrumentation.

Dans ce chapitre, nous avons exposé les critères techniques que nous avons pris en compte pour concevoir les différents composants de notre laboratoire virtuel. En ce qui concerne les interfaces utilisateur, nous avons opté pour l'utilisation de HTML5, ejs et CSS, ainsi que Bootstrap et JavaScript, ce qui nous permet d'avoir des interfaces interactives qui sont compatibles avec les futurs développements de la technologie Web, tout en étant facilement intégrables dans un environnement d'enseignement à distance tel que Moodle.

Nous avons utilisé l'outil 'Node.js' pour développer une partie du back-end, qui est le serveur d'application chargé de gérer l'interaction avec les différents middleware et les

pages ejs. Nous avons également implémenté la technique Ajax pour réduire les communications entre le client et le serveur, et ainsi permettre une utilisation plus fluide de l'interface. Enfin, nous avons veillé à ce que la solution finale soit adaptée aux connexions à faible bande passante, pour garantir une expérience utilisateur satisfaisante dans toutes les conditions.

Dans le chapitre suivant, nous allons détailler la génération et le déploiement de notre propre laboratoire virtuel appliqué au MOSTA LAB. Nous allons examiner l'analyse des différentes interfaces utilisées pour que l'enseignant puisse préparer les TPs, composés de plusieurs expériences, et finalement les apprenants pourront les réaliser dans une interface dédiée.

Chapitre III

11 Mise en œuvre du laboratoire à distance

Introduction

La mise en œuvre est une étape cruciale après la phase de conception, car le choix des outils de développement peut influencer considérablement le coût de programmation et la flexibilité du produit final. Ainsi, cette étape consiste à transformer le modèle conceptuel en composants logiciels qui formeront notre système.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les outils que nous avons utilisés pour développer notre application, spécifier l'environnement logiciel nécessaire à notre système, et fournir une description générale de notre système.

12 Environnement de développement

Le choix du langage de programmation est crucial lors de la création d'une application. Pour garantir l'accès à distance aux instruments de mesure et permettre à plusieurs utilisateurs d'y accéder simultanément depuis différents systèmes d'exploitation (Windows, Linux, etc.), nous avons opté pour le langage EJS. Ce langage répond aux exigences requises par ces instruments et assure une bonne compatibilité avec notre système.

12.1 Système de gestion de base de données

Un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) est un ensemble de programmes permettant de créer, gérer et interroger une ou plusieurs bases de données. Dans cette optique, nous avons choisi d'utiliser le système de gestion de base de données open source **PostgreSQL**, qui est adapté pour les entreprises. PostgreSQL prend en charge SQL pour les requêtes relationnelles ainsi que JSON pour les requêtes non relationnelles. Il propose de nombreuses fonctionnalités pour aider les développeurs à créer des applications, les administrateurs à protéger l'intégrité des données et à créer des environnements tolérants aux pannes, et pour gérer efficacement les données.

12.2 Backend

Visual code : Visual Studio Code est un éditeur de code source développé par Microsoft. Il est disponible pour Windows, macOS et Linux et est très apprécié par les développeurs pour sa légèreté et sa puissance. Visual Studio Code est facile à installer et à utiliser, et dispose d'une interface graphique responsive et personnalisable via des thèmes déjà installés. Il prend en charge de nombreux langages de programmation, tels que JavaScript, PHP, Java, C, C++ et bien d'autres, et offre des fonctionnalités telles que la coloration syntaxique, l'autocomplétion, la mise en évidence des erreurs, l'intégration

avec des outils de contrôle de version, et bien plus encore. Visual Studio Code dispose également d'une grande communauté de développeurs qui ont créé de nombreuses extensions pour étendre ses fonctionnalités.

EJS : (Embedded JavaScript) est un langage de templating pour les applications web qui permet d'insérer du code JavaScript dans du HTML pour générer dynamiquement du contenu web côté serveur. EJS est utilisé pour générer des pages HTML dynamiques à partir de données provenant de différentes sources telles que les bases de données, les fichiers ou les API. Il est souvent utilisé en conjonction avec Node.js, un environnement d'exécution JavaScript côté serveur. EJS offre une grande flexibilité en permettant l'utilisation de boucles, de conditions, de fonctions et de variables JavaScript pour générer des pages web dynamiques et réutilisables.

Nodejs : est une plateforme open source de développement d'applications côté serveur qui permet d'exécuter du code JavaScript en dehors d'un navigateur web. Elle est basée sur le moteur JavaScript V8 de Google et fournit un environnement d'exécution pour le code JavaScript, permettant ainsi aux développeurs de créer des applications côté serveur en utilisant le même langage que celui utilisé pour les applications côté client. Node.js est également équipé d'un gestionnaire de paquets appelé NPM (Node Package Manager) qui facilite le téléchargement et l'installation de modules logiciels supplémentaires pour Node.js. Cette plateforme est couramment utilisée pour le développement de serveurs web, de logiciels en temps réel, de scripts côté serveur et de nombreux autres types d'applications.

Ajax :AJAX (Asynchronous JavaScript and XML) est une technique de développement web qui permet de mettre à jour dynamiquement une page web sans nécessiter un rechargement complet de la page. Elle permet de créer des interactions fluides entre l'utilisateur et le serveur, en utilisant des requêtes HTTP asynchrones pour mettre à jour une partie de la page sans avoir à recharger toute la page.

12.3 frontend

Sublim text :Sublime Text est un éditeur de code source multiplateforme utilisé par de nombreux développeurs pour écrire et modifier du code. Il est connu pour sa rapidité, sa légèreté et sa grande flexibilité grâce à des fonctionnalités telles que la coloration syntaxique, la gestion des onglets, la recherche et le remplacement avancés, ainsi que la possibilité d'ajouter des plugins pour étendre ses fonctionnalités.

Html5 :(L'HyperText Markup Language), est la dernière version du langage de balisage standard utilisé pour créer des pages web. Il permet de créer des pages web plus riches et plus interactives, telles que des vidéos et des animations intégrées, des graphiques vectoriels, des formulaires améliorés avec de nouveaux types de champs, des fonctionnalités de géolocalisation, et bien plus encore.

CSS : (Cascading Style Sheets) est un langage de feuilles de style utilisé pour définir la présentation visuelle des pages web écrites en HTML et XHTML. Les feuilles de style CSS permettent aux développeurs web de séparer le contenu et la présentation des pages web, ce qui facilite la maintenance et les mises à jour des sites web. CSS permet de définir des styles pour des éléments tels que la taille, la couleur, la police, la disposition et les effets visuels des éléments HTML, ainsi que la disposition de la page web en général. Il permet également de créer des mises en page réactives qui s'adaptent automatiquement à différents écrans et appareils, tels que les ordinateurs de bureau, les tablettes et les smartphones.

JavaScript : est un langage de programmation de haut niveau et orienté objet utilisé principalement pour créer des pages web interactives. Il est largement utilisé dans le développement web pour ajouter des fonctionnalités dynamiques aux sites web, tels que des menus déroulants, des formulaires interactifs, des diaporamas. Ce langage est principalement utilisé pour améliorer l'expérience utilisateur d'un site web ou d'une interface d'application. Il est également utilisé pour intégrer des effets esthétiques, même si ces derniers ne sont généralement pas indispensables.

JQuery : JQuery est une bibliothèque JavaScript qui simplifie la manipulation des documents HTML, la gestion des événements, les animations et les interactions avec les serveurs web. Elle permet également d'écrire du code JavaScript de manière plus concise et plus lisible.

Bootstrap : est un framework Front-End open-source qui permet de développer des sites web rapidement et efficacement. Il est basé sur HTML, CSS et JavaScript et offre une grande variété de fonctionnalités, de composants et de styles prédéfinis qui peuvent être facilement intégrés dans une application web.

13 Éléments techniques

Nous avons déployé notre système sur un serveur physique hébergé dans les locaux du laboratoire MOSTA LAB de notre université. Comme mentionné précédemment, notre système est constitué d'un serveur de manipulation et d'un serveur physique chargé de gérer les manipulations des interfaces.

14 Présentation de l'application

Page d'authentification

L'interface utilisateur fournit un moyen à l'enseignant pour se connecter à la plateforme en saisissant un nom d'utilisateur et un mot de passe qui ont été préalablement définis par les développeurs de l'application. La figure ci-jointe illustre cette interface de connexion.

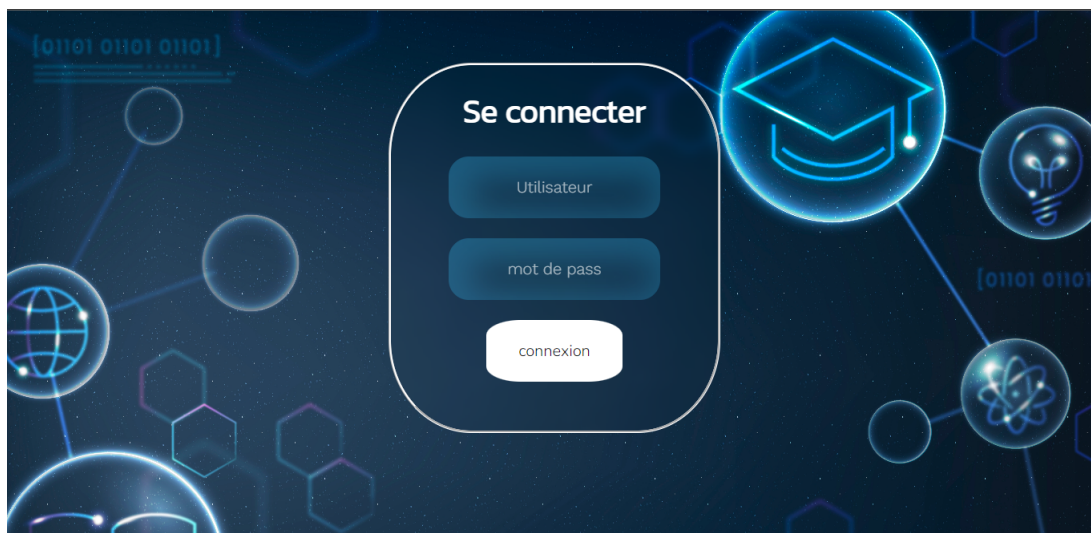


FIGURE 27 – interface authentification enseignant

Travaux pratiques

On peut voir sur la Figure 28 l'interface à travers laquelle l'enseignant peut accéder à la gestion et à la consultation de tous les travaux pratiques créés, avec la possibilité de les modifier ou de les supprimer.

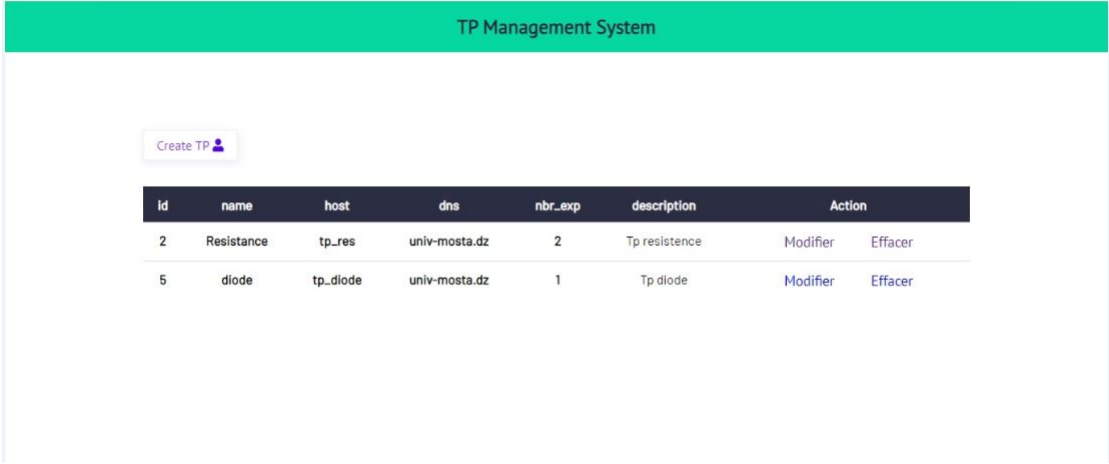


FIGURE 28 – interface de gestion des Travaux pratiques

Ajouter de Travaux pratiques

Après avoir sélectionné l'option "ajouter un TP" sur la page précédente, l'enseignant sera redirigé vers une nouvelle page comportant un formulaire (illustré sur la figure 29) qui lui permettra de renseigner toutes les informations relatives au nouveau TP.



The screenshot shows a web interface for creating a new practical work (TP). The title is "Créer un nouveau TP" in a teal, cursive font. Below the title, there are five input fields, each with a teal border and a light blue background. The fields are labeled as follows: "Nom" (with placeholder "Nom du TP..."), "Host-name" (with placeholder "Host-name..."), "DNS" (with placeholder "DNS..."), "Nombre experience" (with placeholder "Nombre d'experience..."), and "Description" (with placeholder "Some text..."). At the bottom left of the form area, there is a teal button labeled "annuler". At the bottom right, there is a teal button labeled "suivant". In the bottom right corner of the page, there is a Windows watermark: "Activer Windows" and "Accédez aux paramètres pour activer Windows."

FIGURE 29 – interface de ajouter de Travaux pratiques

Création de Travaux pratiques

Les fonctionnalités des équipements distants peuvent être accessibles à travers des objets de base tels que les instruments, les boutons, les images et les sliders qui sont intégrés dans les pages web. En utilisant ces objets, l'enseignant peut concevoir un TP contenant plusieurs expériences, comme le montre la Figure 30 ci-dessous.

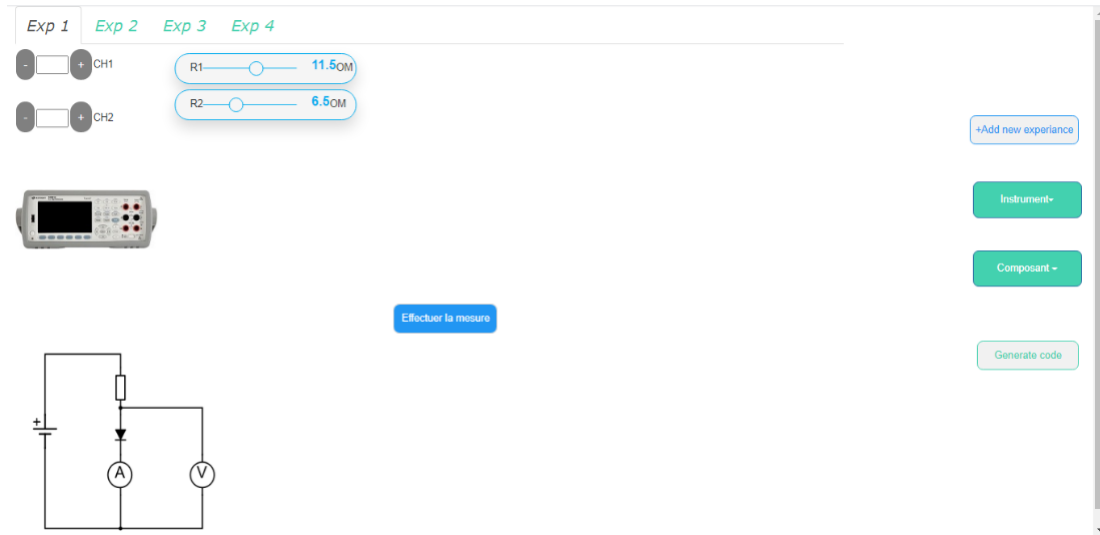


FIGURE 30 – interface Création de Travaux pratiques

Étudiant

Pour permettre à l'enseignant de créer un nouveau TP, il doit remplir un formulaire contenant toutes les informations nécessaires concernant ce TP. Lorsque le TP est créé, il sera affiché aux apprenants lorsqu'ils accèdent à la plateforme de TP. La figure 31 illustre l'apparence de la page d'accueil pour les apprenants.

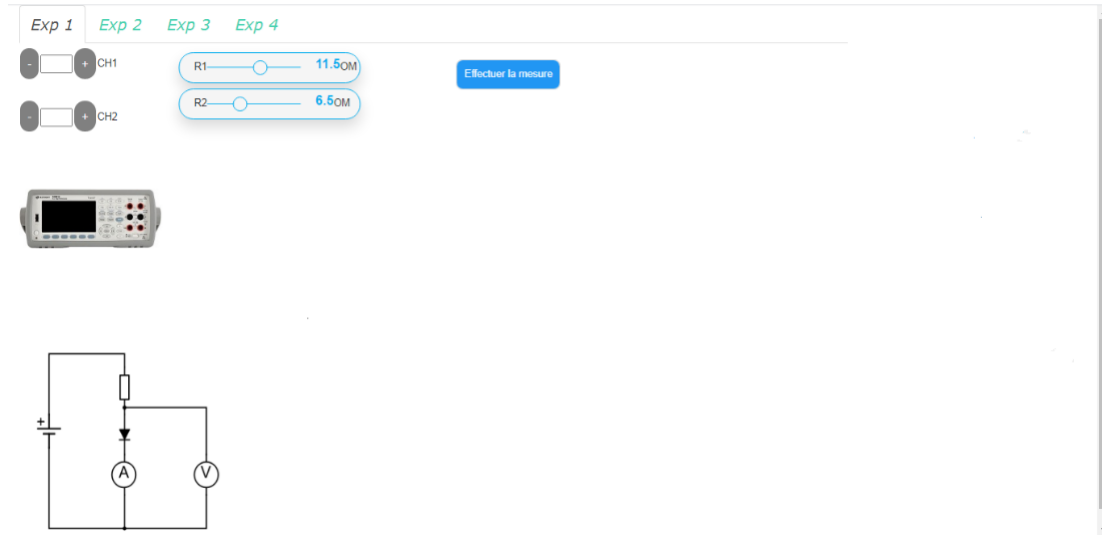


FIGURE 31 – interface Interface étudiant

15 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différentes méthodes et outils utilisés pour la génération et le déploiement de notre laboratoire en tenant compte des aspects techniques. Nous avons principalement décrit l'aspect de l'implémentation en présentant les langages, les outils et les techniques choisis pour la réalisation de notre prototype. Nous avons commencé par décrire les choix technologiques effectués, puis nous avons spécifié l'environnement logiciel qui soutient notre système. Enfin, nous avons présenté les interfaces les plus significatives de notre application.

L'objectif de notre système est de faciliter les tâches des enseignants dans la préparation des TPs, en encourageant les apprenants à réfléchir, à s'impliquer dans leur apprentissage et à améliorer leurs compétences en matière de recherche et d'exploration. Notre système vise ainsi à stimuler l'apprentissage actif.

Conclusion Générale

Notre projet vise principalement à créer une application web de travaux pratiques sous forme de laboratoire distant dans le domaine de l'électronique. Nous avons effectué des recherches approfondies pour résoudre les problèmes liés aux méthodes de déploiement des laboratoires virtuels, qui sont l'un des principaux sujets de notre mémoire.

La plupart des travaux pratiques à distance nécessitent des équipements coûteux ou des logiciels payants, ce qui représente un obstacle important pour les apprenants et les enseignants. Ainsi, nous avons adopté une stratégie consistant à développer une architecture matérielle spécifique et une application Web dotée d'interfaces conviviales pour aider les enseignants à créer des TP et permettre aux apprenants distants de réaliser des expériences à distance. Lors de la conception de ce système, nous avons veillé à ce que la taille de la page Web soit stable et adaptable à différents appareils et connexions à faible débit, ainsi qu'à son intégration facile dans les plateformes d'enseignement.

Dans les chapitres deux et trois de cette mémoire, nous avons examiné l'architecture matérielle et logicielle de notre système. Ensuite, nous avons présenté notre propre structure en détail et avons exploré l'utilisation de divers outils de programmation web, y compris le SGBD Postgres.

Il est possible d'étendre notre application en y ajoutant de nouvelles fonctionnalités ou en la maintenant pour l'adapter aux besoins émergents, y compris les nouvelles technologies de communication. Cette flexibilité permet à d'autres développeurs de travailler sur l'application et de contribuer à son évolution.

Annexes

Basse de données de système

Ensembles des tables de notre système.

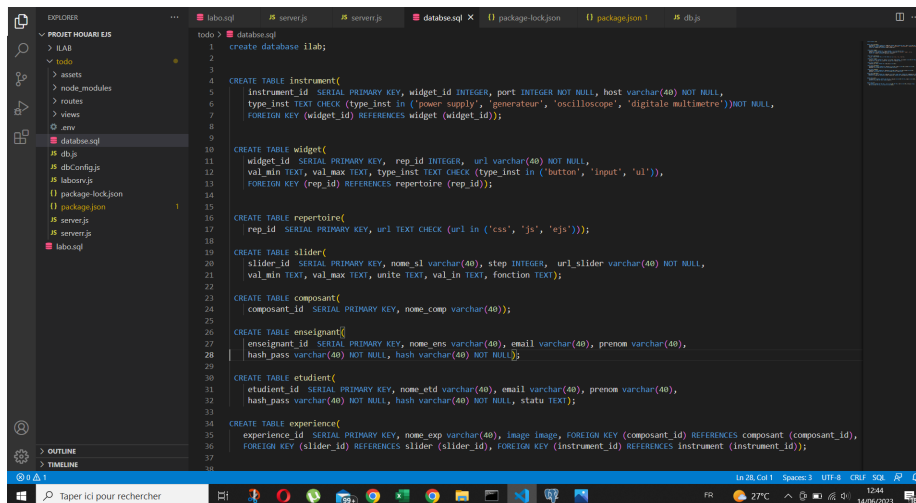


FIGURE 32 – Basse de données en Postgres.

Gestionnaire de la commutation

Création du serveur node.js : déferant packages utilise au serveur.

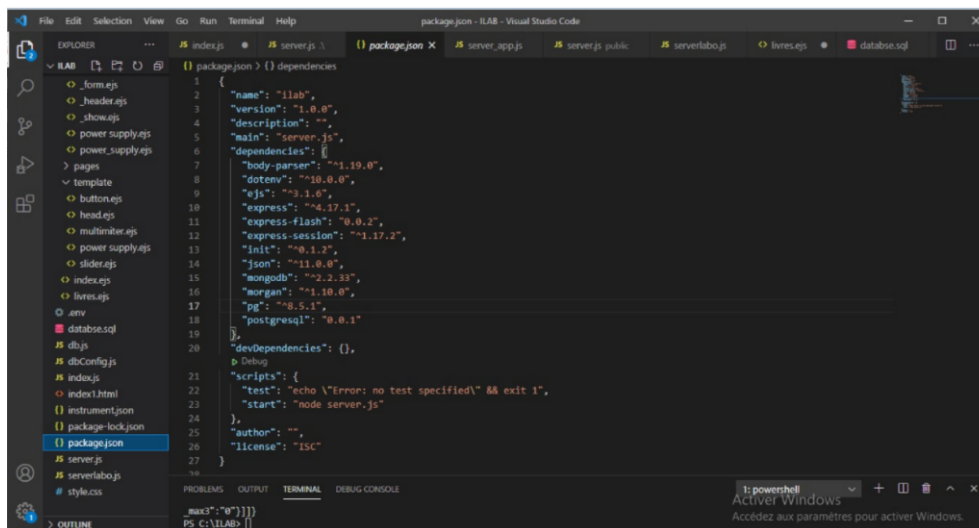


FIGURE 33 – ensemble packages de nodejs.

References

- [1] Alejo D, Feferman Y, Turpin C, Manot G, Gateau G, « Les nouvelles technologies au service de l'aide à la préparation des travaux pratiques », conférence CETSIS 2003, acte 1 page 17.
- [2] Assumed, J., Tanner, R., « Remote wiring and measurement lab». In Proc American Society Eng. Educatin Annual Conf. Exposition, Albuquerque, NM. June 24-27, 2001.
- [3] Assumed, J., Tanner, R., « Remote wiring and measurement lab ». In Proc American Society Eng. Educatin Annual Conf. Exposition, Albuquerque, NM. June 24-27, 2001.
- [4] Bagnasco A., Chirico M., Parodi G., Scapolla A.M., « A Virtual Laboratory for Remote Electronic Engineering Education », in International Perspective on Tele-education and Tele-learning, Ashgate Book, 2000.
- [5] Baurand Gilles et Moliton Vivien : La protection des moteurs bt. Cahier Technique Schneider
- [6] Philippe Le-Huy : Contributions à la simulation temps réel des grands réseaux électriques modern.
- [7] T. Budai and M. Kuczmann, "Towards a modern, integrated virtual laboratory system," Acta Polytechnica Hungarica, vol. 15, no. 3, pp. 191–204, 2018.
- [8] Gravier C « Vers la généralisation de manipulations distantes et collaboratives d'instruments de haute technologie ». Thèse de Doctorat, paris 2007.
- [9] arcía-Zubia, J., Orduña, P., López de Ipiña, D., Alves. G, «Addressing Software Impact in the Design of Remote Labs ». IEEE Transactions on Industrial Electronics. ISSN : 0278- 0046 ; Volume 56, Issue 12, Dec. 2009 Page(s) :4757 - 4767.
- [10] Gustavsson I, « An Instructional Electronics Laboratory Opened for Remote Operation and Control». Proceedings of the ICEE 2006 Conference, San Juan, Puerto Rico, July 23 - 28, 2006.
- [11] Gustavsson, I., Zackrisson, J., Ström Bartunek, J., Nilsson, K., Håkansson, L., Claesson, I., and Lagö, T. « Telemanipulator for Remote Wiring of Electrical Circuits ». Proceedings of the REV 2008 Conference, Dusseldorf, Germany, June 2008.
- [12] Hardison, J. and DeLong, K. and Bailey, P. and Harward, V.J. «Deploying Interactive Remote Labs Using the iLab Shared Architecture». In Frontiers in Education (FIE) Conference, October 2008.
- [13] Lelevé A, Meyer C, Prevot P, «Télé-TP : premiers pas vers une modélisation » Actes du Symposium on Technology of Information and Communication in education for engineering and industry, Lyon, p. 203-211.
- [14] NEAU, N. ArgoGraph : Un support au débat scientifique dans le cadre de travaux pratiques pour l'apprentissage des sciences expérimentales. Thèse de doctorat en informatique. Le Mans : Université du Maine, 2003, 287 p.
- [15] Nedic, N, Machotka, J «Remote Laboratory NetLabfor Effective teaching of 1st year engineering students ». Proceedings of the REV 2007 Conference, Porto, Portugal, June 25 – 27, 2007.
- [16] Paquette G « L'ingénierie pédagogique. Pour construire l'apprentissage en réseau ». Presses de l'Université du Québec.

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