RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE
DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Ferhat Abbas Sétif 1

Faculté des Sciences

Département d'informatique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master en Informatique

et du diplôme universitaire « Projet d'entreprise économique »

Thème

Un écosystème adaptatif pour l'apprentissage des langues

Transformation intelligente et ajustement dynamique dans LinguaNeural Kids

Réalisé par :

ISSAADI Bouzid (RSD)
MEGRADI Abderrahim (IDTW)

Encadré par :

Dr. **NASRI** Khaled

Devant le jury composé de :

Qualité	Nom et prénom	Affiliation
Président	Dr. **AISSAOUI** Mohamed	UFA Sétif 1
Examinateur	Dr. **BELBAL** Samir	UFA Sétif 1

Année universitaire : 2025–2026

Résumé

Ce mémoire présente notre écosystème, un système générique d'apprentissage adaptatif des langues, conçu pour s'adapter à divers contextes éducatifs (du primaire au supérieur, en passant par le privé et l'auto-apprentissage) et extensible à d'autres disciplines. L'innovation repose sur un moteur adaptatif qui analyse le comportement de l'apprenant, ajuste la difficulté en temps réel, diversifie les tâches, mémorise les erreurs et valide la maîtrise réelle. Le prototype *LinguaNeural Kids*, ciblant les élèves algériens du primaire, constitue la première preuve de concept. Il intègre quatre applications coordonnées, le moteur adaptatif et une ébauche d'intelligence émotionnelle. Le module *Apprentissage* transforme automatiquement des chapitres en activités interactives, sous validation humaine. L'architecture modulaire, les modèles UML, les règles de sécurité et l'analyse de faisabilité entrepreneuriale positionnent le projet comme une solution techniquement cohérente et commercialement prometteuse, nécessitant une validation pédagogique et éthique préalable.

Mots-clés : apprentissage adaptatif, analyse comportementale, intelligence émotionnelle, génération de contenu, EdTech, Flutter, Firebase, maîtrise, écosystème évolutif.

Abstract

This thesis presents a scalable ecosystem for adaptive language learning, extendable across educational levels (primary to higher education, private and individual) and potentially to other subjects. Its core engine analyzes learner behavior, adjusts difficulty dynamically, rotates tasks, memorizes errors, and determines completion based on demonstrated mastery. The first implementation, *LinguaNeural Kids*, targets Algerian primary pupils (3rd–5th year). It structures the system across four coordinated applications and embeds adaptive mechanics with early emotional intelligence (facial/vocal). The *Apprentissage* module automatically converts textual content into interactive activities, bridging authoring and adaptation while maintaining human validation. With a modular architecture, UML modeling, strong data-protection constraints, and an entrepreneurial feasibility analysis, the project shows technical coherence and commercial promise, pending experimental, pedagogical, and ethical validation.

Keywords: adaptive learning, behavior analytics, emotional intelligence, content generation, EdTech, Flutter, Firebase, mastery learning, scalable ecosystem.

ملخص

هذه المذكرة تقدم نظاماً بيئياً عاماً للتعلّم التكيّفي للغات، صُمّم ليناسب سياقات تعليمية متنوعة (من الابتدائي إلى التعليم العالي، مروراً بالمؤسسات الخاصة والتعلّم الذاتي) وقابل للتوسيع ليشمل تخصصات أخرى. يقوم الابتكار على محرّك تكيّفي يحلّل سلوك المتعلّم، ويضبط درجة الصعوبة في الوقت الفعلي، وينوّع المهام، ويتذكّر الأخطاء، ويتحقّق من الإتقان الفعلي.

يمثّل النموذج الأولي *LinguaNeural Kids*، الموجّه لتلاميذ المرحلة الابتدائية الجزائرية، أول دليل على المفهوم. يدمج أربعة تطبيقات متنسّقة، والمحرّك التكيّفي، ولمحة أولى عن الذكاء العاطفي. أمّا وحدة *Apprentissage* فتحوّل تلقائياً الفصول الدراسية إلى أنشطة تفاعلية، مع إبقاء المصادقة البشرية.

الهندسة المعيارية، ونماذج UML، وقواعد الأمان، وتحليل الجدوى الريادية، تضع المشروع كحلّ متكامل تقنياً وواعد تجارياً، لكنه يحتاج إلى تجارب ميدانية وإجازة بيداغوجية وأخلاقية قبل التعميم.

الكلمات المفتاحية: تعلّم تكيّفي، تحليل سلوكي، ذكاء عاطفي، توليد محتوى، تكنولوجيا التعليم، فلتر، فايربيز، إتقان، نظام بيئي قابل للتطوّر.

Table des matières

Résumé **ii**

Abstract **iii**

iv **Résumé arabe**

Liste des figures **viii**

Liste des tableaux **ix**

1 Introduction Générale **1**
1.1 Contexte et motivation 1
1.2 Problématique 1
1.3 Questions de recherche 2
1.4 Objectifs et contributions 2
1.5 Organisation du mémoire 2
1.6 Lecture rapide de la contribution 3
1.7 Une expérience unique pour chaque élève 3
1.8 Fondements théoriques 3
1.8.1 Systèmes d'apprentissage adaptatif 3
1.8.2 Fondements pédagogiques 4
1.8.3 Analyse comportementale 5
1.8.4 Intelligence émotionnelle numérique 5
1.8.5 Transformation intelligente du contenu 5
1.9 Conclusion de l'introduction 6

2 Étude comparative Internationale et Algérienne **7**
2.1 Introduction 7
2.2 Objectif et méthode de comparaison 7
2.3 Étude comparative Internationale 9
2.3.1 Duolingo 9
2.3.2 Babbel 9

2.3.3 Rosetta Stone, Busuu et solutions complémentaires 10
2.3.4 Khan Academy et systèmes de maîtrise 10
2.4 Étude comparative Algérienne 11
2.4.1 Écosystème EdTech Algérien 11
2.4.2 Comparaison avec les programmes éducatifs locaux 12
2.5 Analyse des écarts 13
2.6 Carte stratégique 13
2.7 Synthèse comparative 14
2.8 Conclusion 14

3 Cahier Des Charges **15**
3.1 Introduction 15
3.2 Finalité du cahier des charges 15
3.3 Parties prenantes 16
3.4 Exigences fonctionnelles 16
3.4.1 Gestion des identités 16
3.4.2 Gestion du programme 16
3.4.3 Déverrouillage par l'enseignant 16
3.4.4 Session adaptative 17
3.4.5 Transformation de contenu 17
3.5 Exigences non fonctionnelles 17
3.5.1 Performance 17
3.5.2 Disponibilité et reprise 17
3.5.3 Accessibilité et ergonomie 17
3.5.4 Sécurité et confidentialité 18
3.6 Priorisation MoSCoW 18
3.7 Parcours utilisateurs détaillés 18
3.7.1 Parcours du responsable pédagogique 18
3.7.2 Parcours de l'enseignant 18
3.7.3 Parcours de l'élève 19
3.8 Critères d'acceptation 19
3.9 Indicateurs de suivi du produit 19
3.10 Conclusion 20

4 Modélisation UML **21**
4.1 Introduction 21
4.2 Vision de notre solution 21
4.3 Écosystème multi-application 21
4.4 Cas d'utilisation 22
4.5 Diagrammes de séquence 22

4.6 Organisation pédagogique du contenu . . . 27
4.7 Modélisation statique des données . . . 28
4.7.1 Structure de persistance (Firestore) . . . 28
4.7.2 Diagramme de classes conceptuel . . . 30
4.8 Règles d'association . . . 38
4.9 Intelligence émotionnelle et fusion multimodale . . . 41
4.9.1 Architecture du pipeline de fusion . . . 42
4.9.2 Formalisation du modèle émotionnel . . . 42
4.10 Justification des choix et validation conceptuelle . . . 42
4.11 Conclusion . . . 43

5 Implémentation 44
5.1 Introduction . . . 44
5.2 Moteur adaptatif – Fonctionnement détaillé . . . 44
5.3 Moteur de transformation *Apprentissage*– Fonctionnement détaillé . . . 45
5.3.1 Architecture . . . 46
5.3.2 Choix d'une API . . . 47
5.3.3 Sortie structurée . . . 47
5.4 Intégration au moteur adaptatif . . . 48
5.5 Scalabilité . . . 48
5.6 Outils de développement . . . 48
5.6.1 Environnement de développement et outils de modélisation . . . 49
5.7 Architecture logique . . . 51
5.8 Sécurité . . . 51
5.9 Logique visuelle du moteur adaptatif . . . 52
5.10 Tests . . . 52
5.11 État d'avancement et limites d'implémentation . . . 53
5.12 Préparation au déploiement . . . 53
5.13 Captures d'écran – Scénarios fonctionnels . . . 53
5.13.1 Scénario A – Authentification commune et redirection vers l'espace rôle . . . 53
5.13.2 Scénario B – Exercice adaptatif avec consigne bilingue et accompagnement personnalisé . . . 54
5.13.3 Scénario C – Tableau de bord enseignant et déverrouillage d'un chapitre . . . 55
5.13.4 Scénario D – Contrôle de publication par le responsable pédagogique . . . 56
5.13.5 Scénario E – Administration : gestion des comptes et statistiques globales . . . 57

5.14 Correspondance avec les diagrammes de séquence 58
5.15 Conclusion 58

Conclusion générale **59**

Références **60**

Table des figures

2.1 Principales plateformes et références méthodologiques examinées dans notre étude comparative 8

4.1 Diagramme des cas d'utilisation de notre solution 22
4.2 Séquence : authentification et contrôle d'accès fondé sur les rôles 23
4.3 Séquence : administration des utilisateurs et statistiques 24
4.4 Séquence : gestion des programmes pédagogiques 25
4.5 Séquence : déverrouillage d'un chapitre et rédaction d'une note par l'enseignant 26
4.6 Séquence : session élève orchestrée par le moteur adaptatif 27
4.7 Diagramme de classes – gestion des utilisateurs 31
4.8 Diagramme de classes – noyau curriculum et contenu 32
4.9 Diagramme de classes – pipeline de génération de contenu par IA . . . 33
4.10 Diagramme de classes – accès au contenu et notes pédagogiques 34
4.11 Diagramme de classes – sessions d'apprentissage et progression 35
4.12 Diagramme de classes – système adaptatif et orchestration 36
4.13 Diagramme conceptuel simplifié du modèle de classes 37
4.14 Vue en flux du fonctionnement du système 37

5.1 Automate multimodal : fusion du comportement, de la caméra et de la voix 45
5.2 Automate du système *Apprentissage* : transformation contrôlée du contenu 47
5.3 Technologies et outils utilisés pour le développement du prototype . . . 49
5.4 Écran d'authentification unique avec redirection basée sur le rôle . . . 54
5.5 Exercice adaptatif avec consigne bilingue et aide contextuelle 55
5.6 Tableau enseignant : suivi des progrès et déverrouillage de chapitre . . 56
5.7 Validation et publication du contenu transformé 57
5.8 Gestion des comptes et tableau de bord administrateur 58

Liste des tableaux

1.1 Comparaison entre parcours statique et parcours adaptatif 4

2.1 Comparaison synthétique avec des références internationales 11
2.2 Positionnement vis-à-vis des offres locales typiques 12

3.1 Parties prenantes et attentes principales 16
3.2 Priorisation du produit 18
3.3 Exemples de critères d'acceptation 19

4.1 Rôle pédagogique des sept niveaux 27
4.2 Schéma détaillé des collections Firestore 28
4.3 Règles d'association du modèle de classes 38

5.1 Contrat fonctionnel simplifié d'une activité générée 48
5.2 Pile technologique proposée 51