



المدرسة العليا للإعلام الآلي  
(المعهد الوطني للتكوين في الإعلام الآلي سابقا)

École nationale Supérieure d'Informatique  
ex. INI (Institut National de formation en Informatique)

## Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'État en informatique

Option :  **Systèmes d'Informations et Technologies (SIT)**

&  **Systèmes Informatiques (SIQ)**

### Thème

**Mise en œuvre d'un système de contrôle d'accès  
pour les bâtiments intelligents basé sur la  
reconnaissance conjointe faciale et vocale.**

Réalisé par :

- Mr. BENCHOIRA Mohamed Amine (SIQ)
- Mr. MAHMOUDI Sid Ali (SIT)

Encadré par :

- Dr. KERMI Adel, maître de conférences à l'ESI
- Mme. BOULKABOUL Sahar, attachée de recherche à CERIST

Soutenu le : 01/10/2020

Devant le jury composé de :

- Président : Mr. DELLYS Hachemi
- Examineur : Mr. KHELOUAT Boualem
- Rapporteur : Mme. CHARABI Leila

Promotion : 2019/2020

# Remerciements

En guise de reconnaissance, nous tenons à témoigner nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, nous adressons nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude pour nos encadrants Dr KERMI Adel et Mme BOULKABOUL Sahar qui nous ont tant appris par leur encadrement dans ce projet de fin d'études, ils ont été présents tout au long avec leurs explications, remarques et suggestions.

Nous ne pourrions omettre d'exprimer notre reconnaissance infinie envers nos parents qui ont été une source de soutien et de courage et qui ont montré une grande patience face à notre ardeur et dévouement continu au travail.

Nous exprimons, également, nos remerciements à l'ensemble des professeurs, enseignants, étudiants et personnel de l'École Nationale Supérieure d'Informatique.

# Résumé

Parmi les systèmes critiques dans un bâtiment est le système de contrôle d'accès. Les bâtiments intelligents nécessitent un système de contrôle d'accès intégrable et compatible avec les autres systèmes numériques du bâtiment. Les solutions existantes souffrent de nombreux problèmes tels que la serrure classique non intelligente et l'égarement des accessoires d'accès qui ouvre la possibilité aux intrus.

L'objectif de ce projet est de concevoir et réaliser un système informatique de contrôle d'accès pour les bâtiments intelligents en utilisant la reconnaissance faciale et vocale conjointe. Pour arriver à ce but, nous avons entraîné deux modèles de reconnaissance en appliquant les algorithmes d'apprentissage profond : un modèle pour identifier les voix des locuteurs, et l'autre pour reconnaître les visages. En utilisant *VoxCeleb1* comme ensemble de données d'entraînement et de test pour la reconnaissance vocale et *WIDER Face*, *CelebA*, *VGGFace2* et *MS-Celeb-1M* pour la reconnaissance faciale, nous avons réalisé un système de contrôle d'accès avec un taux de faux positifs presque nul et une précision de test supérieure (99%).

La combinaison entre plusieurs biométries rend les systèmes de contrôle d'accès plus sûr, surtout avec l'application des algorithmes de l'apprentissage profond qui ont démontré une excellente efficacité par rapport à la reconnaissance basée sur les méthodes classiques.

**Mots-clés** : Système de contrôle d'accès, Bâtiment intelligent, Apprentissage automatique, Apprentissage profond, Reconnaissance faciale, Reconnaissance du locuteur.

# Abstract

Among the most critical systems in a building is the access control system. Smart buildings require an access control system that can be integrated and compatible with other digital systems in the building. Existing solutions suffer from many problems such as the classic non-intelligent lock and the misplacement of access accessories which opens the possibility to intruders.

The objective of this project is to design and build an access control computer system for smart buildings using joint facial and voice recognition. To achieve this goal, we have trained two recognition models by applying deep learning algorithms: one model to identify speakers' voices, and the other to recognize faces. Using *VoxCeleb1* as the training and test dataset for speech recognition and *WIDER Face*, *CelebA*, *MS-Celeb-1M* and *VGGFace2* for facial recognition, we have implemented an access control system with an almost zero false acceptance rate and superior test accuracy (99%).

The combination of several biometrics makes access control systems more secure, especially with the application of deep learning algorithms which have demonstrated excellent efficiency over recognition based on traditional methods.

**Keywords:** Access control system, Smart building, Machine learning, Deep learning, Facial recognition, Speaker recognition.

## ملخص

تعد أنظمة التحكم في الولوج للبنىات مهمة جدًا وضرورية لضمان الأمان وإدارة الجانب الديناميكي للمستويات المختلفة من امتيازات الولوج بشكل أفضل. تطورت هذه الأنظمة وخضعت لتحويلات كبيرة أدت إلى تغييرات في تشغيلها وبنيتها وتحسين أدائها.

من بين أكثر الأنظمة أهمية في المباني هو نظام التحكم في الولوج. تتطلب المباني الذكية نظامًا للتحكم في الولوج يمكن دمجه ومتوافقًا مع الأنظمة الرقمية الأخرى في المبنى. تعاني الحلول الحالية من العديد من المشكلات مثل القفل الكلاسيكي غير الذكي وإضاعة أدوات الولوج مما يفتح الباب أمام الدخلاء.

الهدف من هذا المشروع هو تصميم وبناء نظام آلي للتحكم في الولوج للمباني الذكية باستخدام التعرف المشترك على الوجه والصوت. لتحقيق هذا الهدف ، قمنا بتدريب نموذجين للتعرف من خلال تطبيق خوارزميات التعلم العميق: نموذج واحد لتحديد أصوات المتحدثين ، والآخر للتعرف على الوجوه. باستخدام VoxCeleb1 كمجموعة بيانات للتدريب والاختبار للتعرف على الكلام و WIDER Face و CelebA و MS-Celeb-1M و VGGFace2 للتعرف على الوجوه ، قمنا بتطوير نظام تحكم في الولوج مع معدل قبول خاطئ تقريبًا صفر ودقة اختبار فائقة (99٪) .

إن الجمع بين العديد من القياسات الحيوية يجعل أنظمة التحكم في الولوج أكثر أمانًا ، لا سيما مع تطبيق خوارزميات التعلم العميق التي أظهرت كفاءة ممتازة على التعرف على عكس الأساليب التقليدية.

**كلمات مفتاحية:** نظام التحكم في الولوج، بناية ذكية، تعلم الآلة، التعلم العميق، التعرف على الوجه، التعرف على المتحدث.

# Table des Matières

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Abstract.....	III
ملخص.....	IV
Table des Matières.....	V
Table des Figures.....	VIII
Table des Tableaux.....	XI
Abréviations et acronymes.....	XII
Introduction générale.....	1
PARTIE I : Étude Bibliographique.....	2
1. Les Systèmes de Contrôle d'Accès.....	3
1.1. Introduction.....	3
1.2. Définition.....	3
1.3. Composants d'un ACS.....	5
1.4. Les méthodes utilisées dans les ACS.....	6
1.5. Les ACS pour les bâtiments intelligents.....	6
1.5.1. Bâtiments intelligents.....	7
1.5.2. Internet des objets.....	7
1.5.3. Classifications des ACS.....	8
1.6. Conclusion.....	10
2. Apprentissage automatique et profond.....	11
2.1. Introduction.....	11
2.2. Apprentissage automatique.....	11
2.3. Apprentissage profond.....	13
2.3.1. Définition.....	13
2.3.2. Types de réseaux de neurones.....	16
2.4. Conclusion.....	21
3. Reconnaissance faciale et vocale.....	22
3.1. Introduction.....	22
3.2. Reconnaissance faciale.....	22

3.2.1. Définition .....	22
3.2.2. Fonctionnement.....	24
3.2.3. Étude comparative.....	28
3.3. Reconnaissance vocale .....	33
3.3.1. Définition .....	33
3.3.2. Fonctionnement.....	34
3.3.3. Étude comparative.....	44
3.4. Conclusion .....	45
PARTIE II : Analyse et Conception .....	46
4. Expression des besoins .....	47
4.1. Introduction .....	47
4.2. Organisme d'accueil .....	48
4.3. Modèles des besoins .....	49
4.3.1. Système de contrôle .....	50
4.3.2. Système d'administration.....	53
5. Analyse.....	56
5.1. Introduction .....	56
5.2. Diagramme de classes .....	57
5.3. Diagrammes d'activité.....	58
5.4. Diagrammes de séquence .....	61
6. Conception .....	63
6.1. Introduction .....	63
6.2. Architecture .....	64
6.2.1. Architecture modulaire.....	64
6.2.2. Architecture de la base de données .....	67
6.3. Conception détaillée .....	69
6.3.1. Module de reconnaissance vocale .....	69
6.3.2. Module de reconnaissance faciale.....	74
6.4. Conclusion .....	84
PARTIE III : Réalisation .....	85
7. Implémentation et test .....	86
7.1. Introduction .....	86

7.2.	Environnements de développement.....	86
7.2.1.	Environnement matériel .....	87
7.2.2.	Environnement logiciel .....	88
7.3.	Architecture générale.....	89
7.4.	Réalisation de la reconnaissance vocale.....	91
7.4.1.	Implémentation du module vocal.....	91
7.4.2.	Test du module vocal .....	93
7.5.	Réalisation de la reconnaissance faciale.....	95
7.5.1.	Implémentation du module facial.....	95
7.5.2.	Test du module facial .....	109
7.6.	Réalisation de l'application web et mobile.....	111
7.7.	Avantage de l'hybridation .....	114
7.8.	Évaluation générale .....	115
7.8.1.	Premier scénario de test .....	115
7.8.2.	Deuxième scénario de test.....	117
7.9.	Conclusion .....	118
	Conclusion générale.....	119
	Références bibliographiques .....	121
	PARTIE IV : Annexes .....	132
	Annexe A : La méthode CRISP-DM .....	133
	Annexe B : Liste des technologies utilisées.....	135
	Annexe C : Diagramme de Gantt.....	139

# Table des Figures

Figure 1 : Processus de contrôle d'accès .....	5
Figure 2 : Internet des objets, interconnexion et interopérabilité (Patel, & Patel, 2016).....	8
Figure 3 : Correspondance du neurone biologique et neurone artificiel (Touzet, 1992) .....	13
Figure 4 : Principe du perceptron (Nielsen, 2015) .....	14
Figure 5 : Diagramme général d'une fonction d'activation (Basta, 2020).....	15
Figure 6 : Architecture générale d'un CNN (Mageswaran, 2019).....	17
Figure 7 : Un RNN et sa version dépliée (Deloche, 2017) .....	18
Figure 8 : Unité d'un LSTM (Deloche, 2017) .....	20
Figure 9 : Schéma d'un réseau GRU à une unité. (Deloche, 2017) .....	21
Figure 10 : Étapes de reconnaissance d'un visage (Kharkovyna, 2019).....	24
Figure 11 : Traitement de la parole (Campbell, 1997).....	34
Figure 12 : Les représentations numériques des voix (Hansen & Hasan, 2015) .....	36
Figure 13 : Étapes d'un système SV (Todkar, Babar, Ambike, Suryakar, & Prasad, 2018) ...	36
Figure 14 : Système de reconnaissance vocale LPC (Todkar et al., 2018) .....	38
Figure 15 : FRR et FAR d'un système SR GMM-UBM (Georgesc & Cucu, 2018).....	41
Figure 16 : Diagramme de CU du système de contrôle .....	52
Figure 17 : Diagramme de CU du système d'administration.....	55
Figure 18 : Diagramme de classes d'analyse.....	57
Figure 19 : Diagramme d'activité de « demande d'inscription ».....	58
Figure 20 : Diagramme d'activité de « Demander accès » .....	59
Figure 21 : Diagramme d'activité « Surpasser décision système de contrôle » .....	60
Figure 22 : Diagramme de séquence « Demande d'inscription » .....	61
Figure 23 : Diagramme de séquence de « Demander accès » .....	62
Figure 24 : Diagramme de classes de conception .....	64
Figure 25 : Diagramme de composants.....	65
Figure 26 : Diagramme de déploiement.....	66
Figure 27 : Diagramme Entité/Association d'analyse .....	67
Figure 28 : Table relationnelle de la base de données.....	68
Figure 29 : Les phases de système de reconnaissance de locuteur .....	70
Figure 30 : Architecture du réseau de neurones de reconnaissance vocale .....	71
Figure 31 : Architecture détaillée du réseau de neurones (Wan et al., 2018) .....	72

Figure 32 : Pseudo algorithme d'entraînement.....	73
Figure 33 : Pseudo algorithme de vérification .....	73
Figure 34 : Architecture du module de la reconnaissance faciale.....	74
Figure 35 : Réseaux convolutifs profonds multitâches en trois étapes (Zhang et al., 2016)....	75
Figure 36 : L'architecture du réseau Proposal Network (P-Net) (Zhang et al., 2016) .....	76
Figure 37 : L'architecture du réseau Refinement Network (R-Net) (Zhang et al., 2016) .....	76
Figure 38 : L'architecture du réseau Output Network (O-Net) (Zhang et al., 2016).....	76
Figure 39 : Evaluation de la détection de visage sur AFLW (Zang, 2016).....	80
Figure 40 : Evaluation de la détection des repères faciaux sur AFLW (Zang, 2016).....	80
Figure 41 : Un élément constitutif d'un réseau résiduel (He, Zhang, Ren, & Sun, 2016).....	82
Figure 42 : Exemple d'une photo avec un visage pivoté .....	83
Figure 43 : Correction d'un visage pivoté avec les repères détectés .....	83
Figure 44 : Pourcentages des systèmes des smartphones en Algérie en juillet 2020.....	87
Figure 45 : Architecture technique de notre système .....	89
Figure 46 : Schéma général d'exécution de la reconnaissance .....	90
Figure 47 : Les fichiers de son en entrée.....	91
Figure 48 : Les fichiers de caractéristiques de voix résultants.....	91
Figure 49 : Erreur d'entraînement sur VoxCeleb1 .....	92
Figure 50 : Erreur de Test VoxCeleb1 .....	92
Figure 51 : Erreur d'entraînement et de test sur le dataset TIMIT .....	93
Figure 52 : Résultat d'exécution du programme d'inscription.....	94
Figure 53 : Résultat de l'utilisation du modèle entraîné sur TIMIT .....	94
Figure 54 : Résultat de l'utilisation du modèle entraîné sur VoxCeleb1 .....	94
Figure 55 : Chemin d'une exécution complète du module de la reconnaissance faciale.....	95
Figure 56 : Environnement de travail dans Colab.....	96
Figure 57 : Étape de préparation de l'environnement.....	97
Figure 58 : Installation des dépendances exigées.....	98
Figure 59 : Les tâches pour entraîner les modèles .....	99
Figure 60 : Exécution de la première commande.....	100
Figure 61 : Exécution de la deuxième commande .....	100
Figure 62 : Exécution de la troisième commande .....	101
Figure 63 : Exécution de la troisième commande (temps).....	101
Figure 64 : Exécution de la troisième commande (résultats) .....	101
Figure 65 : Exécution de la quatrième commande.....	102
Figure 66 : Exécution de la quatrième commande (temps).....	102

Figure 67 : Exécution de la cinquième commande .....	103
Figure 68 : Exécution de la sixième commande .....	103
Figure 69 : Exécution de la sixième commande (temps) .....	103
Figure 70 : Exécution de la sixième commande (résultat) .....	103
Figure 71 : Exécution de la septième commande .....	104
Figure 72 : Exécution de la septième commande (temps) .....	104
Figure 73 : Les repères faciaux à détecter .....	105
Figure 74 : Exécution de la huitième commande .....	105
Figure 75 : Exécution de la neuvième commande .....	106
Figure 76 : Exécution de la dixième commande .....	106
Figure 77 : Exécution de la dixième commande (temps) .....	106
Figure 78 : Photo d'authentification n°1 envoyée au serveur .....	109
Figure 79 : Résultats après détection et correction .....	109
Figure 80 : Photo d'authentification n°2 envoyée au serveur .....	110
Figure 81 : Application web de réception à l'écoute pour le port 5004 .....	111
Figure 82 : L'application mobile, volet d'inscription .....	112
Figure 83 : L'application mobile, volet de vérification .....	112
Figure 84 : Les dossiers des données biométriques sont vides initialement .....	112
Figure 85 : Envoie les données d'inscription .....	112
Figure 86 : Envoie les données de vérification .....	112
Figure 87 : Les dossiers des données biométriques contiennent les fichiers envoyés .....	113
Figure 88 : Le log de l'application web lors la réception des données envoyées .....	113
Figure 89 : Résultat de reconnaissance avec hybridation .....	114
Figure 90 : Inscription d'un nouvel utilisateur .....	115
Figure 91 : Log des événements d'inscription (côté serveur) .....	116
Figure 92 : Vérification d'un utilisateur existant .....	116
Figure 93 : Log du serveur pour le cas de la vérification réussite .....	117
Figure 94 : Tentative de vérification d'une personne inconnue .....	117
Figure 95 : Log du serveur lors de la tentative de vérification .....	118
Figure 96 : Le processus de la méthodologie CRISP-DM (Azevedo & Santos, 2008) .....	133
Figure 97 : Diagramme de Gantt établi pour le plan du projet .....	139

# Table des Tableaux

Tableau 1 : Comparaison des méthodes de reconnaissance faciale. (Wang & Deng, 2019) ...	29
Tableau 2 : Les méthodes de reconnaissance basées sur PCA (Lal et al., 2018).....	31
Tableau 3 : Les méthodes de reconnaissance basées sur SVM (Lal et al., 2018).....	31
Tableau 4 : Les méthodes de reconnaissance basées sur HMM (Lal et al., 2018).....	32
Tableau 5 : Les méthodes de reconnaissance basées sur Gabor Wavelets (Lal et al., 2018)...	32
Tableau 6 : Résultat d'utilisation MFCC et LPC (Chauhan, Isshiki & Li, 2019).....	38
Tableau 7 : Résultats de SV basé sur VQ (Martinez et al., 2012).....	39
Tableau 8 : Pourcentage de précision des modèles SV basés sur HMM combiné avec VQ (Revathi & Venkataramani, 2011).....	40
Tableau 9 : Résultat d'un SV basé sur GMM (Weng, Li & Guo, 2010).....	41
Tableau 10 : Tableau comparatif entre GMM, SVM et GMM +SVM appliqué pour la SV (Bao & Juan, 2012).....	42
Tableau 11 : Résultats de quelques méthodes basées sur Deep Learning (Nagrani, Chung, Xie, & Zisserman, 2020) .....	43
Tableau 12 : Les techniques d'extraction de caractéristiques (Todkar et al., 2018).....	44
Tableau 13 : Les techniques de mise en correspondance des caractéristiques (Todkar et al., 2018 ; Hansen & Hasan, 2015 ; Nagrani et al., 2019) .....	44
Tableau 14 : Spécifications fonctionnelles du système de contrôle.....	50
Tableau 15 : Spécifications techniques du système de contrôle .....	51
Tableau 16 : Spécifications fonctionnelles du système d'administration .....	53
Tableau 17 : Spécifications techniques du système d'administration.....	54
Tableau 18 : Statistiques sur VoxCeleb1 .....	72