

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Farhat Abbas - Sétif 1 -



THESE

Présentée à la Faculté des Sciences

Département d'Informatique
Pour l'Obtention du Diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Option : Informatique

Thème

**Interfaces Ergonomiques
d'un Laboratoire Virtuel sur le Web**

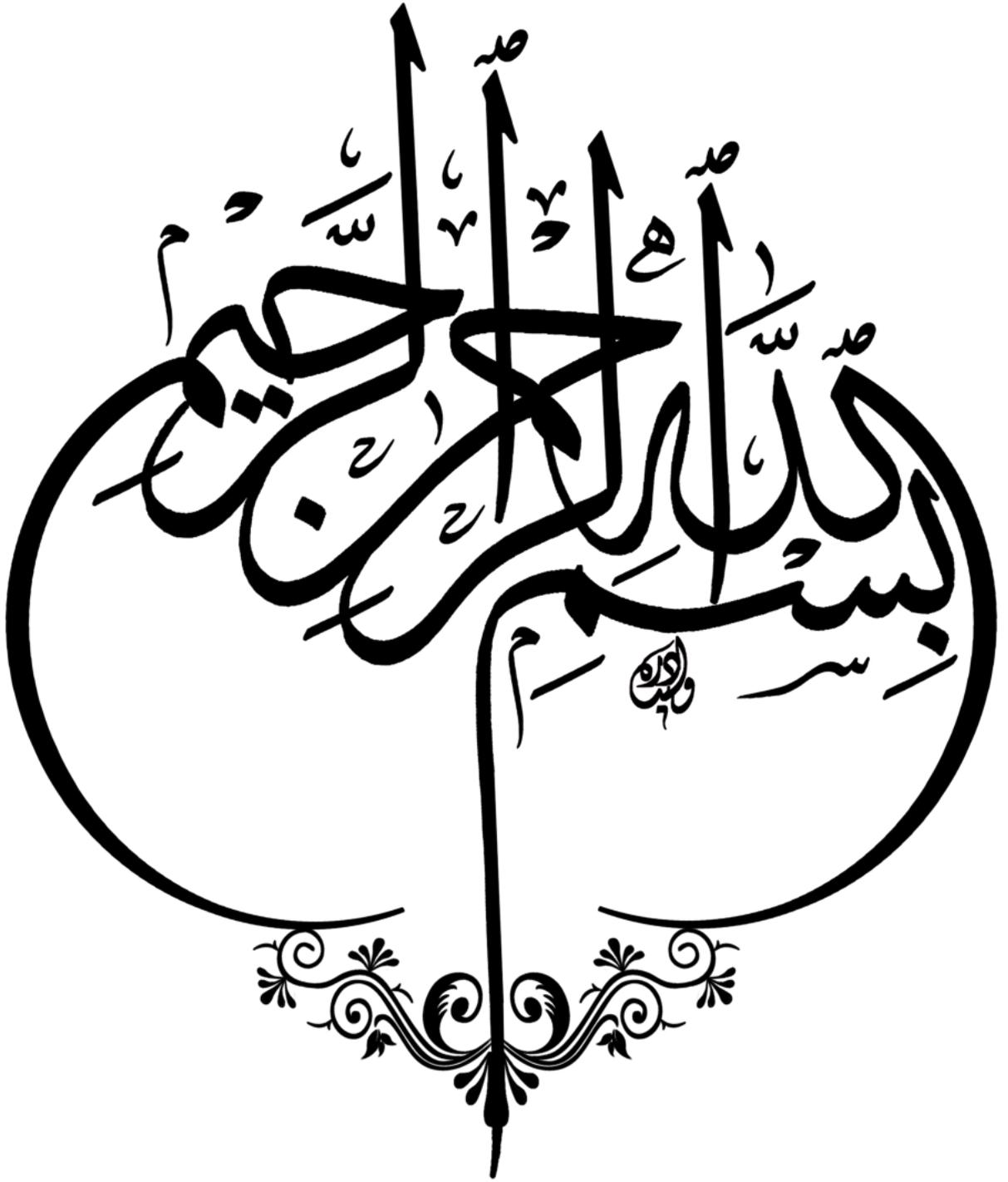
Présentée par

Mme. DOUAR Amel

Soutenu le : **Mai 2023**

Devant le jury composé de :

Pr. ALIOUAT Zibouda	Univ. Farhat Abbas Sétif 1	Présidente
Pr. DJOUDI Mahieddine	Univ. Poitiers (FR)	Reporteur
Pr. HAROUS Saad	Univ. Echarika (UAE)	Co-Encadreur
Dr. KHENTOUT Chabane	Univ. Farhat Abbas Sétif 1	Examineur
Pr. AKOUF Samir	Univ. M'Sila	Examineur



Résumé De nos jours, les travaux de recherche s'intéressent beaucoup au développement des laboratoires virtuels afin de permettre aux universités d'assurer l'enseignement des travaux pratiques à distance. Ce type d'apprentissage nécessite un environnement spécifique dédié des fonctionnalités permettant le travail collaboratif, l'engagement et l'immersion des apprenants, la communication entre les apprenants et le partage des connaissances, afin d'atteindre les objectifs visés par l'enseignant. L'objectif des travaux de cette thèse, est de concevoir et d'implémenter un Laboratoire Virtuel 3D en Sciences Expérimentales (LV3D@SE) sur le Web qui aide les apprenants à apprendre rapidement et facilement les travaux pratiques et à organiser des échanges des documents entre eux au sein d'un espace virtuel commun. Il permet d'accompagner l'apprenant dans toutes les étapes de spécification, de réalisation et test des travaux pratiques. Nous proposons un processus de conception agile permettant aux concepteurs de générer automatiquement une application pédagogique Web 3D pour un apprentissage collaboratif des travaux pratiques. Pour cela, nous présentons un modèle unifié de l'application contenant une couche d'interaction. Elle assiste les apprenants en facilitant la création automatique de nouvelles interfaces 3D dédiées aux travaux pratiques en sciences expérimentales. Afin de valider notre laboratoire LV3D@SE, nous proposons une étude de cas de la réalisation du travail pratique : construction de la pille de Daniell. Les résultats obtenus ont été comparés avec d'autres laboratoires virtuels pour montrer l'utilité de LV3D@ES. Les résultats expérimentaux montrent que LV3D@SE permet la réalisation facile des travaux pratiques complexes avec l'intégration des aspects de coopération et de collaboration.

Mots clés : Laboratoire virtuel, Collaboration, Coopération, Interaction, Interface3D, Travaux pratiques, LV3D@SE.

Abstract Nowadays, there is a great deal of research interest in the development of virtual laboratory which enables universities to support distant learning. Such learning requires suitable environment and services dedicated to successful collaborative work, learners' engagement and immersion, learners' interaction and communication, and learners' interesting knowledge sharing to achieve the targeted outcomes by the teacher. This work introduces a virtual laboratory that aims to support the quick development and easy assimilation of practical works by learners, exchange documents between them via a shared virtual space. The proposed laboratory, named LV3D@SE (web-based 3D Virtual Laboratory in Experimental Science), defines an agile design process to automatically generate 3D pedagogical web applications and provide very appreciable interactivity, flexibility and collaboration for practical works development. In addition, LV@SE includes the specification of learners' interactions and collaborations on a unified application model to assist and automate the creation of new 3D interfaces related to practical work in experimental sciences. In order to evaluate the effectiveness of the proposed 3DLV@SE laboratory, a prototypal implementation of the supporting tool has been developed. LV3D@SE has been applied to a real case study of Daniel's log and the obtained results have been compared with learner evaluation results related to the implementation of other virtual laboratories in order to show the usefulness of LV3D@SE. The results obtained were compared with other virtual laboratories to show the usefulness of 3DVL@ES. Experimental results show that LV3D@SE laboratory easily achieves complex practical works with the integration of cooperation and collaboration aspects.

Keywords : Virtual Laboratory, Collaboration, Cooperation, Interaction, 3d Interface, Practical Work, LV3D@SE.

Remerciements

En premier lieu mes remerciements et ma gratitude vont particulièrement à mon directeur de thèse : Pr Mahieddine DJOUDI : Professeur à l'université Poitiers (France), et mon co-directeur de thèse : Pr Saad HAROUS, Professeur à l'université Echarika (Emirates), qui ont encadré et dirigé cette thèse. Je les remercie pour leurs soutiens, leurs encouragements, leurs disponibilités, leurs patiences et leurs précieux conseils durant toutes ces années de thèse.

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aux membres de jury qui m'ont fait l'honneur de participer à ce jury et qui ont accepté d'examiner ce travail. Je remercie Pr Zoubida Aliouat, Professeur à l'université Setif-1, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse. Je tiens également à remercier : Pr Samir Akrouf, Professeur à l'université de M'sila, Dr Chaabane Khentout, Maître de conférences A à l'université Setif-1, d'avoir accepté de rapporter cette thèse.

Je remercie vivement Dr Adel Alti et Dr Yacine Slimani pour leurs collaborations et soutiens tout au long de cette recherche. C'est grâce à eux que ce travail a pu être mené à son terme. Je remercie infiniment, mes parents, mon mari qui m'ont poussé jusqu'au bout pour terminer cette thèse. Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont accompagné au cours de toutes ces années, enseignants, amies et collègues pour leurs soutiens et encouragements.

Dédicaces

*A mes parents,
A mon marie et mes enfants,
A toute ma famille et mes amis*

Table des matières

Introduction Générale	1
I Etat de l'art	6
1 L'apprentissage des travaux pratiques	7
1.1 Introduction	8
1.2 Définition de l'apprentissage	8
1.3 Les théories d'apprentissage	9
1.3.1 Le behaviorisme	9
1.3.2 Le Constructivisme	9
1.3.3 Le Socio-constructivisme	10
1.3.4 Le Cognitivisme	10
1.3.5 Le Connectivisme	11
1.4 Les types d'apprentissage	11
1.4.1 L'apprentissage individuel	11
1.4.2 L'apprentissage collaboratif	12
1.4.2.1 Coopération et Collaboration	12
1.4.2.2 Apprentissage collaboratif vs Apprentissage coopératif . . .	13
1.5 Vers l'apprentissage à distance	13
1.5.1 La notion de e-Learning	14
1.6 L'apprentissage des travaux pratiques	15
1.6.1 Définitions	15
1.6.1.1 Les travaux pratiques	15
1.6.1.2 Le laboratoire	15
1.6.1.3 Les ressources	16
1.6.1.4 l'expérience	16
1.6.2 Les théories d'apprentissage des TPs	17
1.6.3 Les activités d'apprentissage des TPs	17
1.6.4 Classification des Tps	18
1.6.4.1 TP classique	18
1.6.4.2 Télé TP	18

1.6.4.3	TP virtuel à distance	18
1.6.4.4	TP hybride	18
1.6.5	L'apprentissage collaboratif des TPs virtuels à distance	19
1.6.5.1	Les interactions sociales	19
1.6.5.2	L'apprentissage collaboratif des TPs	19
1.6.6	Les EIAHs pour les TPs Virtuel à distance	20
1.7	Conclusion	20
2	Les laboratoires virtuels	22
2.1	Introduction	22
2.2	Taxonomies des laboratoires	23
2.3	Les laboratoires virtuels	24
2.3.1	Définitions	24
2.3.2	Intérêts des laboratoires virtuels	25
2.3.3	Limites des laboratoires virtuels	27
2.3.4	Classification des laboratoires virtuels	27
2.4	Les laboratoires virtuels en sciences expérimentales	28
2.4.1	Les laboratoires virtuels de Physique	29
2.4.1.1	Interactive Physics Laboratory (IPL)	29
2.4.1.2	Model based Inquiry Virtual Physics Lab (MBI-VPL)	29
2.4.1.3	HKSOFT Electricity Lab (JEL)	29
2.4.1.4	VPL	29
2.4.1.5	Dry Cell Microscopic Simulation (DCMS)	30
2.4.1.6	GO-LAB	30
2.4.1.7	Laboratoire Virtuel en Physique (LVP)	30
2.4.1.8	3D virtual physics lab Edison5	30
2.4.1.9	Virtual 3D Physics Laboratory (V3DPL)	31
2.4.1.10	Virtual Physics Lab (ViPhyLab)	31
2.4.1.11	PhysLab	31
2.4.1.12	The Water Cycle in Nature (WCN)	31
2.4.2	Les laboratoires virtuels de Chimie	32
2.4.2.1	The Virtual Analytical System (VAS)	32
2.4.2.2	Virtual Unit Operational Laboratory (VUOL)	32
2.4.2.3	VLab	33
2.4.2.4	2D Virtual Chemistry Lab (2D VCL)	33
2.4.2.5	Le ChemCollective	33
2.4.2.6	Web-based 2D Vector Chemistry Laboratory	33
2.4.2.7	ChemLab	33
2.4.2.8	CSU ChemLab	34
2.4.2.9	Virtual Reality Undergraduate Projects Laboratory (VRUPL)	34
2.4.2.10	Cave Automatic Virtual Environment	34

2.4.2.11	3D Virtual laboratories (3D-VLEs)	34
2.4.2.12	Purpose-built Virtual Chemistry Lab	34
2.4.3	Les laboratoires virtuels en Biologie	35
2.4.3.1	Virtual Biology Experiments (ViBE)	35
2.4.3.2	Virtual Laboratory of Biology (VLab-Bio1)	35
2.4.3.3	Biology Labs Online	36
2.4.3.4	VLab-Bio	36
2.4.3.5	Biology Interactif Virtual Labs BIVLs	36
2.4.3.6	3D virtual Lab	36
2.4.3.7	3D Virtual Reality Biology Lab	37
2.4.3.8	OnLabs	37
2.4.4	Les laboratoires virtuels pluridisciplinaires	38
2.4.4.1	PhET(Physics Education Technology Project)	38
2.4.4.2	Labster	38
2.4.4.3	Praxilabs	39
2.4.4.4	Virtual Labs	40
2.5	Synthèse et discussion	41
2.6	Conclusion	42

II Partie Contribution 43

3	LV3D@ES : Un L.V 3D des Sciences Expérimentales	44
3.1	Introduction	45
3.2	Problématiques et motivations	45
3.2.1	La généricité	45
3.2.2	L'interaction	46
3.2.3	La collaboration	46
3.3	Objectifs et contributions	47
3.4	Analyse et spécification	47
3.4.1	Etude de l'existant	47
3.4.2	Analyse du Scénario général du déroulement des TPs dans un LV . .	48
3.4.3	Concepts et Définitions	49
3.5	Architecture générale du LV3D@SE	50
3.5.1	Le Gestionnaire d'interface graphique 3D	51
3.5.2	Le Système d'interaction collaborative	51
3.5.2.1	Le Mécanisme de l'interaction collaborative :	52
3.5.3	Le Système de Collaboration :	52
3.5.3.1	Caractéristiques du système de collaboration du LV3D@SE .	53
3.5.3.2	Les outils de collaboration du LV3D@SE	53
3.5.3.3	La constitution des groupes au sein du LV3D@SE	53

3.5.3.4	La communication	53
3.5.3.5	Outil de partage d'informations et documents	54
3.5.3.6	La coordination	54
3.5.4	Le Système d'Interactions	55
3.5.4.1	Notre vision à l'interaction	56
3.5.4.2	Classification des interactions	57
3.5.5	Le Système d'évaluation	58
3.6	Conclusion	58
4	Conception du LV3D@SE	60
4.1	Introduction	61
4.2	Conception des applications Web 3D pour l'apprentissage collaborative des TPs	61
4.3	Cas d'utilisations du LV3D@SE	63
4.4	Les modèles Unifiés	64
4.4.1	Modèle conceptuel d'objet-tâches	66
4.4.2	Modèle conceptuel d'Interface 3D	66
4.4.3	Modèle conceptuel d'Interaction	66
4.4.4	Modèle conceptuel d'apprenants	67
4.4.5	Modèle conceptuel d'évaluation	67
4.5	Diagrammes de séquences	67
4.5.1	Scénario sélection/manipulation d'objet	67
4.5.2	Scénario communication	69
4.5.3	Scénario évaluation automatique	69
4.6	Processus de pipeline du LV3D@ES	70
4.6.1	phase1 : Application des données	71
4.6.2	Phase 2 : Application de conception	72
4.6.2.1	Etape 2.1 : Construction du modèle d'apprentissage des tâches	72
4.6.2.2	Etape 2.2 : traduire les tâches d'apprentissage en interactions	72
4.6.2.3	Etape 2.3 : Modèle de conception d'interface 3D	73
4.6.3	Phase 3 : Application de génération	73
4.6.3.1	Etape 3.1 : Tâche de fusion – Interface – Modèle d'interaction	73
4.6.3.2	Etape 3.2 : Génération de code	73
4.6.4	Phase 4 : Application d'évaluation	74
4.7	Conclusion	74
5	Implémentation du LV3D@SE	75
5.1	Introduction	75
5.2	Solutions de développement	76
5.2.1	Solution1 : VRML et PHP	76
5.2.2	Solution 2 : VRML/Java	77
5.2.3	Solution de développement de LV3D@SE	78

5.2.3.1	Interfaces d'accès à LV3D@SE	78
5.3	La modélisation 3D du LV3D@SE	80
5.3.1	La Modélisation de la salle 3D des TPs	80
5.3.2	La Modélisation des objets 3D	80
5.4	Etude de cas : « Réalisation de la Pile de Daniell »	81
5.4.1	Présentation de la Pile de Daniell	81
5.4.2	Objectifs du TP de la réalisation de la pile de Daniell	81
5.4.3	Analyse du TP de la pile de Daniell	82
5.4.4	Interactions virtuelles pédagogiques possibles	83
5.4.4.1	Extraction de la liste des actions à partir de la feuille de TP	83
5.4.4.2	Construction du modèle d'apprentissage	85
5.4.4.3	Transformation des tâches d'apprentissage aux interactions .	85
5.5	La réalisation du TP	86
5.5.1	Préparation de l'environnement du travail	86
5.5.2	Déroulement du TP	87
5.5.2.1	Réalisation des taches coopératives	87
5.5.2.2	Les interactions collaboratives	89
5.5.3	Évaluation Pédagogique	91
5.6	Conclusion	93
6	Expérimentations	94
6.1	Introduction	95
6.2	La démarche d'expérimentations	95
6.3	Evaluation des performances	96
6.3.1	Critères et mesures d'évaluation	96
6.3.1.1	L'interactivité	96
6.3.1.2	L'ergonomie	97
6.3.1.3	L'utilité	98
6.3.2	Participants aux expérimentations	98
6.3.3	Description des phases d'expérimentation	98
6.4	Résultats d'expérimentation du LV3D@SE	99
6.4.1	Est-ce que LV3D@SE est facile à utiliser ?	100
6.4.2	Est-ce que LV3D@SE est conviviale et les objets sont ils accessibles? .	100
6.4.3	L'interactivité individuelle de laboratoire LV3D@SE ?	101
6.4.4	L'interactivité collaborative de laboratoire LV3D@SE ?	101
6.4.5	Utilité du LV3D@SE pour d'apprentissage des TPS :	101
6.5	Comparaison de LV3D@SE avec d'autres LVs	101
6.5.1	Comparaison du LV3D@SE avec PraxiLabs	102
6.5.2	Comparaison de LV3D@SE avec PhET	103
6.6	Conclusion	104

TABLE DES MATIÈRES

vi

Conclusion Générale

105

A Annexe

120

Table des figures

1.1	Apprentissage collaboratif vs Apprentissage coopératif	14
2.1	Taxonomies des laboratoires	24
2.2	Critères de classification des LVs.	28
2.3	PhEt(Physics Education Technology Project.	38
2.4	Praxilabs.	40
2.5	Virtual Labs.	41
3.1	Scénario général du déroulement des travaux pratiques dans un LV	48
3.2	Architecture générale du LV3D@SE	50
3.3	Mécanisme de l'interaction collaborative	52
3.4	Architecture du système de Collaboration	54
3.5	Architecture du système de coordination	55
3.6	Système d'interaction du LV3D@SE	56
3.7	Les taches d'interaction 3D	57
3.8	Le système d'évaluation de LV3D@SE	59
4.1	Vue globale de notre approche	62
4.2	Processus de conception d'application Web 3D pour l'apprentissage des TPs	63
4.3	Diagramme de Cas d'utilisation du LV3D@SE	64
4.4	Description du Modèle Unifié de l'application web 3D pour les TPs	65
4.5	Diagramme de séquence : sélection/manipulation	68
4.6	Diagramme de séquence : communication	69
4.7	Diagramme de séquence : évaluation pédagogique automatique	70
4.8	Pipeline du processus de conception et génération des applications web 3D .	71
4.9	Exemple de résumé de la feuille de TP	72
4.10	Construction du modèle d'apprentissage à partir de la liste des actions. . . .	73
5.1	Scènes de TP en VRML (Douar et al., 2007)	77
5.2	Laboratoire 3D de chimie(Douar et al., 2009)	77
5.3	La page d'accueil du LV3D@SE	78
5.4	Page de connexion	79
5.5	Page d'inscription	79

5.6	Espace des Travaux pratiques	79
5.7	Modélisation de la salle du LV3D@SE	80
5.8	Exemple d'objets 3D utilisés dans le domaine dans les sciences expérimentales.	80
5.9	Descriptif de la pile de Daniell (Saslow, 1999).	81
5.10	Le résumé de la feuille de TP de la pile de Daniell	85
5.11	Salle de TP Du LV3D@SE	86
5.12	Les objets 3D du Tp de la pile de Daniell	86
5.13	L'espace 3D de collaboration	87
5.14	Sélection coopérative	88
5.15	Déplacement coopératif des bouteilles.	88
5.16	Rotation coopérative des tubes	89
5.17	Action coopérative : mettre les lames dans les béchers	89
5.18	Tache collaborative :construction de la pile de Daniell	90
5.19	Chat Textuel	90
5.20	Appel Vidéo	91
5.21	Partage et Reception des fichiers	91
5.22	QCM Pédagogique	92
5.23	Résultat du QCM Pédagogique	92
5.24	Détails de corrigé type du QCM Pédagogique	92
6.1	Résultats d'évaluation de différents critères autour de LV3D@SE.	100
6.2	Résultats d'évaluation de différents critères autour de PraxiLabs.	103
6.3	Résultats d'évaluation de différents critères autour de PhET.	104

Liste des tableaux

2.1	Analyse des laboratoires virtuels de physique.	32
2.2	Analyse des laboratoires virtuels de Chimie.	35
2.3	Analyse des laboratoires virtuels de Biologie.	37
2.4	Analyse des laboratoires virtuels pluridisciplinaires.	40
5.1	Les taches de TP de la pile de Daniell.	82
5.2	Les outils de TP de la pile de Daniell.	82
6.1	Liste des actions et ses interactions.	97
6.2	Résultats d'évaluation de LV3D@SE.	99
6.3	Résultats d'évaluation de PraxiLabs.	102
6.4	Résultats d'évaluation de PhET.	103

Liste des Abréviations

ADN	Acide Désoxyribo Nucléique
BIVLs	Biology Interactif Virtual Labs
BTEM	Biologie, Technologie, Ingénierie, Mathématiques
CAVE	Cave Automatic Virtual Environnement
Covid19	CoronaVirus2019
CSS	Cascading Style Sheets
DCMS	Dry Cell Microscopic Simulation
EAI	External Authoring Interface
EAO	Enseignement Assisté par Ordinateur
EIAH	Environnement Informatique de l'Apprentissage Humain
FOAD	Formation Ouverte à Distance
GO-LAB	Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School
IHM	Interface Homme Machine
IPL	Interactive Physics Laboratory
JEL	HKSOFT Electricity Lab
LV	Laboratoire Virtuel
LMS	Learning Management System
LV3D@SE	Laboratoire Virtuel 3D sur le Web pour les Sciences Expérimentales
LVP	Laboratoire Virtuel en Physique
MBI-VPL	Model Based Inquiry Virtual Physics Lab
MDRH	Ministère du Développement des Ressources Humaines
MOOC	Massive Open Online Course
MOODLE	Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment
PbVCL	Purpose-built Virtual Chemistry Lab
PhET	Physics Education Technology Project
PHP	Hypertext Preprocessor
PhysLab	Physics Laboratory
QCM	Questionnaire à Choix Multiple
RV	Réalité Virtuelle
SGBD	Système de Gestion de Base de Données
SHS	Sciences Humaines et Sociales
STEM	Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics

Télé-Labs	Laboratoires à distance
TIC	Technologies de l'Information et de la Communication
TP	Travail Pratique
VAS	Virtual Analytical System
ViBE	Virtual Biology Experiments
ViPhyLab	Virtual androId Physics Laboratory
V-Labs	Virtual Laboratories
VLab-Bio	Virtual Laboratory of Biology
VPL	Virtual Pysics Lab
VRL	Virtual and Remote Laboratory
VRML	Virtual Reality Modeling Language
VRUPL	Virtual Reality Undergraduate Projects Laboratory
VUOL	Virtual Unit Operational Laboratory
V3DPL	Virtual 3D Physics Laboratory
WCN	Water Cycle in Nature
WebGI	Web Graphics Library
WebRTC	Web Real Time Communication
3D	Trois dimensions
2D	Deux dimensions
2D VCL	2D Virtual Chemistry Lab
3D-VLEs	3D Virtual Laboratories

Introduction Générale

Contexte du travail

COVID-19 (Coronavirus2019) a propagé très rapidement les dernières trois années, et l'enseignement à distance est devenu le seul moyen dans le monde entier d'assurer un apprentissage dans tous les niveaux. Bien que les cours théoriques étaient offerts en ligne, les établissements d'enseignement étaient encore confrontés à des défis dans la conduite des travaux pratiques qui faisaient partie intégrante dans l'enseignement des disciplines de l'ingénierie et des sciences expérimentales. Pour les universités, il existe plusieurs plateformes qui peuvent apporter une contribution significative pour assurer des cours et des tutoriels telle que Moodle (Modular object-oriented dynamic learning environment) (Rice, 2015). Mais l'utilisation de ces plateformes est insuffisante lors de la réalisation des travaux pratiques (TP), où les apprenants sont curieux et veulent apprendre pratiquement les concepts des cours. Par conséquent, les laboratoires virtuels(LV) sont devenus nécessaires dans cette pandémie pour assurer un bon déroulement des travaux pratiques.

Plusieurs travaux de recherches qui s'intéressent au développement des LVs sont disponibles sur le web et qui sont intégrés dans les universités (Rice, 2015; Abramov et al., 2017; Mostefaoui et al., 2017; Broisin et al., 2017; Astutik and Prahani, 2018; El Kharki et al., 2018; Stahre Wästberg et al., 2019; Correia et al., 2019; Salame and Makki, 2021; Wahyono et al., 2020; Kolil et al., 2020; El Kharki et al., 2020), cependant, l'utilisation de ces LVs reste toujours limitée par rapport aux laboratoires traditionnels. La recherche sur les LVs se focalise aujourd'hui essentiellement sur la conception et le développement (Correia et al., 2019; El Kharki et al., 2020; Wahyono et al., 2020). Néanmoins des difficultés d'implémentation, de conception (Stahre Wästberg et al., 2019), et d'usage des LVs et leurs évaluations ont été constatées pendant la pandémie COVID-19 (Radhamani et al., 2021). La majorité des travaux de recherches prennent en considération l'architecture, la visualisation, l'interaction de l'apprenant. Au meilleur de notre connaissance, aucun LV ne considère la collaboration distante en laboratoires virtuels et l'interaction collaborative entre les apprenants. Ainsi, nous constatons que la collaboration distante entre les apprenants est indispensable à l'apprentissage des travaux pratiques en sciences expérimentales. Dans ce type d'apprentissage, les apprenants sont amenés à travailler en groupe à toutes les étapes; en expliquant, en justifiant e aussi en collaborant pour faire les actions de l'expérimentation afin d'obtenir et d'interpréter les résultats.

Très peu des travaux de recherche actuels (Astutik and Prahani, 2018; Mechta et al., 2013) envisagent une collaboration à distance entre apprenants au sein des environnements virtuels. Donc il est nécessaire de concevoir et développer un nouveau laboratoire virtuel qui garantit une collaboration active et continue liée aux situations des apprenants sans perturber la réalisation de ses travaux pratiques.

Problématiques de recherches

Problématiques

Le travail en groupe constitue un objectif pédagogique à part entière pour les activités de travaux pratiques. Dans l'enseignement présentiel, les laboratoires constituent l'unique environnement d'apprentissage collaboratif engageant les apprenants dans des activités d'investigation scientifique. Les Travaux pratiques permettent d'activer des relations sociales collaboratives ainsi que des attitudes positives envers la croissance de la cognition et la science.

Cependant dans l'apprentissage à distance, la plupart des Laboratoires Virtuels existants souffrent d'un manque au niveau des outils dédiés à l'expérimentation collaborative en ligne en temps réel pour les activités des TPs virtuels, d'une part. D'autre part, Les aspects de présence sociale et de conscience mutuelle qui renforcent le réalisme des manipulations virtuelles au sein des laboratoires virtuels distants sont négligés lors de la conception des IHMs(Interface Homme Machine) des LVs. La présence dépend des propriétés de l'IHM qui doit procurer aux apprenants le sentiment de présence virtuelle dans une communauté distribuée pour tenter de remplacer partiellement le sentiment de présence physique dans un laboratoire réel. La conscience mutuelle, quant à elle, se rattache aux caractéristiques de l'IHM qui permettent à chaque membre d'un groupe de manipuler les mêmes objets d'apprentissage virtuels, tout en percevant en temps réel les actions effectuées par les autres membres sur ces objets. Parmi les objectifs principaux des LVs, est le travail en équipe qui permet d'améliorer l'engagement des apprenants. Dans ce type d'environnement, on doit prendre en considération l'interaction collaborative et coopérative distantes pour améliorer la qualité d'apprentissage lors de la conception et l'implémentation des LVs La problématique est divisée en deux parties :

- Comment procéder pour implémenter un tel laboratoire virtuel collaboratif pour atteindre les mêmes résultats de la collaboration appliqués aux enseignements traditionnels ?
- Comment concevoir des IHMs permettant l'interaction collaborative lors de l'expérimentation virtuelle en ligne, en temps réel ou en différé, et quelles sont leurs modalités d'utilisation ?

Méthodologie de recherche

Nous adoptons la méthodologie de recherche suivante dans l'objectif de répondre à ces questions :

1. Etudier des notions des travaux pratiques, des théories d'apprentissage, et analyser les différents laboratoires virtuels existants pour les sciences expérimentales dans le but d'identifier les verrous à lever ;
2. Définir des critères de conception d'un environnement virtuel pour l'apprentissage pratique des sciences expérimentales afin de combler les lacunes identifiées, telle que la collaboration, l'évaluation, la généricité et l'interactivité.
3. Concevoir et implémenter un laboratoire virtuel 3D(trois dimension) sur le Web pour les sciences expérimentales respectant les critères définis, et s'appuyant sur les critères ergonomiques pour la conception des IHMs 3D dédiés à l'enseignement des travaux pratiques , afin d'améliorer la qualité d'apprentissage au sein des laboratoires virtuels.
4. Evaluer le laboratoire virtuel , à travers des expérimentations menées dans un contexte d'apprentissage réel .
5. Comparer le laboratoire développé avec d'autres laboratoires existants utilisés dans la pluparts des universités dans le monde.

Contributions

L'objectif de ce travail est de concevoir et développer un Laboratoire Virtuel 3D sur le Web d'enseignement des travaux pratiques nommé (LV3D@SE) dans le domaine des Sciences Expérimentales telles que la physique, la chimie, la biologie. . . etc. Ce laboratoire aide les apprenants à apprendre rapidement et facilement à travers des travaux pratiques et à collaborer entre eux pour communiquer et partager du savoir au sein d'un espace virtuel commun.

L'apport du laboratoire virtuel proposé par rapport aux laboratoires virtuels existants est déterminé par la conception d'un modèle d'une application Web 3D générique pour les sciences expérimentales. En plus, il implémente des tâches d'apprentissage distribuées avec un mécanisme d'interactions multiples permettant la flexibilité et la réutilisabilité nécessaires pour effectuer des travaux pratiques à grande échelle, et aider les apprenants à assimiler de nouvelles pratiques grâce à des stratégies d'apprentissage collaboratives et coopératives. Le laboratoire proposé définit un processus de conception agile pour générer automatiquement des applications web pédagogiques 3D et apporter une interactivité, une flexibilité et une collaboration très appréciables pour le déroulement des travaux pratiques. Il explore l'efficacité de l'utilisation d'expériences collaboratives virtuelles au niveau d'amélioration des résultats d'apprentissage et des compétences cognitives des apprenants. Aussi, il inclut la spécification des interactions et la collaboration des apprenants sur un modèle applicatif unifié pour assister et automatiser la création de nouvelles interfaces 3D liées aux travaux pratiques en sciences expérimentales. Le développement de notre laboratoire virtuel est motivé par le

maintien des avantages de la collaboration à distance et des interactions coopératives pour atteindre l'efficacité de l'apprentissage du travail pratique.

Les principales contributions de ce travail se résument comme suit :

- Le laboratoire virtuel proposé applique un pipeline optimisé pour la construction virtuelle de travaux pratiques qui permet aux concepteurs de spécifier et de tester automatiquement des applications Web pédagogiques 3D générées pour un apprentissage pratique collaboratif.
- Le laboratoire virtuel proposé combine des techniques d'interaction visuelle pour sélectionner des objets 3D en fonction du domaine pédagogique d'apprentissage. Ces techniques permettent de spécifier des interactions 3D simples et complexes sur ces objets au sein d'une interface 3D pour assurer une collaboration et une coopération à distance lors de la réalisation de travaux pratiques.
- Une évaluation expérimentale du laboratoire virtuel proposé sur une étude de cas réel : la réalisation de la pile de Daniell.
- Une comparaison entre le laboratoire proposé et deux autres laboratoires virtuels : Praxilabs (PraxiLabs, 2021) et PhET(Physics Education Technology Project (Salame and Makki, 2021) à l'aide d'un questionnaire destiné aux apprenants.

L'apport de ce travail a fait l'objet de plusieurs publications et communications :

- **Douar, A.**, Djoudi, M., Harous, S., & Alti, A. (2023). *3DVL@ES : A 3D Web-Based Virtual Laboratory for Collaborative Learning in Experimental Science Practical Work*. International Journal of e-Collaboration (IJeC), 19(1), 1-26 (Douar et al., 2023).
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., & **Douar, A.** (2012). *Supervision and Control Tool for Collaborative Virtual Laboratory*. J. Softw., 7(7), 1496-1504 (Mechta et al., 2012).
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., & **Douar, A.** (2010, November). *A collaborative learning environment for a biology practical work*. In Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (pp. 389-394) (Mechta et al., 2010).
- **Douar, A.**, Harous, S., Djoudi, M., & Mechta, D. (2009). *An interactive 3D distributed environment for distance practical works*. In 2009 International Conference on Innovations in Information Technology (IIT). IEEE, 2009.p.205-209.(Douar et al., 2009)
- **Douar, A.**, Harous, S., Djoudi, M., & Mechta, D. (2007, November). *Modélisation d'un environnement virtuel pour les TELE-TP par la réalité virtuelle*. In International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007 (pp. 3-4) (Douar et al., 2007).
- **Douar, A.**, Harous, S., Djoudi, M., & Mechta, D. (2006). *La réalité virtuelle pour la conception des interfaces ergonomiques d'un laboratoire virtuel sur le Web*. In Proceedings of the International Conference on Computer Science and its Applications (Douar et al., 2006).

Plan de la thèse

Le présent manuscrit est structuré en deux parties. La première partie est réservée à l'état de l'art, elle est composée de deux chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons en premier lieu la psychologie de l'apprentissage avec ses différentes théories et nous expliquons le principe de l'apprentissage collaboratif et coopératif. En suite nous nous focalisons en particulier sur **l'apprentissage des travaux pratiques** ; nous explicitons les notions fondamentales liées aux travaux pratiques, et la notion de l'interaction sociale qui constitue un élément essentiel pour améliorer l'apprentissage dans une situation de formation à distance.

Le chapitre deux est dédié à l'état de l'art de la littérature scientifique sur **les laboratoires virtuels** existants. Nous présentons une classification des LVs selon un ensemble de critères permettant par la suite d'analyser les LVs existants. Nous nous intéressons dans cette thèse par les laboratoires virtuels en sciences expérimentales. Nous introduisons une liste exhaustive des LVs en physique, chimie, biologie et les LVs pluridisciplinaires . Nous clôturons par une synthèse qui permet d'identifier les défis à lever pour dégager notre problématique liés aux laboratoires virtuels.

La deuxième partie est consacrée à la présentation des contributions majeures de ce travail. Elle comporte quatre chapitres. Dans le chapitre trois, nous présentons **une nouvelle architecture d'un laboratoire virtuel 3D sur le web** pour l'apprentissage des travaux pratiques dans le domaine des sciences expérimentales (**LV3D@SE**) qui répond aux exigences de l'enseignement des TPs à distance : l'interaction sociale, la collaboration, la coopération, l'interaction et l'évaluation.

Dans le chapitre 4, nous décrivons le **processus de conception** permettant aux concepteurs de créer ou de générer automatiquement une application pédagogiques Web 3D pour l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques. Nous décrivons : notre modèle unifié qui permet d'assister les apprenants en facilitant la création automatique de nouvelles interfaces 3D ,et Le pipeline optimisé pour la construction virtuelle de travaux pratiques.

Le chapitre cinq a pour objectif de présenter la validation de l'approche de réalisation des laboratoires virtuels 3D sur le web pour les sciences expérimentales basée sur les modèles d'objets 3D et des modèles d'interactions collaboratives. Nous présentons le principe du fonctionnement du LV3D@SE dans la cadre de l'étude de cas " Réalisation de la Pile de Daniell", et les expériences qui ont été menées en utilisant divers types d'interactions pour montrer l'efficacité des approches coopératives et collaboratives de l'apprentissage des travaux pratiques dans un laboratoire virtuel 3D sur le web.

Le chapitre six est consacré à l'expérimentation de LV3D@SE dans des conditions réelles, . Nous présentons notre démarche d'expérimentation et les critères de performance pour évaluer notre laboratoire, ainsi les résultats d'expérimentations. Ensuite, nous comparons notre LV3D@SE par rapport à deux autres laboratoires ; Praxilabs et PhEt, puis nous discutons les résultats de l'expérimentation et de la comparaison obtenus.

Nous clôturons ce manuscrit par une conclusion générale qui résume nos contributions et nos différentes perspectives de recherches.

Première partie

Etat de l'art

Chapitre 1

L'apprentissage des travaux pratiques

Sommaire

1.1	Introduction	8
1.2	Définition de l'apprentissage	8
1.3	Les théories d'apprentissage	9
1.3.1	Le behaviorisme	9
1.3.2	Le Constructivisme	9
1.3.3	Le Socio-constructivisme	10
1.3.4	Le Cognitivisme	10
1.3.5	Le Connectivisme	11
1.4	Les types d'apprentissage	11
1.4.1	L'apprentissage individuel	11
1.4.2	L'apprentissage collaboratif	12
1.5	Vers l'apprentissage à distance	13
1.5.1	La notion de e-Learning	14
1.6	L'apprentissage des travaux pratiques	15
1.6.1	Définitions	15
1.6.2	Les théories d'apprentissage des TPs	17
1.6.3	Les activités d'apprentissage des TPs	17
1.6.4	Classification des Tps	18
1.6.5	L'apprentissage collaboratif des TPs virtuels à distance	19
1.6.6	Les EIAHs pour les TPs Virtuel à distance	20
1.7	Conclusion	20

1.1 Introduction

Les travaux pratiques jouent un rôle central dans l'enseignement des sciences expérimentales. Ils favorisent l'acquisition des connaissances, et le développement des compétences scientifiques, techniques et sociales. L'objectif principal des TPs est de permettre aux apprenants de faire la liaison entre deux domaines : le domaine des idées, et le domaine des objets et les faits concrets . Ils visent également à développer et ancrer le raisonnement scientifique chez les apprenants.

Dans le contexte de l'apprentissage des travaux pratiques, l'aspect collaboratif joue un rôle primordial. Notamment, pour pouvoir offrir aux apprenants une formation de qualité. La principale base sur laquelle s'appuie la notion de collaboration est le but commun. Chaque individu réalise une part de l'activité globale, en puisant dans les ressources individuelles, dans les ressources de l'environnement et dans les ressources collectives.

L'objectif de ce chapitre est de caractériser les activités d'apprentissage de type travaux pratiques. A la fois, dans le cadre d'une formation traditionnelle et dans celui d'une formation ouverte et à distance. Nous présentons dans la première partie, la psychologie de l'apprentissage et ses différentes théories. Nous discuterons également des notions de collaboration et coopération ainsi l'apprentissage collaboratif et coopératif. Dans la deuxième partie, nous nous focalisons en particulier sur l'apprentissage des travaux pratiques. Nous présentons les définitions des différents termes qui ont une relation avec les TPs. Nous discutons les catégories de TPs et l'interaction sociale qui constitue un élément essentiel pour améliorer l'apprentissage dans une situation de formation à distance. Nous nous intéressons aux EIAHs(Environnement Informatique de l'Apprentissage Humain) des travaux pratiques afin de l'intégrer dans une démarche pédagogique qui se base sur des théories et modèles d'apprentissage modernes et mettre en œuvre le potentiel de l'apprentissage collaboratif dans ce contexte.

1.2 Définition de l'apprentissage

Lafifi (Lafifi, 2007) à défini l'apprentissage comme étant : « l'acquisition de nouveaux savoirs ou savoir-faire, c'est-à-dire le processus d'acquisition de connaissances, compétences, attitudes ou valeurs, par l'étude, l'expérience ou l'enseignement ». Nous déduisons de cette définition que l'apprentissage se fait selon trois moyens : l'étude, l'expérience et l'enseignement. L'étude permet de faire un effort intellectuel de la part de l'apprenant pour avoir des connaissances. Ainsi, ces connaissances seront mises en pratique afin d'acquérir les compétences et les attitudes. L'enseignement sert à transmettre ces connaissances, et c'est le rôle de l'enseignant. L'apprentissage est un processus d'acquisition et de transmission du savoir et du savoir-faire. ((Mangenot, 2011; Quinn, 2009))le définit comme étant : « l'acte d'acquisition de connaissances et de compétences de façon formelle ou informelle ». Par conséquent, le processus d'apprentissage se base 'une part, sur une activité formelle d'acquisition de

connaissances, qui se déroule de façon consciente dans les établissements de formation, avec des objectifs d'apprentissage prédéfinis. Et d'autre part, c'est une activité d'apprentissage informelle, dépendante souvent de la pratique et l'interaction dans le milieu social. Cette activité d'apprentissage repose toujours sur ce qui a été appris dans l'activité formelle, et elle représente la source principale de l'acquisition de l'expertise. L'efficacité de la stratégie formelle est optimale au début du processus d'apprentissage où l'apprenant a besoin d'être motivé et orienté pour atteindre des objectifs prédéfinis. Alors que l'influence de ce type d'apprentissage, va être diminuée, au fur et à mesure de l'expérience, pour que l'apprentissage informel soit la méthode la plus utilisée.

1.3 Les théories d'apprentissage

Les théories d'apprentissage décrivent la façon d'apprentissage chez les humains. Depover (Depover et al., 2006) définit ces théories comme étant un ensemble de lois et de principes qui décrivent le déroulement de l'apprentissage. Les spécialistes en psychologie, considèrent que la vision des théories d'apprentissage par rapport au processus d'apprentissage diffère selon le principe d'acquisition des connaissances. Par conséquent les chercheurs ont distingué quatre grandes écoles : Le behaviorisme, le constructivisme, le socioconstructivisme et le cognitivisme. Une autre théorie qui est peu située dans les recherches de ces travaux, qui est la théorie de connectivisme. L'objectif ici, n'est pas de rentrer dans les détails de ces modèles, mais juste de donner un aperçu. Dans ce manuscrit nous distinguons cinq catégories qui sont :

1.3.1 Le behaviorisme

Le mot behaviorisme, est un mot anglais « behavior » qui signifie « comportement ». Le behaviorisme ou comportementalisme, représente le premier paradigme de l'apprentissage dans le domaine de la psychologie au début du 20ème siècle. Ce terme a été utilisé la première fois par son fondateur Watson (Barnier, 2009). Ce modèle s'intéresse à l'étude des comportements et les changements observables à travers l'étude des interactions de l'individu avec l'environnement. Il considère l'esprit comme une boîte noire inaccessible (Depover et al., 2006).

1.3.2 Le Constructivisme

Le constructivisme considère que la construction des connaissances se fait à travers l'interaction des connaissances existantes et les expériences individuelles et sociales. Il met l'apprenant au centre du processus d'acquisition des connaissances, qui se construisent par lui-même en exploitant ses anciennes connaissances pour s'adapter à des nouvelles situations (Lottici, 2013). L'adaptation à des nouvelles situations se base sur deux processus d'interaction de l'apprenant avec son milieu de vie :

- L'assimilation : l'intégration des nouvelles connaissances aux anciennes connaissances, se fait sans aucune modification au niveau du schéma cognitif qui existe déjà.
- L'accommodation : l'adaptation à la nouvelle situation provoque des changements au niveau de la structure des connaissances pour avoir une nouvelle structure capable d'intégrer les nouveaux éléments de l'apprentissage.

1.3.3 Le Socio-constructivisme

Contrairement aux théories behavioriste et constructiviste, qui exposent les apprenants séparément à leurs environnements et considèrent l'apprentissage comme étant une activité individuelle, en exploitant uniquement les structures de connaissances personnelles, la théorie socioconstructiviste, développée par Vygotsky, considère que la dimension sociale est un aspect important dans le processus d'apprentissage (Barnier, 2009). Elle est fondée sur le modèle social de l'apprentissage (Bandura, 1986). Selon (Vygotsky, 2011; McKinley, 2015), le socioconstructivisme est une extension de la théorie constructivisme, elle prend en considération l'interaction et la négociation entre les apprenants et les enseignants dans la démarche de la construction de connaissances.

1.3.4 Le Cognitivism

Théoriquement, le cognitivisme est née d'une critique du behaviorisme qui ignorait l'activité cognitive chez l'apprenant ; les idées, les représentations, les croyances, et tout ce qui se déroule dans le système cognitif de l'individu .En effet, le cognitivisme a également comblé l'ignorance théorique du behaviorisme. Par rapport au constructivisme, le cognitivisme partage le point de vue considérant que l'apprentissage est une activité mentale.

Par contre, ces deux théories se distinguent à propos des connaissances, qui sont considérées par le constructivisme comme un élément subjectif (Masciotra and Medzo, 2005), alors que le cognitivisme les considère comme externe et objectif (Basque et al., 1998).

Le cognitivisme s'intéresse à l'analyse des processus cognitifs utilisés pour la résolution des problèmes, et les méthodes d'organisation et de représentation de connaissances dans la mémoire humaine (Legault, 1992; Oddou, 2020).

Les fondateurs du cognitivisme recommandent à l'enseignant de considérer l'apprenant comme élément actif basé sur des activités mentales de traitement de l'information et d'éviter la transmission directe des connaissances. Ainsi, l'enseignant se base sur l'organisation des connaissances, en établissant des liens entre les nouvelles connaissances et les connaissances déjà acquises, pour une réutilisation dans les activités d'apprentissage ultérieures (Basque et al., 1998).

1.3.5 Le Connectivisme

Le connectivisme est une théorie d'apprentissage développée par Siemens et Stephen Downes dans les années 2000. Il est considéré comme une nécessité d'évolution des théories classiques de l'apprentissage (behaviorisme, cognitivisme, constructivisme et socio-constructivisme). Cette théorie a pour objectif d'adapter l'apprentissage aux nouvelles technologies du numérique. Les connaissances sont distribuées à travers un réseau de connexions (individuelles et organisationnelles); l'apprentissage consiste à savoir exploiter ces réseaux pour construire des connaissances (Siemens, 2004). Ce modèle d'apprentissage est basé sur huit principes :

- l'apprentissage et le savoir dépendent de la diversité des opinions et des ressources.
- L'apprentissage est un processus de mise en relation de contacts ou de sources d'informations spécialisés.
- l'apprentissage peut être effectué par des processus non-humains (par exemple : bases de données contenant des connaissances organisationnelles).
- l'apprentissage nécessite, pour l'individu, de savoir identifier ses besoins de connaissances à venir.
- Développer et préserver les contacts établis afin de faciliter l'apprentissage.
- Apprendre à faire des liens entre les domaines de connaissances, les idées et les concepts.
- Distinguer l'importance de la valeur des sources de connaissances, de leur pertinence et de leur validité, dans toute activité d'apprentissage connectiviste.
- l'apprentissage de la prise de décision du choix de l'information utilisée selon la pertinence et l'actualité.

Selon ses auteurs (Siemens, 2004), l'application de ces principes du connectivisme consiste à favoriser une forme d'apprentissage par l'expérience et la pratique, qui est dans l'idée plutôt proche du socioconstructivisme.

1.4 Les types d'apprentissage

L'apprentissage vise à augmenter le niveau cognitif, social et le savoir faire chez l'apprenant. Il existe plusieurs façons d'atteindre ces objectifs, qui dépendent du type d'apprentissage. Nous distinguons les types d'apprentissage suivants :

1.4.1 L'apprentissage individuel

Dans ce type d'apprentissage, l'apprenant a des objectifs et il travaille seul pour les atteindre indépendamment des autres apprenants. Il utilise ses propres moyens, connaissances, compétences, selon sa vitesse en ignorant l'état d'avancement des autres apprenants.

1.4.2 L'apprentissage collaboratif

Le concept « apprentissage collaboratif » désigne le travail ensemble d'un groupe d'apprenants pour atteindre un objectif commun. Il a été utilisé sous différentes appellations à savoir : apprentissage en groupes, apprentissage coopératif ou apprentissage collaboratif. Il y a des chercheurs qui ne distinguaient pas la différence entre coopération et collaboration. Tandis que d'autres, ont considéré que la différence est légère mais importante. d'après Dillenbourg dans (Dillenbourg, 1999), l'apprentissage collaboratif est « une situation dans laquelle deux ou plusieurs personnes apprennent ou essayent d'apprendre quelque chose ensemble ». Nous déduisons de cette définition que l'apprentissage collaboratif se fait sous forme de groupe pour apprendre ensemble en se basant sur deux principes : le partage de travail et l'interaction entre les éléments du groupe.

L'apprentissage collaboratif est une démarche centrée sur l'apprenant, qui lui permet de construire ses propres connaissances au sein du groupe. Ainsi, le rôle de l'enseignant est de faciliter l'apprentissage, il se charge de l'orientation, de la motivation et de la supervision de ce processus (Droui, 2012; Smith and MacGregor, 1992).

1.4.2.1 Coopération et Collaboration

La collaboration et la coopération sont deux termes utilisés de deux façons ; certains auteurs utilisent l'un ou l'autre sans faire la distinction. Mais d'autres auteurs, les emploient de manières différentes. Selon le dictionnaire Larousse 2000 et le dictionnaire des synonymes le terme « coopération » et le terme « collaboration » ont la même définition.

Dans les domaines de recherche intéressés par le travail en groupe, il y a une distinction claire entre collaboration et coopération. Le principe de la collaboration est celui le même de la coopération, elles exigent un partage d'un objectif commun par plusieurs personnes, la différence réside aux niveaux des sous buts.

D'après Henri et Lundgren (Henri and Lundgren-Cayrol, 2001) la coopération se base sur la distribution des tâches et des responsabilités au sein du groupe pour atteindre un but commun. Tandis que dans la collaboration, les apprenants ne divisent pas les tâches, ils travaillent ensemble pour atteindre l'objectif commun.

En coopération pour une tâche donnée, selon (Rabardel et al., 1996), les membres d'un groupe peuvent avoir un but général commun sans que les sous buts soient les mêmes. Donc, des tâches individuelles sont réalisées pour atteindre un but commun. (Rogalski, 1998) considère que le terme collaboration est utilisé dans le cas où les membres d'un groupe partagent les mêmes buts tout au long de la réalisation de la tâche.

D'après ces définitions, nous constatons que la coopération et la collaboration font toutes les deux appels à une structure particulière : le groupe. Faire travailler les membres d'un groupe ensemble et les réunir pour atteindre un objectif global commun.

1.4.2.2 Apprentissage collaboratif vs Apprentissage coopératif

Dans la section précédente nous avons invoqué l'ambiguïté entre les deux termes : coopération et collaboration. Il en est de même pour les concepts « apprentissage collaboratif » et « apprentissage coopératif ».

D'après (Cuseo, 1992), l'apprentissage coopératif est un processus éducatif centré sur l'apprenant au sein des petits groupes de 3 à 5 apprenants, constitués intentionnellement, travaillent d'une manière interdépendante sur une tâche d'apprentissage bien définie. Les apprenants sont responsables de leurs performances et l'enseignant sert de facilitateur ou consultant dans le processus d'apprentissage.

Dans une démarche d'apprentissage collaboratif, (Gokhale, 1995) considère que les apprenants sont responsables de leur apprentissage et celui des autres. Les activités ne sont pas dirigées et les apprenants génèrent une grande partie de leur travail de groupe. Les tâches des apprenants ne sont pas affectées par l'enseignant mais les apprenants négocient ces tâches entre eux (Matthews et al., 1995).

En 2001, (Henri and Lundgren-Cayrol, 2001) ont proposé la définition suivante : « L'apprentissage collaboratif est une démarche active par laquelle l'apprenant est responsable de la construction de ses connaissances. Le formateur est considéré comme facilitateur des apprentissages alors que le groupe participe autant que source d'information, agent de motivation, moyen d'entraide et de soutien mutuel et lieu privilégié d'interaction pour la construction collective des connaissances. La démarche collaborative admet le caractère individuel et réflexif de l'apprentissage de même que son ancrage social en le rattachant aux interactions de groupe »

L'apprentissage collaboratif partage plusieurs points communs avec l'apprentissage coopératif à savoir : Les deux se réfèrent au travail de plusieurs personnes et les membres des groupes ont des buts communs. Quant aux points de différences, dans l'apprentissage coopératif, l'objectif global est décomposé en sous-objectifs, et chaque membre du groupe, se tient d'une tâche différente de l'autre, en fonction de ses compétences. De l'autre part, dans l'apprentissage collaboratif, il y a une décomposition de la tâche globale en sous-tâches, mais, chaque membre du groupe s'occupe de la totalité de ces sous-tâches (Charlier et al., 2002). La figure ci-dessous (Fig 1.1) montre la différence entre l'apprentissage collaboratif et l'apprentissage coopératif.

1.5 Vers l'apprentissage à distance

L'apprentissage à distance est apparu à la fin du XIXe siècle ou l'apprentissage par correspondance existait déjà. Ce mode d'apprentissage se distinguait de l'apprentissage classique par une séparation physique entre l'apprenant et l'enseignant. Ensuite, avec l'apparition de la radio et la télévision, l'apprentissage à distance s'est orienté vers une nouvelle piste. Par conséquent, à la fin des années 60, la Grande Bretagne a utilisé ces nouvelles technologies pour des fins pédagogiques, pour réaliser l'université ouverte qui offre des cours à distance

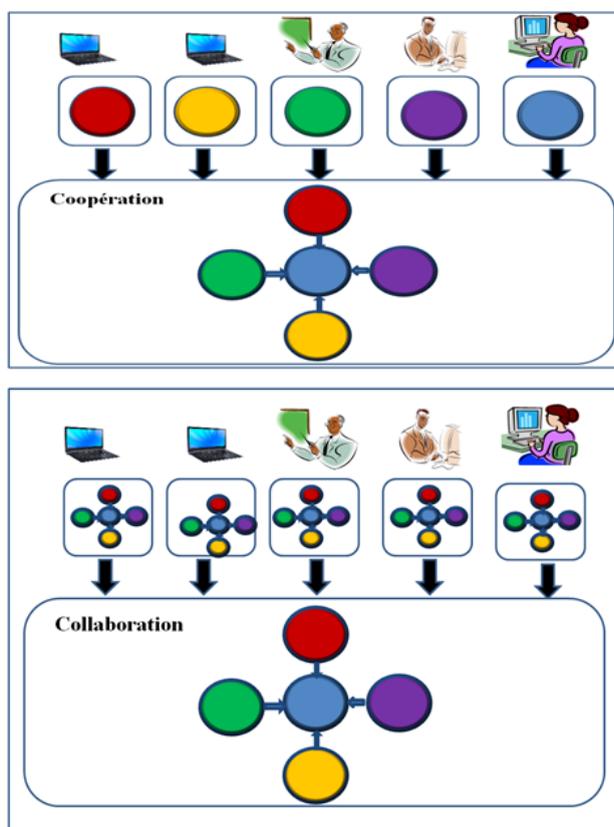


FIGURE 1.1 – Apprentissage collaboratif vs Apprentissage coopératif

dans divers domaines (Charlier et al., 2002).

Après l'innovation de la micro-informatique, l'enseignement Assisté par Ordinateur (EAO) a introduit le domaine éducatif à travers des logiciels assez simples. Ces logiciels même qu'ils offrent aux apprenants des contenus pédagogiques bien structurés, restent moins efficaces ainsi qu'ils ne répondent pas aux aspirations de ces apprenants (Lafifi, 2007).

Le progrès considérable des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) a largement influencé l'apprentissage à distance, notamment avec l'apparition des systèmes distribués. En effet, l'interaction entre les apprenants et les enseignants est devenue possible et peut même s'effectuer en temps réel.

1.5.1 La notion de e-Learning

L'intégration des nouvelles technologies dans le domaine éducatif fait apparaître la notion de e-Learning. C'est un terme anglais qui signifie en français l'apprentissage électronique. Plusieurs appellations sont données à ce concept (formation en ligne, apprentissage en ligne, téléformation, etc.). (Mbala Hikolo, 2003) définit le concept de e-Learning comme suit : le e-Learning est l'intégration des nouvelles technologies de l'information et de la communication appliquées à l'éducation dans la Formation Ouverte à Distance (FOAD).

Le e-Learning permet de favoriser l'autonomie chez l'apprenant, l'apprentissage à dis-

tance, l'interaction pédagogique et sociale entre les apprenants/enseignants et tuteurs. Et cela, en utilisant les outils électroniques (ordinateur, smart phone, tablette, casque, ... etc.) et l'Internet pour partager le contenu pédagogique.

1.6 L'apprentissage des travaux pratiques

La communauté des chercheurs et éducateurs admet le rôle central et distinctif que jouent les travaux pratiques dans l'enseignement des sciences (Hofstein and Lunetta, 2004). Ils favorisent l'acquisition de connaissances scientifiques, et encouragent le développement de diverses compétences et habilités scientifiques, techniques et sociales, ainsi que des compréhensions conceptuelles (Bell et al., 2008). Les travaux pratiques constituent une composante essentielle.

1.6.1 Définitions

1.6.1.1 Les travaux pratiques

Le transfert des compétences à l'apprenant se fait sous formes de : cours théoriques, travaux dirigés et travaux pratiques. Les travaux pratiques sont considérés par l'ensemble de la communauté des chercheurs et enseignants comme une activité pédagogique importante, particulièrement dans l'enseignement des sciences. Ils constituent une forme d'activité d'apprentissage qui se fait dans un laboratoire et qui permet à un groupe d'apprenants d'expérimenter les principes théoriques appris en suivant les consignes de l'enseignant. L'objectif principal du travail pratique est de mettre les connaissances théoriques des apprenants en confrontation avec leur observation et conclusions obtenues à partir des expérimentations.

Les travaux pratiques sont définis par (Bouabid, 2012) comme une activité d'apprentissage et d'enseignement qui engage les apprenants dans la manipulation d'objets et l'analyse de phénomènes issus de leur manipulation.

D'après (Millar et al., 2004), l'objectif des 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.

1.6.1.2 Le laboratoire

Selon le dictionnaire (Larousse, 2022) : un laboratoire est un local disposé pour faire des recherches scientifiques, des analyses biologiques, des travaux photographiques, des essais industriels, etc.

Donc, un laboratoire est un local ; un élément réel, physique et localisé. Dans notre cas, nous nous intéressons plus aux recherches scientifiques, ou au laboratoire d'analyses. Cette définition nous ne convient pas dans notre contexte, nous l'identifions dans le cadre des TPs.

Selon (Hakima, 2018), Un laboratoire est une salle équipée des dispositifs spécialisés et nécessaires pour que les étudiants et les enseignants peuvent travailler sur une expérience.

(Benmohamed, 2007), le définit comme suit : Les laboratoires physiques sont des espaces physiques situés géographiquement qui regroupent des dispositifs technologiques physiques.

Dans les sciences expérimentales, (Venant, 2017) considère qu'un laboratoire est un lieu dans lequel les étudiants développent leur compréhension des concepts scientifiques, des compétences de recherches scientifiques et des perceptions de la science. Le laboratoire de sciences est un environnement d'apprentissage unique. Aussi, il est un cadre dans lequel les étudiants peuvent travailler en petits groupes pour étudier des phénomènes scientifiques.

1.6.1.3 Les ressources

Les ressources sont l'ensemble du matériel et équipements hébergés au sein des laboratoires. (Millar et al., 2004) définit les ressources (artefacts) comme des objets réels et matériels, alors que (Benmohamed, 2007) étend ce concept aux objets virtuels (i.e., dispositifs logiciels) qui reflètent le comportement d'objets réels. (Venant, 2017) désigne par ressource tout objet, réel ou virtuel, manipulé pour la mise en œuvre du TP.

1.6.1.4 l'expérience

La mise en œuvre d'une activité pédagogique de type travaux pratiques s'appuie sur la manipulation des ressources pédagogiques hébergés dans un laboratoire. D'après (Bouabid, 2012), une expérience désigne les conditions et paramètres des ressources qui permettent de réaliser une activité de travaux pratiques. (Venant, 2017) élargissent cette définition aux objectifs pédagogiques, aux tâches à réaliser et aux scénarios mis en place pour atteindre ces objectifs. Selon (Ma and Nickerson, 2006), l'expérience vise plusieurs objectifs pédagogiques, nous distinguons deux types d'objectifs :

- Des objectifs individuels : comme la compréhension conceptuelle, les compétences professionnelles, l'acquisition de concepts théoriques et le développement du raisonnement scientifique.
- Des objectifs de dimension sociale : qui incluent le développement du travail, de l'esprit d'équipe et le développement des compétences sociales.

Les TPs traditionnels sont réalisés en présentiel dans un laboratoire physique où le traitement de la dimension sociale de l'expérience est direct, l'ensemble des acteurs du TP étant réunis au même endroit, au même moment.

Dans notre travail, nous considérons l'interaction sociale et le travail collaboratif pendant de la réalisation de l'expérience comme paramètres importants pour la réussite de cette activité.

1.6.2 Les théories d'apprentissage des TPs

D'après (Lelevé et al., 2003), la théorie socioconstructiviste et ses variantes (apprentissage exploratoire) expliquent et mettent en œuvre le mieux l'apprentissage durant une activité de travaux pratiques. Elle est la plus adéquate spécifiquement dans l'enseignement des disciplines STEM (Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics) qui intègrent parmi leurs activités les TPs, d'une part. Et d'autre part, une activité de travaux pratiques se déroule dans un environnement social (le laboratoire) en établissant des interactions riches entre apprenants, tuteurs et environnement.

L'apprentissage exploratoire est un dérivé de l'apprentissage socioconstructiviste (actif), il hérite la notion du constructivisme et les interactions sociales. L'apprentissage exploratoire propose une forme d'apprentissage où l'apprenant est amené à appliquer la méthode scientifique pour l'apprentissage de la Science (Venant, 2017). Ainsi, les apprenants sont engagés à réaliser leur propre investigation d'un phénomène, et à acquérir de nouvelles connaissances tout en pratiquant l'approche scientifique (Bell et al., 2010). Plusieurs processus sont définis dans cette méthode : la création de questions par les apprenants, l'obtention de preuves pour répondre à la question, l'explication des preuves collectées, la confrontation des explications obtenues, la réflexion a posteriori et la création de savoirs (Bell et al., 2010). Ces différents processus s'enchaînent et se répètent, à la manière d'une boucle d'amélioration continue.

1.6.3 Les activités d'apprentissage des TPs

La conception d'une activité de travaux pratiques dépend de plusieurs paramètres tels que : le domaine enseigné, le niveau des apprenants, le type et le mode d'enseignement, les objectifs pédagogiques généraux et spécifiques. Cette diversité de paramètres donne lieu à plusieurs classes des activités pratiques. D'après la littérature (Bouabid, 2012) nous distinguons trois grands groupes des activités de travaux pratiques :

- Les activités pratiques principales : les investigations, les techniques et procédures en laboratoire, le travail sur le terrain.
- Les activités directement liées aux travaux pratiques : conception et planification des investigations, analyse des données en utilisant les technologies de l'information et de la communication, démonstrations par les enseignants, observation des phénomènes.
- Les activités complémentaires aux travaux pratiques : visites ou excursions scientifiques, enquêtes scientifiques, présentations et jeux de rôles, utilisation des simulations, modélisation, discussions en groupe, activités de rédaction en groupe.

Nous nous intéressons dans ce travail aux techniques, procédures et manipulations dans les laboratoires des sciences expérimentales telle que la physique, chimie, biologie...etc. Cette activité est considérée comme une activité principale dans les TPs. Il existe d'autres activités telles que : la discussion en groupe, les activités de partage des documents, la rédaction du rapport en groupe, l'entraînement des apprenants à utiliser le matériel avant de démarrer une session de TP.

1.6.4 Classification des Tps

Durant une séance de travaux pratiques les apprenants utilisent des ressources pour réaliser leurs expériences. (Bouabid, 2012; Benmohamed, 2007) ont distingué deux types de ressources : des ressources réelles et des ressources virtuelles. Aussi le laboratoire peut être : un espace physique où l'accès aux ressources est local, ou un espace numérique qui regroupent des ressources virtuelles et logiciels de simulation. L'accès ici, se est local ou à distance via internet. Donc, nous distinguons deux critères intéressants pour la classification des travaux pratiques :

- Le type des ressources : réelles ou virtuelles (objets virtuels 3/2D qui reflètent les objets réels).
- Le mode d'accès : l'accès local où les apprenants accèdent localement au laboratoire physique, ou l'accès à distance via un réseau d'informatique.

Selon ces deux critères nous proposons quatre classes de travaux pratiques suivantes :

1.6.4.1 TP classique

c'est Tp présentiel/ TP en classe dont les acteurs (enseignants et étudiants) sont réunies localement dans le même endroit (laboratoire physique) et leur interactions les uns aux autres est directe sans aucun autre moyen de communication à distance.

1.6.4.2 Télé TP

Dans ce type de Tps, les apprenants sont géographiquement à distance, les ressources sont réelles mais situées dans un ou plusieurs locaux physiques. L'accès à ces ressources se fait via un réseau dédié permettant aux apprenants de les utiliser pendant la réalisation de leurs travaux pratiques.

1.6.4.3 TP virtuel à distance

les apprenants dans ce cas, utilisent des ressources virtuelles distantes. L'accès et l'interaction entre apprenants et enseignants à travers des plates formes de type laboratoire virtuel et la communication se fait par le biais du réseau internet.

1.6.4.4 TP hybride

l'accès à des ressources virtuelles en utilisant une application de simulation locale, les apprenants et enseignants sont regroupés dans le même espace et l'interaction entre eux est directe. Dans notre travail, nous nous intéressons aux TPs virtuels à distance sur le web .

1.6.5 L'apprentissage collaboratif des TPs virtuels à distance

1.6.5.1 Les interactions sociales

Les Sciences Humaines et Sociales (SHS) considèrent l'interaction sociale comme un échange d'informations entre deux ou plusieurs individus. Du point de vue de la psychologie, elle est définie comme « relation inter-humaine par laquelle une intervention verbale ou une attitude, une expression significative ou une action provoquent une action en réponse, qui retentit sur l'initiateur (échanges) » (Mucchielli, 1991) .

Les interactions sociales sont donc cruciales à l'apprentissage exploratoire puisque dans ce modèle, les apprenants sont amenés à travailler ensemble à toutes les étapes, notamment dans la coopération.

Parmi les objectifs globaux des laboratoires est de « travailler en équipe », la coordination sociale est importante dans les environnements de travaux pratiques pour permettre aux apprenants de collaborer avec ces collègues ou d'obtenir de l'aide de l'enseignant.

1.6.5.2 L'apprentissage collaboratif des TPs

Nous avons exprimés que le travail en groupe constitue un objectif pédagogique à part entière pour les activités de travaux pratiques. Dans l'enseignement traditionnel, les travaux pratiques en laboratoire constituent l'unique environnement d'apprentissage collaboratif engageant les apprenants dans des activités d'investigation scientifique. Les TPs permettent d'activer des relations sociales collaboratives ainsi que des attitudes positives envers la croissance de la cognition et la science. Des études empiriques ont confirmé que ce mode d'apprentissage permet d'atteindre de meilleures performances, des résultats scolaires supérieurs, une motivation accrue, un développement important de la pensée critique et une plus grande satisfaction des étudiants (Karsenti and Fortin, 2003).

Dans l'enseignement à distance, l'apprentissage collaboratif des TPs est assuré par des plateformes dédiées appelées (Laboratoire à distance, Laboratoire Virtuel), nous détaillons ces termes dans le chapitre suivant. La collaboration, les interactions et les communications à distance sont assurées par deux types d'outils :

- Les outils de communication asynchrones, comme le courrier électronique et les forums de discussions, qui offrent une communication souple et flexible dans le temps et un enregistrement des communications.
- Les outils de communication et de collaboration synchrones comme la messagerie instantanée, l'audio/visioconférence, le tableau blanc ou les applications partagées qui se sont révélés utiles pour maintenir la motivation. Toutefois, bien qu'ils restent indispensables, l'environnement d'apprentissage doit intégrer des indicateurs, des repères, tableaux de bord et autres outils renforçant le sentiment de présence virtuelle et de présence sociale.

Différents sondages affirment que les apprenants préfèrent le travail d'équipe en présentiel, car les interactions sont plus riches et diversifiées (orales, gestuelles, etc.). Mais, des études

montrent que les résultats d'apprentissage obtenus en situation présentielle peuvent être atteints dans le cadre de l'apprentissage collaboratif à distance (Karsenti and Fortin, 2003).

1.6.6 Les EIAHs pour les TPs Virtuel à distance

Un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain est un logiciel spécifiquement conçu dans le but d'amener un apprenant à développer une activité favorable à l'atteinte des objectifs pédagogiques spécifiques considérés (Tchounikine, 2009).

Les environnements pour les travaux pratiques sont une catégorie d'EIAH dit « orientés performance ». D'après les définitions de (Tchounikine, 2009), les EIAHs visent à créer une activité individuelle ou collective conçue pour favoriser l'apprentissage de concepts et/ou l'acquisition des compétences, et pour laquelle les interactions (apprenant-apprenant, apprenant-tuteur, apprenant-système) et les processus d'apprentissage sont considérés comme des facteurs clés.

Nous remarquons l'importance que porte cette définition à la collaboration ainsi les interactions entre apprenants. Dans le contexte des TPs, il existe un lien considérable entre un laboratoire autant que support physique des travaux pratiques (acteurs, sources, interactions,...) d'une part, et d'autre part, l'EIAH autant qu'un environnement informatique favorisant l'apprentissage collaboratif et les interactions entre les acteurs du processus d'apprentissage. La relation entre EIAH et laboratoire peut être perçue de deux manières :

- L' EIAH précède le laboratoire, et possède son propre cycle de vie (Lelevé et al., 2003). Dans ce cas, nous rencontrons des problématiques d'intégration des projets de laboratoires dans ces EIAHs.
- l'EIAH est considéré comme une conséquence de la mise en ligne d'un laboratoire : l'environnement d'apprentissage est créé d'après le laboratoire.

D'après la littérature, le laboratoire est un EIAH qui est dédié aux travaux pratiques (Jara et al., 2009; Venant, 2017) désigne par le terme EIAH, l' environnement, le logiciel utilisé par les utilisateurs pour réaliser l'expérience à partir des ressources offertes par le laboratoire et par VRL(Virtual Remote Laboratory) un laboratoire .

Dans notre travail, Nous considérons un Laboratoire Virtuel 3D sur le web comme étant un EIAH 3D sur le web pour les travaux pratiques à distance. Nous allons concevoir un EIAH 3D sur le web pour les travaux pratiques des sciences expérimentales, nous considérons la collaboration et les interactions des apprenants dans les activités pratiques au sein du laboratoire.

1.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons commencé par un survol sur les différentes theories et modèles d'apprentissage ainsi les types d'apprentissage collaboratif et coopératif.

Les travaux pratiques sont des enseignements indispensables dans l'apprentissage des sciences qui nécessitent un effort important lors de leur préparation et réalisation, aussi bien de la part des apprenants que des enseignants. Pour atteindre l'efficacité pédagogique attendu de ce type d'activités, il faut les intégrer dans un processus de conception pédagogique qui prend en considération les théories d'apprentissage modernes. Les théories socioconstructivistes fournissent les modèles qui expliquent le mieux l'activité d'apprentissage dans le cadre de travaux pratiques, vu le caractère fortement interactif entre l'apprenant et l'environnement technique et social.

Avec l'apparition des nouvelles technologies d'information et communication, les éducateurs ont tenté d'étendre ces domaines vers la distance en prenant en considération les principes de base de la formation à distance. Lors de la conception et l'implémentation d'une plateforme dédiée aux travaux pratiques, plusieurs conditions doivent se réunir pour réussir l'activité des travaux pratiques. Il s'agit essentiellement de l'apprentissage collaboratif qui favorise le travail d'équipe, l'expérimentation qui favorise l'acquisition de compétences pratiques et de connaissances, le tutorat pour guider l'apprentissage et soutenir les apprenants en difficulté, et les moyens d'évaluation pour vérifier l'atteinte de l'efficacité pédagogique.

Dans le chapitre suivant, nous présentons un ensemble exhaustif de ces plateformes avec leurs classifications et caractéristiques.

Chapitre 2

Les laboratoires virtuels

Sommaire

2.1	Introduction	22
2.2	Taxonomies des laboratoires	23
2.3	Les laboratoires virtuels	24
2.3.1	Définitions	24
2.3.2	Intérêts des laboratoires virtuels	25
2.3.3	Limites des laboratoires virtuels	27
2.3.4	Classification des laboratoires virtuels	27
2.4	Les laboratoires virtuels en sciences expérimentales	28
2.4.1	Les laboratoires virtuels de Physique	29
2.4.2	Les laboratoires virtuels de Chimie	32
2.4.3	Les laboratoires virtuels en Biologie	35
2.4.4	Les laboratoires virtuels pluridisciplinaires	38
2.5	Synthèse et discussion	41
2.6	Conclusion	42

2.1 Introduction

Le transfert des compétences à l'apprenant se fait sous formes de : cours théoriques, travaux dirigés ou travaux pratiques. Les travaux pratiques constituent une composante nécessaire de l'apprentissage, pour les spécialités scientifiques et techniques.

L'apparition des MOOCs (Massive Open Online Course) (Boyatt et al., 2014) et le développement des technologies Web, ont permis la mise en place des services d'apprentissage en ligne, et l'apprentissage à distance est devenu une nécessité. Les contenus en ligne peuvent être associés aux cours, au tutorat et aux travaux dirigés. Mais, bien souvent, les manipulations pratiques nécessitent un environnement technique bien particulier, que nous appelons laboratoire électronique. Notre travail se focalise sur les laboratoires virtuels qui sont une

forme de laboratoire électronique permettant de simuler des expériences pouvant être menées dans des laboratoires réels ou même dans des situations imaginaires.

Ce chapitre présente en premier lieu, une étude bibliographique sur les différentes taxonomies des laboratoires. Nous focalisons dans les sections suivantes sur la catégorie des laboratoires virtuels. Nous présentons en suite, les différentes définitions existantes des LVs, leurs intérêts et leurs limites. Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons une classification des LVs selon plusieurs critères afin d'analyser les LVs existants. Nous nous intéressons dans cette partie par les laboratoires en sciences expérimentales. Une liste exhaustive des LVs sera introduite en physique, chimie, biologie et les LVs pluridisciplinaire. Nous concluons par une synthèse qui permet d'identifier les défis à lever pour dégager les problématiques liées aux LVs.

2.2 Taxonomies des laboratoires

Un grand nombre d'initiatives de laboratoires virtuels et / ou distants ont vu le jour au cours de la dernière décennie. Ces laboratoires permettent aux apprenants de faire leurs expériences sur des ressources réelles ou virtuelles. L'objectif de cette section, est de présenter les taxonomies de ces laboratoires citées dans la littérature en vue de situer notre recherche.

La première classification des laboratoires a été proposée par (Benmohamed, 2007), il distingue dans le cadre des TPs trois catégories : les laboratoires physiques qui sont des espaces physiques situés géographiquement et regroupent des dispositifs technologiques physiques. La deuxième catégorie des laboratoires virtuels ; qui sont des espaces (physiques ou eux-mêmes virtuels) rassemblant un ensemble de dispositifs virtuels. Et la troisième catégorie des laboratoires hybrides. Ces derniers regroupent des dispositifs physiques et virtuels. (El Kharki et al., 2018) s'intéressent aux laboratoires en lignes, ils ont distingué deux catégories de laboratoires : les laboratoires à distance (Télé-Labs) et les laboratoires purement virtuels (V-Labs). Les Télé-Labs offrent un accès à distance à des véritables équipements et instruments de laboratoire. Les V-Labs sont basés sur des simulations des systèmes réels ou de phénomènes souvent fournis par des simulations sur le web. (Venant, 2017) ont proposé la notion de VRL (Virtual and Remote Laboratory) ou la traduction littérale « laboratoires virtuels et distants » ; ils considèrent un laboratoire comme un espace où des ressources mises à disposition pour les travaux pratiques. Cet espace et ses ressources peuvent être physiques ou virtuels, et possiblement accessibles à distance. (Potkonjak et al., 2016) ont classé les laboratoires selon le domaine d'apprentissage : Sciences, technologies, Ingénieries. (MOUSSA, 2021; Mellos Carlos et al., 2020) ont classé les laboratoires selon deux critères : la nature des ressources (virtuel ou physique) et la nature d'accès à ces ressources (local ou distant). (Hernández-de Menéndez et al., 2019) ont distingué les trois catégories : conventionnel, à distance et les laboratoires de réalité virtuelle (RV). Ils ont ajouté la technologie de réalité virtuelle dans la classe des laboratoires virtuels, ils ont lié le concept de présence au laboratoire : la présence physique, présence virtuelle et la présence réelle. La présence est

le sentiment d'être présent lors d'une séance de TP, elle permet l'émergence des apprenants au sein des laboratoires.

D'après ces différentes classifications, nous proposons les critères de classification suivants comme le montre la figure 2.1 :

- **Le type d'accès** : le caractère distance est attribué selon le type d'accès au laboratoire, si l'accès est local, il s'agit des laboratoires conventionnels, et si l'accès est distant, se sont des laboratoires à distance.
- **Le type de ressource** : selon le type de ressource, on distingue le caractère virtuel, si les ressources sont virtuelles alors le laboratoire est virtuel sinon, c'est un laboratoire physique. En combinant ces deux critères, résulte la troisième classe qui est les laboratoires hybrides.
- **Le domaine d'apprentissage** : la classification précédente concerne le développement et l'architecture matérielle/logicielle des plateformes dédiées aux travaux pratiques de type laboratoire, mais dans le cadre d'apprentissage, nous nous intéressons aux disciplines enseignées. Les travaux pratiques sont nécessaires dans les domaines des sciences expérimentales (physique, chimie, biologie...) et ingénierie (électronique, robotique, mécanique). Chaque domaine possède ses propres spécialités. Selon ce critère, nous pouvons avoir deux classes de laboratoire : un laboratoire spécifique (spécialisé) ou un laboratoire générique (pluridisciplinaire).

Notre recherche se focalise dans le cadre des laboratoires virtuels d'un côté et dans les sciences expérimentales de l'autre côté (pluridisciplinaire).

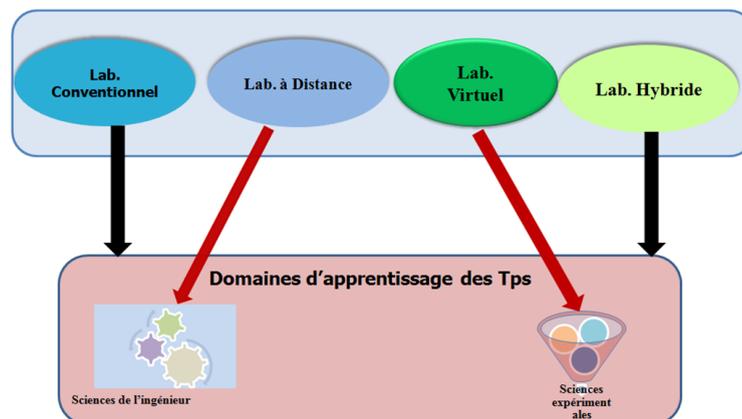


FIGURE 2.1 – Taxonomies des laboratoires

2.3 Les laboratoires virtuels

2.3.1 Définitions

Il s'avère que plusieurs définitions de laboratoires virtuels peuvent être trouvées dans la littérature des sciences de l'éducation, notamment :

Selon (Vary, 2000), un laboratoire virtuel est défini comme : « un espace de travail électronique pour la collaboration à distance et l'expérimentation dans la recherche ou dans d'autres activités créatives, en vue de générer et de diffuser des résultats au moyen de technologies partagées de l'information et de la communication ». Cette définition désigne beaucoup plus les laboratoires de recherche que les laboratoires scientifiques et techniques.

(Alexiou et al., 2005) définissent les laboratoires virtuels comme étant des environnements informatiques qui simulent les expériences qui peuvent avoir lieu dans un laboratoire réel en utilisant la technologie de la réalité virtuelle.

(Tawfik et al., 2014) caractérise les laboratoires virtuels par des simulations de scénarios expérimentaux modulaires conçus pour être mis en œuvre à partir d'un ou plusieurs ordinateurs.

(Tatli and Ayas, 2013) ont défini le LV comme suit : « Virtual Laboratory is a collection of interactive multimedia-based laboratory equipment in the form of software that operates on computer hardware to simulate activities in the laboratory as if the user were practicing in a real laboratory ».

D'après (Flamand and Gervais, 2004), un laboratoire virtuel est défini comme : « Une zone de travail électronique pour la collaboration à distance et l'expérimentation dans la recherche ou d'autre activité créatrice, produire et livrer des résultats employant l'information distribuée et des technologies de communication ».

Selon (Domingues, 2010), les LVs sont « des environnements informatiques qui simulent les expériences qui peuvent avoir lieu dans un laboratoire réel en utilisant la technologie de la réalité virtuelle ».

D'après (Vary, 2000), le LV est défini comme étant « un laboratoire d'expérience sans laboratoire local avec ses murs et ses portes. Il permet aux apprenants d'établir un lien entre l'aspect théorie et la pratique, sans papiers et stylos. Il est programmé électroniquement dans un ordinateur afin de simuler les expériences réelles à l'intérieur des laboratoires réels ».

Selon (?), « les VLs sont des environnements virtuels de télé-TP, qui permettent aux apprenants la réalisation des expériences d'une façon individuelle ou collaborative via les programmes de simulation ».

2.3.2 Intérêts des laboratoires virtuels

L'apprentissage des TPs dans les laboratoires traditionnels offre des avantages pédagogiques considérables, mais sa mise en œuvre pose beaucoup de problèmes. Les laboratoires virtuels permettent de résoudre la plupart de ces contraintes. Nous allons présenter ces avantages selon plusieurs aspects : économique, sécurité, apprentissage ainsi l'avantage important des LVs pendant la pandémie Covid19 :

- **Economie** : Les LVs forment plusieurs personnes à la fois (Aljuhani et al., 2018) ; ils permettent d'utiliser plusieurs ressources virtuelles pour un grand nombre d'apprenants sans se soucier de synchroniser l'accès à ses ressources. La mise à distance des systèmes

de simulations apportent en outre : des solutions peu coûteuses aux établissements académiques et professionnels en réduisant le coût d'acquisition des ressources et de maintenance.

- **Sécurité** : Le principal avantage de l'utilisation des LVs, est de fournir des environnements sûrs et contrôlés, où les utilisateurs peuvent effectuer une tâche sans risque, ni hésitation (Kearney and Treagust, 2001). Les LVs sont très appropriés dans les cas où l'exécution réelle d'un travail est dangereuse pour l'effectuer, par exemple, la simulation d'expériences à base d'acide (Humphreys, 2009; Artun et al., 2020)
- **Disponibilité/pédagogie** : la nécessité de réunir dans le laboratoire physique, l'enseignant et l'étudiant au même moment, impose des contraintes administratives et organisationnelles d'une part, et des contraintes sur l'apprentissage d'autre part. Les LVs sont accessibles depuis des endroits distants permettant ainsi un travail collaboratif. Ils permettent de réduire le temps d'apprentissage dépensé dans le laboratoire traditionnel.
- **Apprentissage** : Les LVs peuvent être utilisés pour la visualisation de problèmes complexes tels que l'étude de la structure d'une molécule, d'un atome ou d'une cellule biologique (McAteer et al., 1996). Les LVs offrent également différents styles d'apprentissage qui rendent l'apprentissage amusant et intéressant (Ullah et al., 2016). Ils fournissent des résultats théoriques et préliminaires d'une expérience, et permettent l'apprentissage par l'erreur, étant donné que les mauvaises configurations ne nuisent pas au système virtuel. Les LVs offrent la sensation d'environnements réels où les utilisateurs peuvent interagir avec des objets en temps réel (Mehta et al., 2019; Dobrzański and Honysz, 2007). Lorsque l'apprenant réalise l'expérience dans un laboratoire traditionnel, les notes qu'il prend en parallèle représentent la seule trace de son activité, limitant donc les possibilités de compréhension en profondeur des concepts étudiés. Les LVs permettent de :
 - Refaire autant de fois les simulations sans aucune restriction, ce qui permet à l'apprenant de garder trace de ces activités.
 - Etudier un phénomène impossible à réaliser dans la réalité.
 - Pouvoir modifier des paramètres qui sont, généralement, impossible à modifier dans un système réel.
 - Observer l'évolution et le comportement de la simulation en fonction des paramètres ajustés pour comprendre le concept étudié.
- **Les LVs et Covid19** : L'apparition de la pandémie de Covid-19 a influé sur tous les aspects de la vie, y compris le secteur de l'éducation. En conséquence, les établissements d'enseignement du monde entier ont été obligés de fermer leurs campus. Le passage d'un enseignement présentiel à un enseignement en ligne a été imposé quel que soit le niveau de préparation et des ressources disponibles. Les LVs sont devenus la

seule ressource d'apprentissage des travaux pratiques pendant le confinement pour les sciences technologiques et sciences expérimentales.

2.3.3 Limites des laboratoires virtuels

Il existe également des inconvénients et des problèmes potentiels liés aux environnements virtuels. Les LVs qui utilisent les technologies de la réalité virtuelle nécessitent des interfaces sensori-motrices spécialisées ; ils sont coûteux à mettre en œuvre dans les établissements d'enseignement (Pyatt and Sims, 2012).

L'utilisation des LVs peut aussi avoir certains inconvénients sur l'activité pédagogique de l'apprenant : Un environnement simulé où les erreurs sont permises, peut entraîner l'apprenant à perdre son sérieux et sa vigilance face aux expériences demandées. Il considère l'expérience comme étant un jeu vidéo (Balamuralithara and Woods, 2009). Dans le contexte d'apprentissage, une expérience virtuelle ne constituera jamais une activité pratique complète car le monde réel est constitué de plusieurs paramètres qui ne peuvent pas être tous modélisés dans une simulation (Shin et al., 2002).

2.3.4 Classification des laboratoires virtuels

Dans cette section nous nous intéressons à la classification des laboratoires virtuels. Plusieurs classifications ont été proposées dans la littérature on se basant sur différents critères. Les auteurs dans (Ali et al., 2022a), ont proposé une classification des LVs selon la discipline (physique , chimie et biologie) et selon la dimension spatiale(2D/3D). Une comparaison est effectuée entre les LVs 2D (deux dimensions) et les LVs 3D. Ils considèrent que la plupart des laboratoires virtuels ont des interfaces graphiques 3D avec un degré différent de réalisme et d'interactivité. Et que l'intégration réelle des laboratoires virtuels, avec un environnement 3D, en ligne, est plus moderne. Dans les travaux (Shin et al., 2002), l'auteur a déduit que la classification des LVs relève de la classification de la simulation (locale/distante, interactive ou non, ...) puisqu'elle constitue le cœur d'un laboratoire virtuel. A partir de ces travaux nous proposons les critères de classification suivants qui seront pris en considération dans l'analyse des travaux existants dans la section suivante. Les différents critères sont résumés dans la figure 2.2 :

- **C1 : la dimension spatiale** : les interfaces graphiques peuvent être en 2D ou 3D.
- **C2 : La généricité** : le laboratoire est spécifique à une discipline ou pluridisciplinaire. Nous nous intéressons dans notre contexte aux laboratoires en sciences expérimentales.
- **C3 : L'interactivité** : il existe des laboratoires interactifs et d'autres observationnels. Le caractère observationnel limite l'intervention de l'apprenant auprès de la simulation. Par contre L'interactivité implique l'intervention des apprenants pendant la réalisation de l'expérience. Il s'agit de trois types d'interaction : interaction homme-interface, homme-homme et homme-interface-homme. Dans ce critère, il s'agit de l'interaction

apprenant-interface c'est-à-dire l'interaction individuelle de l'apprenant dans l'espace de travail.

- **C4 : La collaboration** : signifie l'intervention de plusieurs apprenants pendant la réalisation d'un TP ce qui implique que le LV doit être interactif, et la collaboration est caractérisée par les types d'interaction suivants :
 - *apprenant-apprenant* : il s'agit de la communication entre les apprenants durant la réalisation du TP virtuel qui est obligatoire pour le bon déroulement du TP.
 - *apprenant-interface-apprenant* : les apprenants interagissent ensemble dans la même interface pendant la réalisation du TP, c'est-à-dire qu'ils partagent le même espace de travail, il s'agit d'une interactivité collaborative 3D. Dans le chapitre suivant nous définiront ces concepts on détail.
- **C5 : L'accès via le web** : l'accès se fait via internet ou à travers un accès local.

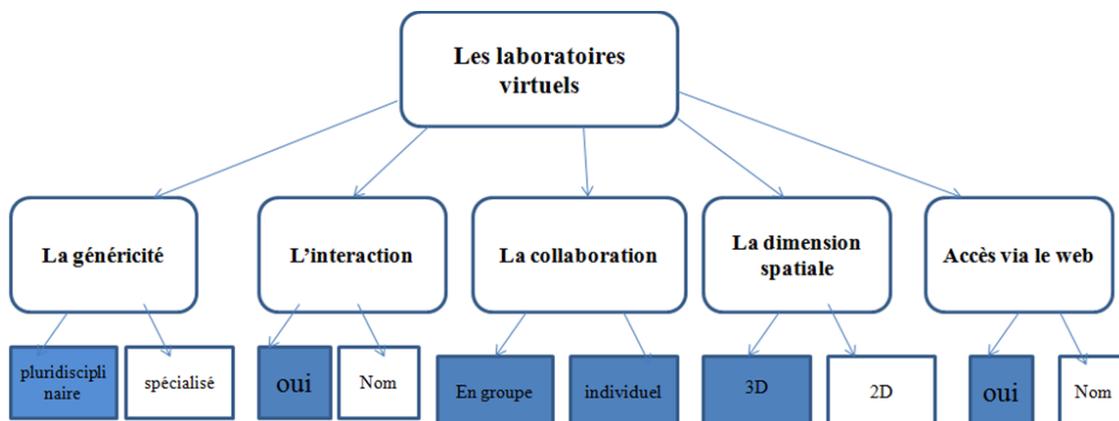


FIGURE 2.2 – Critères de classification des LVs.

2.4 Les laboratoires virtuels en sciences expérimentales

Les travaux pratiques en Sciences Expérimentales sont essentiels dans l'enseignement des filières scientifiques. En effet, ils permettent aux apprenants de mettre en pratique les concepts et lois théoriques et l'acquisition de nouvelles compétences à travers l'expérimentation. Dans les domaines de la chimie, de la biologie et de la physique, des expériences pratiques ont été moins représentés en raison des difficultés et des contraintes à proposer des activités de laboratoire. Dans cette section, nous présentons un ensemble des LVs existants dans l'enseignement des sciences expérimentales, classés par discipline (physique, chimie, biologie et pluridisciplinaire).

2.4.1 Les laboratoires virtuels de Physique

2.4.1.1 Interactive Physics Laboratory (IPL)

Ce laboratoire a été développé par (Šabatka, 2009) pour des expériences de physique de niveau secondaire. L'IPL est utilisé pour de nombreuses expériences de physique telles que : l'électrostatique, l'optique, mouvement sous gravité et champ magnétique des solénoïdes, etc. Plusieurs expérimentations ont été réalisées par les élèves au sein de cet environnement. Les résultats ont été encourageants par rapport aux expérimentations réalisées dans les laboratoires traditionnels.

2.4.1.2 Model based Inquiry Virtual Physics Lab (MBI-VPL)

(Wang et al., 2015) a développé un laboratoire de physique virtuel sous le nom de Model based Inquiry Virtual Physics Lab (MBI-VPL) pour les étudiants de niveau collégial. Le système MBI-VPL est utilisé pour étudier les compétences d'investigation des étudiants à savoir : (1) l'introduction du sujet, (2) l'expérience pratique, (3) l'expérience virtuelle, (4) le travail d'équipe, (5) les applications réelles et (6) les ajustements du modèle.

MBI-VPL fournit trois principaux sujets de physique : la cinématique et la dynamique (la chute libre, la balistique et le simple pendule, etc.), optique (réflexion miroir et formation d'image de lentilles convexes) et l'électricité (les connexions en série et en parallèle et pour mesurer la résistance). Les résultats ont montré que la méthode pédagogique MBI-VPL est plus efficace pour l'amélioration des compétences par rapport à la méthode traditionnelle.

2.4.1.3 HKSOFT Electricity Lab (JEL)

HKSOFT Electricity Lab (JEL) (JHKSOFT, 2023) est développé pour des expériences de physique de niveau secondaire. JEL est utilisé pour la conception des systèmes électriques et des expériences basées sur des circuits électroniques et composants électriques, où les étudiants peuvent concevoir pratiquement leur propre circuit. JEL propose différentes expériences basées sur des circuits en série et en parallèle, pour mesurer : la résistance par la méthode de voltampérométrie, la tension entre les extrémités d'un circuit, la résistance par Wheatstone pont, et de contrôler un circuit par des relais électromagnétiques, etc. (Mirçik and Saka, 2018).

2.4.1.4 VPL

(Arianti et al., 2021) a développé un laboratoire virtuel de physique (VPL) pour que les enseignants de physique puissent explorer le concept de détection de collision. VPL est très utile dans l'enseignement à distance. Les enseignants peuvent facilement explorer à distance le concept de collisions parfaitement élastiques, collisions partiellement élastiques et collisions totalement inélastiques.

2.4.1.5 Dry Cell Microscopic Simulation (DCMS)

La simulation microscopique en cellule sèche (DCMS) est un laboratoire de physique virtuel pour explorer le mécanisme de fonctionnement des cellules sèches dans la production d'énergie. DCMS permet aux étudiants de voir le mouvement des protons et des électrons et comprendre le concept de production d'énergie à partir de piles sèches (Wibowo et al., 2021).

2.4.1.6 GO-LAB

GO-LAB est également un laboratoire virtuel en ligne de physique (GO-LAB, 2023) où les étudiants utilisent des résistances, des ampoules, interrupteurs, condensateurs et bobines pour construire leurs propres circuits électriques. Il facilite également aux étudiants la création des graphes des données collectées pour faire ensuite des analyses de ces données (Kapici et al., 2022).

2.4.1.7 Laboratoire Virtuel en Physique (LVP)

Dans (El Kharki et al., 2020), ont conçu et développé un laboratoire virtuel pour l'enseignement de la physique (Mécanique, Thermodynamique, Electricité et Optique) dans les universités Marocaines. Ce laboratoire est développé pour les universités marocaines avec le partenariat européenne dans le cadre du projet EXPERES (El Kharki et al., 2018). Ce laboratoire comprend 12 travaux pratiques virtuels du programme du module physique (il a été mis en œuvre dans les 12 facultés des sciences du Maroc) pour soutenir les apprenants de la première année Licence dans leur TP de physique. Ce laboratoire peut être accessible via internet. Il s'agit des simulations informatiques programmées en langage JavaScript et intégrées dans un environnement d'apprentissage interactif basé sur la plateforme Moodle. Dans ce LV, l'apprenant consulte d'abord le rappel du cours théorique. Pour une évaluation formative, il répond à des questions à choix multiples (QCM). Ensuite, l'apprenant visionne la vidéo de l'activité du TP, puis affiche le rapport de simulation et le mode de fonctionnement. Après cela, il simule une expérience en fonction de l'expérience protocole. Enfin, il réalise l'activité d'évaluation et la soumet au tuteur concerné (El Kharki et al., 2021).

2.4.1.8 3D virtual physics lab Edison5

Un laboratoire de physique virtuel 3D en ligne Edison5 permet aux étudiants de réaliser des expériences de physique en collaboration. Il fournit une analyse graphique des données sur les expériences, basées sur les circuits électriques et électroniques pour afficher des graphiques concernant le temps, l'énergie et la vitesse. Il facilite également aux étudiants d'améliorer leur compétence théorique à travers de simples didacticiels vidéo (Karagöz and Özdener, 2010).

2.4.1.9 Virtual 3D Physics Laboratory (V3DPL)

En 2013, (Karingula et al., 2013) ont développé le Laboratoire Virtuel 3D de Physique pour des travaux pratiques de physique au niveau scolaire. V3DPL aide les étudiants, grâce à la diffusion automatisée de contenu, d'utiliser la technologie de synthèse vocale pour diffuser son contenu en synchronisation avec les animations 2D et 3D, les expériences interactives 3D et le tuteur virtuel de physique pour l'enseignement, la formation et l'assistance des étudiants. V3DPL est utilisé pour de nombreuses expériences de physique telles que les systèmes : la masse de ressort, chute de gravité, pendules, poulie à deux masses et modes de vibration de la corde, etc. VPL est un outil fiable pour dispenser à la fois des cours magistraux et des travaux pratiques afin de préparer les étudiants à des expériences pratiques de manière efficace. Ce LV contient des expériences virtuelles 3D, qui sont incluses dans le programme de physique telles que la mécanique, l'atome et physique quantique, électricité et magnétisme, et physique moléculaire. Dans chaque expérience les utilisateurs peuvent modifier les paramètres initiaux de l'expérience et l'effectuer plusieurs fois avec un minimum d'efforts (Daineko et al., 2017).

2.4.1.10 Virtual Physics Lab (ViPhyLab)

(Arista and Kuswanto, 2018) ont développé une application Androïde appelée Virtual Physics Lab (ViPhyLab) pour l'amélioration de l'autonomie d'apprentissage chez les étudiants et la compréhension conceptuelle. ViPhyLab possède un système d'évaluation des concepts appris par les étudiants.

2.4.1.11 PhysLab

(Price and Price-Mohr, 2019) est une vidéo de jeu 3D adaptée aux cours de physique de niveau avancé dans les écoles secondaires. Dans PhysLab deux choses qui permettent de faire confiance aux étudiants durant la réalisation des expériences. Premièrement, il exprime les modèles mathématiques sous-jacents de l'expérience de physique. Deuxièmement, les données générées par la simulation doivent être en accord avec les données expérimentales du monde réel pour être validées. Il peut être utilisé par les enseignants lors du développement des concepts et de la théorie pour formater les modèles mentaux pour des activités réelles en physique.

2.4.1.12 The Water Cycle in Nature (WCN)

Dans le cadre du projet européen Horizon 2020 NEWTON (Bogusevski et al., 2020) ont conçu et développé une application éducative immersive 3D de physique pour enseigner le cycle de l'eau dans la nature, et les concepts de formation des précipitations, par le biais de la réalité virtuelle et de simulations expérimentales au sein d'un laboratoire virtuel. L'application a été utilisée et évaluée dans le cadre d'une étude de cas menée dans une école secondaire à Dublin, en Irlande.

Le cycle de l'eau dans la nature est un système interactif qui combine à la fois un laboratoire virtuel et l'utilisation des techniques de réalité virtuelle. Dans ce système, le contenu est intégré dans l'environnement LV-RV. Le système fournit une description des définitions du cycle naturel de l'eau, telles que la vaporisation/évaporation, ébullition et condensation, et des exemples de ces phénomènes se produisant dans la nature. L'utilisateur est également guidé par des instructions audio et textuelles. L'analyse des différents laboratoires de physique est résumée dans le tableau 2.1

Nom LV	Références	Dimension	Interaction	Collaboration	Evaluation	Accès Web
IPL	(Šabatka, 2009)	2D	oui	non	non	non
MBI-VPL	(Wang et al., 2015)	2D	oui	non	–	non
JEL	(Mirçik and Saka, 2018)	2D	oui	non	non	non
VPL	(Arianti et al., 2021)	2D	oui	non	non	oui
DCMS	(Wibowo et al., 2021)	2D	non	non	non	non
GO-LAB	(Kapici et al., 2022)	2D	oui	non	–	oui
LVPPh	(El Kharki et al., 2020) (El Kharki et al., 2018)	2D	oui	non	oui	non
Edison5	(Karagöz and Özdener, 2010)	3D	oui	oui	–	oui
V3DPL	(Karingula et al., 2013) (Daineko et al., 2017)	3D	oui	non	–	oui
ViPhyLab	(Arista and Kuswanto, 2018)	3D	oui	non	oui	non
PhysLab	(Price and Price-Mohr, 2019)	3D	oui	non	non	non
WCN	(Bogusevski et al., 2020)	3D	oui	non	non	oui

TABLE 2.1 – Analyse des laboratoires virtuels de physique.

2.4.2 Les laboratoires virtuels de Chimie

2.4.2.1 The Virtual Analytical System (VAS)

Est un laboratoire 2D, développé en 2000. Il sert à former les apprenants sur l'utilisation du spectromètre durant leurs travaux pratiques. Les apprenants peuvent améliorer leurs compétences pratiques sur le fonctionnement correct du spectromètre pendant leurs TPs (Waller and Foster, 2000).

2.4.2.2 Virtual Unit Operational Laboratory (VUOL)

Un laboratoire virtuel 2D développé pour l'apprentissage du fonctionnement de divers équipements industriels. Les apprenants peuvent apprendre les compétences de contrôle et

d'exploitation de différents équipements industriels tel que : la méthode d'échangeur de chaleur à double tuyau, la méthode d'absorbeur de gaz, et une méthode de tour de refroidissement (Vaidyanath et al., 2007).

2.4.2.3 VLab

Un laboratoire virtuel pour les expériences collaboratives de chimie. VLab permet aux apprenants d'utiliser leurs ordinateurs pour réaliser un TP d'une façon collaborative. Ils sélectionnent en collaboration des produits chimiques et de la verrerie. Ils peuvent également utiliser une simple boîte de discussion pour communiquer entre eux (Tsovaltzi et al., 2010).

2.4.2.4 2D Virtual Chemistry Lab (2D VCL)

(Tüysüz, 2010) a développé un LV pour les expériences de chimie des lycées. Il sert à résoudre le problème du manque de produits chimiques et d'équipements dans les laboratoires physiques. Après une étude expérimentale, l'auteur a découvert que les laboratoires virtuels avaient un rôle positif pour surmonter le problème des manques dans les laboratoires physiques.

2.4.2.5 Le ChemCollective

Est une plateforme sur le web¹, qui contient plusieurs laboratoires virtuels. Les utilisateurs peuvent apprendre à travers diverses sources telles que des didacticiels 2D, des activités d'apprentissage basées sur des scénarios et des tests de concepts (Yaron et al., 2010).

2.4.2.6 Web-based 2D Vector Chemistry Laboratory

Edraw (Edraw, 2023) a développé un Laboratoire 2D sur le web pour la chimie vectorielle. Ce LV permet la représentation symbolique des équations chimiques, les structures et formules moléculaires de divers exemples et modèles. L'interaction dans ce LV est effectuée via des interfaces graphiques 2D (Bazurin, 2020).

2.4.2.7 ChemLab

Dans ce LV, les élèves peuvent simuler le concept des réactions chimiques. Ils peuvent également apprendre le fonctionnement de différents appareils et produits chimiques. ChemLab (Chemed, 2023)² est une interface 2D dans laquelle les utilisateurs ont effectué la sélection des expériences, ses produits chimiques et équipements et la quantité requise de produits chimiques via des menus et des boîtes de dialogue (Hernández-Garces et al., 2021).

1. <https://chemcollective.org/>

2. <https://www.chem-lab.be/en-gb>

2.4.2.8 CSU ChemLab

Est un laboratoire virtuel dans lequel les étudiants peuvent apprendre l'assemblage de divers matériel (appareils et verrerie) nécessaire pour réaliser une expérience. C'est un LV approprié pour apprendre uniquement les procédures des expériences, mais, il ne permet pas de faire la simulation des réactions chimiques, ce qui est une limitation de CSU ChemLab (Dalgarno et al., 2003).

2.4.2.9 Virtual Reality Undergraduate Projects Laboratory (VRUPL)

Le Laboratoire de Projets de Licence en Réalité Virtuelle (VRUPL) est un laboratoire 3D dans lequel les étudiants du premier cycle sont formés pour des expériences physiques. En VRUPL les étudiants peuvent apprendre le fonctionnement des appareils, les articles en verre, et leur assemblage correct dans des expériences particulières. De plus, les étudiants sont également guidés sur les règles de sécurité concernant les expériences de chimie habituelles, à la fois dans des contextes industriels et éducatifs. Ce LV est très utile pour l'apprentissage des règles de sécurité, mais il ne fournit pas la simulation des réactions chimiques (Bell and Fogler, 2004).

2.4.2.10 Cave Automatic Virtual Environment

(Limniou et al., 2008) ont développé un environnement de chimie entièrement immersif pour apprendre la procédure de réaction chimique des molécules. Dans ce système, un matériel coûteux appelé Cave Automatic Virtual Environnement (CAVE) est utilisé pour une immersion totale. Dans ce système, les étudiants peuvent interagir pendant la simulation des réactions chimiques des produits; ils peuvent visualiser le modèle 3D des molécules.

2.4.2.11 3D Virtual laboratories (3D-VLEs)

En 2019, (Wu et al., 2019) ont développé un laboratoire virtuel 3D de chimie pour la simulation de titrage basée sur les expériences. Les auteurs ont rapporté que leur proposition de la réalité virtuelle dans les TPs de chimie permet d'améliorer l'apprentissage des apprenants.

2.4.2.12 Purpose-built Virtual Chemistry Lab

En 2022, (Ali et al., 2022b) ont développé un laboratoire virtuel de chimie (PbVCL) spécialement conçu avec des aides textuelles. PbVCL affiche uniquement les produits chimiques et les articles en verre spécifiques utilisés dans l'expérience en cours. Tandis, que les autres équipements sont cachées, l'objectif est de minimiser la charge cognitive. Les aides textuelles aident les utilisateurs/étudiants de simuler correctement une expérience dans un VCL en respectant la procédure.

le résultat de l'analyse des différents laboratoires en chimie est résumé dans le tableau 2.2

Nom LV	Références	Dimension	Interaction	Collaboration	Evaluation	Accès Web
VAS	(Waller and Foster, 2000)	2D	non	non	non	non
VUOL	(Vaidyanath et al., 2007)	2D	non	non	non	non
VLab	(Tsovaltzi et al., 2010)	2D	oui	oui	–	non
2D VCL	(Tüysüz, 2010)	2D	oui	non	–	non
Le Chem Collective	(Yaron et al., 2010)	2D	oui	non	oui	oui
Web-based 2D Vector ChLab	(Edraw, 2023) (Bazurin, 2020)	2D	oui	non	non	oui
ChemLab	(Hernández-Garces et al., 2021)	2D	oui	non	non	oui
CSU ChemLab	(Dalgarno et al., 2003)	3D	non	non	non	non
VRUPL	(Bell and Fogler, 2004)	3D	oui	non	non	non
Cave	(Limniou et al., 2008)	3D	oui	non	non	non
3D-VLEs	(Wu et al., 2019)	3D	oui	non	non	non
PbVCL	(Ali et al., 2022b)	3D	oui	non	non	non

TABLE 2.2 – Analyse des laboratoires virtuels de Chimie.

2.4.3 Les laboratoires virtuels en Biologie

2.4.3.1 Virtual Biology Experiments (ViBE)

Est un laboratoire virtuel 2D pour les travaux pratiques de biologie. Il aide les étudiants à réaliser diverses expériences en biologie telles que : l'étude des caractéristiques cellulaires, des organismes entiers, la séparation des composants cellulaires, la quantification de la division cellulaire, et la mesure des activités enzymatiques. ViBE permet aussi d'aider les étudiants à améliorer leurs compétences techniques sur certains instruments de laboratoire de biologie tels que : les centrifugeuses et les microscopes (Subramanian and Marsic, 2001).

2.4.3.2 Virtual Laboratory of Biology (VLab-Bio1)

En 2012, (Muhamad et al., 2012) ont développé VLab-Bio qui fournit des aides basées sur des images, audios et vidéos concernant la division cellulaire. Le VLab-Bio1 est utilisé pour les expériences de division cellulaire, y compris la composition chimique de la cellule, la structure de la cellule et du cycle cellulaire, etc. L'évaluation a révélé que VLab-Bio1 est un outil de soutien dans l'enseignement et l'apprentissage de la biologie pour les enseignants et les étudiants.

2.4.3.3 Biology Labs Online

Biology Labs Online (blo, 2023)³ est un laboratoire 2D en ligne pour les étudiants de niveau collégial et universitaire. Il se compose de 12 sujets interactifs basés sur l'investigation. Il est conçu pour apprendre des travaux pratiques standards introductifs à la biologie. Les laboratoires de biologie Online sont utilisés par des centaines de collèges et d'universités, pour préparer les étudiants à d'autres expériences pratiques en biologie (Son, 2016).

2.4.3.4 VLab-Bio

Un laboratoire virtuel en biologie sur Androïde (VLab-Bio). Il est basé sur la biologie, la technologie, l'ingénierie et les mathématiques (BTEM) pour comprendre le concept de bactérie. En utilisant VLab-Bio, les élèves du secondaire peuvent effectuer leurs travaux pratiques de biologie pour observer la fabrication des milieux de culture bactérienne, des bactéries, compter les colonies bactériennes, et la coloration des bactéries gram-positives et gram-négatives (Aripin and Suryaningsih, 2020).

2.4.3.5 Biology Interactif Virtual Labs BIVLs

Les laboratoires Interactif virtuels de Biologie en ligne (BIVLs, 2023) sont développés pour les expériences biologiques de niveau secondaire et collégial⁴. BIVLs proposent des conférences, des vidéos, des animations et un certain nombre d'expériences telles que : l'identification bactérienne, la neurophysiologie, l'immunologie et la cardiologie. Dans cet environnement, les étudiants sont guidés par des conseils textuels. Ils peuvent facilement simuler leurs expériences de biologie selon la procédure décrite. Les BIVLs permettent aux étudiants d'acquérir les compétences nécessaires pour réaliser des expériences pratiques réelles (Romine and Todd, 2017).

2.4.3.6 3D virtual Lab

En 2019, (Miyamoto et al., 2019) ont développé un laboratoire virtuel 3D pour les travaux pratiques de biologie pour le premier cycle. Les élèves peuvent simuler leurs cinq techniques essentielles des TPs en utilisant les instructions textuelles étape par étape. Ces cinq techniques comprennent : la préparation d'une paillasse pour le TP, la pesée du réactif, dissolution du réactif, ajustement des pH-mètres et micropipetage. Ce laboratoire virtuel est très utile pour améliorer la performance et la compréhension des élèves dans la conduite des techniques essentielles des Tps de biologie.

3. <https://www.sciencecourseware.org/BiologyLabsOnline>

4. <https://www.biointeractive.org/virtual-lab-series>

2.4.3.7 3D Virtual Reality Biology Lab

En 2020, (Paxinou et al., 2020) ont développé un laboratoire 3D de réalité virtuelle pour les expériences de microscopie photonique au niveau universitaire. Ils ont mené une étude pour évaluer le laboratoire virtuel avec les pratiques didactiques conventionnelles. Les trois différentes méthodes d'enseignement ont été évaluées, c'est-à-dire un groupe conventionnel formé par une simple démonstration d'une procédure de microscopie, un groupe vidéo formé par une vidéo de l'expérience de microscopie et un groupe de réalité virtuelle formé par la microscopie de réalité virtuelle. L'évaluation a révélé que les simulations en laboratoire virtuel sont des outils très prometteurs pour l'étude et la compréhension conceptuelle dans le domaine de la microscopie.

2.4.3.8 OnLabs

OnLabs est utilisé pour apprendre le fonctionnement de la microscopie dans le laboratoire réel. En 2021, une étude menée par (Sypsas et al., 2021) avec deux catégories différentes : des élèves du secondaire et des étudiants de l'université. Les auteurs ont utilisé leur laboratoire de réalité virtuelle, appelé OnLabs, pour la formation des microscopes photoniques. Après analyse des données des questionnaires, l'étude a révélé que les élèves du secondaire et les étudiants de l'université avaient une attitude similaire envers le laboratoire virtuel basé sur leur procédure d'apprentissage dans le cours de science.

les résultats d'analyse des différents laboratoires de biologie sont résumés dans le tableau 2.3

Nom LV	Références	Dimension	Interaction	Collaboration	Evaluation	Accès Web
ViBE	(Subramanian and Marsic, 2001)	2D	oui	non	non	non
VLab-Bio1	(Muhamad et al., 2012)	2D	non	non	oui	non
Biology Labs Online	(Son, 2016)	2D	oui	non	non	oui
VLab-Bio	(Aripin and Suryaningsih, 2020)	2D	non	non	non	non
BIVLs	(Romine and Todd, 2017)	3D	oui	non	–	oui
3D virtual Lab	(Miyamoto et al., 2019)	3D	oui	non	non	non
3D virtual Real.BioL	(Paxinou et al., 2020)	3D	oui	non	–	non
OnLabs	(Sypsas et al., 2021)	3D	oui	non	–	oui

TABLE 2.3 – Analyse des laboratoires virtuels de Biologie.

2.4.4 Les laboratoires virtuels pluridisciplinaires

2.4.4.1 PhET(Physics Education Technology Project)

PhET est l'un des laboratoires virtuels offerts gratuitement sur Internet. Ce projet a été fondé en 2002 par le lauréat du prix Nobel Carl Wieman à l'Université du Colorado à Boulder (Salame and Makki, 2021).

L'objectif du projet PhET est l'enseignement de la physique, les mathématiques, la chimie, la biologie, les sciences de la terre dans le monde entier, à l'aide de simulations interactives gratuites. Les auteurs de la formation pratique électronique créent une formation pratique, qui est maintenant traduite en 65 langues, non seulement dans le domaine de la physique, mais aussi dans d'autres domaines de la science.



FIGURE 2.3 – PhEt(Physics Education Technology Project).

Plusieurs laboratoires virtuels dans les universités ont intégrés les simulations de PhET tel que le laboratoire de chimie de l'université de Colorado et dans (Correia et al., 2019). PhET est utilisé aussi dans les écoles secondaires pour réaliser des expériences basées sur des circuits électroniques. Les élèves peuvent simuler différentes expériences basées sur des circuits telles que les circuits séries, les circuits parallèles, loi d'Ohm et la loi du Kirchoff. Les élèves peuvent également analyser les équations mathématiques et les résultats graphiques (Zulkifli et al., 2022).

L'ensemble des simulations de PhET sont écrites en Java, Flash ou HTML5(HyperText Markup Language 5), et peuvent être exécutées en ligne ou téléchargées sur ordinateur. Toutes les simulations sont open source. Plusieurs sponsors soutiennent le projet PhET, ce qui permet à ces ressources d'être libres pour tous les étudiants et les enseignants.

2.4.4.2 Labster

Labster est une compagnie qui développe des simulations de laboratoire avancées interactives pour différents domaines d'apprentissage, notamment la chimie, la physique, la médecine

et la biologie, etc. Elle vise à fournir aux enseignants diverses simulations de laboratoire pouvant être utilisées pour les enseigner aux apprenants des sciences expérimentales. Labster a lancé son premier logiciel de laboratoire virtuel en 2013, jusqu'à présent, il a créé environ 300 simulations. Elles couvrent plusieurs domaines par exemple dans la biochimie : (Gardner et al., 2019a) ont développés quatre simulations dans ce domaine. (Stauffer et al., 2018) ont proposé cinq simulations dans le domaine de médecine exactement ; les concepts de base de la génétique. Dans le domaine de biologie cinq simulations ont été développés par (Stauffer et al., 2018).

En 2019 dans (Gardner et al., 2019b) ont développé quatre autres simulations pour l'apprentissage des maladies génétiques de l'être humain.

Ces environnements 3D intègrent des jeux, des questions à choix multiples et du texte pour permettre aux apprenants de bien comprendre les notions et les concepts de base. Aussi ce sont des environnements immersifs qui utilisent la réalité virtuelle pour augmenter le degré d'engagement et d'immersion chez les apprenants. Mais l'accès à ces laboratoires est payant. Ces simulations sont intégrables dans plusieurs LMSs (Learning Management Systems) (blackboard, canvas, Moodle, shakai, etc.)

2.4.4.3 Praxilabs

Praxilabs est une compagnie d'apprentissage à distance qui développe les laboratoires virtuels pour l'apprentissage des sciences expérimentales. Elle est fondée en 2016 en Caire Egypte. Il s'agit des simulations interactives 3D accessibles sur le web dans plusieurs domaines :

- **Chimie** : un ensemble de simulations des expériences en chimie sont offertes aux apprenants dans la chimie générale, analytique et organique.
- **Physique** : les expérimentations Praxilabs disponibles dans le domaine de physique couvrent plusieurs spécialités : la physique nucléaire, la thermodynamique, électricité et autres.
- **Biologie** : afin d'enrichir l'environnement 3D de Paraxilabs plusieurs simulations ont été ajoutées récemment dans le domaine de biologie partant de l'utilisation de microscope pour comprendre la biologie jusqu'à l'extraction de l'ADN (Acide Désoxyribonucléique) et le clonage génétique avec des expériences immersives.

Les simulations Praxilabs sont disponible en deux langage : l'arabe et l'anglais ce qui lui permet d'être intégrable dans les LMSs courants. L'accès à Praxilabs se fait a travers un compte utilisateur gratuit ; il y a un accès partiels à six simulations pour le test. Après l'utilisation de quelques simulations en biologie et en physique on a constaté qu'ils ont utilisé Unity 3D pour le développement de ces simulations. L'interface utilisateur est très conviviale pour faire les expériences (Ibrahim et al., 2022).



FIGURE 2.4 – Praxilabs.

2.4.4.4 Virtual Labs

Le projet Virtual Labs est une initiative du Ministère du Développement des Ressources Humaines (MDRH) du gouvernement Indien. Ce projet est une activité de consortium de douze instituts participants dont le coordinateur est l'institut de Delhi . Il s'agit d'un changement de paradigme dans l'éducation basée sur les TICs. Pour la première fois, une telle initiative a été reprise en expérimentation à distance. Dans le cadre du projet Virtual Labs, plus de 100 laboratoires virtuels composés d'environ 700 expériences Web ont été conçus pour une utilisation et une visualisation à distance. Virtual Labs est destinés à tous les étudiants et membres des facultés des sciences et d'ingénierie qui n'ont pas accès à des bonnes installations de laboratoire et/ou à de bons instruments. Les lycéennes, les chercheurs de différents instituts, et les différentes écoles d'ingénieurs peuvent bénéficier du contenu et des ressources pédagogiques.

Ces laboratoires virtuels ne nécessitent aucune configuration d'infrastructure supplémentaire. Les expériences basées sur des simulations sont accessibles à distance via Internet. Virtual Labs fournissent un système complet de gestion d'apprentissage autour des laboratoires virtuels où les étudiants/enseignants peuvent profiter des divers outils d'apprentissage, y compris des ressources Web supplémentaires, des vidéos conférences, des démonstrations animées et l'auto-évaluation (VLabs, 2023).

Nom LV	Références	disciplines	Dimension	Interaction	Collaboration	Evaluation	Accès Web
PhEt	(Salame and Makki, 2021)	Ch/Ph/Bio	2D/3D	oui	non	non	oui
Praxilabs	(Ibrahim et al., 2022)	Ch/Ph/Bio	3D	oui	non	non	oui
Labster	(Gardner et al., 2019a)	Ch/Ph/Bio/Medc	3D	oui	non	oui	oui
Virtual Labs	(VLabs, 2023)	Ch/Ph/Bio/Inf/ELN	2D/3D	oui	non	oui	oui

TABLE 2.4 – Analyse des laboratoires virtuels pluridisciplinaires.



FIGURE 2.5 – Virtual Labs.

2.5 Synthèse et discussion

Nous avons analysé et comparé les laboratoires virtuels scientifiques et pédagogiques en sciences expérimentales étudiés selon six critères principaux :

- **Le type d'accès** : l'accès au LV se fait via internet, réseaux local ou application bureau.
- **La généricité ou spécificité au domaine** : le LV est spécifique à une discipline spécifique ou c'est un LV pluridisciplinaire.
- **Le type d'espace de travail** : l'interface graphique du LV est de deux dimensions 2D ou trois dimensions 3D,
- **L'interaction** : le degré d'interaction de l'utilisateur au sein de l'interface graphique et les simulations du LV.
- **La collaboration** : la communication entre apprenants, le travail collaboratif lors de la réalisation des expériences, et le type d'interactions ; es que les interactions sont collaboratives ou individuelles ?
- **LL'évaluation** : le LV est doté d'un système d'évaluation de l'apprenant après la réalisation des expériences.

Ces critères sont sélectionnés pour plusieurs raisons : l'accès via le web et la généricité permettent à une large classe d'apprenants d'accéder au laboratoire virtuel (multiplateforme). L'interaction, la collaboration et la 3D permet d'augmenter l'interaction sociale, le degré de présence et l'engagement des apprenants. L'évaluation permette d'offrir à l'apprenant la possibilité de tester et savoir ces nouvelles compétences et connaissances acquises à partir des expériences réalisées. Cela permet d'améliorer la qualité d'apprentissage à distance surtout pendant la pandémie COVID-19.

Afin de fournir un résumé systématique et concis de la comparaison des laboratoires virtuels, nous avons organisé les résultats de comparaison sous forme des tableaux ci-dessus ; nous avons analysé les LVs de chaque spécialité : physique, chimie et biologie par les tableaux

suivants tableau 2.1, tableau 2.2, tableau 2.3 respectivement, et les résultats d'analyse des LVs pluridisciplinaires sont représentés dans le tableau 2.4.

Parmi tous les LVs étudiés, aucun ne respecte la totalité des critères définis. Pour la plupart, il s'agit des simulations simples dont l'objectif est l'apprentissage d'une technique d'utilisation des appareils, l'observation des phénomènes, ou la préparation des apprenants pour la réalisation d'une expérience dans un environnement réel. Dans la plupart des cas, ils sont spécifiques à un contexte éducatif et n'offrent pas de possibilités de généralisation à une plate-forme applicable à une classe plus large de disciplines.

Nous observons que ces laboratoires ne disposent pas des fonctionnalités permettant la collaboration entre apprenants lors de la réalisation des expériences virtuelles et nécessitent l'intégration de ces LVs dans des LMSs. De plus, les systèmes d'évaluation restent marginaux.

Finalement nous constatons que peu de travaux qui s'intéressent à l'interaction collaborative au sein des LVs lors du développement de ces EIAHs. Ils se concentrent sur l'interface 3D et le contenu des Tps. Alors que l'apprentissage des travaux pratiques nécessite un environnement interactif collaboratif pour augmenter le degré d'interaction sociale, et cela permet d'améliorer l'apprentissage et le partage des compétences et connaissances entre les apprenants.

2.6 Conclusion

Ce chapitre est consacré aux laboratoires virtuels, nous avons commencé par la classification des laboratoires à distance en général. Une distinction précise est faite entre un laboratoire à distance un laboratoire virtuel. Puis, nous avons présenté les différentes définitions des laboratoires dites bien laboratoire virtuel. Comme notre travail se focalise sur les laboratoires virtuels des sciences expérimentales, nous avons présentés un état de l'art sur les différents laboratoires existants. Une étude comparative est réalisée selon des critères permettant à déterminer les objectifs et les considérations à apprendre lors de la conception et le développement de notre laboratoire, dont le but est d'améliorer la qualité d'apprentissage des travaux pratiques et d'offrir aux apprenants une plate forme dédiée des outils d'interaction et de collaboration.

Deuxième partie

Partie Contribution

Chapitre 3

LV3D@ES : Un laboratoire Virtuel 3D sur le Web pour les Sciences Expérimentales

Sommaire

3.1	Introduction	45
3.2	Problématiques et motivations	45
3.2.1	La généricité	45
3.2.2	L'interaction	46
3.2.3	La collaboration	46
3.3	Objectifs et contributions	47
3.4	Analyse et spécification	47
3.4.1	Etude de l'existant	47
3.4.2	Analyse du Scénario général du déroulement des TPs dans un LV	48
3.4.3	Concepts et Définitions	49
3.5	Architecture générale du LV3D@SE	50
3.5.1	Le Gestionnaire d'interface graphique 3D	51
3.5.2	Le Système d'interaction collaborative	51
3.5.3	Le Système de Collaboration :	52
3.5.4	Le Système d'Interactions	55
3.5.5	Le Système d'évaluation	58
3.6	Conclusion	58

3.1 Introduction

Parmi les objectifs principaux des LVs, est le travail en équipe qui permet d'améliorer l'engagement des apprenants. Dans ce type d'environnements, nous devons considérer l'interaction collaborative et coopérative distantes lors de la conception et l'implémentation des LVs, pour améliorer la qualité d'apprentissage. Très peu des travaux de recherche actuels envisagent une collaboration à distance entre apprenants au sein des environnements virtuels. Donc, il est nécessaire de concevoir et développer un nouveau laboratoire virtuel qui garantit une collaboration active et continue liée aux situations des apprenants sans perturbé la réalisation de ses travaux pratiques.

Dans ce chapitre, nous décrivons nos contributions à travers la description d'une nouvelle architecture d'un laboratoire virtuel 3D sur le web pour l'apprentissage des travaux pratiques dans le domaine des sciences expérimentales (LV3D@SE) qui répond aux exigences de l'enseignement des TPs à distance : l'interaction sociale, la collaboration, la coopération, l'interaction et l'évaluation.

Nous commençons ce chapitre, par la description de nos problématiques de recherche, nos objectifs, et nos contributions. Par la suite, nous décrivons le scénario du déroulement des travaux pratiques après une analyse de l'existant au niveau des laboratoires traditionnels et des laboratoires virtuels existants. Ensuite, nous présentons notre architecture du LV3D@SE et nous décrivons en détail les systèmes de l'architecture proposée qui sont : le système de collaboration, le système d'interaction et le système d'évaluation.

3.2 Problématiques et motivations

Dans le chapitre précédent, nous avons révélé que les recherches sur les laboratoires virtuels ont bien avancés à travers les solutions proposées. Mais, nous avons constatés que chaque LV se focalise sur un ou plusieurs aspects et néglige d'autres propriétés aussi importantes. Par ailleurs, peu de LVs qui s'intéressent à la collaboration et l'évaluation, et la plupart des LVs sont spécifiques à un domaine précis. Aussi, dans la plupart des LVs, il s'agit des simulations simples pour compléter les cours présentiels. Dans cette section, nous dressons un ensemble des lacunes principales qui constituent les verrous à lever pour concevoir et implémenter un laboratoire virtuel dans le domaine des sciences expérimentales.

3.2.1 La généricité

La plupart des LVs sont spécifiques à un domaine bien précis et parfois, il s'agit d'un ensemble d'expériences bien définies. Une expérience virtuelle nécessite la manipulation d'un ensemble d'objets d'apprentissage virtuels et la réalisation d'un ensemble d'actions pour atteindre l'objectif pédagogique définie par l'enseignant. La problématique ici, est du à la diversité des disciplines, les objets d'apprentissage et les protocoles expérimentales ; nous citons deux problèmes principaux pour l'implémentation d'un tel type de LV :

- Le LV doit posséder une base de données qui contient tous les objets manipulés dans les sciences expérimentales modélisés en 3D.
- Le LV doit permettre à l'apprenant de réaliser toute action (simple ou complexe) décrite dans la feuille de TP.

3.2.2 L'interaction

Dans la plupart des LVs situés précédemment, l'apprenant travail individuellement sur des simulations simples dont les interactions sont prédéfinies. Alors, que dans un Tp traditionnel, l'apprenant fait des essais aléatoires, il peut effectuer des erreurs et la réalisation des fois se fait en collaboration dans un groupe. Donc, un LV doit être dédié d'un système d'interactions génériques. Il permet de faire des interactions simples dans le cas individuel. Dans le cas du travail en groupe, Le système permet : des interactions complexes (coopératives, collaboratives), la communication, la coordination, le partage des documents et cela pour assurer la présence sociale et la conscience mutuelle.

Les aspects de présence sociale (ou psychologique) et de conscience mutuelle renforcent le réalisme des manipulations virtuelles au sein des laboratoires virtuels distants. La présence dépend des propriétés de l'IHM qui doit procurer aux apprenants le sentiment de présence virtuelle dans une communauté distribuée pour tenter de remplacer partiellement le sentiment de présence physique dans un laboratoire réel. La conscience mutuelle, quant à elle, se rattache aux caractéristiques de l'IHM qui permettent à chaque membre d'un groupe de manipuler les mêmes objets d'apprentissage virtuels, tout en percevant en temps réel les actions effectuées par les autres membres sur ces objets.

3.2.3 La collaboration

De nombreux travaux de recherche se sont concentrés sur le problème d'apprentissage collaboratif en ligne pour surmonter l'isolement et améliorer l'apprentissage en ligne à la lumière des nouvelles théories d'apprentissage socioconstructivistes. De plus, les chapitres précédents ont montré l'importance de ces deux aspects dans le cadre des activités de travaux pratiques traditionnels. Cependant, la plupart des LVs existants souffrent d'un manque au niveau des outils dédiés à l'expérimentation collaborative en ligne en temps réel pour les activités des TPs virtuels. Pourtant, lors de la réalisation des TPs, les apprenants ont souvent besoin d'une aide rapide et ponctuelle pour surmonter une situation de blocage sous-peine d'être démotivés rapidement. Les autres LVs sont intégrés dans les plateformes d'enseignement à distance telles que MOODLE pour utiliser les outils de communications afin de réaliser la collaboration.

La problématique ici peut être divisée en deux parties :

- Comment procéder pour implémenter un LV collaboratif pour atteindre les mêmes résultats de la collaboration appliqués aux enseignements traditionnels ?

- Quels sont les outils et IHMs nécessaires à l'expérimentation collaborative en ligne, en temps réel ou en différé, et quelles sont leurs modalités d'utilisation ?

3.3 Objectifs et contributions

L'objectif visé dans cette thèse, est de concevoir et développer un laboratoire virtuel Web 3D d'enseignement des travaux pratiques nommé LV3D@SE dans le domaine des sciences expérimentales telles que la physique, la chimie, la biologie,... etc. Ce laboratoire aide les apprenants à apprendre rapidement et facilement à travers des travaux pratiques, et à collaborer entre eux pour communiquer et partager du savoir au sein d'un espace virtuel commun. Les principales contributions de ce travail se résument comme suit :

- Proposer une architecture d'un laboratoire virtuel pour les sciences expérimentales qui répond aux problématiques discutées précédemment. C'est un laboratoire générique dédié d'un IHM permettant aux apprenants de travailler en collaboration durant la réalisation des expériences virtuelles. Et ce la, pour atteindre les objectifs pédagogiques spécifiés par l'enseignant. Il est doté aussi d'un système d'évaluation destiné aux apprenants pour une autoévaluation des connaissances et compétences requises. Le LV possède aussi un autre système d'évaluation destiné aux enseignants pour vérifier l'atteinte de l'efficacité pédagogique du travail collaboratif dans le laboratoire virtuel.
- Le laboratoire virtuel proposé applique un processus de conception agile permettant aux concepteurs de spécifier, de générer et de tester automatiquement une application pédagogique Web 3D pour l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques.
- Le laboratoire virtuel proposé, combine des techniques visuelles de la manipulation des objets virtuels 3D utilisés dans le domaine pédagogique d'apprentissage, et des techniques de spécification des interactions 3D simples et complexes sur ces objets 3D au sein d'une interface 3D, pour assurer la réalisation collaborative et coopérative distante de travaux pratiques.

3.4 Analyse et spécification

3.4.1 Etude de l'existant

Afin d'atteindre les objectifs visés précédemment, nous avons effectué une étude de l'existant sur 3 volets différents :

- Nous avons effectué une étude de l'existant au niveau des différents laboratoires de notre université (biologie, chimie, physique) ; nous avons faits des interviews avec des enseignants et des ingénieurs de laboratoire et même assistés à des séances de travaux pratiques. L'objectif de cette étude est :

- l’analyse de l’activité des apprenants et des enseignants sur le terrain pour comprendre en quoi consistent les scénarios, quelles sont ses contraintes et quelles sont les décisions que nous devons prendre pour concevoir un laboratoire virtuel qui permettrait la réalisation de ces Tps.
- l’analyse de la structure des laboratoires et le recensement de l’ensemble du matériel existant et les objets utilisés dans ces laboratoires.
- Nous avons collecté et étudié la structure et le contenu des différentes feuilles de Tps. Une feuille de Tp contient le titre, la procédure, manipulation ou le protocole expérimentale . Elle contient les verbes d’action, les produits et le matériel requise pour réaliser l’expérience, et un ensemble de questions. A partir du protocole expérimental, nous pouvons classer les taches selon deux aspects : collaboratif ou coopératif.
- Nous avons aussi, effectué une étude bibliographique sur les laboratoires virtuels de physique, chimie et biologie décrite dans le chapitre précédent. Cette étude est suivie par un accès réel aux différents laboratoires virtuels en ligne tel que : Labter , praxilab, PhET et virtual Labs. Nous sommes inscrits dans ces laboratoires et nous avons essayé les expériences à accès gratuit pour savoir et analyser les fonctionnalités offertes par ces laboratoires.

3.4.2 Analyse du Scénario général du déroulement des TPs dans un LV

Après une étude de l’existant et une analyse du déroulement des travaux pratiques au sein des laboratoires conventionnels et laboratoires virtuels, nous résumons le scénario du déroulement d’un TP au sein d’un laboratoire virtuel par la figure 3.1 :

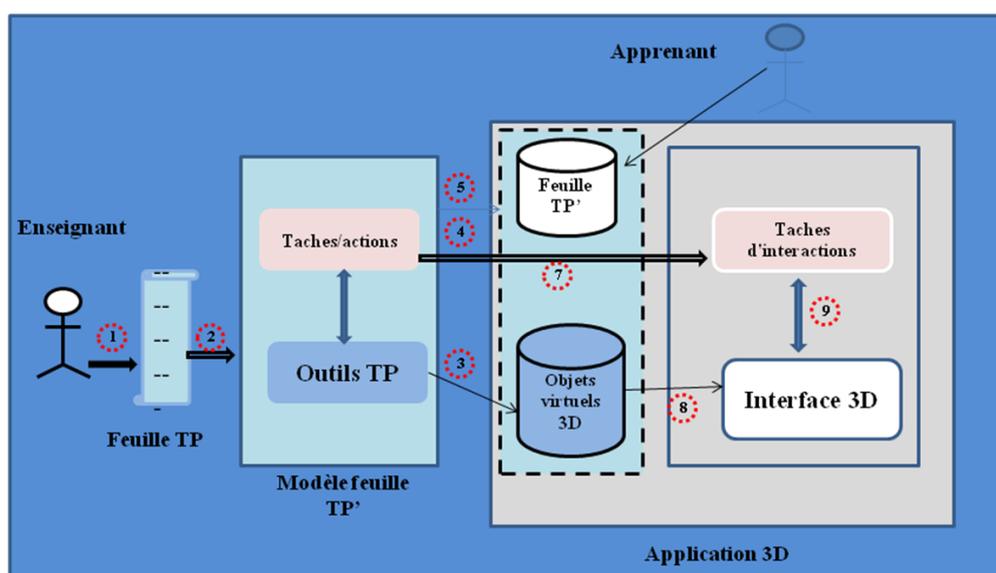


FIGURE 3.1 – Scénario général du déroulement des travaux pratiques dans un LV

L'enseignant prépare(1) la feuille de TP, elle contient (2) le matériel, les produits utilisés, ainsi les actions à faire pour atteindre l'objectif prédéfini. Cette feuille de TP est disponible(4)(5) dans une base de données dans l'application web 3D. Lorsque l'apprenant veut réaliser son TP, il accède à la base de données des TPs, il lit la feuille de Tp, puis il accède à l'environnement 3D(9), qui représente la structure d'un laboratoire réel. Dans l'espace de travail, il commence à préparer les outils de travail qui sont sous formes d'objets virtuels 3D disponibles(3) dans une base d'objets virtuels. En suivant les actions décrites sur la feuille de Tp, l'apprenant commence à faire les interactions nécessaires(7) afin de : réaliser son Tp , rédiger son rapport et répondre au QCM pour être évalué .

Si le travail est réalisé par deux apprenants ou plus, l'application web 3D doit être doté d'un système d'interaction qui prend en charge la collaboration, et un système de collaboration permettant la communication, le partage de documents, la coordination et le partage de l'état globale.

3.4.3 Concepts et Définitions

Afin comprendre les concepts utilisés dans la section suivante, des nouvelles notions sont introduites utiles dans notre LV des sciences expérimentales.

- **Définition 1 (objet virtuel 3D)** : Un objet 3D virtuel est la représentation d'un matériel réel en 3D. Le matériel est manipulé par des apprenants dans le domaine des sciences expérimentales. Chaque objet est défini par un identifiant et un nom unique. On distingue trois types d'objets selon le domaine des sciences expérimentales : des équipements, des produits liquides et produits solides. Chaque objet a un rôle spécifique dans une ou plusieurs expériences réalisées au sein d'une application web 3D de travaux pratiques.
- **Définition 2 (Tâche d'apprentissage simple et complexe)** : La tâche d'apprentissage peut être une tâche d'apprentissage simple ou une tâche d'apprentissage complexe. Une tâche d'apprentissage complexe est la coopération et la collaboration de plusieurs tâches d'interaction. Une tâche d'apprentissage simple est définie par un ensemble d'interactions sur des objets 3D : déplacement, rotation, mise à l'échelle et sélection.
- **Définition 3 (Tâche d'interaction pédagogique coopérative)** : Une tâche d'interaction pédagogique coopérative est un ensemble de tâches d'interaction indépendantes dans lesquelles l'apprenant effectue une tâche indépendamment des autres apprenants afin d'évaluer les efforts individuels déployés et les responsabilités assignées à chaque apprenant.
- **Définition 4 (Tâche d'interaction pédagogique collaborative)** : Une interaction pédagogique collaborative est un ensemble de tâches d'interactions dépendantes dans lesquelles les apprenants travaillent collectivement vers un objectif pédagogique commun.

3.5 Architecture générale du LV3D@SE

Nous proposons dans ce travail de thèse un Laboratoire Virtuel 3D sur le web pour les travaux pratiques en Sciences expérimentales appelé LV3D@ES. C'est un environnement virtuel 3D interactif collaboratif qui englobe toutes les fonctionnalités nécessaires offertes au sein d'un laboratoire réel.

La conception et l'implémentation d'une plateforme dédiée aux travaux pratiques nécessite plusieurs conditions, afin de réussir l'activité des travaux pratiques. Il s'agit essentiellement de l'apprentissage collaboratif qui favorise le travail d'équipe, l'expérimentation qui favorise l'acquisition de compétences pratiques et de connaissances au sein d'un environnement virtuel 3D, pour faire émerger les apprenants et leurs procurer le sentiment de présence, le tutorat pour soutenir les apprenants en cas de blocage, et les moyens d'évaluation pour vérifier l'atteinte de l'efficacité pédagogique.

La figure 3.2 montre notre architecture générale de LV3D@ES. Elle se compose de trois systèmes principaux, une Interface 3D et de deux bases de données :

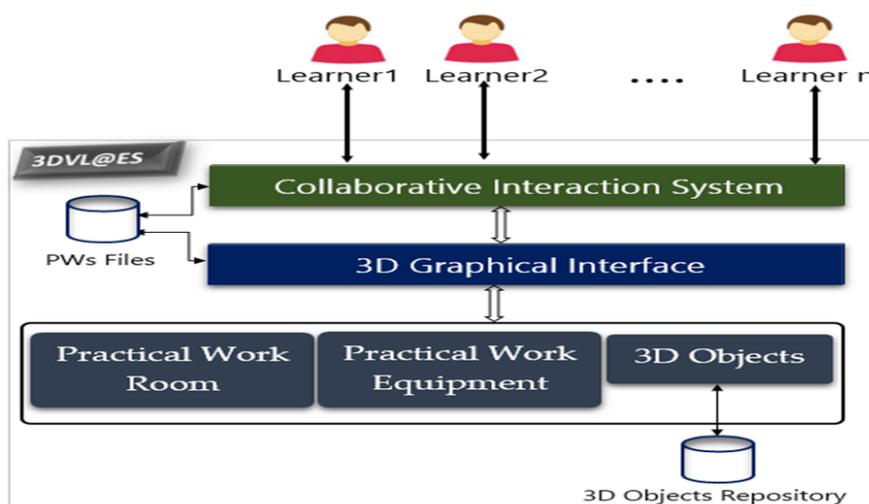


FIGURE 3.2 – Architecture générale du LV3D@SE

- **Le System d'Interaction Collaborative** : représente la partie fonctionnelle du LV3D@ES qui comprend les interactions et les outils de communication de l'apprenant.
- **Le Gestionnaire d'interface graphique 3D** : représente la partie structurale du LV3D@ES, qui gère les tâches de l'apprenant et les objets 3D au sein d'un environnement virtuel 3D sur le web.
- **Le Système d'évaluation** : permettant l'évaluation pédagogique de l'apprenant ainsi le travail collaboratif, il contient deux sous système : système d'évaluation pédagogique et système d'évaluation du travail collaboratif.
- **Une Base de données des objets virtuels 3D et interfaces de laboratoire 3D** : elle contient les objets virtuels qui représentent les ressources pédagogiques pour

les travaux pratiques, ainsi les différentes structures de laboratoires (chimie, physique, biologie)

- **Une base de données des feuilles de TP** : elle contient le contenu pédagogique sous formes : de Feuille de Tp préparé par l'enseignant, corrigés types des TPs et cours, ... Etc.

3.5.1 Le Gestionnaire d'interface graphique 3D

Il représente la partie structurelle du LV3D@SE. Il est constitué d'une Interface 3D représentant la structure d'un laboratoire réel spécifique à chaque discipline, un espace de travail tridimensionnel qui contient tous les outils, les produits et les équipements manipulés pendant les expériences. Ces outils sont représentés par des objets virtuels 3D bien spécifiés et placés dans l'interface 3D.

Après une étude des différents laboratoires (physique, chimie, biologie...), nous avons constaté que l'architecture, le meuble et le matériel diffèrent d'une discipline à une autre. En général, un laboratoire est constitué de 3 parties : La salle de TP, le meuble, le matériel utilisé représenté par des objets 3D et les utilisateurs (apprenants /enseignants). L'accès à ces objets se fait à travers une barre d'outils d'objets 3D. Ces composants sont décrits comme suit :

1. **La salle de TP** : Le TP se déroule au sein d'une salle bien équipée. Dans notre contexte, cette dernière représente l'architecture extérieure du laboratoire. Elle contient des murs, les fenêtres, les portes et le sol, avec une texture et couleurs différents.
2. **Les meubles** : cette partie se compose de l'ensemble des meubles existants dans le laboratoire tels que : bureaux, tables, chaises, armoires, paillasses...etc.
3. **Le matériel du laboratoire** : La troisième partie du laboratoire, c'est le matériel utilisé, représenté sous formes d'un ensemble des objets 3D utilisés durant l'expérience. Chaque objet a une représentation géométrique en 3D et un comportement spécifique dépend de son rôle dans l'expérience, et l'interaction qu'il va subir de la part de l'apprenant.

3.5.2 Le Système d'interaction collaborative

L'objectif principal du laboratoire LV3D@ES est de faciliter les interactions collaboratives et coopératives entre les apprenants lors de la réalisation de leurs travaux pratiques. La figure 3.3 présente le mécanisme d'interaction dans un laboratoire virtuel basé sur un espace virtuel commun.

Le système de l'interaction collaborative est constitué de deux sous système : Un sous système de collaboration et un sous système d'interaction sur une interface 3D. Ils seront décrits dans les sections suivantes.

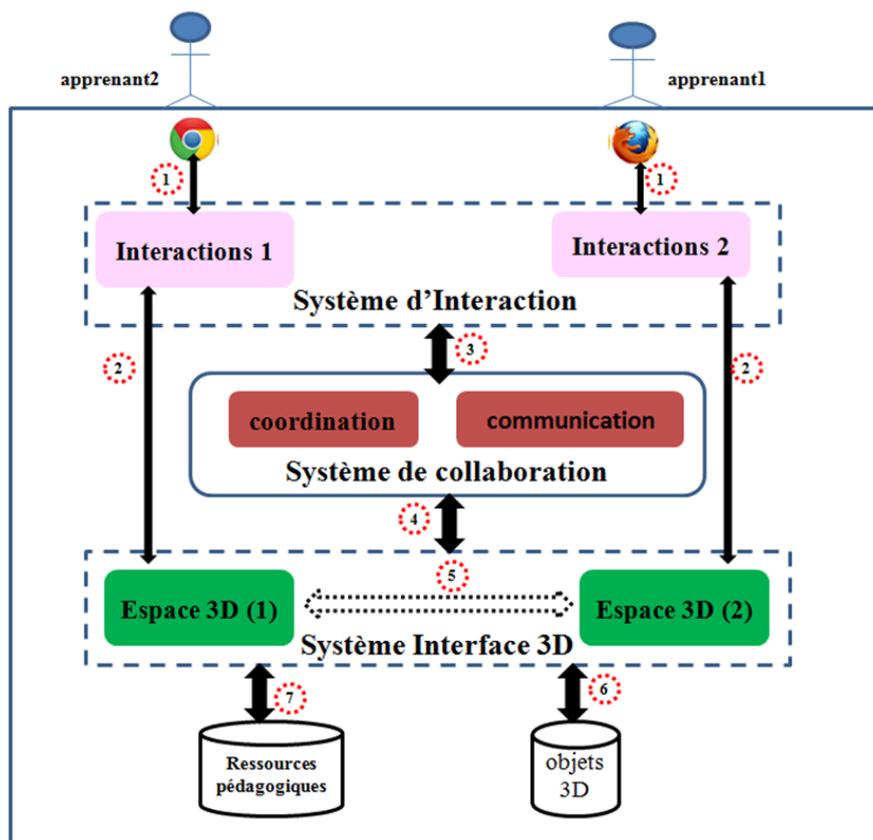


FIGURE 3.3 – Mécanisme de l'interaction collaborative

3.5.2.1 Le Mécanisme de l'interaction collaborative :

Lorsque l'apprenant désire faire son TP en ligne, il accède à l'application pédagogique des Tps avec un navigateur web(1). Après l'authentification et le choix du TP(7), Une interface 3D sera lui affichée, il s'agit initialement d'une salle bien équipée et un espace de travail (par exemple une table). En interagissant avec cette interface (2), l'apprenant commence à choisir les objets virtuels (6) nécessaires pour le TP et les affiche sur l'espace de travail. Après la préparation des outils (mentionné sur la feuille de Tp), il passe à la phase de réalisation du TP par un ensemble d'actions traduites par des interactions offertes par le système d'interaction. Lorsque le TP est réalisé par deux apprenants (5), le système de collaboration se charge de la coordination et le contrôle (3) des accès simultanés, ainsi le partage des mises à jour entre les deux espaces des apprenants(4).

3.5.3 Le Système de Collaboration :

Les TP collaboratifs sont une forme d'apprentissage qui nécessite le travail en groupe où l'apprenant : accomplit des tâches, exprime des idées, partage des outils, communique avec d'autres apprenants. La réalisation des TPs implique que chaque apprenant manipule et interagit avec des objets virtuels sur une interface 3D personnel. Un system de collaboration doit donner l'impression aux apprenants qu'ils partagent le même espace et accèdent aux

mêmes objets.

3.5.3.1 Caractéristiques du système de collaboration du LV3D@SE

Selon les caractéristiques du travail collaboratif notre système de collaboration est caractérisé comme suit :

- **La division du travail** : cela dépend de la nature des tâches du TP. Elle peut être coopérative, collaborative ou coopérative/collaborative.
- **La dimension espace/temps** : les travaux pratiques se font dans un laboratoire virtuel sur le web et la collaboration se fait en temps réel ou en temps différé.
- **Les acteurs** : les Tps se réalisent par un groupe de petite taille, dans notre cas ,nous considérons que le nombre d'apprenants par groupe est définie par deux.

3.5.3.2 Les outils de collaboration du LV3D@SE

Pour concevoir notre système de collaboration, nous avons pris en charge trois outils du travail collaboratif : les outils de communication, les outils de partage d'informations, documents et de ressources, et les outils de coordination.

3.5.3.3 La constitution des groupes au sein du LV3D@SE

Le groupe est considéré comme l'un des enjeux des environnements d'apprentissage collaboratif en ligne. nous ne pouvons pas étudier la collaboration sans s'intéresser au groupe, sa composition et ses caractéristiques. Beaucoup de questions liées à la constitution du groupe : qui composera le groupe ? Le groupe sera-t-il homogène ou hétérogène ? Quels sont les critères de groupement ? Est-ce que c'est l'enseignant qui choisit les membres du groupe ou le regroupement soit automatique ? Ce choix est t-il laissé à la discrétion des apprenants ?

En générale, la désignation des groupes se fait selon deux visions différentes. Dans la première, l'enseignant détermine à la création de l'expérience les modalités pédagogiques de la collaboration/coopération qu'il souhaite appliquer. D'autre part, il est également intéressant de laisser la possibilité aux apprenants d'être à l'initiative de coopérations ou de collaborations.

Dans notre LV3D@SE, nous considérons que la constitution des groupes se fait à la création de l'expérience, c'est l'enseignant qui définit les membres de chaque groupe pour coopérer ou collaborer à la réalisation du Tps.

3.5.3.4 La communication

La communication constitue un support essentiel dans un environnement de collaboration virtuel. Elle doit se rapporter à un processus menant l'apprenant à exprimer et partager ses idées au sein d'un groupe, à établir des liens entre ses idées et celles des autres, afin de faire émerger de nouvelles idées et à structurer ses idées pour construire de nouvelles connaissances

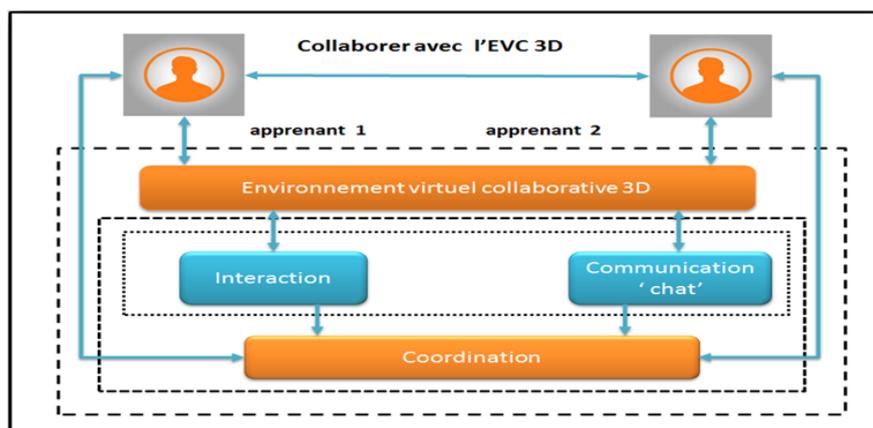


FIGURE 3.4 – Architecture du système de Collaboration

. Dans notre système de collaboration nous proposons un outil de chat en trois formats (texte, vidéo et audio)

- **Chat textuel** : Envoyer et recevoir des messages entre les apprenants.
- **Chat vocal « audio »** : Ce sont des conversations en temps réel menées uniquement par la voix. Il permet à deux ou plusieurs personnes d'utiliser un ordinateur ou un téléphone comme un système de téléconférence.
- **Chat vidéo** : c'est une communication vidéo, qui utilise la caméra pour assurer la communication entre les apprenants. Le chat vidéo peut faire référence aux appels vidéo ou à la messagerie vidéo.

3.5.3.5 Outil de partage d'informations et documents

C'est un outil qui permet l'échange et le partage des connaissances et du savoir et le partage des informations entre les apprenants pendant l'expérimentation, afin d'augmenter le degré d'appartenance au groupe et atteindre l'efficacité estompée du travail collaboratif entre les apprenants.

3.5.3.6 La coordination

Dans une démarche collaborative, la coordination prend en charge, d'une part, la gestion de la tâche : découpage en sous tâches, affectation de responsabilités, orientations vers les ressources, et d'autre part, la gestion de la communication entre les groupes (voir figure 3.5).

La coordination est la production de mécanismes comportementaux nécessaires à l'accomplissement d'une tâche, notamment dans un environnement collaboratif 3D des travaux pratiques. Elle nécessite les fonctionnalités suivantes :

- Mettre à jour l'état général de l'espace de travail partagé.
- Gérer la communication entre les apprenants.
- Contrôle d'accès simultané et garantir l'exclusion mutuelle.

- La synchronisation : le système doit mettre en place une stratégie de gestion des problèmes de synchronisation, dans notre cas, nous utilisons un mécanisme d'exclusion mutuelle pour s'assurer qu'un apprenant opère exclusivement sur un objet à un instant donné et interdit les opérations simultanées sur le même objet.
- Propagation de l'état global aux différents espaces des apprenants inclus dans la collaboration.

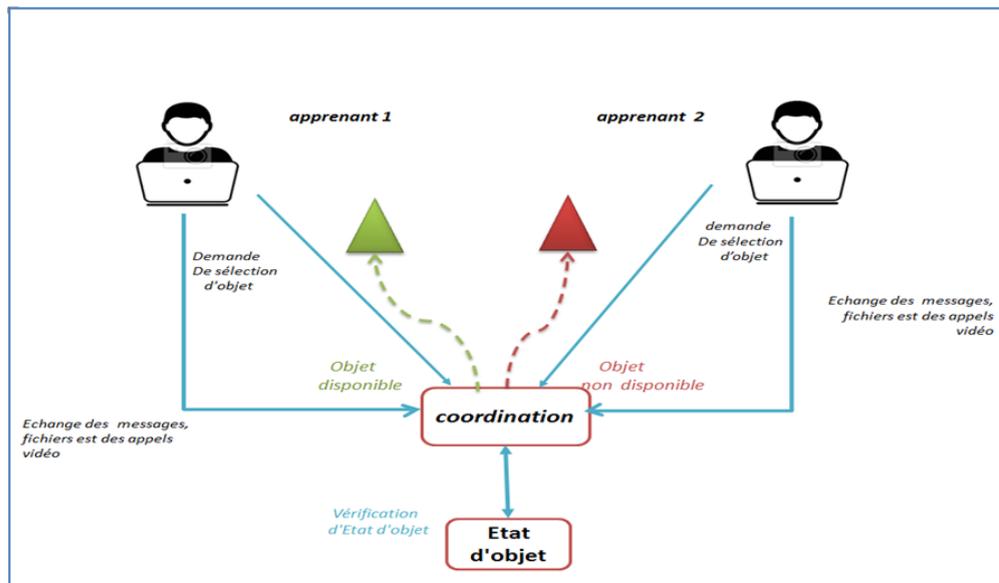


FIGURE 3.5 – Architecture du système de coordination

3.5.4 Le Système d'Interactions

Concevoir un système d'interaction destiné à être utilisé en environnement 3D d'apprentissage des travaux pratiques est un processus complexe mélangeant diverses considérations et paramètres (l'humain, son contexte pédagogique, ses activités, l'espace 3D et sa visualisation, les périphériques, etc.) issus de domaines de recherche, l'Interaction Homme-Machine (IHM), l'environnement 3D et l'apprentissage collaboratif en ligne. Dans notre contexte, Le système d'interaction doit assurer toutes les fonctionnalités nécessaires permettant aux apprenants d'interagir avec le LV et les autres apprenants afin de réaliser ses travaux pratiques.

La figure 3.6 montre le système d'interaction de notre LV. Le système proposé, combine des techniques d'interactions visuelles de manipulation des objets graphique 3D, et des techniques de spécification des interactions 3D simples et complexes sur ces objets 3D au sein d'une interface 3D. Et cela, pour assurer la réalisation collaborative et coopérative distante de travaux pratique.

L'interaction est une composante qui permet aux apprenants d'interagir dans l'environnement virtuel. Une technique d'interaction définit la méthode qui permet de réaliser une tâche dans l'environnement. C'est une sorte de protocole de communication avec le système qui représente les actions / réactions.

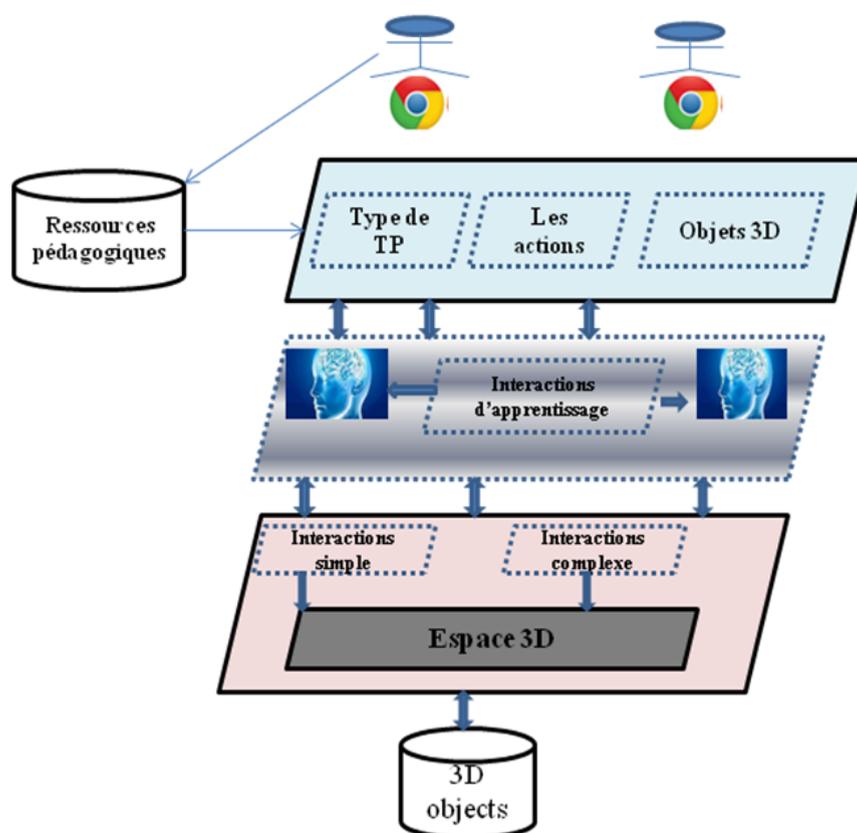


FIGURE 3.6 – Système d’interaction du LV3D@SE

3.5.4.1 Notre vision à l’interaction

Nous définissons une interaction comme une action généralement mise en œuvre par un apprenant/enseignant sur l’interface 3D, qui déclenche une réaction du système qui est perceptible par l’apprenant. Elle représente une action réelle de l’apprenant afin de réaliser son TP.

Dans le monde de l’interaction 3D, nous parlons souvent de tâche d’interaction 3D. Mais que signifie cette tâche dans le cadre de notre étude? La tâche d’interaction 3D représente le but pédagogique que vise l’utilisateur (l’apprenant/enseignant) lors de son interaction avec l’environnement virtuel, ou encore l’objectif qu’il veut réaliser au sein de celui-ci (réaliser une expérience de chimie par exemple). Cette tâche peut être simple ou complexe. Une tâche simple est une tâche d’interaction 3D tel que la navigation, la sélection, la manipulation ou le contrôle d’application alors qu’une tâche complexe est une combinaison de deux ou plusieurs tâches simples qui impliquant la collaboration ou la coopération entre apprenants.

L’apprenant a la possibilité de réaliser trois principales tâches d’interaction dans la vue 3D qui sont :

- La manipulation d’objet 3D (tels que les ustensiles utilisés dans un laboratoire de chimie) en les déplaçant et en les orientant sur les 3 axes,
- La navigation dans la scène 3D (laboratoire virtuel) en déplaçant ou en orientant le

point de vue de la caméra selon les trois axes,

- La sélection d'objet 3D ou encore la sélection d'un item dans un menu contextuel sur un objet situé dans la scène 3D.

Le choix des périphériques doit se faire en faisant des compromis entre toutes les tâches à réaliser. Dans notre étude, pour effectuer ces tâches, l'apprenant utilise actuellement une souris accompagnée d'un clavier.

3.5.4.2 Classification des interactions

Nous distinguons deux types d'interactions pour réaliser un TP :

Interaction simple Pour dire qu'il s'agit d'une interaction simple voici les conditions de travail : l'interaction simple est définie dans le contexte du travail individuel indépendamment des autres apprenants, dans son propre espace de travail. L'apprenant dans ce cas, fait des actions simples dans l'interface ; accéder au bouton, au menu, aux objets, déplacer, manipuler, supprimer, ajouter objet. La figure ci-dessous montre toutes les interactions 3D simples possibles dans un environnement 3D.

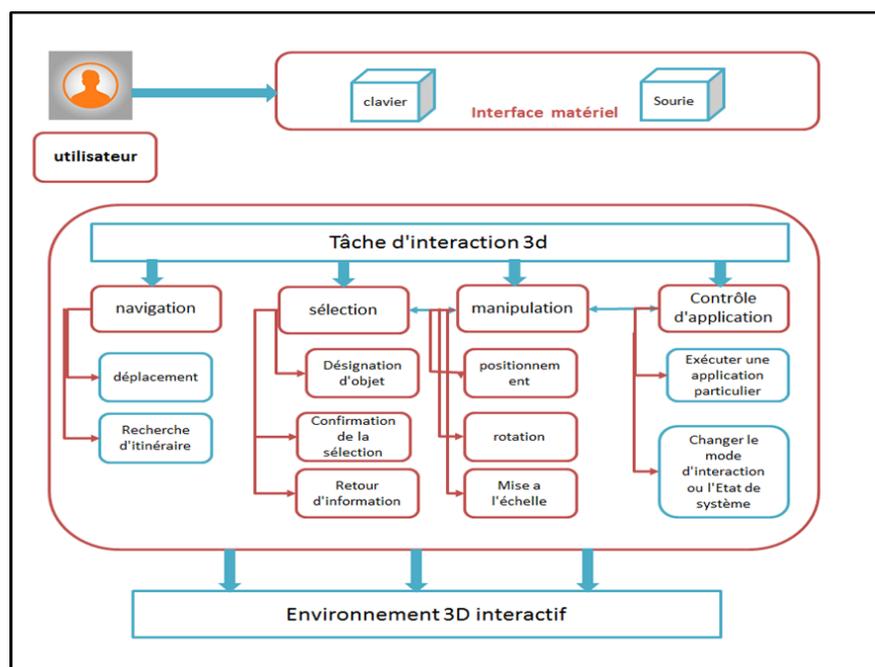


FIGURE 3.7 – Les taches d'interaction 3D

Interactions complexes Les interactions complexes dépendent des taches pédagogiques qui caractérisent le TP. Elles sont de deux formes :

- **Interaction coopérative** : Une interaction coopérative permet de réaliser une tache pédagogique coopérative dont deux apprenants travaillant à distance sur deux espaces différents. Le système doit gérer le partage d'état sur les deux espaces pour garder

le sentiment de présence chez les deux apprenants. Les actions des apprenants nécessitent la coordination du système. Il doit assurer le partage de l'interface. Dans ce cas lorsqu'un apprenant effectue une interaction simple dans son espace, ce changement doit être apparaitre dans l'espace de son collègue. Le résultat de ces interactions généralement sert comme entrée pour des interactions collaboratives

- **Interaction collaborative** : Nous classifions les interactions collaboratives selon deux types :
 - *Interaction pédagogique collaborative du TP* : L'apprenant effectue des interactions simples mais le système doit : partager l'espace, partager des objets en plus il doit contrôler l'accès aux objets et assurer l'exclusion mutuelle.
 - *Interaction sociale* : elle est assurée par : la communication des apprenants entre eux via l'outil de communication, le partage des fichiers ou documents et le partage d'un outil de travail tel qu'un éditeur de texte pour rédiger le rapport du TP.

3.5.5 Le Système d'évaluation

L'évaluation pédagogique est une phase extrêmement importante lors de développement des environnements d'apprentissage collaboratif, pour évaluer les nouvelles connaissances et compétences des apprenants. Dans cette partie nous avons proposé un système d'évaluation montré par la figure 3.8, Ce dernier est constitué de deux types d'évaluation :

- **Evaluation de la collaboration** : le système permet d'évaluer les apprenants lors de la réalisation des travaux pratiques de deux manières ; individuelle et collaborative en répondant à un questionnaire.
- **Evaluation automatique pédagogique** : c'est un système qui permet d'évaluer les nouvelles connaissances acquises après la réalisation du TP en répondant à un QCM(questionnaire à choix multiple), puis nous calculons le score d'une façon automatique.

3.6 Conclusion

Afin de répondre aux problématiques discutées dans ce chapitre, nous avons proposé une architecture d'un laboratoire virtuel appelé LV3D@SE ; un laboratoire virtuel Web 3D pour les sciences expérimentales qui aide les apprenants à apprendre et à réaliser rapidement et facilement des travaux pratiques et à organiser des échanges des documents entre eux au sein d'un espace virtuel commun.

Dans ce chapitre, nous avons proposé une architecture générale composée de trois systèmes principaux : un système de collaboration qui assure l'apprentissage collaborative /coopératif des travaux pratiques, un système d'interaction qui traduit les interactions pédagogiques en un ensemble d'interactions 3D au sein d'un environnement 3D et un système

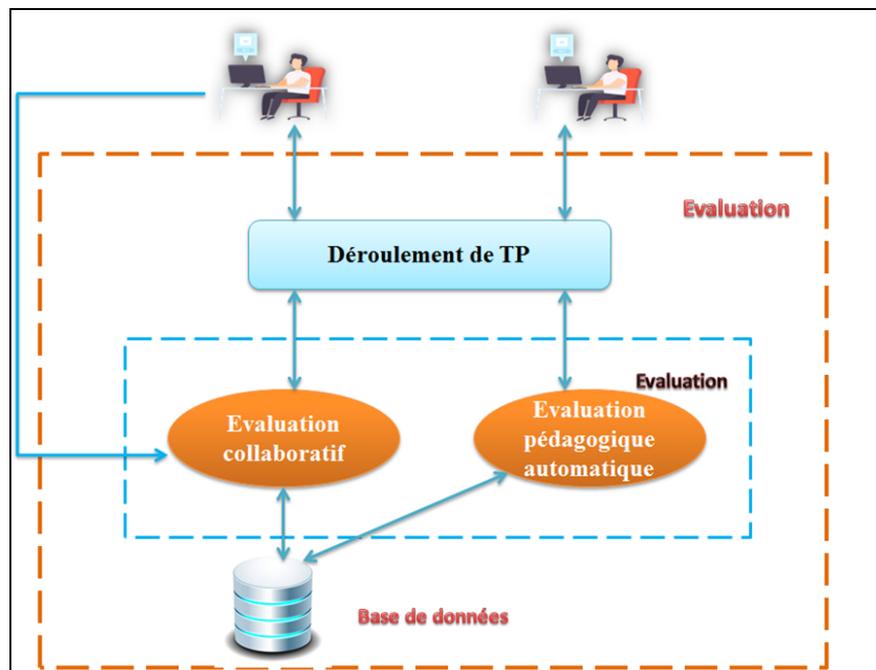


FIGURE 3.8 – Le système d'évaluation de LV3D@SE

d'évaluation. La conception des systèmes de l'architecture proposée fera l'objet du prochain chapitre de cette thèse.

Chapitre 4

Conception du LV3D@SE

Sommaire

4.1	Introduction	61
4.2	Conception des applications Web 3D pour l'apprentissage collaborative des TPs	61
4.3	Cas d'utilisations du LV3D@SE	63
4.4	Les modèles Unifiés	64
4.4.1	Modèle conceptuel d'objet-taches	66
4.4.2	Modèle conceptuel d'Interface 3D	66
4.4.3	Modèle conceptuel d'Interaction	66
4.4.4	Modèle conceptuel d'apprenants	67
4.4.5	Modèle conceptuel d'évaluation	67
4.5	Diagrammes de séquences	67
4.5.1	Scénario sélection/manipulation d'objet	67
4.5.2	Scénario communication	69
4.5.3	Scénario évaluation automatique	69
4.6	Processus de pipeline du LV3D@ES	70
4.6.1	phase1 : Application des données	71
4.6.2	Phase 2 : Application de conception	72
4.6.3	Phase 3 : Application de génération	73
4.6.4	Phase 4 : Application d'évaluation	74
4.7	Conclusion	74

4.1 Introduction

Lors de la conception et l'implémentation d'une plateforme dédiée aux travaux pratiques, plusieurs conditions doit se réunir pour réussir l'activité des travaux pratiques. Il s'agit essentiellement de l'apprentissage collaboratif qui favorise le travail d'équipe et l'apprentissage des pairs, l'expérimentation qui favorise l'acquisition de compétences pratiques et de connaissances, le tutorat pour guider l'apprentissage et soutenir les apprenants en difficulté, et les moyens d'évaluation pour vérifier l'atteinte de l'efficacité pédagogique.

Peu de solutions tirent parti de la collaboration à distance entre apprenants au sein des environnements virtuels. Dans ce contexte, certaines LV n'utilisent que des apprentissages individuels ou des données collectées par l'enseignant. Par conséquent, la meilleure façon d'atteindre pleinement l'objectif des LVs n'est pas seulement de travailler individuellement, mais aussi de garder à l'esprit qu'un LV convient à de nombreux apprenants et groupes de travail qui doivent coopérer ensemble pour réaliser le même objectif global unique.

Dans ce chapitre, nous présentons le processus de conception permettant aux concepteurs de créer ou de générer automatiquement une application pédagogiques Web 3D pour l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques. le modèle unifié de l'application ajoute une couche interaction à la définition visuelle des interactions complexes. Il permet d'assister les apprenants en facilitant la création automatique de nouvelles interfaces 3D dédiés aux travaux pratiques en sciences expérimentales. la dernière section présente un pipeline optimisé pour la construction virtuelle de travaux pratiques. Le pipeline est utilisé pour spécifier des interactions 3D simples et complexes sur des objets 3D au sein d'une interface 3D afin d'assurer une collaboration et une coopération à distance lors de la réalisation de travaux pratiques.

4.2 Conception des applications Web 3D pour l'apprentissage collaborative des TPs

La conception des applications Web3D pour l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques constitue à la fois un modèle de représentation structurée des concepts et un ensemble des phases de conception. D'une part, cette conception génère automatiquement des applications Web 3D d'apprentissage collaboratif des travaux pratiques. D'une autre part, elle assiste les apprenants durant les actions de réalisation virtuelle des travaux pratiques dans le domaine de sciences expérimentales, d'interactions coopératives et collaboratives, ainsi la création et l'échange des documents entre apprenants.

Le processus de conception d'application Web 3D des TPs

Dans cette section, nous proposons un processus de conception agile basé modèle pour la génération des applications Web3D et la visualisation des objets 3D et ses concepts qui

s'adapteraient mieux au domaine d'expérience en tenant compte des préférences de l'enseignant et le niveau intellectuel des apprenants (Figure 4.1). Le processus de conception des applications Web3D se compose de trois phases complémentaires : Tache, Interface 3D et Interaction. A partir des besoins pédagogiques et spécification de la feuille de TP, la phase Tache permet d'identifier les taches effectuées par l'apprennent via l'application web 3D.

Ces taches sont de deux types : taches coopératives (taches qui se font d'une façon individuelle) et taches collaboratives (taches qui se réalisent par deux apprenants ou plus). Puis, la phase d'interface 3D qui spécifie les objets 3D de l'interface de l'application web 3D pour réaliser son travail pratique.

L'ensemble des outils, produit et matériels manipulés durant l'expérience sont représentés par des objets virtuels 3D représentés et positionnés dans un espace tridimensionnel (interface 3D). Cet espace est constitué de plusieurs parties telles que : la salle des travaux pratiques, le meuble, le matériel utilisé et les utilisateurs (apprenants /enseignants), une barre d'outils d'objets 3D, etc. Enfin la phase d'interaction qui définit les interactions simples et complexes de l'utilisateur sur les objets 3D dans l'application. Pour chaque phase de ce processus de conception, l'apprenant peut revenir à la phase précédente.

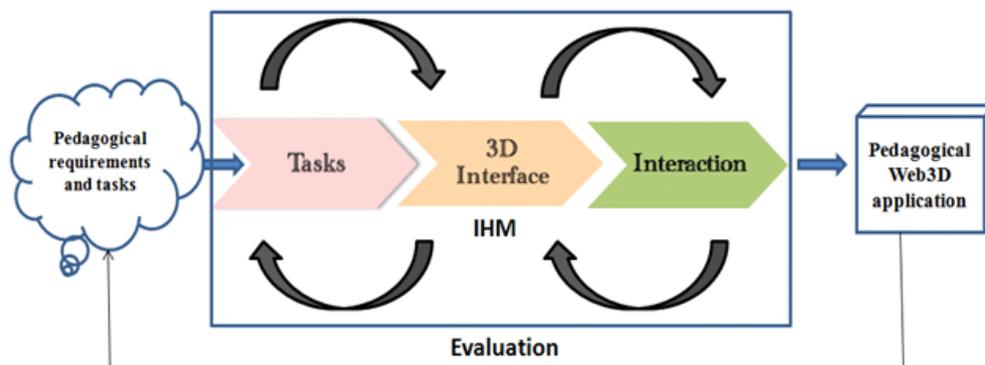


FIGURE 4.1 – Vue globale de notre approche

Après complété les trois phases, l'apprenant génère automatiquement le code de l'application web 3D et évalue rapidement l'application. Si l'apprenant évalue que l'application web 3D générée ne correspond pas à ses besoins et ses taches, il peut revenir à une phase précédente pour reprendre la conception. Le concepteur peut ajouter, modifier et / ou supprimer certaines objets 3D, ou certaines interactions. De plus, il n'est plus possible de concevoir une application web 3D pour l'apprentissage des travaux pratiques sans interactions. Les apprenants vont évaluer d'une manière individuelle ou collaborative l'application web 3D générée.

La figure 4.2 montre le processus de conception des applications pédagogiques Web 3D. Les étapes de ce processus doivent être franchies dans l'ordre : A la première étape (1), les concepteurs vont décrire chaque phase de processus présentée sous forme de fichier qui se traduit (2) par des modèles des tâches, des interfaces et des interactions (3) constituant l'application à générer. Ces spécifications, indépendantes de toute technologie, peuvent servir de point d'entrée à un moteur de génération de code (4). Dans notre cas, ce moteur traduira les spécifications du concepteur sous forme de code HTML, CSS (Cascading Style Sheets), JavaScript (5) permettant au concepteur d'évaluer directement son application (6).

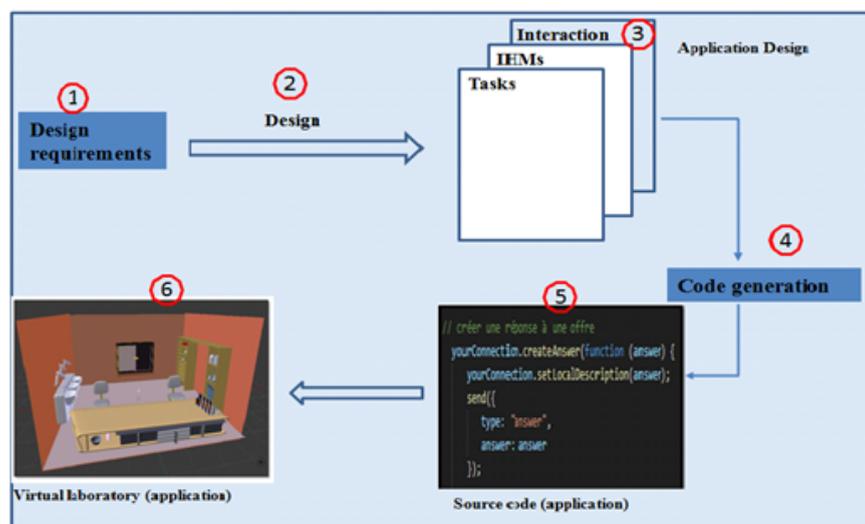


FIGURE 4.2 – Processus de conception d'application Web 3D pour l'apprentissage des TP

4.3 Cas d'utilisations du LV3D@SE

Notre système LV3D@SE est représenté en fonction du rôle de ces utilisateurs par le diagramme de cas d'utilisation montré par la figure 4.3. Dans notre système, nous pouvons identifier trois acteurs principaux comme suit :

- **Visiteur** : Un visiteur peut visiter LV3D@ES et s'inscrire pour accéder aux principales fonctionnalités du LV3D@ES. Il peut ensuite devenir membre.
- **Apprenant** : Un apprenant peut se connecter à LV3D@ES à l'aide de son identifiant et son mot de passe et bénéficie des services suivants : (1) L'accès à l'espace de travail 3D, (2) ajout et suppression d'un objet 3D de l'interface 3D, et (3) application des interactions virtuelles sur les objets sélectionnés telles que la navigation, la sélection, la manipulation et le contrôle des applications. (4) Les apprenants peuvent également collaborer dans le même espace de travail, ce qui nécessite le contrôle, la coordination et le partage de cet espace de travail. (5) répondre aux questions pour une autoévaluation après la réalisation du TP.

- Système :** il permet l'évaluation automatique de l'apprenant ; le système vérifie les réponses, calcule le score et affiche les résultats finaux aux apprenants. Aussi le système vérifie l'authentification. Il gère la coordination entre les apprenants pendant le travail collaboratif ; il se charge de partager les données, l'état global du système et d'assurer la synchronisation dans le cas des accès simultanés à des objets en section critique.

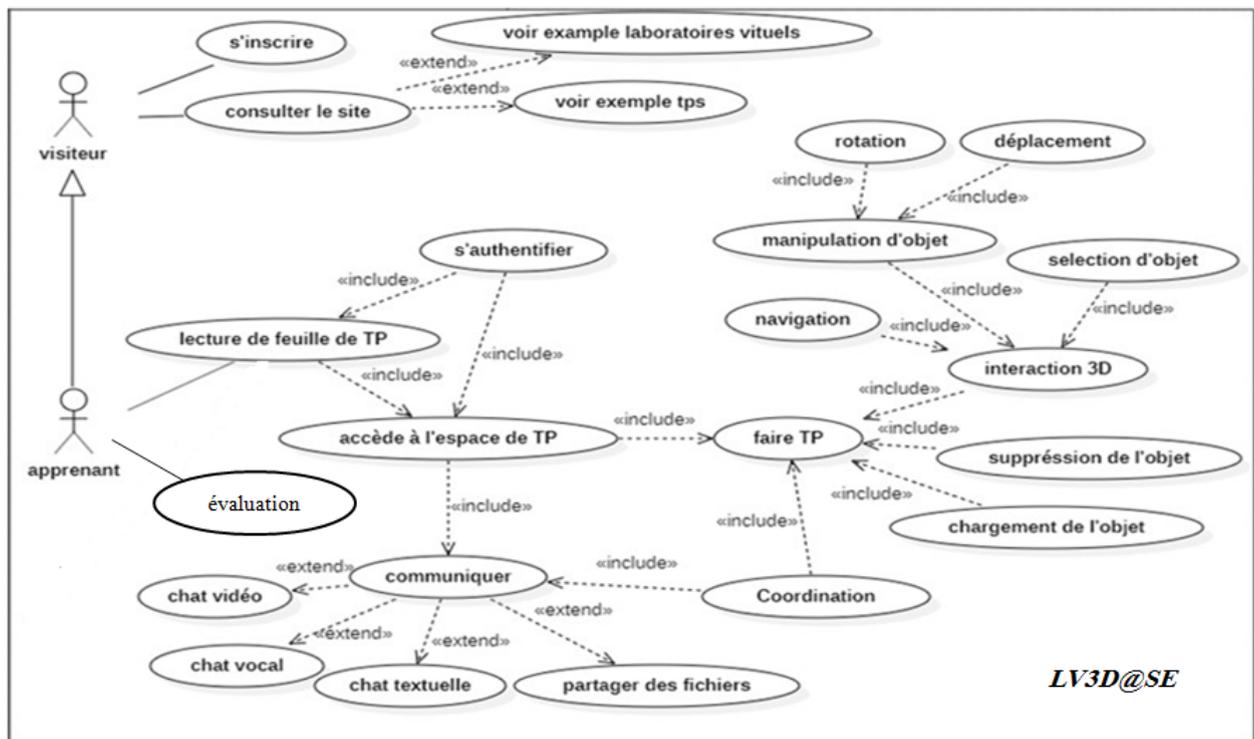


FIGURE 4.3 – Diagramme de Cas d'utilisation du LV3D@SE

4.4 Les modèles Unifiés

Nous nous focalisons tout particulièrement sur un modèle unifié pour la description d'applications Web 3D des travaux pratiques qui regroupe les cinq sous modèles et ses relations aux phases tâches, interface et interaction. Figure 4.4 présente, un aperçu de notre modèle unifié multi-facettes pour la conception des applications pédagogiques Web 3D. Dans un tel modèle, nous identifions des concepts de trois phases du processus de conception et nous organisons les applications pédagogiques web 3D et ses concepts des travaux pratiques dans cinq modèles comme suit :

4.4.1 Modèle conceptuel d'objet-taches

dans notre modèle unifié nous sommes intéressés par des applications 3D des sciences expérimentales basées sur des objets 3D. Chaque objet 3D est caractérisé par un identifiant unique et un nom. Il définit plusieurs objets en fonction de son type et de ses rôles.

Nous distinguons trois types d'objets d'interface issue du domaine des sciences expérimentales : un matériel, un produit liquide ou solide. Ces objets servent de représenter des objets réels qui seront manipulés par les experts dans le domaine des sciences expérimentales.

Exemples d'objets :

- L'objet de type matériel : bêcher, florence, tube a essaie. Il peut être utilisé pour plusieurs travaux pratiques et disponibles dans tous types de laboratoires de sciences expérimentales.
- L'objet de type produit liquide : l'eau distillée, solution de sulfate de cuivre, solution de sulfate de Zinc.
- L'objet de type produit en acier : lame de zinc, lame de cuivre.

Exemples de tâche : l'apprenant verse 20 ml de solution de sulfate de zinc dans l'éprouvette. Dans cet exemple, nous utilisons deux objets : un de type produit liquide (sulfate de zinc) et l'autre de type matériel (éprouvette) pour réaliser la tâche, verser qui constitue une étape du TP.

4.4.2 Modèle conceptuel d'Interface 3D

l'interface est un concept important qui définit la disposition des objets dédiés à l'affichage et la réalisation des expériences sur différents domaines tels que le domaine de physique, le domaine de chimie, etc. Une interface 3D peut contenir un ou plusieurs objets dont chacun a des rôles spécifiques dans un ou plus de TP réalisé au sein d'une application Web 3D.

Exemple d'interface 3D : L'interface 3D (spécifique à chaque laboratoire) est une salle équipée de bureaux, chaises, armoires et espace de travail. L'apprenant sélectionne les objets nécessaires du TP pour les visualiser sur l'interface 3D (espace de travail ou workspace).

4.4.3 Modèle conceptuel d'Interaction

décrit les interactions homme-machine concernent des interactions de manipulation des objets : déplacement, rotation et mise à l'échelle et sélection.

Exemple d'interaction : Comme nous l'avons déjà mentionné dans l'exemple du modèle objet-tache, la tâche verser se réalise par l'ensemble d'interactions (ou briques d'interactions) suivant : sélection de l'objet → déplacer en haut → effectuer une rotation.

4.4.4 Modèle conceptuel d'apprenants

décrit le profil apprenant et ses différentes informations (nom et prénom de l'apprenant, email, mot de passe, localisation, etc...) ainsi que les différentes collaborations entre les différents apprenants. La collaboration favorise le partage et l'échange des expériences et des documents relatifs aux travaux pratiques du domaine spécifique. Néanmoins, dans le cas de groupe des apprenants distribués, le partage d'informations et documents dans des plateformes hétérogènes est complexe. Donc, nous faisons appel à des communautés éphémères ou temporaires dont l'intérêt est de collaborer pour réaliser le TP.

4.4.5 Modèle conceptuel d'évaluation

décrit le modèle d'évaluation utilisé, il y a deux types d'évaluation ; évaluation dans le cas du travail individuel pour chaque apprenant et évaluation de l'apprenant au sein du groupe. L'évaluation se fait sous forme de questions et chaque question à une réponse. L'apprenant peut avoir le résultat final après le calcul du score.

4.5 Diagrammes de séquences

LV3D@SE fournit un support visuel permettant de réaliser des interactions coopératives et collaboratives. Plusieurs possibilités d'interactions complexes sont offertes aux apprenants pour accéder à l'espace virtuel commun. Nous présentons un ensemble de scénario représentant les fonctions du système lors de la réalisation des interactions complexes, ainsi le scénario décrivant la fonction d'évaluation des apprenants.

4.5.1 Scénario sélection/manipulation d'objet

La Figure 4.5 montre un diagramme de séquence d'un type d'interaction complexe de LV3D@SE qui est le scénario de la sélection et la manipulation des objets 3D par deux apprenants.

Quand L'apprenant 1 demande un objet, le coordinateur doit vérifier l'état de cet objet. S'il trouve que l'objet est sélectionné, il n'aura pas le droit pour le sélectionner car il est déjà pris par L'apprenant 2. Sinon L'apprenant 1 est autorisé à sélectionner cet objet et commencer les actions de manipulation (déplacement ou rotation).

Après sélection de l'objet par l'apprenant 1 ou l'apprenant 2 , il peut effectuer les interactions suivantes : déplacement, rotation et mise à l'échelle. Dans ce cas, le coordinateur doit partager les modifications effectuées dans l'interface des apprenants pour avoir la même interface chez les deux apprenants.

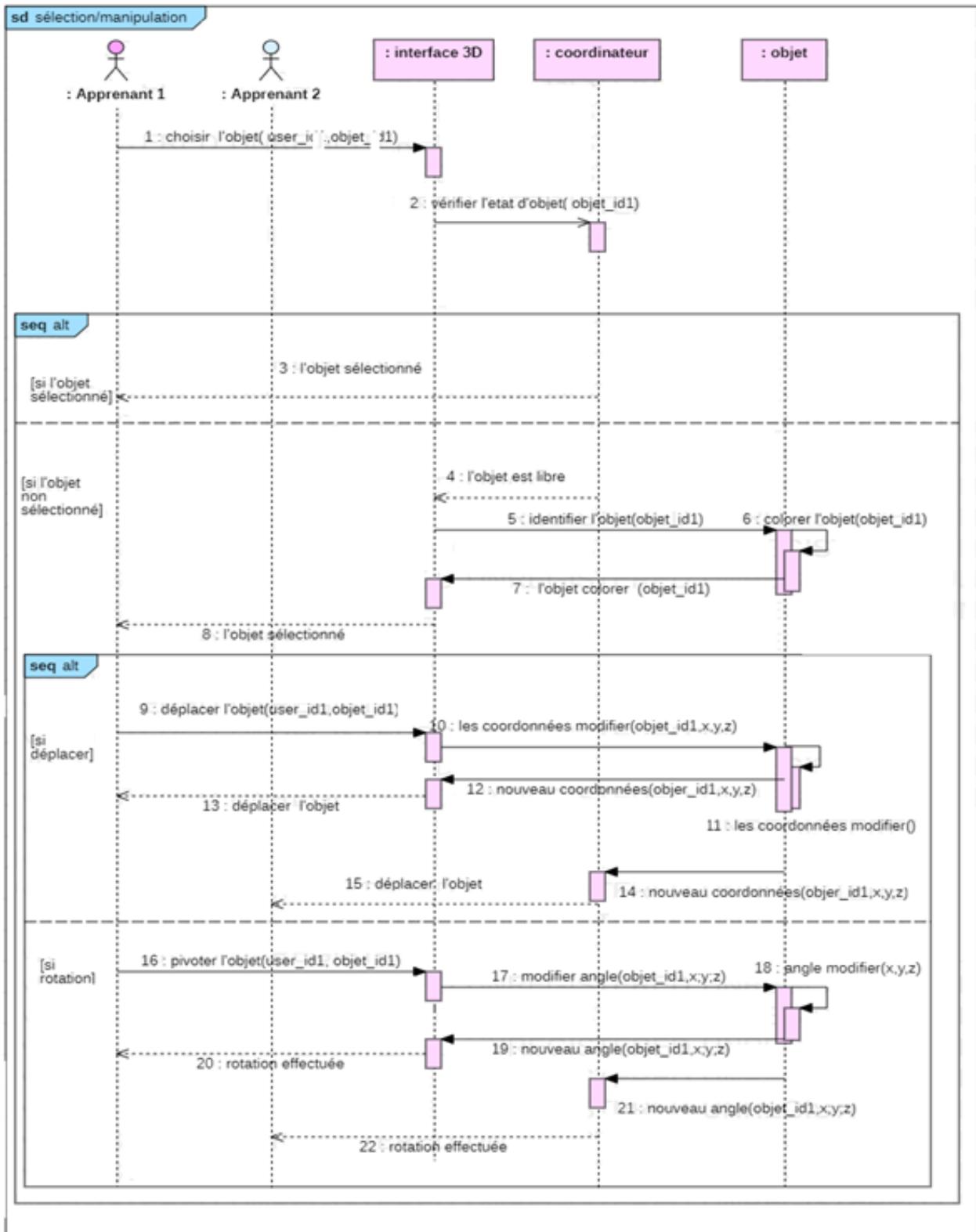


FIGURE 4.5 – Diagramme de séquence : sélection/manipulation

4.5.2 Scénario communication

Lors de la réalisation de l'expérience, les apprenants communiquent entre eux en utilisant la messagerie textuelle ou la vidéo conférence, et même partager des fichiers ou documents pour échanger les connaissances et partager le savoir. Le diagramme de séquence de ce scénario est montré par la figure 4.6.

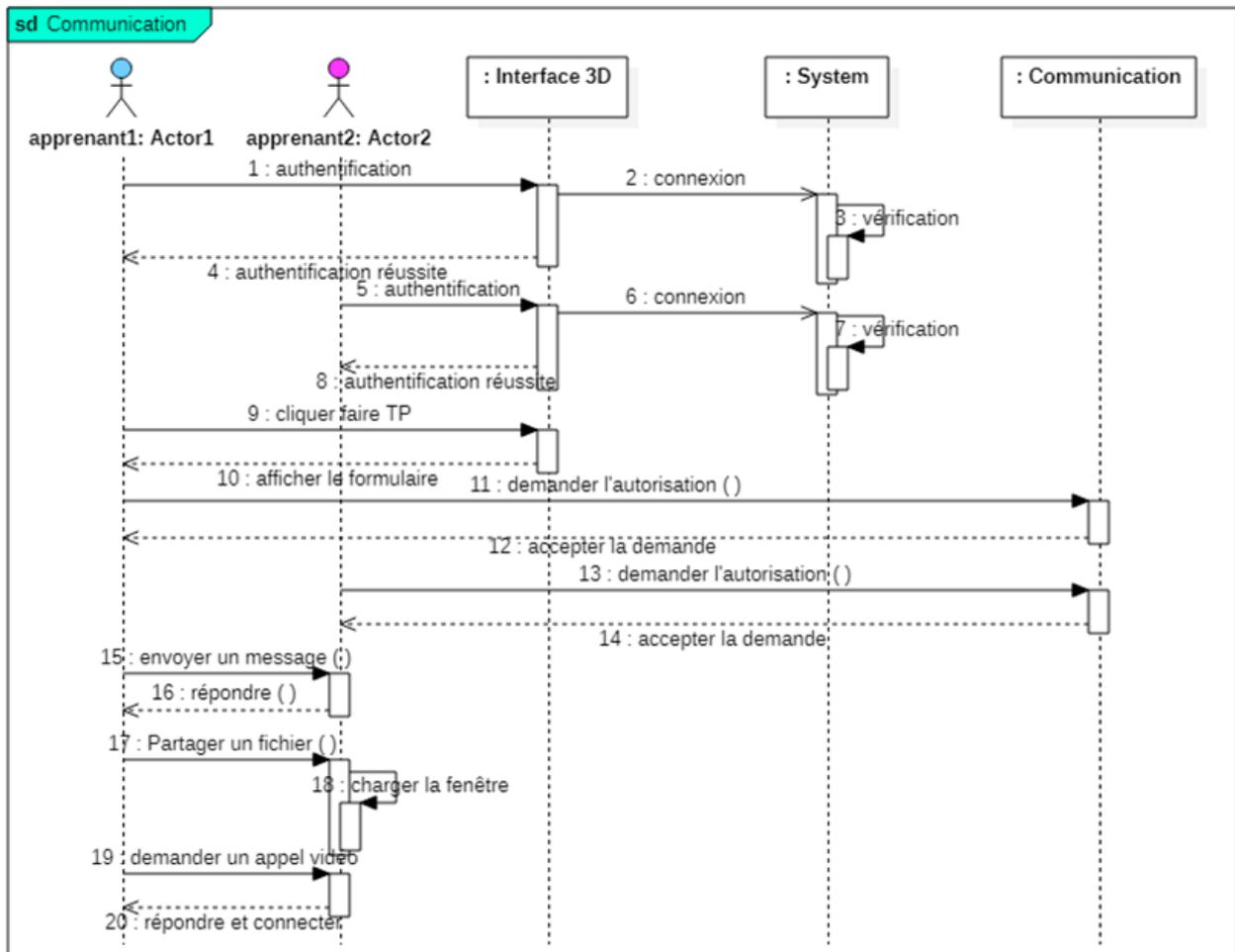


FIGURE 4.6 – Diagramme de séquence : communication

4.5.3 Scénario évaluation automatique

La figure 4.7 montre le scénario d'autoévaluation effectué après la séance de TP. L'apprenant clique sur le bouton évaluation, un Qcm sera affiché, lui permettant de répondre à un ensemble de questions sur le TP réalisé. Lorsqu'il termine, il clique sur le bouton résultat pour que le système lui calcule le score et affiche le résultat du test d'évaluation. Il peut aussi voir le corrigé type après effectué le test.

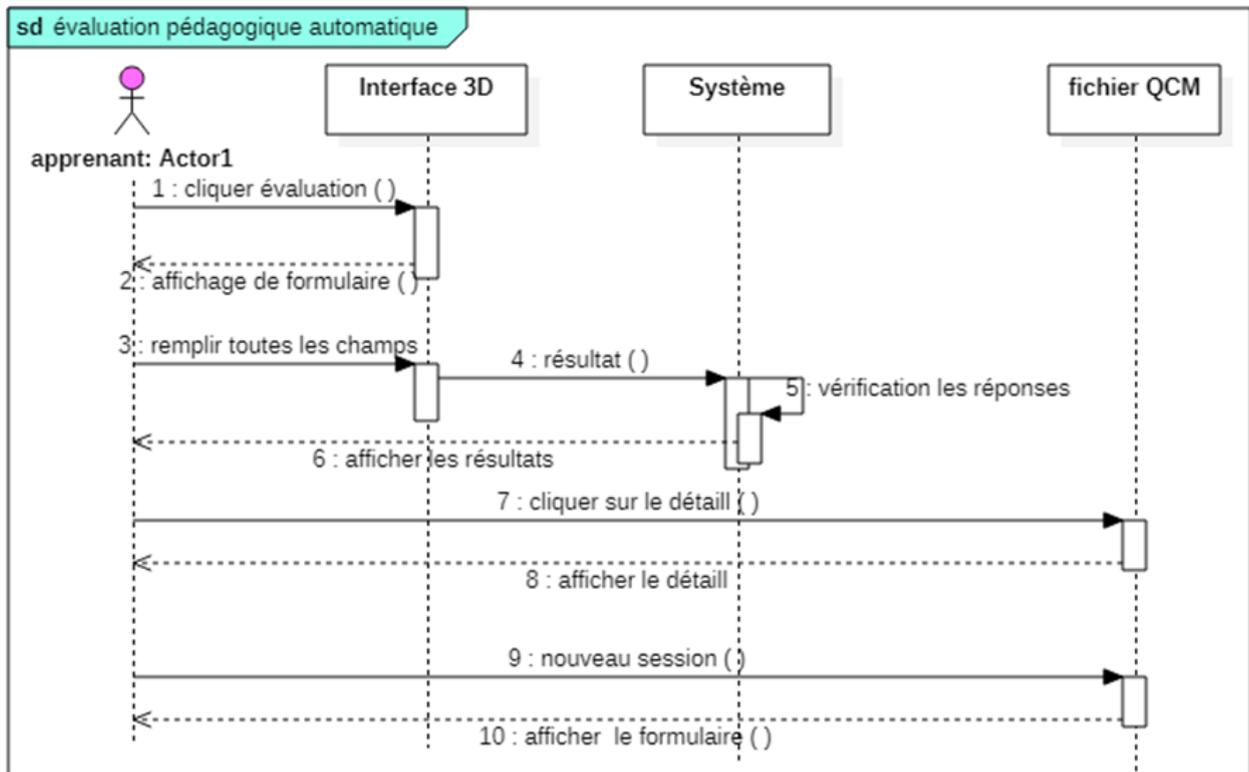


FIGURE 4.7 – Diagramme de séquence : évaluation pédagogique automatique

4.6 Processus de pipeline du LV3D@ES

Cette section présente un processus de conception de pipeline pour générer des applications Web 3D. Il permet la visualisation d'objets et de concepts 3D qui correspondent le mieux au domaine de l'expérience et au niveau intellectuel des apprenants. Le LV3D@ES prend en entrée les exigences pédagogiques et les tâches sous forme de fichier texte afin de générer l'application web 3D pédagogique. Ce type d'approche est appelé processus d'apprentissage incrémental où les tâches pédagogiques d'interactions simples sont d'abord générées, puis raffinées progressivement pour produire des interactions pédagogiques coopératives et collaboratives. La figure 4.8 montre un aperçu de l'approche proposée qui se compose de quatre phases successives décrites ci-dessous :

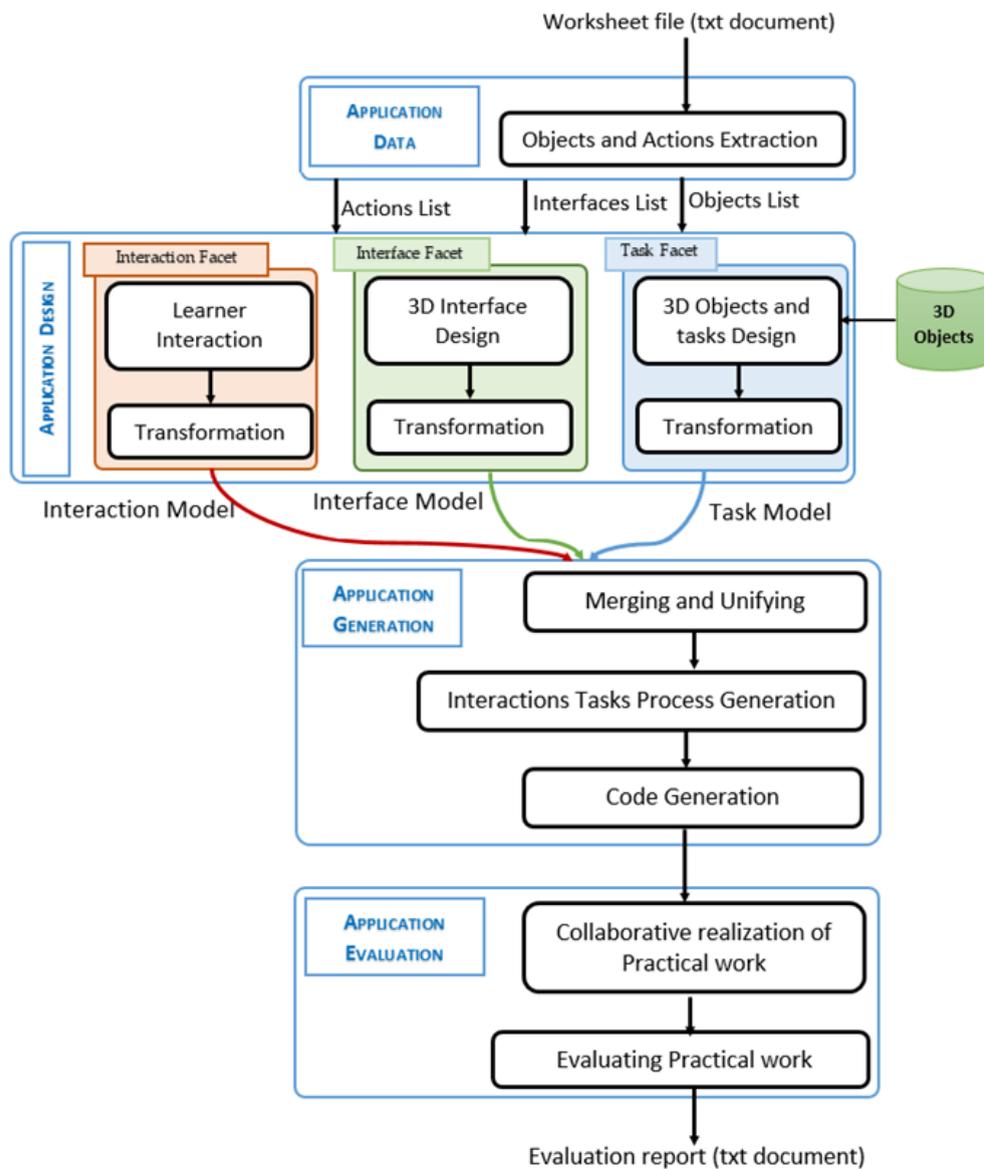
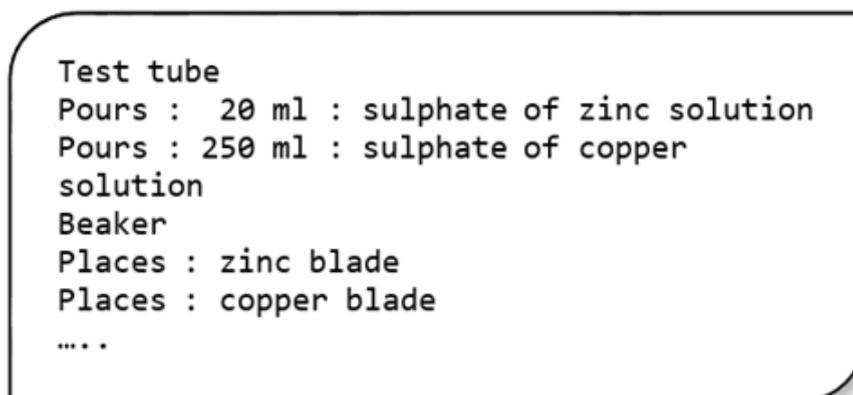


FIGURE 4.8 – Pipeline du processus de conception et génération des applications web 3D

4.6.1 phase1 : Application des données

L'étape d'application des données permet d'identifier les tâches effectuées par l'apprenant via une application Web 3D en fonction des besoins d'apprentissage et des spécifications de la feuille de TP. Il ya deux types de tâches : coopératives (par exemple, des tâches effectuées individuellement) et collaboratives (par exemple, des tâches effectuées par deux apprenants ou plus). La figure 4.9 présente la structure et le résumé du fichier de feuille de TP txt.



```
Test tube
Pours : 20 ml : sulphate of zinc solution
Pours : 250 ml : sulphate of copper
solution
Beaker
Places : zinc blade
Places : copper blade
... .
```

FIGURE 4.9 – Exemple de résumé de la feuille de TP

4.6.2 Phase 2 : Application de conception

4.6.2.1 Etape 2.1 : Construction du modèle d'apprentissage des tâches

Nous avons maintenant une liste d'actions indépendantes et une liste d'objets 3D. L'objectif de cette étape est donc d'identifier les tâches indépendantes et dépendantes. Le système transforme la liste des tâches pertinentes en un processus hiérarchique. Le processus hiérarchique se compose de trois niveaux : couche de tâches complexes, couche de tâches simples et couche d'objets 3D communs à toutes les tâches. La figure 4.9 présente une illustration des tâches complexes, trois tâches simples et trois objets 3D. Le processus d'apprentissage hiérarchique favorise les orientations systématiques et l'efficacité de l'apprentissage des travaux pratiques. Le système vérifie si la nouvelle tâche n'existe pas encore, il crée une nouvelle branche racine pour celle-ci. Alternativement, dans le cas de tâches complexes qui ont des sous-tâches, si une sous-tâche existe déjà dans un processus hiérarchique, le système l'affectera à sa tâche complexe parente. Lorsque le système se termine, il produit le processus hiérarchique illustré par la figure 4.10 des tâches coopératives (par exemple, les tâches qui sont effectuées individuellement) et collaboratives (par exemple, les tâches qui sont effectuées par deux apprenants ou plus).

4.6.2.2 Etape 2.2 : traduire les tâches d'apprentissage en interactions d'apprentissage

Dans cette étape, le LV traduit chaque tâche à un ensemble d'interactions d'apprentissage. Deux types d'interactions sont utilisés : coopératives et collaboratives. Le système explore le processus d'apprentissage pour convertir les tâches d'apprentissage en interactions d'apprentissage en tenant compte de toutes les dépendances entre les tâches complexes et leurs tâches simples. Ensuite, nous itérons tous les objets 3D communs du processus pour les affecter à chaque interaction.

4.6.2.3 Etape 2.3 : Modèle de conception d'interface 3D

Notre modèle d'interface est sous forme d'une palette 3D. Le modèle peut contenir tous les outils, produits et équipements manipulés pendant les expériences qui sont représentés par des objets virtuels 3D, spécifiés et placés dans un espace de travail tridimensionnel (interface 3D).

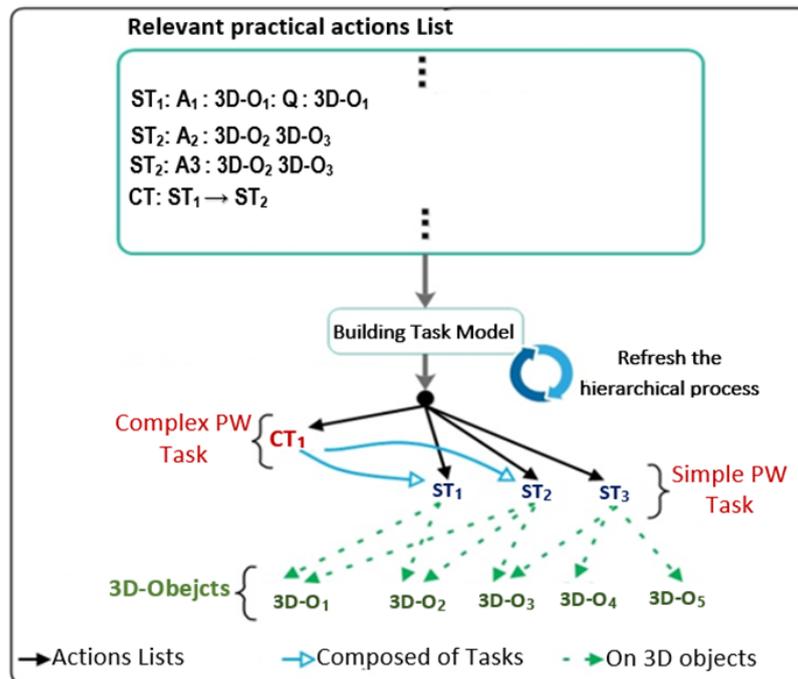


FIGURE 4.10 – Construction du modèle d'apprentissage à partir de la liste des actions.

4.6.3 Phase 3 : Application de génération

4.6.3.1 Etape 3.1 : Tâche de fusion – Interface – Modèle d'interaction

Nous avons fusionné tous les modèles en une instance de notre modèle de description unifié, qui est utilisé pour générer des applications de travaux pratiques 3D sur le Web.

4.6.3.2 Etape 3.2 : Génération de code

L'enseignant peut générer automatiquement le code source pour les applications Web 3D et évaluer rapidement l'application. La génération de code est basée sur un modèle de générateur de code. Si l'enseignant (par exemple, le concepteur) estime que l'application Web 3D générée ne correspond pas aux besoins de l'apprenant et aux tâches requises, il peut revenir à une phase précédente et la reconcevoir. Le concepteur peut ajouter, modifier et/ou supprimer des objets 3D particuliers, ou des interactions particulières.

4.6.4 Phase 4 : Application d'évaluation

L'enseignant évalue les capacités de l'apprenant lors de la réalisation des travaux pratiques. Ainsi, il fournit les notes d'évaluation finales des apprenants. L'approche proposée évalue le travail pratique de manière autonome et collaborative et calcule le score final de l'apprenant.

4.7 Conclusion

LV3D@SE est un laboratoire virtuel Web 3D qui aide les apprenants à acquérir rapidement et facilement des travaux pratiques et organiser des échanges des documents entre eux au sein d'un espace virtuel commun. Le laboratoire virtuel proposé applique un processus de conception agile permettant aux concepteurs de spécifier, de générer et de tester automatiquement une application pédagogique Web 3D pour l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques. Un pipeline optimisé pour la construction virtuelle de travaux pratiques est détaillé dans ce chapitre. Cela permet de guider l'apprenant lors des expériences depuis la spécification de la feuille de TP jusqu'à la génération du code, de réduire davantage les efforts et le temps, de réaliser des travaux pratiques de qualité et de sélectionner les tâches d'interaction clés nécessaires pour produire un travail pratique de haute qualité.

Pour évaluer l'efficacité du laboratoire 3DVL@ES proposé, un prototype d'implémentation appliqué dans une étude de cas réelle de la Pile de Daniell sera présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

Implémentation du LV3D@SE

Sommaire

5.1	Introduction	75
5.2	Solutions de développement	76
5.2.1	Solution1 : VRML et PHP	76
5.2.2	Solution 2 : VRML/Java	77
5.2.3	Solution de développement de LV3D@SE	78
5.3	La modélisation 3D du LV3D@SE	80
5.3.1	La Modélisation de la salle 3D des TPs	80
5.3.2	La Modélisation des objets 3D	80
5.4	Etude de cas : « Réalisation de la Pile de Daniell »	81
5.4.1	Présentation de la Pile de Daniell	81
5.4.2	Objectifs du TP de la réalisation de la pile de Daniell	81
5.4.3	Analyse du TP de la pile de Daniell	82
5.4.4	Interactions virtuelles pédagogiques possibles	83
5.5	La réalisation du TP	86
5.5.1	Préparation de l'environnement du travail	86
5.5.2	Déroulement du TP	87
5.5.3	Évaluation Pédagogique	91
5.6	Conclusion	93

5.1 Introduction

Ce chapitre, présente la validation de l'approche de réalisation des laboratoires virtuels 3D sur le web pour les sciences expérimentales, basée sur les modèles d'objets 3D et des modèles d'interactions collaboratives décrits dans le chapitre précédent. Des expériences ont été menées en utilisant divers types d'interactions basées sur des événements pour montrer l'efficacité de l'approche présentée. Nous avons montré l'intérêt de la solution proposée en

se basant sur deux approches différentes : approche coopérative et approche collaborative. Dans ce chapitre nous présentons le principe du fonctionnement du LV3D@SE dans la cadre de l'étude de cas « Réalisation de la Pille de Daniell ».

Dans la première partie de ce chapitre, Nous présentons les solutions de développements abordées pendant la réalisation de ce travail et les outils utilisés dans l'implémentation du LV3D@SE. Par la suite, nous allons présenter quelques interfaces du site web permettant l'accès au laboratoire, ainsi les modèles 3D des salles de TP et les objets 3D utilisées dans les sciences expérimentales.

Dans la deuxième partie, nous décrivons le principe de la pile de Daniell, nous allons extraire les différents objets utilisés et les actions à partir de la feuille de TP .Par la suite, nous décomposons le TP en différentes tâches de type coopératif et collaboratif. Nous présentons les interactions pédagogiques possibles lors du déroulement du TP .Une évaluation de l'apprenant est effectuer en répondant à un ensemble de questions multi choix après la réalisation du Tp.

5.2 Solutions de développement

Le développement d'un laboratoire virtuel sur le web nécessite plusieurs technologies de développement : les technologies de la modélisation 3D, les technologies de développement et visualisation d'un contenu 3D sur le web, l'interaction 3D sur le web et le développement des outils de collaboration et distribution. Plusieurs solutions ont été envisagées pour développer un laboratoire virtuel 3D sur le web :

5.2.1 Solution1 : VRML et PHP

En 2007, nous avons modélisé un TP virtuel de biologie dont l'objectif est de déterminer la concentration de la protéine, la figure 5.1 montre des scènes du TP. Nous avons utilisé pour la modélisation 3D, le langage de modélisation de la réalité virtuelle VRML(Virtual Reality Modeling Language) (Strasser, 2022) couplé avec le langage de script PHP(Hypertext Preprocessor) pour contrôler les objets durant l'interaction de l'apprenant. Le langage de description de scène 3D VRML est bien adapté à une visualisation rapide et simplifiée. Couplé à un langage de script tel que PHP, il permet également un interfaçage simple et efficace vers un SGBD(Systeme de gestion de Base de Données) relationnel dans le sens de la consultation. La scène est décrite dans un fichier et les liens vers l'extérieur sont également codés dans le fichier. La modification dynamique du contenu d'une scène VRML est une opération lourde, très peu portable et limitée dans ses possibilités.

L'étude des interactions et des animations dans VRML montre que se sont les maillons faibles de ce langage. Le système d'événements et les scripts nous paraissent en effet compliqués et peu fiables. Nous avons déduit que le VRML présente des inconvénients et des limites vis-à-vis la portabilité et la souplesse de la mise à jour dynamique du modèle 3D (Douar

et al., 2007).

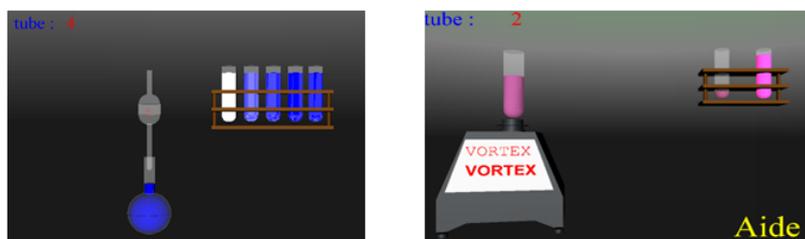


FIGURE 5.1 – Scènes de TP en VRML (Douar et al., 2007)

5.2.2 Solution 2 : VRML/Java

En 2009 ((Douar et al., 2009)), nous avons développés un environnement d'apprentissage 3D pour les travaux pratiques à distance. Cet environnement est développé en combinant le langage VRML pour la modélisation 3D de la salle de TP, des outils 3D et les scènes de TP ,et l'applet Java pour l'interface apprenant permettant le contrôle des objets et les interactions de l'apprenant au sein de l'environnement 3D. Ces deux langages communiquent via une interface EAI (External Authoring Interface) qui est un ensemble de classes java destinées à contrôler la scène VRML. Pour le travail collaboratif, Le système utilise une approche distribuée multi agents implémentée sur la plate forme Jade. La figure 5.2 montre une interface 3D de l'apprenant pour la réalisation de TP contrôlée par l'applet Java. Le problème rencontré avec cette solution est toujours la difficulté de visualiser le contenu 3D sur le web et l'apprenant doit installer un plugin pour faire le rendu de la scène, aussi la gestion de l'interaction est un peu lourde et difficile ((Douar et al., 2009)).



FIGURE 5.2 – Laboratoire 3D de chimie(Douar et al., 2009)

5.2.3 Solution de développement de LV3D@SE

Avec l'intégration de l'API (Application Programming Interface) WebGL(Web Graphics Library) (Cantor and Jones, 2012) dans les navigateurs Web à partir de la version HTML5, le problème d'affichage d'un contenu 3D sur une page web est résolu. Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisés les technologies et les langages suivants pour développer des applications Web 3D : HTML5, Blender(Hess, 2013), WebGL, Three.js(Dirksen et al., 2014), JavaScript et le WebRTC (Web Real Time Communication)(Aranjo et al., 2022) pour la communication en temps réel. La modélisation 3D des différents éléments de l'interface 3D telles que la salle de laboratoire et les objets 3D utilisés se fait par le modeleur 3D Blender, le fichier généré est de type (.blend). Ce dernier, doit être converti en code JavaScript pour être affiché dans une page HTML. Le fichier Blender sera exporté vers la bibliothèque Three.js (Dirksen et al., 2014) et le contenu de ce fichier est affiché sur la page web dans le composant canevas 3D. La visualisation de la scène 3D se fait sur le navigateur grâce à la version HTML5 qui intègre la bibliothèque graphique WebGL permettant de faire le rendu 3D des scènes 3D (Douar et al., 2023).

5.2.3.1 Interfaces d'accès à LV3D@SE

L'accès à notre LV3D@SE se fait à travers un site web. Nous présentons dans cette partie les interfaces de ce site permettant l'accès à l'environnement 3D pour la réalisation des travaux pratiques virtuels.

La page d'accueil

L'accès à LV3D@SE se fait via un site web dont la page d'accueil est représenté par la figure 5.3.

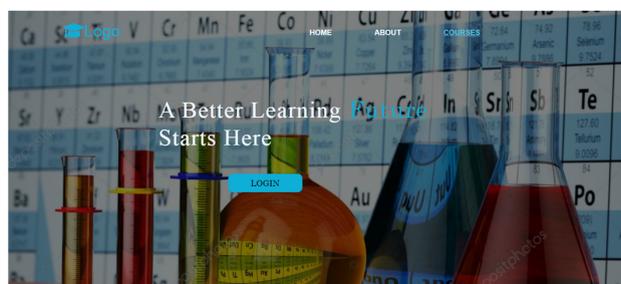


FIGURE 5.3 – La page d'accueil du LV3D@SE

La page de connexion

Si l'apprenant est déjà inscrit il doit s'authentifier en saisissant son email et son mot de passe pour accéder au LV figure 5.4).

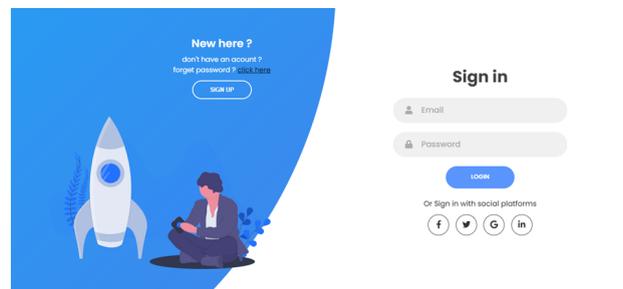


FIGURE 5.4 – Page de connexion

La page d'inscription

Pour pouvoir accéder aux interfaces du laboratoire, l'apprenant devra s'inscrire en remplissant toutes les informations figurant dans le formulaire suivant :

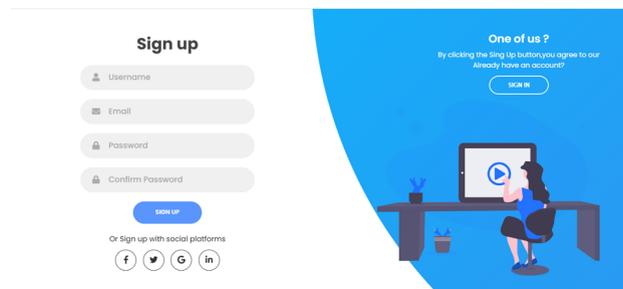


FIGURE 5.5 – Page d'inscription

La page du Laboratoire

Après L'authentification, les apprenants peuvent accéder au laboratoire qui contient des liens vers diverses interfaces telles que les Tps, des exemples de Tps, visite virtuelle du laboratoire, questionnaire de l'évaluation et la messagerie (figure 5.6).



FIGURE 5.6 – Espace des Travaux pratiques

5.3 La modélisation 3D du LV3D@SE

5.3.1 La Modélisation de la salle 3D des TPs

D'après le chapitre précédent, un laboratoire se compose de trois parties : la salle, le meuble et les outils utilisés dans les expériences, qui sont définis comme des matériaux et des produits. Les figures 5.7 (a), (b), et(c) représentent différentes salles de Tp modélisées avec Blender. La visualisation d'une scène sur le navigateur nécessite un matériel puissant et une connexion de haut débit pour faire le rendu. A cause de ces deux problèmes, nous avons opté pour la forme la plus simple de la salle montré par figure (c), pour aboutir a notre objectif qui est l'implémentation des interactions collaboratives et coopératives

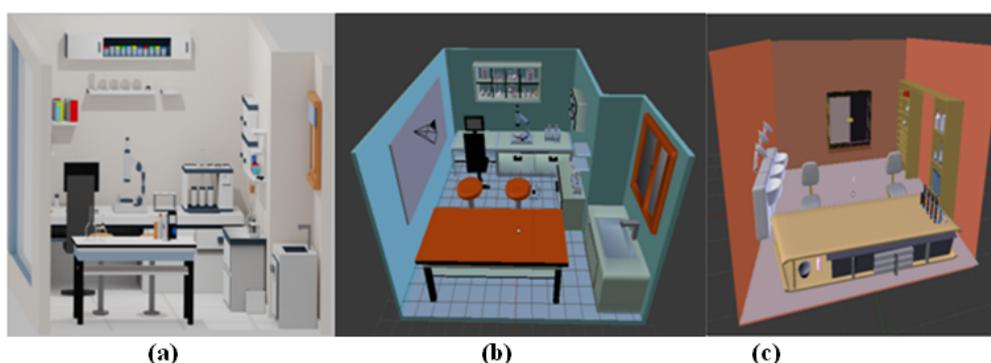


FIGURE 5.7 – Modélisation de la salle du LV3D@SE

5.3.2 La Modélisation des objets 3D

La modélisation 3D des objets virtuels se fait avec le modelleur Blender qui génère des fichiers .blend. Ces derniers seront exportés vers une bibliothèque 3D en JavaScript (three.js) pour être affichés sur la page web. Les objets virtuels seront stockés dans la base de données des objets virtuels 3D pour une ultérieure utilisation par l'apprenant, la figure 5.8 montre un ensemble d'objets virtuels 3D.

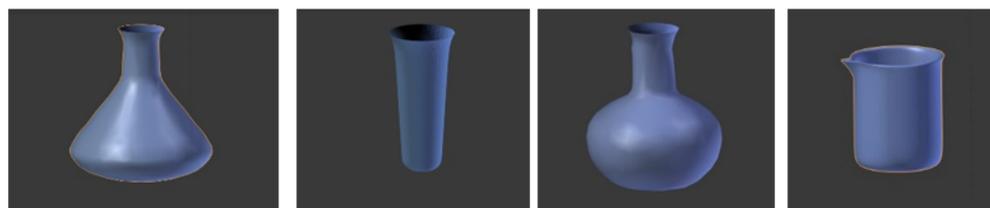


FIGURE 5.8 – Exemple d'objets 3D utilisés dans le domaine dans les sciences expérimentales.

5.4 Etude de cas : « Réalisation de la Pile de Daniell »

Dans le cadre de ce travail, Nous avons étudié plusieurs travaux pratiques en sciences expérimentales. Dans (Douar et al., 2007; Mechta et al., 2010) nous avons implémenté un TP en biologie dont le but est de déterminer la concentration de la protéine. Plusieurs autres Tps qui ont été implémentés tels que : le Tp de la construction du miroir d'argent, le Tp Dosage conductimétrique d'un acide faible et détermination de sa C_{ac} de dissociation enseigné en troisième année licence chimie. Nous avons choisi dans le cadre de cette thèse, le TP de réalisation de la Pile de Daniell.

5.4.1 Présentation de la Pile de Daniell

La pile de Daniell a été inventée par le chimiste britannique JOHN DANIELL en 1836 au moment où le développement du télégraphe faisait apparaître un besoin urgent des sources de courant sûres et constantes (voir figure 5.9) (Saslow, 1999). Elle est constituée d'une anode (lame de zinc plongé dans une solution de sulfate de zinc) et une cathode (lame de cuivre plongé dans une solution de sulfate de cuivre). Les deux solutions sont reliées par un pont salin (solution de chlorure de potassium) ou de nitrate de potassium qui sert à équilibrer les charges.

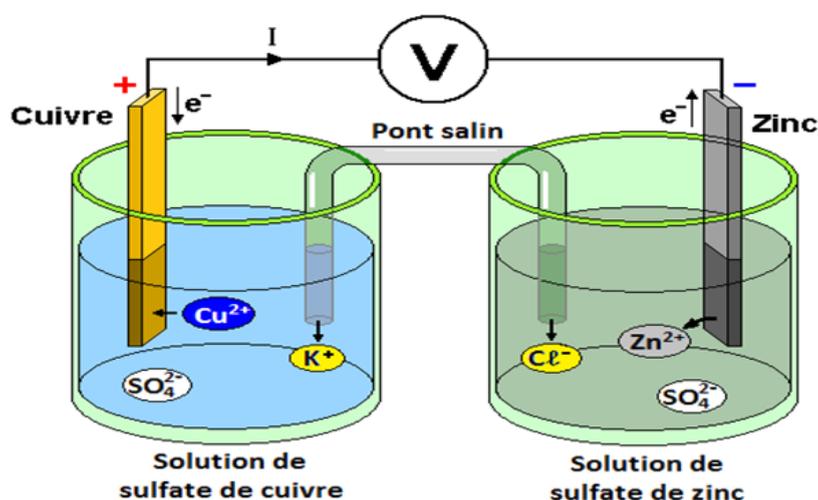


FIGURE 5.9 – Descriptif de la pile de Daniell (Saslow, 1999).

5.4.2 Objectifs du TP de la réalisation de la pile de Daniell

Le but de cette expérience est de mesurer la force électromotrice d'une pile galvanique réversible, de déterminer le potentiel d'électrode relatif standard de diverses demi-réactions et de voir l'influence de la concentration sur la valeur de sa force électromotrice. Le tableau 5.1 décrit les différentes tâches nécessaires pour la construction de la Pile de Daniell.

Tâche	Description
Construction de la première demi-pile	Dans cette tâche, l'apprenant verse une quantité de 20 ml de solution de sulfate de zinc dans l'éprouvette. Ensuite, il verse cette quantité dans le bécher et met la lame de zinc
Construction de la deuxième demi-pile	Dans cette tâche, l'apprenant verse une quantité de 20 ml de solution de cuivre dans l'éprouvette. Ensuite, il verse cette quantité dans le bécher et met la lame de cuivre
Construction de la Pile de Daniell	Dans cette tâche, on relie les deux béchers de ces dernières tâches avec un voltmètre et un pont de salin.

TABLE 5.1 – Les taches de TP de la pile de Daniell.

Pour la réalisation de ces taches l'apprenant utilise un ensemble d'équipements et produits, de type solide et liquide. Ces équipements seront représentés en objets 3D dans l'espace de travail du LV3D@SE. L'ensemble des équipements est présentés dans le tableau suivant. Tableau 5.2

Equipment solide	Equipment liquide
Lame de cuivre (orange).	Solution de Sulfate de cuivre
Lame de Zinc (Blanche).	Solution de Sulfate de Zinc
Deux béchers.	
Un pont de salin.	
Un voltmètre.	
Des fils électriques.	
Bouteille de Sulfate de Zinc.	
Bouteille de Sulfate de cuivre.	

TABLE 5.2 – Les outils de TP de la pile de Daniell.

5.4.3 Analyse du TP de la pile de Daniell

La conception de l'expérience virtuelle est basée sur la connaissance des équipements dans le domaine de chimie, les équations de réaction et elle combine différents types de symboles chimiques et de compétences d'apprentissage. Lorsqu'il s'agit des apprenants travaillant en coopération et en collaboration, cela n'est pas facile et peut nécessiter un changement formel de méthodologie de travail pratique pour toutes les personnes impliquées.

Dans notre étude de cas, le système extrait les taches d'apprentissage à partir de la feuille de TP et les affectes aux deux apprenants sur leur dispositifs interactifs. L'agenda de l'apprenant peut être utilisé pour identifier diverses tâches d'apprentissage du début jusqu'à la réalisation des travaux pratiques. Les tâches d'apprentissage peuvent être réalisées de manière coopérative et/ou collaborative. Dans le cas coopératif, l'apprenant # 1 construit la première partie de la Pile de Daniell, et l'apprenant # 2 construit la deuxième partie.

L'apprenant n° 1 verse 20 ml de solution de sulfate de zinc dans un tube à essai, puis il place la lame de zinc dans le bécher. L'apprenant n° 2 verse 250 ml de solution de sulfate de cuivre dans le tube à essai, puis il place la lame de cuivre dans ce bécher. Lorsqu'il est temps pour les apprenants de travailler en collaboration, les deux apprenants connectent les deux béchers avec un pont de salin et connectent le voltmètre aux bornes de la pile. Le tableau 5.3 détaille les objectifs d'apprentissage pour chaque tâche d'apprentissage, ses équations de réaction, le type de tâche et les interactions correspondantes.

5.4.4 Interactions virtuelles pédagogiques possibles

Les études de cas possibles sont variées et vastes. Par exemple, nous avons utilisé notre framework pour guider les expériences de la réalisation de la Pile de Daniell. Lorsqu'un apprenant se connecte au laboratoire LV3D@ES et sélectionne sa discipline et le laboratoire, il affiche et visualise la salle de TP de la discipline appropriée, y compris l'espace de travail pour effectuer les expériences. Pour l'étude de cas de la pile de Daniell, le tableau 5.3 décrit les différentes tâches à effectuer par l'apprenant. Cette expérience consiste en trois tâches principales et complexes (construction du premier demi-pile, construction de la deuxième tâche de demi-pile et la construction de la pile) liée à des objectifs d'apprentissage spécifiques. Notre système associe ces tâches à des sous-tâches ou actions, par exemple, la première demi-pile est constituée des actions suivantes : l'apprenant verse 20 ml de solution de sulfate de zinc dans l'éprouvette puis place le zinc métal dans le bécher. (La détection de mouvement à l'aide du service de mouvement). Chaque action est transformée en un ensemble d'interactions (par exemple, la première action associée à un ensemble d'interactions : sélectionnez Sulfate de zinc, déplacez le tube vers le bécher et faire tourner le bécher pour verser 20 ml de solution de sulfate de zinc). Notre système procède comme suit :

5.4.4.1 Extraction de la liste des actions à partir de la feuille de TP

La première étape consiste à résumer le fichier de la feuille de TP voir figure 5.10. Le système filtre les listes des objets 3D et des actions pertinentes. Le tableau 5.3 présente une liste des actions pertinentes de la Pile de Daniell.

Objectif pédagogique	Tache d'apprentissage	Type de tache	Les actions	Interaction simple équivalentes
Réduction : Demi-équation : $Cu^{2+} + 2 e^{-} = Cu$ 1-savoir utiliser les outils 2-maitriser les actions 3-construire une demi-pile a partir d'une équation abstraites qui contient des symboles	Construction de la première demi pile	coopérative	- verser 250 ml de sulfate de zinc dans un bécher.	-sélectionner le sulfate de zin -déplacer la bouteille vers le bécher -faire une rotation du bécher pour verser le contenu
			- poser la lame de zinc dans ce bécher.	-Sélectionner l'objet lame de zin -déplacer l'objet vers le bécher -Faire une un autre déplacement sur le bécher
Électrode : électrode de zinc. Anode : Oxydation : Demi-équation : $Zn = Zn^{2+} + 2 e^{-}$	Construction du deuxième demi pile	coopérative	Il commence par verser 250 ml de sulfate de cuivre dans un bécher. Ensuit, il pose la lame de cuivre dans ce	-sélectionner le sulfate de cuivre -déplacer la bouteille vers le bécher -faire une rotation du bécher pour verser le contenu
			Sélectionner l'objet lame de zin -déplacer l'objet vers le bécher -Faire une un autre déplacement sur le bécher	
Équation de fonctionnement: $Zn + Cu^{2+} = Zn^{2+} + Cu$	Réalisation de la pile	collaborative	1. mettre les deux bécher cote à cote 2. relier les bécher avec un pont salin. 3. brancher le voltmètre aux bornes de la pile	Selectionne 1 ^{er} bécher -déplacer le bécher vers le deuxième bécher -Désélectionner le bécher Sélectionner le pont de salin -déplacer vers les bécher -positionner le sur les deux bécher -Désélectionner le pont de salin -Sélectionner le voltmètre -sélectionner le premier câble -Le déplacer vers le voltmètres -Affichage du résultat sur le voltmètre
-Affichage de la tension. Il peut -refaire l'expérience avec d'autre dosage pour avoir de nouvelles valeurs	Mesurer la tension et rédaction du rapport	collaborative	-lire la mesure sur voltmètre affiche la tension. -rédiger le rappondre et répondre aux questions	L'apprenant ouvres l'éditeur pour rédiger le rapport, -commence a rédiger -partager des documents -communiquer par chat (audio,video,text)

TABLE 5.3– Décomposition des taches d'apprentissage et d'interactions pour les d'apprenants.



FIGURE 5.10 – Le résumé de la feuille de TP de la pile de Daniell

5.4.4.2 Construction du modèle d'apprentissage

Après le processus d'extraction de la liste d'actions, le système construit un processus d'apprentissage du travail pratique et crée des liens de dépendance entre les tâches d'apprentissage et leurs objets 3D ou avec d'autres tâches d'apprentissage. Cette transformation est utile pour améliorer les expériences des apprenants et optimiser le processus d'apprentissage du TP.

5.4.4.3 Transformation des tâches d'apprentissage aux interactions

Le déroulement du TP dans le laboratoire virtuel entraîne un ensemble des interactions des apprenants sur l'environnement. Le TP peut se réaliser de deux façons : individuelle qui s'engage un seul apprenant et collaborative qui peut être réalisée en collaboration par au moins deux apprenants. Nous distinguons deux types d'interactions pour réaliser un TP virtuel : interactions simples et interactions complexes. Nous voulons réaliser un TP de la pile de Daniell qui contient simultanément des tâches coopératives exécutées d'une façon individuelle qui nécessite des interactions simples concernent l'ajout des objets, la sélection d'objet dans le cas d'un travail individuel ou dans le cas d'une tache coopérative, les manipulations géométriques soit par le déplacement, la rotation, la mise à l'échelle autour des trois axes (X, Y, Z)

5.5 La réalisation du TP

5.5.1 Préparation de l'environnement du travail

Une fois connecté, l'apprenant choisi la discipline et le TP, l'apprenant passe à la visualisation de la salle de TP adéquate à la discipline y compris l'espace de travail pour faire l'expérience. Pour le TP de la pile de Daniell, la figure 5.11 présente l'interface du laboratoire et la table qui est bien présenté au centre de la scène.

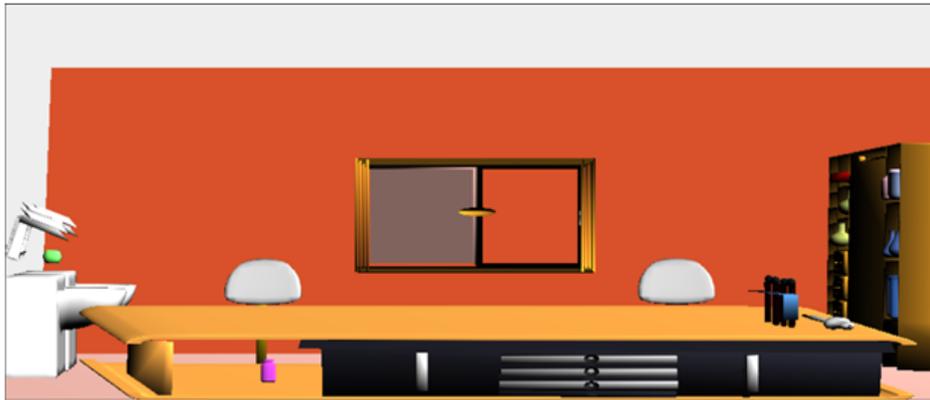


FIGURE 5.11 – Salle de TP Du LV3D@SE

L'apprenant lit l'énoncé de la feuille de TP et commence à préparer les outils du TP sur l'espace de travail comme montre la figure 5.12.

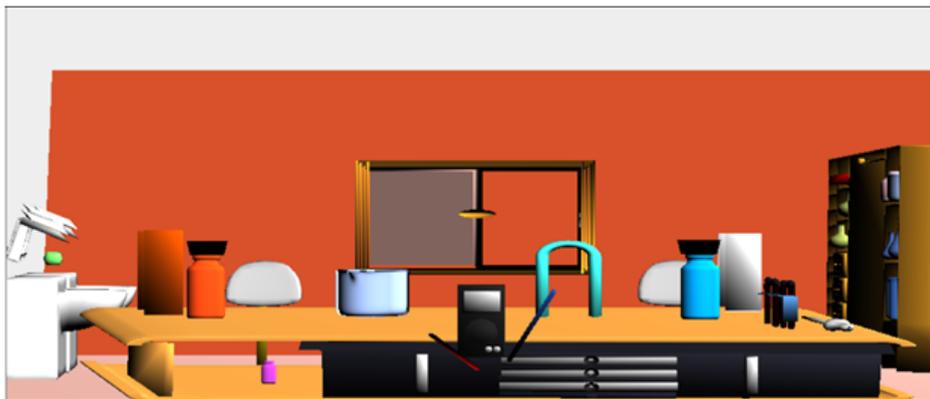


FIGURE 5.12 – Les objets 3D du Tp de la pile de Daniell

Dans le cas collaboratif, voici l'espace commun du travail montré par la figure 5.13. Chaque apprenant prépare ces outils nécessaires pour réaliser sa tâche. Les deux apprenants partagent le même espace, alors que chacun travail dans son propre page web.

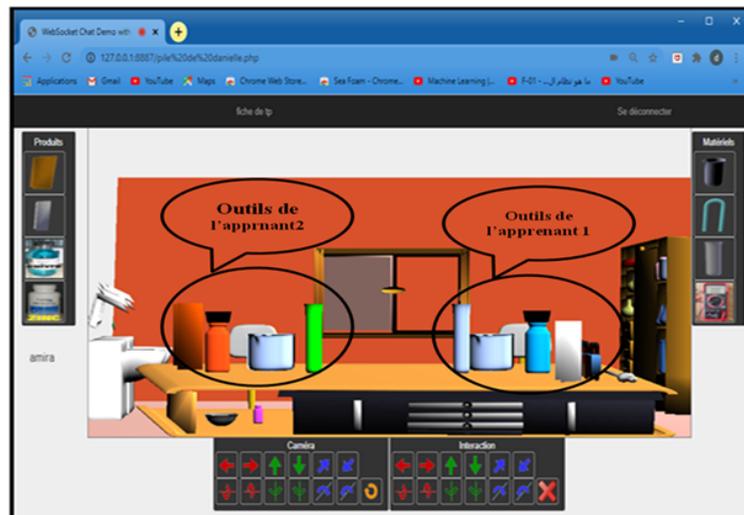


FIGURE 5.13 – L'espace 3D de collaboration

5.5.2 Déroulement du TP

LV3D@SE permet le déroulement des TP de façon individuelle et collaborative/coopérative. Les tâches coopératives se sont des tâches de nature individuelle parce qu'il s'exécute l'une indépendante de l'autre. Nous avons choisie le Tp de la pile de Daniel à cause de la variation de ces tâches ; il contient des tâches coopératives et collaboratives. L'objectif à travers cette étude de cas est de montrer les fonctionnalités implémentées du LV3D@SE pour assurer la collaboration, la coopération et l'interaction sociale. Dans cette section nous présentons des exemples des interactions collaboratives et coopératives implémentées et testées lors de la réalisation de la pile de Daniell.

5.5.2.1 Réalisation des tâches coopératives

La première tâche du TP est la construction de la première demi-pile, et la deuxième tâche est la construction de la deuxième demi-pile. Le Système considère que ces deux tâches s'exécutent d'une manière coopérative ; chaque apprenant réalise une tâche indépendamment de l'autre, mais dans le même espace de travail. Les deux tâches sont constituées de deux actions chacune, et chaque action est assurée par trois interactions visuelles coopératives (tableau 5.3).

Une interaction coopérative est une interaction simple telle que le déplacement, la rotation, la sélection, mais tout changement de l'environnement 3D provoqué par cette interaction doit être partagé dans l'espace de l'autre apprenant, afin de garantir le sentiment de présence et d'augmenter le degré d'engagement et d'immersion chez les apprenants dans l'environnement 3D.

Les premières actions coopératives sont : quand l'apprenant 1 verse de sulfate de zinc dans l'éprouvette, l'apprenant 2 verse de sulfate de cuivre dans son éprouvette. Pour cela, chacun des apprenants fait les interactions coopératives suivantes : sélection de bouteille correspondante (zinc/cuivre), déplacement des bouteilles autour des axes y, puis il fait une rotation pour effectuer le versement du produit. Voici des exemples des interactions coopératives pendant la réalisation de ces deux premières tâches.

Sélection coopérative d'un objet 3D : La figure 5.14 (a) montre par exemple, l'apprenant 2 qui sélectionne le tube et la figure 5.14 (b) montre l'apprenant 1 qui sélectionne le bécher, ces deux objets sont colorés en vert pour montrer la sélection.

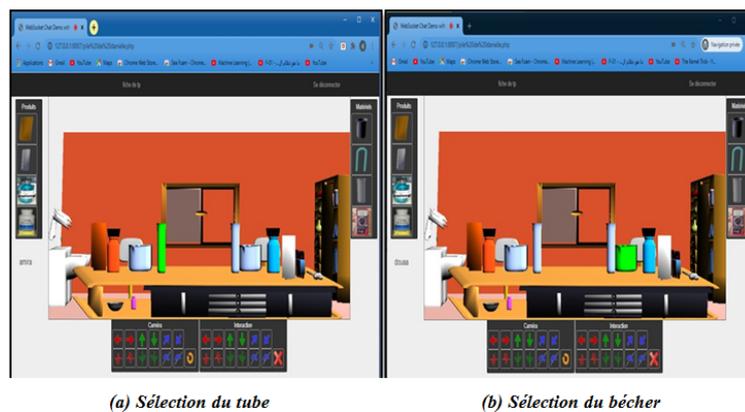


FIGURE 5.14 – Sélection coopérative

Déplacement coopérative d'un objet 3D : Après la sélection des objets, l'apprenant peut les manipuler. Le déplacement de l'objet et l'une des interactions simples permettant de changer la position de l'objet d'un endroit à un autre sur l'espace de travail pour réaliser une action du TP. Lors du travail coopératif le système d'interaction doit assurer le changement de la position de l'objet dans l'autre interface de l'autre apprenant. La figure 5.15 montre cette fonctionnalité ; les deux apprenants ont changés la position des bouteilles des solutions, nous remarquons que les position de ces bouteilles sont changées dans les deux interfaces.

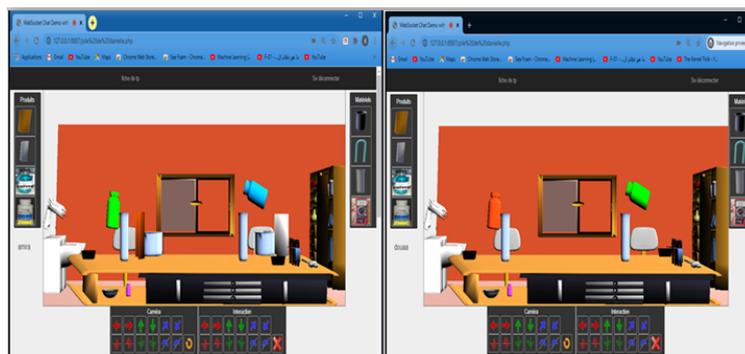


FIGURE 5.15 – Déplacement coopératif des bouteilles.

Rotation coopérative : La figure 5.16 montre une interaction de rotation coopérative ; les deux apprenants versent le contenu des tubes dans les béchers. Cette action est traduite par la sélection puis déplacement et enfin une rotation des tubes sur le bécber pour simuler l'action de versement.

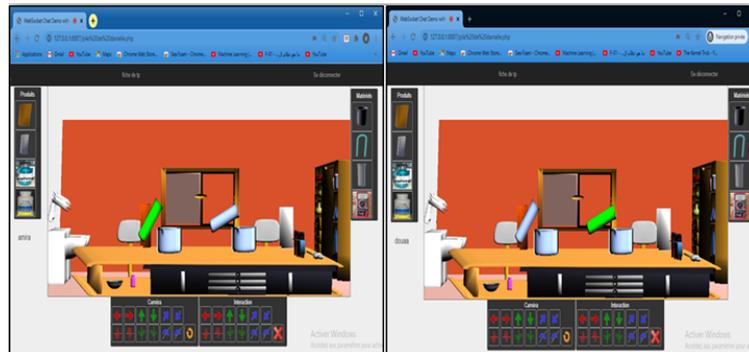


FIGURE 5.16 – Rotation coopérative des tubes

La figure 5.17 montre la dernière action des tâches coopératives qui consiste à mettre les lames de zinc et cuivre par les deux apprenants dans le bécber.

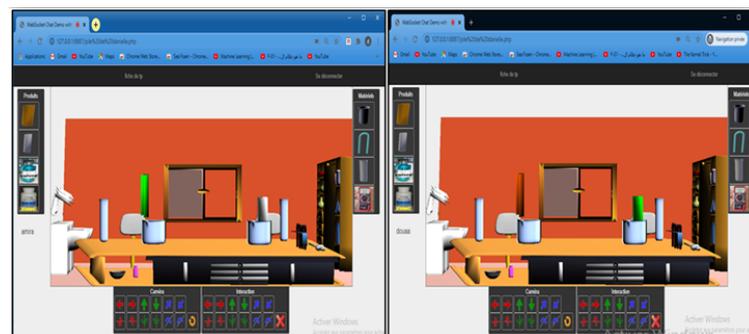


FIGURE 5.17 – Action coopérative : mettre les lames dans les béchers

5.5.2.2 Les interactions collaboratives

La dernière tâche du TP nécessite un travail collaboratif, les interactions seront complexes. Cette complexité est définie dans le rôle du système qui doit s'assurer que l'accès aux objets est synchronisé, et les mises à jour sont partagées dans l'espace de travail en temps réel de telle façon que les apprenants se sentent comme ci, ils travaillent dans un espace réel (partage d'espace). La tâche trois permet de construire la pile de Daniell. Nous avons besoin des résultats de l'apprenant 1 (demi pile 1) et les résultats du travail de l'apprenant 2 (deuxième demi pile). Les deux apprenants relient les deux bécber avec un pont de salin et branchent le voltmètre aux bornes de la pile comme montre la figure 5.18.

Les tâches d'interactions collaboratives complexes dans le cadre de notre travail sont les suivants :

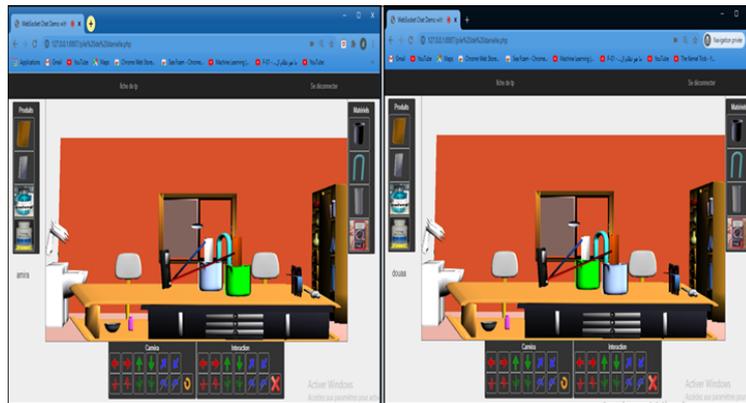


FIGURE 5.18 – Tache collaborative :construction de la pile de Daniell

La coordination : Une interaction collaborative, nécessitent l’engagement des deux apprenants dans la réalisation de la tâche. Dans ce cas, le système doit assurer l’exclusion mutuelle pour les accès simultanés aux objets par exemple :

Quand l’apprenant 1 ajoute un objet sur la scène, et tant qu’il y a un autre apprenant 2 qui partage le même espace de travail « cas de collaboration », il faut que l’objet apparaisse dans l’autre scène dans le même temps et vice versa. Si apprenant 1 sélectionne l’objet « idObj1 » et l’apprenant 2 voulait faire une sélection sur le même objet. L’apprenant 2 ne peut pas effectuer cette tâche « sélection » tant que l’apprenant 1 ne désélectionner pas l’objet « idObj1 »

La communication : est considérée dans notre cas, comme une tache de collaboration complexe. Lorsque deux apprenants décident de faire un TP dans LV3D@SE, ils peuvent communiquer entre eux en utilisant l’outil de chat dans l’espace de communication sous ces trois forme chat textuel (figure 5.19) , appel audio ou appel vidéo (figure 5.20) .

Chat textuel : La figure 5.19 montre une session de communication entre les deux apprenants en utilisant le chat textuel. La communication se fait en temps réel ou en temps différé. Si un apprenant n’est pas connecté il reçoit des messages instantanés en temps différé.



FIGURE 5.19 – Chat Textuel

Chat vidéo : Le chat vidéo est une autre forme de communication entre les apprenants en temps réel est cela pour discuter et changer des avis, des explications et des connaissances. La figure montre une session de chat vidéo entre les deux apprenants.

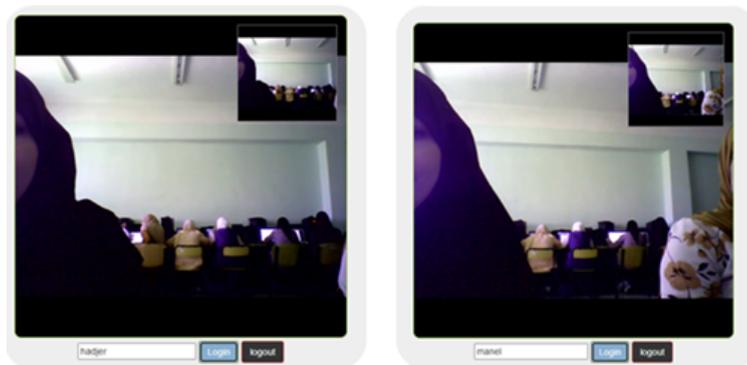


FIGURE 5.20 – Appel Vidéo

Partage de documents : Lorsque deux apprenants décident de faire un TP dans LV3D@SE, ils peuvent communiquer entre eux dans l'espace de communication avec des outils de chat et même partager les données entre eux sous forme de fichier (rédaction du rapport dans notre cas), la figure 5.21 suivante montre un outil de partage de documents, un apprenant envoie le fichier et un autre entrain de recevoir le fichier, qu'il peut le télécharger après la fin de l'opération de réception



FIGURE 5.21 – Partage et Reception des fichiers

5.5.3 Évaluation Pédagogique

Lorsque l'apprenant a terminé ses travaux pratiques, il doit répondre à des questions à choix multiples (QCM figure 5.22) pour évaluer son assimilation des nouvelles réactions conceptuelles et chimiques de la Pile de Daniell. Les réponses doivent être dans un temps bien précis.

Après répondre aux questions, l'apprenant peut également créer une nouvelle session et afficher ses résultats d'évaluation comme illustré dans la figure 5.23.

Il peut consulter le corrigé type QCM en appuyant sur le bouton Détails comme indiqué dans la figure suivante 5.24 :

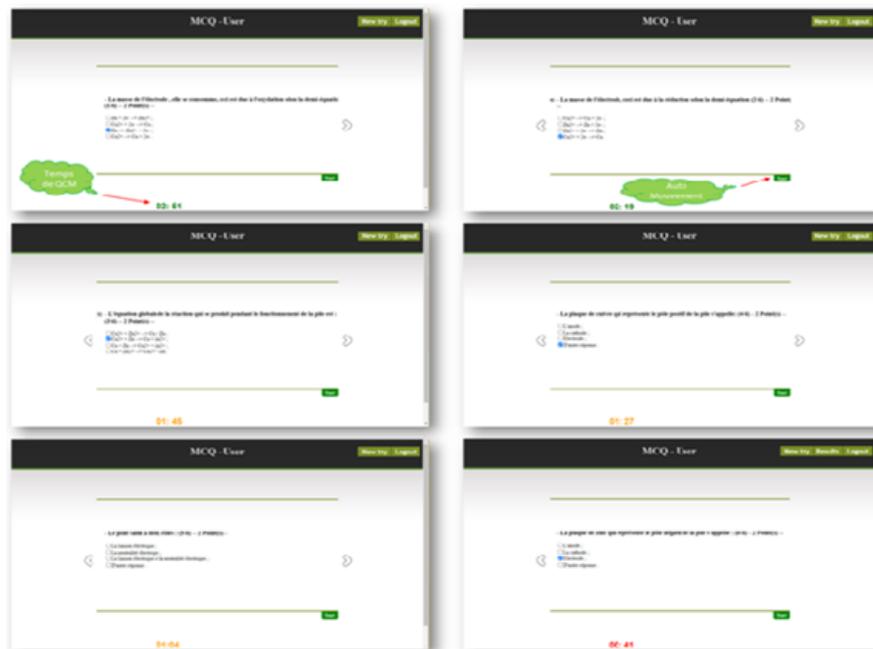


FIGURE 5.22 – QCM Pédagogique



FIGURE 5.23 – Résultat du QCM Pédagogique



FIGURE 5.24 – Détails de corrigé type du QCM Pédagogique

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons implémentés les différentes fonctionnalités du LV3D@SE proposées dans le chapitre trois. Afin de valider notre proposition, nous avons appliqués LV3D@SE sur un TP de chimie qui présente toutes les caractéristiques nécessaires pour valider le fonctionnement de notre laboratoire virtuel. Le TP contient des tâches collaboratives et coopératives. Pour l'implémentation des fonctionnalités du LV3D@SE :

- Nous avons proposé un modèle 3D de l'interface du laboratoire et les outils de TP. Nous avons implémenté un système d'interaction collaborative permettant aux apprenants de transformer les actions pédagogiques en un ensemble d'interactions visuelles appliquées sur l'ensemble des objets virtuels qui représentent les outils de TP réels.
- Nous avons implémenté le système de coopération/collaboration afin de permettre aux apprenants de travailler ensemble sur le même TP. Ce système est capable de partager l'état du système dans les deux interfaces des apprenants, d'assurer la coordination, la synchronisation et la communication en temps réel et en temps différé, il permet aussi le partage d'information à travers un outil de partage de documents et fichiers.
- Un système d'autoévaluation est développé, permettant à l'apprenant de tester ces connaissances après l'expérience à travers un QCM. Le système calcul le score et affiche le résultat, l'apprenant peut aussi consulter le corrigé type.

Chapitre 6

Expérimentations

Sommaire

6.1	Introduction	95
6.2	La démarche d'expérimentations	95
6.3	Evaluation des performances	96
6.3.1	Critères et mesures d'évaluation	96
6.3.2	Participants aux expérimentations	98
6.3.3	Description des phases d'expérimentation	98
6.4	Résultats d'expérimentation du LV3D@SE	99
6.4.1	Est-ce que LV3D@SE est facile à utiliser ?	100
6.4.2	Est-ce que LV3D@SE est conviviale et les objets sont ils accessibles ?	100
6.4.3	L'interactivité individuelle de laboratoire LV3D@SE ?	101
6.4.4	L'interactivité collaborative de laboratoire LV3D@SE ?	101
6.4.5	Utilité du LV3D@SE pour d'apprentissage des TPS :	101
6.5	Comparaison de LV3D@SE avec d'autres LVs	101
6.5.1	Comparaison du LV3D@SE avec PraxiLabs	102
6.5.2	Comparaison de LV3D@SE avec PhET	103
6.6	Conclusion	104

6.1 Introduction

L'expérimentation dans notre cadre de travail, détaillé dans les trois chapitres précédents, est une étape indispensable à la validation de nos propositions dans le domaine de l'enseignement des travaux pratiques des sciences expérimentales d'une part, et de notre approche de conception et développement des Laboratoires virtuels 3D d'autre part. L'objectif de l'expérimentation consiste à vérifier que notre approche peut résoudre les problèmes des LVs existants exprimés dans le chapitre trois, et permet effectivement d'atteindre l'efficacité pédagogique des TPs virtuels à distance en s'assurant que l'apprentissage a eu lieu et que les objectifs pédagogiques attendus ont été atteints. L'expérimentation présente les points forts de notre approche à consolider, ses points faibles à corriger, et apportera éventuellement d'autres perspectives de recherche liées à de nouvelles problématiques.

Ce chapitre est consacré à l'expérimentation de LV3D@SE dans des conditions réelles, sur une étude de cas de travail pratique de réalisation de la pile de Daniell. Dans la première partie de ce chapitre nous présentons notre démarche d'expérimentation et les critères de performance pour évaluer notre laboratoire. La deuxième partie présente les résultats d'expérimentations. Et dans la troisième partie nous présentons une comparaison entre LV3D@SE et deux autres laboratoires ; Praxilabs et PhEt. Dans la dernière partie nous discutons les résultats de l'expérimentation et de la comparaison obtenus.

6.2 La démarche d'expérimentations

Afin d'évaluer notre approche de développement des laboratoires virtuels, nous avons réalisé trois expérimentations différentes :

- **Expérimentation 1** : Cette expérimentation concerne notre laboratoire virtuel LV3D@SE. Elle a pour objectif d'évaluer notre approche de développement des LVs en se basant sur des critères de performance bien choisis et bien fondus. L'objectif est d'améliorer la qualité d'apprentissage des travaux pratiques au sein des laboratoires virtuels.
- **Expérimentation 2** : cette expérimentation consiste à explorer l'interface 3D, et essayer quelques expériences fournies par le laboratoire virtuel en ligne PraxiLabs.
- **Expérimentation 3** : l'objectif de cette expérimentation est de tester des expériences disponibles dans PhET.

L'objectif des deux expériences Praxilabs et PhET est de comparer LV3D@SE avec des LVs existants, afin de soulever les points forts, les points faibles et les perspectives de notre laboratoire. Notre démarche est conçue sur l'analyse de données empiriques issues des enquêtes menées auprès des apprenants au cours des sessions d'expérimentations, à travers l'analyse des différentes réponses des questionnaires. Nos données empiriques sont collectées de trois ressources différentes :

- la première ressource concerne les enquêtes menée lors de l'expérimentation du LV3D@SE sur une étude de cas réel qui est la pile de Daniell dont les scénarios sont discutés dans le chapitre précédent.
- La deuxième ressource est une enquête après exploration du laboratoire virtuel Praxi-labs.
- La troisième ressource est celui des données recueillies des enquêtes après des tests effectués par l'apprenant sur les expériences disponible dans le laboratoire PhET.

L'expérimentation est faite dans deux périodes différentes durant la pandémie covid 19, le moi de juin 2020. La première étape avant le confinement et la deuxième étape pendant la période de confinement. L'accès aux laboratoires était en ligne via le réseau internet, chaque apprenant utilise ses propres moyens ; micro-ordinateur, Smartphone ou tablette.

6.3 Evaluation des performances

6.3.1 Critères et mesures d'évaluation

Afin d'évaluer les performances de notre approche de réalisation des Laboratoires Virtuels 3D sur le web pour les Sciences Expérimentales baptisé (LV3D@SE), nous avons basé sur trois critères principaux tenant en compte la qualité de l'apprentissage : l'interactivité, l'ergonomie, et l'utilité.

6.3.1.1 L'interactivité

La réalisation des TPs nécessitent un degré d'interaction élevé entre l'apprenant et l'interface (IHM/IHM), et entre l'apprenant et son collègue (Homme/Homme). Ce facteur inclut la participation individuelle et collective à l'apprentissage du TP. Si le degré d'interaction est élevé, ça signifie que l'apprenant a participé activement pendant le TP, qu'il a communiqué avec ses collègues et qu'il a partagé les connaissances avec eux pendant l'activité. On distingue trois sous critères pour l'interactivité :

- **L'interactivité individuelle** : c'est l'évaluation de l'approche dans le cas d'un TP individuel ; dans ce cas l'apprenant effectue des interactions simples dans un espace individuel.
- **L'interactivité collaborative** : c'est l'évaluation de l'approche lorsqu'il s'agit d'un travail coopératif/collaboratif. Nous évaluons le degré de communication et l'interaction collaborative /coopérative au sein du laboratoire virtuel.
- **La généricité de l'interactivité** : est un sous critère de l'interactivité permettant de définir le degré de liberté et la souplesse que trouve l'apprenant lors de son interaction avec les objets virtuels 3D. l'apprenant doit toujours avoir la main, il doit contrôler le déroulement (ex : interrompre, reprendre) des actions en cours.

Nous avons évalué la généricité de l'interaction en réalisant des tests et des actions aléatoires dans la phase pré-Laboratoire. Cela permettrait aux apprenants de réaliser librement et correctement le comportement interactif de leurs TPs au sein d'un laboratoire virtuel 3D sur le web. Le tableau 6.1 montre des actions réalisées d'une manière aléatoire et les interactions qui les correspondent sur deux espaces de travail différents.

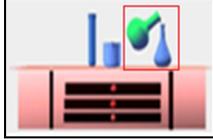
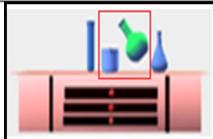
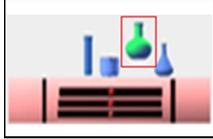
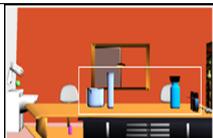
Liste des actions	Liste des interactions
Versez le contenu du Florence dans l'Erlenmeyer	
Versez le contenu du Florence dans le bécher	
Prendre le Florence	
Sélectionner le tube et le prendre en haut. Une action qui n'a pas de signification dans le TP.	
Le plan de travail est vide et c'est à l'apprenant d'ajouter ce qu'il veut.	
Ajouter un ensemble d'objets aléatoires	

TABLE 6.1 – Liste des actions et ses interactions.

6.3.1.2 L'ergonomie

La conception des interfaces graphiques d'un environnement virtuel 3D pour des TPs nécessite la représentation de l'environnement en images de synthèse pour solliciter la compétence sensori-motrices de l'apprenant dans le cadre d'une activité portant sur des objets virtuels. Pour concevoir l'interface graphique de ce laboratoire et plus précisément celle de l'apprenant, nous avons pris en compte les critères ergonomiques (Bach and Scapin, 2005)

afin de faciliter la tâche d'apprentissage à l'apprenant et lui offrir une interface souple et utile. Parmi les sous critères :

- **La discriminabilité** : ce critère concerne la distinction entre les objets virtuels 3D, il concerne l'organisation visuelle des objets virtuels dans l'environnement, la localisation et la distinction entre les objets de la même classe (matériel, produit...).
- **La facilité** : l'interface doit offrir les moyens nécessaires pour lui faciliter la tâche d'apprentissage des Tps d'une manière simple est facile.
- **L'accessibilité** : l'interface doit permettre à l'apprenant d'accéder aux objets 3D et faire les interactions possibles pour réaliser son Tp.
- **La convivialité** : l'apprenant doit être aise lors de l'exécution des actions du TP c'est-à-dire que l'interface doit lui exécuté exactement les actions demandé par lui ; par exemple l'apprenant veut déplacer l'objet et le système lui faire une rotation.
- **Visibilité** : concerne la forme géométrique des objets 3D, leur apparence aux apprenants et leur similarité aux objets réels.

6.3.1.3 L'utilité

L'utilité est un critère important consiste à mesurer la possibilité d'utiliser le laboratoire virtuel à distance pour réaliser des Tps par rapport à un laboratoire traditionnel. Es que le laboratoire virtuel peut remplacer le laboratoire traditionnel surtout dans la période du Covid 19? Notre laboratoire est testé dans une période critique ou l'accès au laboratoire tradiionnel était impossible à cause de la pandémie.

6.3.2 Participants aux expérimentations

L'évaluation de l'approche a été réalisée sur une période d'un mois et sur deux phases. Dans les expérimentations, un ensemble de **30** apprenants de la faculté de sciences de l'université Ferhat Abbés de Sétif (UFAS-1), comprenant **15** participants avant le confinement et **15** autres pendant le confinement. Sur les **30** questionnaires, collectés **60,03 %** étaient des femmes et **31,97%** des hommes. Les apprenants qui ont participé se trouvaient en 1ère année Master en chimie. Tous les apprenants avaient déjà participé aux TPs traditionnels et **75%** des participants n'ont jamais utilisé les laboratoires virtuels.

6.3.3 Description des phases d'expérimentation

L'expérimentation du laboratoire virtuel s'est déroulée sur trois phases principales : pré-laboratoire, laboratoire et post- laboratoire, et chaque phase se décompose en étapes :

- **Phase pré-laboratoire** : La phase pré- laboratoire est le travail préparatoire que l'apprenant réalise avant d'effectuer les expériences en laboratoire. Elle se décompose en deux étapes principales :

1. Etape de lecture de la feuille de TP et la consultation de la documentation (vidéo qui accompagne la feuille de TP expliquant la démarche du TP).
 2. Etape d'exploration de l'environnement 3D et de réalisation des expériences aléatoires pour se familiariser plus avec l'environnement.
- **Phase laboratoire** : Cette phase laboratoire concerne la réalisation du TP, elle se fait de deux façons :
 1. Réalisation individuelle TP : chaque apprenant fait les trois phases du TP d'une façon séquentielle.
 2. Réalisation collaborative du TP : le TP est réalisé par deux apprenants en exécutant les deux premières tâches d'une façon coopérative et la dernière tâche se fait en collaboration. Ils procèdent comme suit :
 - Etablir la connexion entre les deux apprenants.
 - Réaliser les deux tâches (chacune par un) simultanément.
 - Collaborer pour réaliser la dernière tâche en utilisant les outils de communication.
 - **Phase post-laboratoire** : La phase post-laboratoire sert à rendre les comptes rendu en utilisant l'outil de communication et partager les documents. Après la phase d'expérimentation en laboratoire virtuel, nous avons demandé aux participants de répondre à une série des questions (voir annexe). Pour toute question, quatre réponses possibles étaient disponibles (Excellent, Bon, Moyen, Pas du tout)

6.4 Résultats d'expérimentation du LV3D@SE

Le tableau 6.2 montre les différents résultats d'évaluation de LVD3D@SE en termes de facilité, d'accessibilité, de convivialité, d'interactivité, de visibilité, de discriminabilité, de concrétisation et d'utilisabilité. D'un point de vue global, les résultats de l'évaluation sont encourageants comme l'illustrent la figure 6.1.

Critère	Pas du tout	Moyen	Bon	excellent
Facilité	0%	15%	2.5%	82.5%
Accessibilité	0%	0%	0%	100%
Convivialité	0%	10%	30%	60%
Interactivité	20%	15%	15%	50%
Visibilité	0%	0%	0%	100%
Discriminabilité	0%	0%	0%	100%
Collaboration	13%	12%	20%	55%
LR/LV3D	20%	27%	18%	45%
Utilisabilité	20%	50%	5%	25%

TABLE 6.2 – Résultats d'évaluation de LV3D@SE.

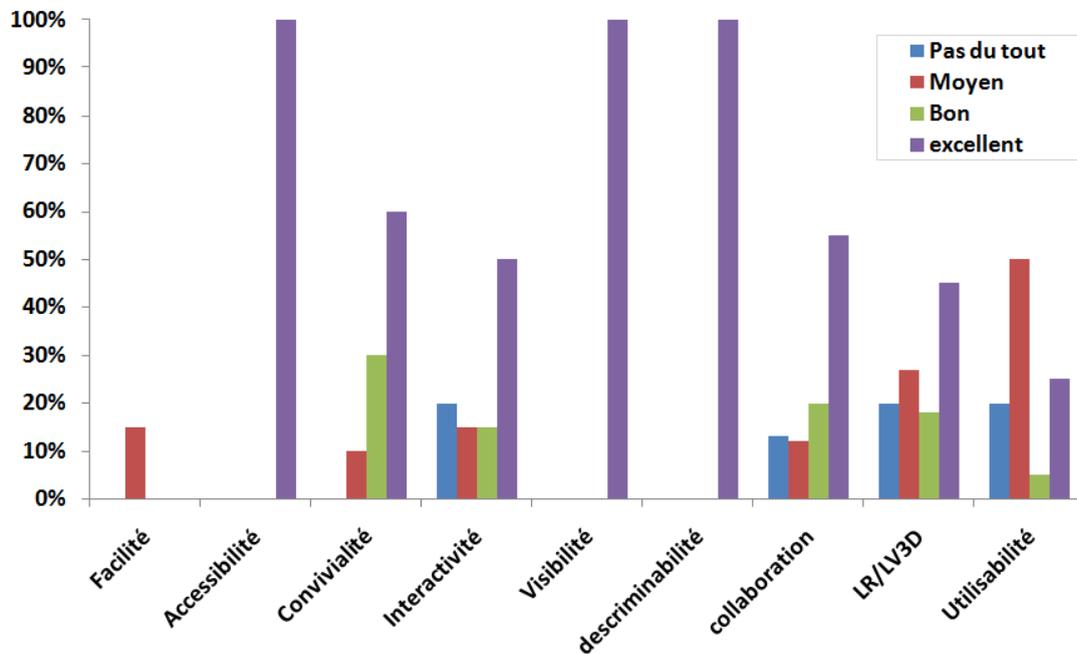


FIGURE 6.1 – Résultats d'évaluation de différents critères autour de LV3D@SE.

6.4.1 Est-ce que LV3D@SE est facile à utiliser ?

Le but de cette partie, est d'étudier les perceptions des apprenants concernant la facilité d'utilisation de notre laboratoire virtuel LV3D@SE. Les résultats ci-dessus montrent que **100%** des participants ont pu accéder à l'environnement et commencer à travailler, et ils ont trouvé l'environnement facile à utiliser.

6.4.2 Est-ce que LV3D@SE est conviviale et les objets virtuels sont ils accessibles ?

Tous les participants déclarent que les objets sont facilement accessibles, ils se sentaient libre de travailler sur cet environnement. Cela est dû au bénéfice de la palette complète des objets 3D visuels, et les fonctionnalités les plus agréables « drags and drop » à trouver sur le laboratoire virtuel LV3D@SE. À titre d'observation générale sur les résultats des groupes expérimentaux, nous pouvons relever que :

- Le temps moyen nécessaire pour se familiariser avec l'environnement est en moyenne 5 minutes.
- 100% des participants ont été satisfaits de l'interface puisque il est facile à utiliser, les objets sont bien organisés et leur accès est facile.
- L'interface homme machine est jugée facile, conviviale visible et accessible.

6.4.3 L'interactivité individuelle de laboratoire LV3D@SE ?

Le but de cette partie est de déterminer si notre laboratoire virtuel LV3D@SE prend en compte l'interactivité individuelle. Selon les perceptions des participants pour les questions **Q5** et **Q6**, **75%** des participants d'évaluation de LV3D@SE ont pu travailler sur l'environnement, sélectionner des objets, déplacer des objets et même faire les étapes du TP d'une façon agréable alors que **25%** des participants pensaient que la sélection d'un objet appropriée pour un TP peut être l'un des problèmes. Les participants estiment aussi que le temps de réponse de l'application (rendu) était suffisant pour terminer des TPs et le temps de la réalisation du TP était **20** minutes en moyenne.

6.4.4 L'interactivité collaborative de laboratoire LV3D@SE ?

Il s'agit de déterminer si le laboratoire LV3D@SE permet de prendre en compte l'interactivité collaborative. Les participants ont été répartie en groupe de deux et la connexion était établi entre eux pour travailler en collaboration. Les résultats de cette collaboration montrent que les participants sont satisfaits à **100%** et le laboratoire LV3D@SE a aidé à réaliser des TP complexes avec des interactions collaboratives complexes. Les apprenants partagent facilement des documents entre eux. Les résultats de cette partie soulèvent un problème de réalisation du rendu 3D en temps réel. **13%** des participants n'ont pas pu travailler ensemble à cause du débit d'Internet et le matériel utilisé. Pour le partage de l'espace ; c'était trop difficile pour faire le rendu 3D en temps réel. **55%** des participants ont réalisé librement et facilement leurs TPs.

6.4.5 Utilité du LV3D@SE pour d'apprentissage des TPS :

80% des apprenants ont apprécié l'apprentissage des Tps en utilisant LV3D@SE, ils ont montré un grand intérêt à ce type d'apprentissage et ils jugeaient qu'un tel environnement est utile pour l'apprentissage des Tps d'une façon collaborative surtout dans les circonstances de la pandémie Covid-19.

Enfin, nous concluons que LV3D@SE est avantagé : choix fondé par sa facilité d'utilisation, son interaction collaborative, qu'il offre et la majorité des résultats sont encourageants.

6.5 Comparaison de LV3D@SE avec d'autres LVs

LV3D@ES est comparé à deux autres laboratoires virtuels libres cités dans le chapitres 2 : Praxilabs et PhET. La comparaison est effectuée avec les mêmes apprenants et les mêmes critères de performance utilisés pour évaluer LV3D@SE (même questionnaire).

- Praxilabs est un laboratoire tridimensionnel spécialisé dans les sciences expérimentales (physique, chimie et biologie).

- PhET est un environnement virtuel de simulations interactives et indépendantes (2D et 3D) dans le domaine des mathématiques et des sciences expérimentales. L'accès à cet environnement se fait en ligne via le site Web, ou hors ligne, en installant l'application sur un ordinateur.

6.5.1 Comparaison du LV3D@SE avec PraxiLabs

Le tableau résume les résultats des réponses des participants lors du test du PraxiLabs. Les résultats de la figure 6.2 montrent que la plupart des apprenants (environ 90%) ont pu accéder facilement au PraxiLabs et ont apprécié l'interface de PraxiLabs ; qui est qualifié conviviale et facile à utiliser, et les objets représentés en 3D reflètent bien les objets réels. Concernant l'interactivité, les apprenants estiment qu'ils ne sont pas à l'aise à utiliser PraxiLabs. Le fait qu'ils ne sont pas libres a réalisé le TP ou de faire des actions pré-laboratoire. Lors du choix du TP, les outils sont disponibles à priori sur le plan de travail et l'apprenant ne peut pas inventer des interactions aléatoires. L'apprenant doit suivre l'enchaînement des actions du TP étape par étape. Le laboratoire Praxilabs propose des simulations déjà programmée avec des actions prédéfinies. Il souffre de l'absence totale de la collaboration, soit coté interaction, soit coté communication. Praxilabs ne possède pas un outil d'évaluation de l'apprenant.

Critère	Pas du tout	Moyen	Bon	excellent
Facilité	0%	15%	5%	80%
Accessibilité	0%	0%	0%	100%
Convivialité	3%	10%	30%	57%
Interactivité	35%	50%	10%	5%
Visibilité	0%	0%	0%	100%
Discriminabilité	0%	0%	0%	100%
Collaboration	100%	0%	0%	0%
LR/LV3D	20%	30%	20%	30%
Utilisabilité	23%	40%	10%	27%

TABLE 6.3 – Résultats d'évaluation de PraxiLabs.

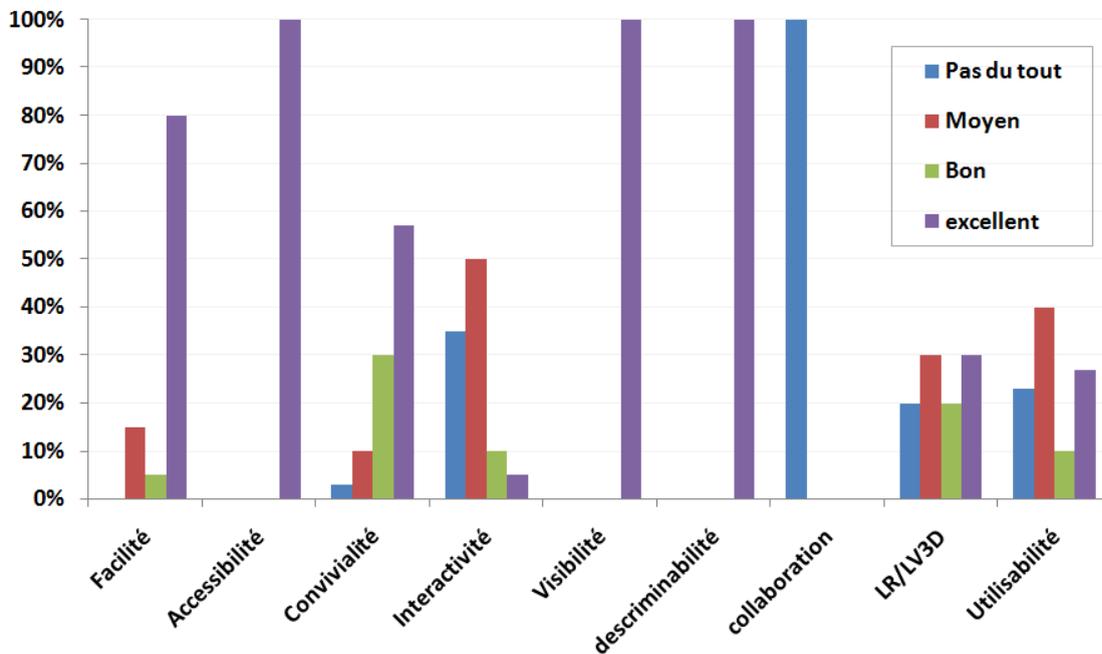


FIGURE 6.2 – Résultats d'évaluation de différents critères autour de PraxiLabs.

6.5.2 Comparaison de LV3D@SE avec PhET

La figure 6.3 compare les résultats (tableau 6.4) d'évaluation de LV3D@ES et de PhET. Tous les apprenants peuvent accéder à l'interface PhET et sélectionner la bonne simulation pratique. Les objets sont des objets réels bien réfléchis. Les apprenants sélectionnaient des objets au hasard et interagissaient librement, mais n'avaient pas le sentiment d'immersion lors de la manipulation et de l'interaction avec l'environnement. Cependant, les apprenants ne trouvent pas de moyen de travailler ensemble (collaboration, communication et interaction collaborative). Ils estiment que ce n'est pas un environnement réel qui motive l'apprentissage pratique. De plus, il manque une explication des concepts étudiés dans les cours théoriques.

Critère	Pas du tout	Moyen	Bon	excellent
Facilité	0%	10%	20%	70%
Accessibilité	0%	0%	0%	100%
Convivialité	0%	10%	30%	60%
Interactivité	50%	25%	20%	5%
Visibilité	0%	0%	0%	100%
Discriminabilité	0%	0%	0%	100%
Collaboration	100%	0%	0%	0%
LR/LV3D	40%	27%	13%	20%
Utilisabilité	20%	50%	5%	25%

TABLE 6.4 – Résultats d'évaluation de PhET.

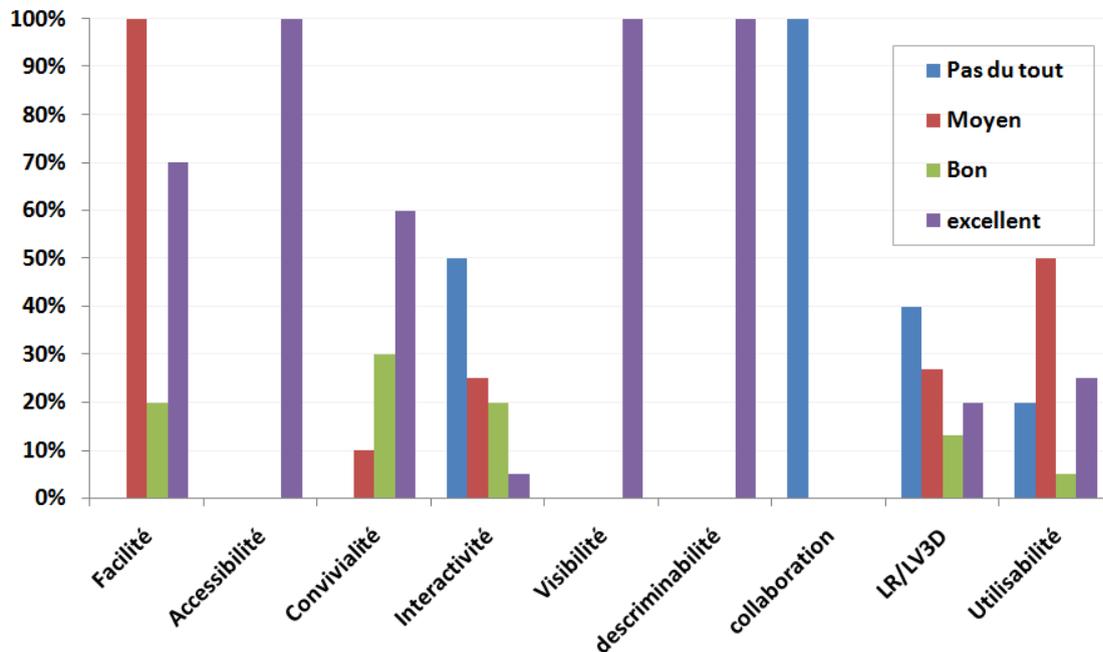


FIGURE 6.3 – Résultats d'évaluation de différents critères autour de PhET.

6.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre trois expérimentations sur des laboratoires virtuels 3D des sciences expérimentales. La première vise à évaluer notre approche de développement des laboratoires virtuels dont l'objectif est d'améliorer l'apprentissage collaboratif des travaux pratiques dans le domaine des sciences expérimentales. L'objectif des deux autres expérimentations est de comparer notre laboratoire par rapport aux laboratoires virtuels existants.

Les résultats obtenus montrent que le laboratoire virtuel LV3D@ES en apprentissage collaboratif fournit des bons résultats de performance par rapport aux autres laboratoires virtuels Praxilabs et PhET. Il favorise une meilleure visibilité, interactivité et facilité par rapport à Praxilabs et PhET. Cela est dû aux différentes techniques d'interactions de LV3D@ES avec un processus d'apprentissage collaboratif efficace. Les expériences menées mettent en évidence comment l'application de LV3D@ES conduit à améliorer l'efficacité et la facilité de développement des laboratoires virtuels. Plus précisément, les avantages et les objectifs suivants peuvent être atteints par l'adoption de LV3D@ES :

- Amélioration de la qualité d'apprentissage des travaux pratiques à distance en raison de la collaboration, de l'interaction sociale et de l'engagement et des intentions des apprenants.
- Réduction de l'effort et du temps requis ;
- Amélioration de la coopération entre les équipes d'apprenants, soutenue par l'automatisation de l'application Web 3D et les tâches collaboratives fournies par LV3D@ES.

Conclusion Générale

Le travail de recherche présenté dans cette thèse définit une nouvelle approche pour la conception et le développement des laboratoires virtuels, qui prend en considération l'aspect coopératif/ collaboratif entre les apprenants dans le processus d'apprentissage des travaux pratiques. Dans le contexte de l'apprentissage des travaux pratiques, l'aspect collaboratif joue un rôle important, notamment pour pouvoir offrir aux apprenants une formation de qualité. Les laboratoires constituent l'unique environnement d'apprentissage collaboratif engageant les apprenants dans des activités de travaux pratiques.

Nous nous intéressons dans ce travail au développement des laboratoires virtuels, afin de permettre d'assurer l'enseignement des travaux pratiques à distance. Ce type d'apprentissage nécessite un environnement spécifique dédié des fonctionnalités permettant le travail collaboratif, l'engagement et l'immersion des apprenants, la communication entre les apprenants et le partage des connaissances.

L'objectif des travaux de cette thèse, est de concevoir et d'implémenter un Laboratoire Virtuel 3D en Sciences Expérimentales (LV3D@SE) sur le Web qui aide les apprenants à acquérir rapidement et facilement les travaux pratiques et à organiser des échanges des documents entre eux au sein d'un espace virtuel commun. Il permet d'accompagner l'apprenant dans toutes les étapes de spécification, de réalisation et test des travaux pratiques.

Bilan général

Les principales contributions de ce travail se résument comme suit :

Processus agile pour la génération automatique des applications web 3D

Nous avons proposés un processus de conception agile basé modèle pour la génération des applications Web3D et la visualisation des objets 3D en tenant compte des préférences de l'enseignant et le niveau intellectuel des apprenants. Le processus de conception des applications Web3D se compose de trois phases complémentaires : Tache, Interface 3D et Interaction. Ce processus apporte une interactivité, une flexibilité et une collaboration perceptible pour le déroulement des travaux pratiques. Il explore l'efficacité de l'utilisation d'expériences collaboratives virtuelles au niveau d'amélioration des résultats d'apprentissage et des compétences

cognitives des apprenants.

Pipeline du LV3D@SE

Un pipeline optimisé est proposé pour la construction virtuelle de travaux pratiques qui génère un modèle 3D unifié simple. Le pipeline est utilisé pour spécifier des interactions 3D simples et complexes sur des objets 3D au sein d'une interface 3D afin d'assurer une collaboration et une coopération à distance lors de la réalisation de travaux pratiques. Ce type d'approche est appelé processus d'apprentissage incrémental où les tâches pédagogiques d'interactions simples sont d'abord générées, puis raffinées progressivement pour produire des interactions pédagogiques coopératives et collaboratives. Ce pipeline permet de guider l'enseignant et l'apprenant lors de la réalisation du TP et garder la traçabilité afin de permettre à l'enseignant d'évaluer les apprenants de manière individuelle, coopérative ou collaborative.

Système d'interaction collaborative/coopérative

Afin d'assurer toutes les fonctionnalités nécessaires permettant aux apprenants d'interagir avec le LV et les autres apprenants durant le déroulement des travaux pratiques, nous avons proposé un système d'interaction coopérative/collaborative, qui combine des techniques d'interactions visuelles de manipulation des objets graphiques 3D, et des techniques de spécification des interactions 3D simples et complexes sur ces objets 3D au sein d'une interface 3D. Et cela, pour assurer la réalisation collaborative et coopérative distante de travaux pratique. Ces interactions sont basées sur le contenu pédagogique proposé par l'enseignant sous forme d'une feuille de TP. L'apprenant essaye de traduire les actions décrites sur la feuille de TP sous forme d'interactions sur les objets virtuels qui représentent les outils, le matériel utilisé durant l'expérience, en collaborant avec d'autres apprenants, afin d'atteindre l'efficacité de l'apprentissage attendu.

Outils pour favoriser la collaboration et l'interaction sociale

Pour supporter la collaboration et l'interaction sociale pendant l'expérience virtuelle, plusieurs mécanismes ont été proposés et implémenté dans LV3D@SE : la possibilité de communication entre les apprenants et les enseignants via un outil de communication sous trois formes : chat textuel, chat audio et chat vidéo. Aussi notre LV est doté d'un outil qui permet l'échange et le partage des connaissances, du savoir et des informations entre les apprenants pendant l'expérimentation au sein du LV, afin d'augmenter le degré d'appartenance au groupe et atteindre l'efficacité escomptée du travail collaboratif entre les apprenants. Il permet le partage des documents et de fichiers. Un outil de coordination est offert par LV3D@SE, afin d'augmenter le degré d'interaction sociale et d'assurer la collaboration au niveau de la communication et des interactions.

Interfaces ergonomiques 3D pour LV3D@SE

L'objectif de notre travail consiste à concevoir et réaliser des interfaces graphiques ergonomiques d'un laboratoire virtuel sur le web. Les interfaces doivent être conçues et réalisées pour faciliter la conception et le déroulement des TPs. LV3D@SE offrent une interface 3D de la salle de Tp équipée d'une table qui représente l'espace de travail pour les travaux pratiques. Aussi Nous avons modélisés les différents objets 3D qui représentent les ressources du laboratoire nécessaires au déroulement des TPs dans les sciences expérimentales.

Système d'évaluation pédagogique

Afin d'évaluer les apprenants après la réalisation des travaux pratiques, nous proposons un système d'évaluation permettant d'évaluer les nouvelles connaissances acquises. Dans ce travail nous avons implémenté un système d'autoévaluation pédagogique qui évalue les apprenants d'une manière individuelle en répondant à un QCM , puis le système calcule le score et affiche le résultat à l'apprenant.

Evaluation des performances du LV3D@SE

Pendant ces travaux de thèse, différentes expérimentations sont menées, dans des conditions réelles, sur une étude de cas de travail pratique de réalisation de la pile de Daniell. Les résultats obtenus montrent que le laboratoire virtuel LV3D@ES en apprentissage collaboratif fournit de bons résultats de performance par rapport aux autres laboratoires virtuels : Praxilabs et PhET. Il favorise une meilleure visibilité, interactivité et facilité par rapport à Praxilabs et PhET. Cela est dû aux différentes techniques d'interactions de LV3D@ES avec un processus d'apprentissage collaboratif efficace. Les expériences menées mettent en évidence comment l'application de LV3D@ES conduit à améliorer l'efficacité et la facilité de développement des laboratoires virtuels. Plus précisément, les avantages et les objectifs suivants peuvent être atteints par l'adoption de LV3D@ES :

- Amélioration de la qualité d'apprentissage des travaux pratiques à distance en raison de la collaboration, de l'interaction sociale et de l'engagement et des intentions des apprenants.
- Réduction de l'effort et du temps requis ;
- Amélioration de la coopération entre les équipes d'apprenants, soutenue par l'automatisation de l'application Web 3D et les tâches collaboratives fournies par LV3D@ES.

Perspectives

Nous présentons ici les principales perspectives de recherche que nous souhaitons investiguer dans la suite de nos travaux.

- Développer des Interfaces 3D immersives à l'aide des technologies de la réalité virtuelle. La RV joue un rôle important dans l'apprentissage des TPs par sa nature fondée sur des images en pseudo-3D et exploite les caractéristiques des composants les plus puissants du cerveau. Elle permet le travail collaboratif et augmente le degré d'appartenance chez l'apprenant grâce à ces caractéristiques d'immersion, présence et interaction.
- Nous prévoyons de réaliser un laboratoire de soutien complet et d'appliquer LV3D@ES dans la faculté des sciences de notre université. Et inclure des instances des Tps enseignés dans tous les niveaux et toutes les spécialités. l'amélioration des performances du laboratoire passe par le développement de nouvelles thématiques de TP avec un nombre d'étudiant plus large.
- Les enseignants en sciences expérimentales ne sont pas des spécialistes pour maîtriser les outils de modélisation 3D. alors pour l'alimentation de la base d'objets 3D, il faut développer un système de génération automatique des objets 3D ; après la lecture de la feuille de Tp et l'extraction des noms des objets ,le système doit générer automatiquement des objets 3D du Tp et l'enregistré dans la base d'objets pour être utilisé par les apprenants. Dans ce cas nous allons utiliser les modèles génératives du deep learning.
- Le Laboratoire virtuel doit offrir aux enseignants un éditeur de feuille de TP spécifique pour le domaine des sciences expérimentales. Nous pensons d'étudier le contenu des Tps et proposer un modèle unique de la feuille de TP d'une part, et d'autre part de développer un éditeur permettant à l'enseignant de créer la feuille de Tp respectant le modèle proposé.
- La génération automatique des tâches d'interaction implique la disponibilité d'un système dédiés des fonctionnalités d'extraction des actions et les objets 3D à partir de la feuille de TP, puis effectuer une classification des tâches. Cela permet d'affecter les tâches pédagogiques aux apprenants d'un côté , et de disposer d'un guide pédagogique lors d'une activité de travaux pratiques.
- Dans ce travail nous avons proposé un modèle d'évaluation automatique et individuel basé sur des questions de choix multiple. Lors de l'expérimentation du LV3D@SE, les enseignants ne sont pas satisfaits de ce mode d'évaluation seul, qui le considère insuffisant dans le cas collaboratif. Il est nécessaire de proposer une nouvelle stratégie d'évaluation permettant à l'enseignant d'évaluer l'apprenant dans une situation du travail collaboratif en sauvegardant les traces d'interactions et de collaboration des deux apprenants lors d'une session collaborative.

Bibliographie

- Abramov, V., Kugurakova, V., Rizvanov, A., Abramskiy, M., Manakhov, N., Evstafiev, M., and Ivanov, D. (2017). Virtual biotechnological lab development. *BioNanoScience*, 7 :363–365.
- Alexiou, A., Bouras, C., and Giannaka, E. (2005). Virtual laboratories in education : A cheap way for schools to obtain laboratories for all courses, by using the computer laboratory. In *Technology Enhanced Learning : IFIP TC3 Technology Enhanced Learning Workshop (TeL'04)*, World Computer Congress, August 22–27, 2004, Toulouse, France, pages 19–28. Springer.
- Ali, N., Ullah, S., and Khan, D. (2022a). Interactive laboratories for science education : A subjective study and systematic literature review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(10) :85.
- Ali, N., Ullah, S., and Khan, D. (2022b). Minimization of students' cognitive load in a virtual chemistry laboratory via contents optimization and arrow-textual aids. *Education and Information Technologies*, 27(6) :7629–7652.
- Aljuhani, K., Sonbul, M., Alhabiti, M., and Meccawy, M. (2018). Creating a virtual science lab (vsl) : the adoption of virtual labs in saudi schools. *Smart Learning Environments*, 5 :1–13.
- Aranjo, S., Pinto, N., Parekh, P., and Modi, T. (2022). Review of real-time collaboration frameworks, libraries and products. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 10(4) :653–659.
- Arianti, S., Astra, I., and Budi, E. (2021). Design of virtual physics laboratory (vpl) on collision topic. In *The 10th National Physics Seminar (SNF 2021)*, page 012017. Journal of Physics : Conference Series.
- Aripin, I. and Suryaningsih, Y. (2020). Developing btem-based virtual biology laboratory to improve students' critical thinking skills on the concept of bacteria. *Scientiae Educatia : Jurnal Pendidikan Sains*, 9(2) :216–227.

- Arista, F. S. and Kuswanto, H. (2018). Virtual physics laboratory application based on the android smartphone to improve learning independence and conceptual understanding. *International Journal of Instruction*, 11(1) :1–16.
- Artun, H., Durukan, A., and Temur, A. (2020). Effects of virtual reality enriched science laboratory activities on pre-service science teachers' science process skills. *Education and Information Technologies*, 25(6) :5477–5498.
- Astutik, S. and Prahani, B. K. (2018). The practicality and effectiveness of collaborative creativity learning (ccl) model by using phet simulation to increase students' scientific creativity. *International Journal of Instruction*, 11(4) :409–424.
- Bach, C. and Scapin, D. (2005). *Critères Ergonomiques pour les Interactions Homme-Environnements Virtuels : définitions, justifications et exemples*. PhD thesis, INRIA.
- Balamuralithara, B. and Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education : The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1) :108–118.
- Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action. *Englewood Cliffs, NJ*, 1986(23-28).
- Barnier, G. (2009). Théories de l'apprentissage et pratiques d'enseignement.
- Basque, J., Rocheleau, J., and Winer, L. (1998). Une approche technologique pour l'école informatisée. *École informatisée Clés en main du Québec inc.*
- Bazurin, V. (2020). A method of studying students work in the edraw max environment. *Physical and mathematical education*, 24(2) :13–16.
- Bell, D., Borrows, P., Bunyan, P., and Dariel, D. (2008). Practical work in science : a report and proposal for a strategic framework.
- Bell, J. T. and Fogler, H. (2004). The vrupl lab-serving education on two fronts. In *Proceedings of the Special Interest Group on Computer Science Education Annual Conference, Norfolk, VA*.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., and Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning : Models, tools, and challenges. *International journal of science education*, 32(3) :349–377.
- Benmohamed, H. (2007). *ICTT@ Lab : un environnement informatique pour la génération et l'exécution de scénarios de téléTP*. PhD thesis, INSA de Lyon.
- BIVLs (2023). Biointeractive virtual labs (bivls). <https://www.biointeractive.org/virtual-lab-series> (consulter le 30/04/2023).

- blo (2023). Blo. biology labs. <https://www.sciencecourseware.org/BiologyLabs> (consulté le 30/04/2023).
- Bogusevschi, D., Muntean, C., and Muntean, G.-M. (2020). Teaching and learning physics using 3d virtual learning environment : A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 39(1) :5–18.
- 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*. PhD thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- Boyatt, R., Joy, M., Rocks, C., and Sinclair, J. (2014). What (use) is a mooc? In *The 2nd international workshop on learning technology for education in cloud*, pages 133–145. Springer.
- Broisin, J., Venant, R., and Vidal, P. (2017). Lab4ce : a remote laboratory for computer education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27 :154–180.
- Cantor, D. and Jones, B. (2012). *WebGL beginner's guide*. Packt Publishing Ltd.
- Charlier, B., Daele, A., Depover, C., Libon, E., and Winckel, F. (2002). L'enseignement à distance en mutation : diagnostic et perspectives en communauté française et belge.
- Chemed (2023). Model science software. chemistry education softwar. <https://www.modelscience.com/chemedu.html> (consulté le 30/04/2023).
- Correia, A.-P., Koehler, N., Thompson, A., and Phye, G. (2019). The application of phet simulation to teach gas behavior on the submicroscopic level : secondary school students' perceptions. *Research in Science & Technological Education*, 37(2) :193–217.
- Cuseo, J. (1992). Cooperative learning vs. small-group discussions and group projects : The critical differences. *Cooperative learning and college teaching*, 2(3) :5–10.
- Daineko, Y., Dmitriyev, V., and Ipalakova, M. (2017). Using virtual laboratories in teaching natural sciences : An example of physics courses in university. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(1) :39–47.
- Dalgarno, B., Bishop, A. G., and Bedgood Jr, D. R. (2003). The potential of virtual laboratories for distance education science teaching : reflections from the development and evaluation of a virtual chemistry laboratory. In *Proceedings of The Australian Conference on Science and Mathematics Education*.
- Depover, C., De Lièvre, B., Quintin, J., Decamps, S., Porco, F., and Floquet, C. (2006). Les modèles d'enseignement et d'apprentissage. *Syllabus du cours publié aux*.

- Dillenbourg, P. (1999). What do you mean by collaborative learning?
- Dirksen, J. et al. (2014). *Three.js essentials*. Packt Publishing.
- Dobrzański, L. and Honysz, R. (2007). Building methodology of virtual laboratory posts for materials science virtual laboratory purposes. *Archives of Materials Science and Engineering*, 28(1) :695–700.
- Domingues, C. (2010). *Interaction 3D collaborative en réalité virtuelle*. PhD thesis, Université d'Evry-Val d'Essonne.
- Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., and Mechta, D. (2006). La réalité virtuelle pour la conception des interfaces ergonomiques d'un laboratoire virtuel sur le web. In *Proceedings of the International Conference on Computer Science and its Applications*.
- Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., and Mechta, D. (2007). Modélisation d'un environnement virtuel pour les tele-tp par la réalité virtuelle. In *International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP'2007*, pages 3–4.
- Douar, A., Harous, S., Djoudi, M., and Mechta, D. (2009). An interactive 3d distributed environment for distance practical works. In *2009 International Conference on Innovations in Information Technology (IIT)*, pages 205–209. IEEE.
- Douar, A., Mahieddine, D., Harous, S., and Adel, A. (2023). 3dvl@ es : A 3d web-based virtual laboratory for collaborative learning in experimental science practical work. *International Journal of e-Collaboration (IJeC)*, 19(1) :1–26.
- Droui, M. (2012). *L'impact d'une simulation sur des dispositifs mobiles et en situation de collaboration sur la compréhension de l'effet photoélectrique au niveau collégial*. Université de Montreal (Canada).
- Edraw (2023). Chemistry laboratory equipment drawing software. <https://www.edrawsoft.com/> (consulter le 30/04/2023).
- El Kharki, K., Bensamka, F., and Berrada, K. (2020). Enhancing practical work in physics using virtual javascript simulation and lms platform. *Radical solutions and eLearning : Practical innovations and online educational technology*, pages 131–146.
- El Kharki, K., Bensamka, F., Berrada, K., El Hajjaji, K., El Kbiach, M. L., and Bounab, L. (2018). Vers un laboratoire virtuel des TP en Sciences physiques : cas du projet EXPERES. *International Journal of Applied Research and Technology*, 1 :9.
- El Kharki, K., Berrada, K., and Burgos, D. (2021). Design and implementation of a virtual laboratory for physics subjects in moroccan universities. *Sustainability*, 13(7) :3711.

- Flamand, P. and Gervais, A. (2004). Les objets d'apprentissage : au-delà de la technologie, la pédagogie. *Le bulletin clic*, 54 :1–5.
- Gardner, A., Duprez, W., Stauffer, S., Ungu, D. A. K., and Clauson-Kaas, F. (2019a). *Labster Virtual Lab Experiments : Basic Biochemistry*. Springer.
- Gardner, A., Stauffer, S., Petley-Ragan, L., Wismer, P., and Ungu, D. A. K. (2019b). *Labster Virtual Lab Experiments : Genetics of Human Diseases*. Springer.
- GO-LAB (2023). Go-lab electrical circuit lab. available. <https://www.golabz.eu/lab/electrical-circuit-lab> (accessed on 21 February 2022).
- Gokhale, A. (1995). Collaborative learning enhances critical thinking. *Journal of Technology education*, 7(1).
- Hakima, M. (2018). *Conception de laboratoire d'électronique accessible à distance*. PhD thesis, Université de Mostaganem.
- Henri, F. and Lundgren-Cayrol, K. (2001). *Apprentissage collaboratif à distance*. Puq.
- Hernández-de Menéndez, M., Vallejo Guevara, A., and Morales-Menendez, R. (2019). Virtual reality laboratories : a review of experiences. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 13 :947–966.
- Hernández-Garces, A., Rodríguez, E. A., and Jauregui-Haza, U. (2021). Virtual laboratory practices as alternative of teaching chemical experiments. *African Journal of Chemical Education*, 11(1).
- Hess, R. (2013). *Blender foundations : The essential guide to learning blender 2.5*. Taylor & Francis.
- Hofstein, A. and Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education : Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1) :28–54.
- Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. *Synthese*, 169 :615–626.
- Ibrahim, U. M., Alsaif, B. S., Alblaihed, M., Ahmed, S. S., Alsharif, H. A., Abdulkader, R. A., and Diab, H. M. (2022). Interaction between cognitive styles and genders when using virtual laboratories and its influence on students of health college's laboratory skills and cognitive load during the corona pandemic. *Heliyon*, 8(4) :e09213.
- Jara, C. A., Candelas, F. A., Torres, F., Dormido, S., Esquembre, F., and Reinoso, O. (2009). Real-time collaboration of virtual laboratories through the internet. *Computers & Education*, 52(1) :126–140.

- JHKSOFT (2023). Jel. jhksoft electricity lab. disponible. <https://jhksoft-electricity-lab.softag.com> (accédé on 19 janvier 2023).
- Kapici, H. O., Akcay, H., and Koca, E. E. (2022). Comparison of the quality of written scientific arguments in different laboratory environments. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(1) :1–20.
- Karagöz, Ö. and Özdener, N. (2010). Evaluation of the usability of different virtual lab software used in physics courses. *Bulgarian Journal of Science & Education Policy*, 4(2).
- Karingula, V. K., El-Mounayri, H. A., Wasfy, T. M., Wasfy, H. M., and Peters, J. M. (2013). Assessment of virtual physics lab (vpl) in summer course for pre-college preparation. In *2013 ASEE Annual Conference & Exposition*, pages 23–229.
- Karsenti, T. and Fortin, T. (2003). Collaboration par les tic : nouveau défi de la formation pratique. *Collaborer pour apprendre et faire apprendre. La place des outils technologiques*, pages 83–101.
- Kearney, M. and Treagust, D. F. (2001). Constructivism as a referent in the design and development of a computer program using interactive digital video to enhance learning in physics. *Australasian Journal of Educational Technology*, 17(1).
- Kolil, V. K., Muthupalani, S., and Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1) :1–22.
- Laffi, Y. (2007). *SACA : un Système dApprentissage Collaboratif*. PhD thesis, PhD Thesis, Computer science department, University of Annaba, Algeria.
- Larousse (2022). Dictionnaire de français larousse.
- Legault, B. (1992). Le cognitivisme : théorie et pratique. *Pédagogie collégiale*, 6(1) :41–42.
- Lelevé, A., Benmohamed, H., Prevot, P., and Meyer, C. (2003). Remote laboratory-towards an integrated training system. In *4th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET 2003)*, page 6.
- Limniou, M., Roberts, D., and Papadopoulos, N. (2008). Full immersive virtual environment cavetm in chemistry education. *Computers & Education*, 51(2) :584–593.
- Lottici, É. (2013). Apprentissage coopératif : les représentations et pratiques des enseignants de maternelle.
- Ma, J. and Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories : A comparative literature review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 38(3) :7–es.

- Mangenot, F. (2011). Apprentissages formels et informels, autonomie et guidage. In *EPAL-Echanger Pour Apprendre en Ligne*.
- Masciotra, D. and Medzo, F. (2005). La compétence comme pouvoir adaptatif aux situations nouvelles. *Ministère de l'éducation du Québec*.
- Matthews, R. S., Cooper, J. L., Davidson, N., and Hawkes, P. (1995). Building bridges between cooperative and collaborative learning. *Change : The magazine of higher learning*, 27(4) :35–40.
- Mbala Hikolo, A. (2003). *Analyse, conception, spécification et développement d'un système multi-agents pour le soutien des activités en formation à distance*. PhD thesis, Besançon.
- McAteer, E., Neil, D., Barr, N., Brown, M., Draper, S., and Henderson, F. (1996). Simulation software in a life sciences practical laboratory. *Computers & Education*, 26(1-3) :101–112.
- McKinley, J. (2015). Critical argument and writer identity : Social constructivism as a theoretical framework for efl academic writing. *Critical inquiry in language studies*, 12(3) :184–207.
- Mechta, D., Harous, S., and Djoudi, M. (2013). Cvl@ b : A collaborative virtual l@ boratory development and experimentation. In *IADIS International Conference WWW/Internet 2013, ICWI 2013*, pages 125–132. IADIS.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., and Douar, A. (2010). A collaborative learning environment for a biology practical work. In *Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*, pages 389–394.
- Mechta, D., Harous, S., Djoudi, M., and Douar, A. (2012). Supervision and control tool for collaborative virtual l@ boratory. *J. Softw.*, 7(7) :1496–1504.
- Mehta, S., Bajaj, M., and Banati, H. (2019). An intelligent approach for virtual chemistry laboratory. In *Virtual Reality in Education : Breakthroughs in Research and Practice*, pages 454–488. IGI Global.
- Mellos Carlos, L., Schardosim Simão, J. P., Saliyah-Hassane, H., Silva, J. B. d., and Mota Alves, J. B. d. (2020). Design and implementation of an architecture for hybrid labs. In *Cyber-physical Systems and Digital Twins : Proceedings of the 16th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation 16*, pages 123–142. Springer.
- Millar, R. et al. (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science. *Commissioned paper-Committee on High School Science Laboratories : Role and Vision. Washington DC : National Academy of Sciences*, 308.

- Mirçik, Ö. K. and Saka, A. Z. (2018). Virtual laboratory applications in physics teaching. *Canadian Journal of Physics*, 96(7) :745–750.
- Miyamoto, M., Milkowski, D. M., Young, C. D., and Lebowicz, L. A. (2019). Developing a virtual lab to teach essential biology laboratory techniques. *Journal of Biocommunication*, 43(1).
- Mostefaoui, H., Benachenhou, A., and Benattia, A. A. (2017). Design of a low cost remote electronic laboratory suitable for low bandwidth connection. *Computer applications in Engineering education*, 25(3) :480–488.
- MOUSSA, M. (2021). *Conception d'un environnement d'apprentissage collaboratif interoperable dédié aux travaux pratiques à distants*. PhD thesis, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis.
- Mucchielli, A. (1991). *Rôles et communications dans les organisations : connaissance du problème, applications pratiques*, volume 49. ESF éditeur.
- Muhamad, M., Zaman, H. B., and Ahmad, A. (2012). Virtual biology laboratory (vlab-bio) : Scenario-based learning approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 69 :162–168.
- Oddou, M. (2020). Théories de l'apprentissage et activités fle.
- Paxinou, E., Panagiotakopoulos, C. T., Karatrantou, A., Kalles, D., and Sgourou, A. (2020). Implementation and evaluation of a three-dimensional virtual reality biology lab versus conventional didactic practices in lab experimenting with the photonic microscope. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(1) :21–27.
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., and Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering : A review. *Computers & Education*, 95 :309–327.
- PraxiLabs (2021). Praxilabs 3d virtual lab simulations. <https://praxilabs.com> (consulté le 30/04/2023).
- Price, C. B. and Price-Mohr, R. (2019). Physlab : a 3d virtual physics laboratory of simulated experiments for advanced physics learning. *Physics Education*, 54(3) :035006.
- Pyatt, K. and Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs : Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21 :133–147.
- Quinn, C. (2009). Social networking : Bridging formal and informal learning. *Learning Solutions Magazine*, 23.

- Rabardel, P., Rogalski, J., and Béguin, P. (1996). Les processus de coopération à l'articulation entre modalités organisationnelles et activités individuelles. *Coopération et conception*, pages 289–306.
- Radhamani, R., Kumar, D., Nizar, N., Achuthan, K., Nair, B., and Diwakar, S. (2021). What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre-and post-covid-19 : Focus on usage, behavior, intention and adoption. *Education and information technologies*, 26(6) :7477–7495.
- Rice, W. (2015). *Moodle e-learning course development*. Packt Publishing Ltd.
- Rogalski, J. (1998). Concepts et méthodes d'analyse des processus de coopération dans la gestion collective d'environnements dynamiques. *Communications interactives dans les groupes de travail*, pages 27–58.
- Romine, W. L. and Todd, A. N. (2017). Valuing evidence over authority : the impact of a short course for middle-level students exploring the evidence for evolution. *The American Biology Teacher*, 79(2) :112–119.
- Šabatka, Z. (2009). Interactive physics laboratory for high school students (experiences and teachers' opinions). In *Proceedings of the WDS'09*, pages 252–257. Citeseer.
- Salame, I. I. and Makki, J. (2021). Examining the use of phet simulations on students' attitudes and learning in general chemistry ii. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 17(4) :e2247.
- Saslow, W. M. (1999). Voltaic cells for physicists : two surface pumps and an internal resistance. *American Journal of Physics*, 67(7) :574–583.
- Shin, D., Yoon, E. S., Lee, K. Y., and Lee, E. S. (2002). A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education : issues, design and implementation. *Computers & chemical engineering*, 26(2) :319–330.
- Siemens, G. (2004). Elearnspace. connectivism : A learning theory for the digital age. *Elearnspace. org*, pages 14–16.
- Smith, B. L. and MacGregor, J. T. (1992). What is collaborative learning.
- Son, J. Y. (2016). Comparing physical, virtual, and hybrid flipped labs for general education biology. *Online Learning*, 20(3) :228–243.
- Stahre Wästberg, B., Eriksson, T., Karlsson, G., Sunnerstam, M., Axelsson, M., and Billger, M. (2019). Design considerations for virtual laboratories : A comparative study of two virtual laboratories for learning about gas solubility and colour appearance. *Education and Information Technologies*, 24(1) :2059–2080.

- Stauffer, S., Gardner, A., Ungu, D. A. K., López-Córdoba, A., and Heim, M. (2018). *Labster Virtual Lab Experiments : Basic Biology*. Springer.
- Strasser, D. (2022). VRML — Modélisation d'objets en 3D. <http://tecfaetu.unige.ch/staf/staf9597/strasser/staf23/vrml/VRMLLecon.html> (consulter le 30/04/2023).
- Subramanian, R. and Marsic, I. (2001). Vibe : Virtual biology experiments. In *Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web*, pages 316–325.
- Sypsas, A., Paxinou, E., and Kalles, D. (2021). Using virtual laboratory environment for science education in different educational settings. In *EDEN Conference Proceedings*, pages 475–485.
- Tatli, Z. and Ayas, A. (2013). Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(1) :159–170.
- Tawfik, M., Salzmann, C., Gillet, D., Lowe, D., Saliah-Hassane, H., Sancristobal, E., and Castro, M. (2014). Laboratory as a service (laas) : A novel paradigm for developing and implementing modular remote laboratories. *International Journal of Online Engineering*, 10(4).
- Tchounikine, P. (2009). Précis de recherche en ingénierie des eiah. *Philosophy*.
- Tsovaltzi, D., Rummel, N., McLaren, B. M., Pinkwart, N., Scheuer, O., Harrer, A., and Braun, I. (2010). Extending a virtual chemistry laboratory with a collaboration script to promote conceptual learning. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 2(1-2) :91–110.
- Tüysüz, C. (2010). The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1).
- Ullah, S., Ali, N., and Rahman, S. U. (2016). The effect of procedural guidance on students' skill enhancement in a virtual chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93(12) :2018–2025.
- Vaidyanath, S., Williams, J., Hilliard, M., and Wiesner, T. (2007). The development and deployment of a virtual unit operations laboratory. *Chemical Engineering Education*, 41(2) :144–152.
- Vary, J. P. (2000). *Report of the Expert Meeting on Virtual Laboratories*. International Institute of Theoretical and Applied Physics (IITAP).
- Venant, R. (2017). *Les learning analytics pour promouvoir l'engagement et la réflexion des apprenants en situation d'apprentissage pratique*. PhD thesis, Université Paul Sabatier-Toulouse III.

- VLabs (2023). Virtual labs. <https://www.vlab.co.in/> (consulter le 30/04/2023).
- Vygotsky, L. (2011). *Interaction between learning and development*. Linköpings universitet.
- Wahyono, I. D., Putranto, H., Saryono, D., Asfani, K., et al. (2020). Development of a personalized virtual laboratory using artificial intelligent. In *International Conference on Learning Innovation 2019 (ICLI 2019)*, pages 101–107. Atlantis Press.
- Waller, J. C. and Foster, N. (2000). Training via the web : a virtual instrument. *Computers & Education*, 35(2) :161–167.
- Wang, J., Guo, D., and Jou, M. (2015). A study on the effects of model-based inquiry pedagogy on students' inquiry skills in a virtual physics lab. *Computers in Human Behavior*, 49 :658–669.
- Wibowo, F. C., Setiawan, A., Darman, D. R., Suhandi, A., Samsudin, A., Faizin, M. N., Anriani, N., Nurhaji, S., Fawaid, M., Adityo, F. P., et al. (2021). Effectiveness of virtual physics laboratory (vpl) with dry cell microscopic simulation (dcms) to promote of inquiry activity about the battery. In *The 2nd International Conference on Energy Sciences (ICES) 2018*, page 012006. Journal of Physics : Conference Series.
- Wu, B.-J., Wong, S.-K., and Li, T.-W. (2019). Virtual titration laboratory experiment with differentiated instruction. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 30(3-4) :e1882.
- Yaron, D., Karabinos, M., Lange, D., Greeno, J. G., and Leinhardt, G. (2010). The chem-collective—virtual labs for introductory chemistry courses. *Science*, 328(5978) :584–585.
- Zulkifli, Z., Azhar, A., and Syaflita, D. (2022). Application effect of phet virtual laboratory and real laboratory on the learning outcomes of class xi students on elasticity and hooke's law. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(1) :401–407.

Annexe A

Annexe

Annexe A : Evaluation des laboratoires virtuels LV3D@SE , PhET et PraxiLabs

Pour toute question, quatre réponses possibles étaient disponibles (tout à fait d'accord, Moyennement, beaucoup, pas du tout d'accord)

No.	Question	Oui	Peut être	Non
1	Trouvez-vous en générale que le LV est facile a utilisé ?			
2	les Objets virtuels 3D, sont-ils accessibles en un minimum de temps/actions ?			
3	Trouvez-vous que l'interface du LV est conviviale ?			
4	Est-ce que vous sentir alaise de travailler sur cet environnement ?			
5	L'interface avait-elle la capacité d'offrir l'ensemble des actions que vous voulez effectuées pour réaliser le TP?			
6	Pensez-vous le que le LV permet facilement de gérer les interactions complexes (interactions collaboratives, partages des documents entre vous)			
7	Trouvez-vous que les objets sont clairement visible, bien organisés et vu depuis différents point de vue ?			
8	Trouvez-vous que la salle de TP est bien visualisé dans le LV ?			
9	Pouvez-vous distinguer facilement les objets virtuels les uns par rapport les autres			
10	Comment trouvez-vous le travail collaboratif entre vous et votre collègue dans le LV?			
11	Comment trouvez-vous la communication avec votre collègue ?			
12	Pensez-vous que les objets sont bien modélisés de telle façon qu'ils représentent les outils réels du TP ?			
13	Pensez-vous que le LV est utilisable pour l'apprentissage des TPs ?			
14	Pensez-vous que l'espace de collaboration était bénéfique ?			

Résumé

De nos jours, les travaux de recherche s'intéressent beaucoup au développement des laboratoires virtuels afin de permettre aux universités d'assurer l'enseignement des travaux pratiques à distance. Ce type d'apprentissage nécessite un environnement spécifique dédié des fonctionnalités permettant le travail collaboratif, l'engagement et l'immersion des apprenants, la communication entre les apprenants et le partage des connaissances afin d'atteindre les objectifs visés par l'enseignant. L'objectif des travaux de cette thèse, est de concevoir et implémenter un Laboratoire Virtuel 3D en Science Expérimentale (LV3D@SE) sur le Web qui aide les apprenants à acquies rapidement et facilement les travaux pratiques et à organiser des échanges des documents entre eux au sein d'un espace virtuel commun. Il permet d'accompagner l'apprenant dans toutes les étapes de spécification, de réalisation et test des travaux pratiques. Nous proposons un processus de conception agile permettant aux concepteurs de générer automatiquement une application pédagogique Web 3D pour un apprentissage collaboratif des travaux pratiques. Pour cela, nous présentons un modèle unifiée de l'application contenant une couche d'interaction. Elle assiste les apprenants en facilitant la création automatique de nouvelles interfaces 3D dédiés aux travaux pratiques en sciences expérimentales. Afin de valider notre laboratoire LV3D@SE, nous proposons une étude de cas de la réalisation du travail pratique : construction de la pile de Daniell. Les résultats obtenus ont été comparés avec d'autres laboratoires virtuels pour montrer l'utilité de 3DVL@ES. Les résultats expérimentaux montrent que LV3D@SE permet la réalisation facile des travaux pratiques complexes avec l'intégration des aspects de coopération et de collaboration.

Mots clés : Laboratoire virtuel, Collaboration, Coopération, Interaction, Interface3D, Travaux pratiques, LV3D@SE.

Abstract

Nowadays, there is a great deal of research interest in the development of virtual laboratory which enables universities to support distant learning. Such learning requires suitable environment and services dedicated to successful collaborative work, learners' engagement and immersion, learners' interaction and communication, and learners' interesting knowledge sharing to achieve the targeted outcomes by the teacher. This work introduces a virtual laboratory that aims to support the quick development and easy assimilation of practical works by learners, exchange documents between them via a shared virtual space. The proposed laboratory, named LV3D@SE (web-based 3D Virtual Laboratory in Experimental Science), defines an agile design process to automatically generate 3D pedagogical web applications and provide very appreciable interactivity, flexibility and collaboration for practical works development. In addition, LV3D@SE includes the specification of learners' interactions and collaborations on a unified application model to assist and automate the creation of new 3D interfaces related to practical work in experimental sciences. In order to evaluate the effectiveness of the proposed LV3D@SE laboratory, a prototypal implementation of the supporting tool has been developed. LV3D@SE has been applied to a real case study of Daniel's log and the obtained results have been compared with learner evaluation results related to the implementation of other virtual laboratories in order to show the usefulness of LV3D@SE. The results obtained were compared with other virtual laboratories to show the usefulness of 3DVL@ES. Experimental results show that LV3D@SE laboratory easily achieves complex practical works with the integration of cooperation and collaboration aspects.

Keywords: Virtual Laboratory, Collaboration, Cooperation, Interaction, 3d Interface, Practical Work, LV3D@SE.

ملخص

في الوقت الحاضر ، يهتم العمل البحثي بشدة بتطوير المعامل الافتراضية من أجل السماح للجامعات بضمان تدريس الاعمال التطبيقية عن بُعد. يتطلب هذا النوع من التعلم بيئة محددة مخصصة بالوظائف التي تسمح بالعمل التعاوني ومشاركة المتعلم والانغماس والتواصل بين الطلبة ونشر المعرفة من أجل تحقيق الأهداف التي حددها الاستاذ. الهدف من هذه الأطروحة هو تصميم وتنفيذ مختبر افتراضي ثلاثي الأبعاد في العلوم التجريبية ... على الويب يهدف الى مساعدة الطلبة على اكتساب المهارات و تجديد المكتسبات خلال العمل التطبيقي بسرعة وسهولة و كذا تنظيم و تبادل المستندات و المعارف بينهم. الفضاء الافتراضي يسمح للمتعلم بالدعم في جميع المراحل التي يقوم بها الطالب اثناء انجاز العمل التطبيقي. نحن نقدم عملية تصميم تسمح للمصممين بإنشاء تطبيق تعليمي ثلاثي الأبعاد يعتمد على الويب تلقائياً للتعليم التطبيقي في اطار تعاوني. لهذا ، نقدم نموذجاً موحداً للتطبيق يحتوي على طبقة تفاعل. يساعد المتعلمين ويسهل لهم الإنشاء التلقائي لواجهات ثلاثية الأبعاد مخصصة للأعمال التطبيقية في مجال العلوم التجريبية. قمنا من خلال هذا المخبر الافتراضي..... دراسة عمل تطبيقي يدرس في ميدان الالكتروكيمياء و المتمثل في انجاز بطارية دانيال. تمت مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها في مخبرنا الافتراضي مع المخابر الافتراضية الأخرى. تظهر النتائج التجريبية أن مخبرنا يسمح بالتحقيق السهل للأعمال التطبيقية المعقدة مع الاخذ بين الاعتبار العمل الجماعي و التعاوني.

الكلمات المفتاحية: مختبر افتراضي ، تعاون ، تعاون ، تفاعل ، واجهة ثلاثية الأبعاد ، مهام عملية