

Implémentation D'un Système Web Pour L'achat, Vente Et Location Des Immeubles Avec Prédiction Sonore

Ngoy Mulopwe Sylvestre¹, Kijuki Muloko Christian², Manama Ahinda Etienne², Mutomb Kapend Emmanuel³, Muhomba Olomani Trésor⁴, Paty M'bow Carl⁵

¹Institut Supérieur des Techniques Médicales Mampala, Département Informatique, Censure des Travaux et Recherches Scientifiques

² Université Don Bosco de Lubumbashi, Faculté des Sciences Informatiques, Département des Réseaux et Télécommunications

³Institut Supérieur des Techniques Médicales Musumba

⁴Institut Supérieur des Techniques Médicales Mampala, Département Informatique

⁵Avocat près la Cour d'Appel du Haut-Katanga/RDC

Résumé

L'être humain cherche toujours à améliorer sa vie quotidienne sur tous les plans, y compris vivre paisiblement. Le domaine informatique en est un vecteur. La venue des dispositifs électroniques de traitement automatique d'information (ordinateur portable, assistant personnel de poche, etc) et de l'internet ont étroitement simplifié la tâche à l'homme en lui permettant de réaliser plusieurs opérations telles que : traiter, transmettre, envoyer et recevoir des informations partout dans le monde. Hormis ces quintessences, internet offre plusieurs services, et cela s'illustre par le e-commerce. Pour ce faire, nous allons implémenter un système web qui va nous permettre de consulter un immeuble, de louer, d'acheter (maison, parcelle, terrain, etc) ; avec une présentation de niveau sonore environnant de chaque immeuble. Cette présentation du niveau sonore sera implémentée grâce à un détecteur (capteur son) de son avec système d'enregistrement automatique utilisant Arduino ESP32 avec l'IoT permettant de mesurer le niveau du son, d'afficher graphiquement les valeurs mesurées en dB. Les connaissances et capacités de web service, les compétences en liaison sans fil et la lecture des articles, des thèses, des livres, des manuels des équipements de transmission pour avoir des informations nécessaires afin de constituer des données qui cadrent avec le système et aussi ils constituent les techniques et méthodes que nous utiliserons dans notre travail. Notre champ d'implémentation est la ville de Lubumbashi se trouvant dans la province du Haut-Katanga en République démocratique du Congo.

Keywords : système web, achat, vente, location, application, bruit, prédiction, sonore.

1. Introduction

Depuis la nuit des temps, l'être humain se réveille au son (les tam-tams, les chants des poules, les aboiements des chiens, les alarmes téléphoniques, les bruits des véhicules qui entrent en circulation...). L'aptitude d'être à l'écoute des sons est certainement un grand cadeau ; quand bien même tous les sons

ne sont pas agréables, mais ils sont nécessaires pour être informé et ou pour recevoir un message¹². La nature du son diffère d'un milieu à un autre (milieu d'habitation, milieu professionnel, proximité des aéroports[1], aires de distraction et de loisirs, etc.). Les sources sonores sont multiples : la circulation automobile[2], les sources mécaniques mobiles et ponctuelles comme les usines, les machines, les voitures[3], les camions, les klaxons, les trains, les véhicules, etc. ; les travaux de chantiers ponctuels ou durables ; les bruits du voisinage (musique sonorisée à outrance des haut-parleurs des églises et des barres, cris des foules aux stades, alarme intempestive, feux d'artifice lors des fêtes, etc.). Malheureusement, dans notre vie quotidienne, ces sons atteignent parfois une intensité ou un niveau excessif et peuvent constituer un désagrément causé au système, auditif voire affecté l'acuité auditive de l'être humain qui se trouve en contact permanent avec ces décibels. Il est également à noter que dans un pays majoritairement pauvre, il n'est pas du tout aisé de devenir propriétaire de maisons. C'est ainsi que bon nombre de gens à Lubumbashi recourent aux maisons mises en location. Et pour acquérir un logement par cette voie, les commissionnaires, intermédiaires entre bailleurs et locataires, sont quasiment incontournables ; ceux-ci sont à priori très importants pour ceux qui cherchent où loger. Mais il y a des dessous de cartes abusifs et non régulés qu'il faut connaître, c'est entre autres : Un droit de visite moyennant une rémunération monétaire, la somme réservée pour la commission.

Il arrive très rarement que les bailleurs et ou les propriétaires d'habitations communiquent publiquement au sujet des offres de location ou de vente. Pour éviter des frais de déplacement et de commissions abusifs, nous allons concevoir une plateforme web dynamique qui va permettre aux citoyens se trouvant dans la ville de Lubumbashi, passagers, et également ceux désirant demeurer dans la ville précitée, de consulter et de choisir en ligne par rapport à leurs désirs et contraintes le lieu d'habitation y afférent selon la disponibilité sur le système, soit pour la location ou l'achat.

Le traitement, avant tout préventif, repose sur l'éducation, la réglementation, la protection. Les conséquences générales, mieux connues du public, comportementales, cardio-vasculaires, endocriniennes, sont liées à la sensation d'agression. Ces nuisances sonores se sont aggravées depuis quinze ans (discothèques, aéroports), mais peu de progrès thérapeutiques ont été réalisés, malgré beaucoup d'efforts et de projets. Une véritable prise de conscience collective, mais surtout individuelle, des risques encourus et de leur prévention est nécessaire, pour éviter notamment de voir apparaître dans la décennie à venir toute une génération de sourds ; nous allons ajouter sur notre système ; un sous-système utilisant Arduino ESP32 avec l'IoT permettant de mesurer le niveau du son, d'afficher graphiquement les valeurs mesurées en dB et de les faire coïncider à l'échelle des décibels des niveaux de bruit afin de réduire l'impact des effets négatifs des polluants environnementaux sur la santé publique et l'environnement lui-même et également de visualiser les tendances environnementales.

Ce travail va faciliter à toute la population en général et à la population Lushoise en particulier de trouver rapidement en ligne une location voulue et adéquate au moment opportun, et aussi de voir le niveau de pollution sonore[4] qu'elle présente. Ce travail va également permettre de restreindre et de diminuer sensiblement les dépenses liées à la prise de contact avec les passerelles ou commissionnaires pour trouver une location ainsi qu'aux frais de déplacements des visites.

Nous allons utiliser la méthode d'observation qui va nous permettre d'organiser des descentes sur terrain pour pouvoir observer de nos propres yeux la configuration topographique de la ville de Lubumbashi, et voir la faisabilité de déploiement de nos points d'interconnexion ; et la technique de lecture des articles, des thèses, des livres, des manuels des équipements de transmission pour avoir des informations nécessaires afin des constituer des données qui cadrent avec notre sujet et aussi l'interview qui nous

permettra d'avoir des échanges avec nos aînés scientifiques dans ces domaines (IoT, système multimédia, PAE, AL) afin d'avoir des idées claires sur notre travail.

Dans notre travail, nous allons concevoir un système qui va permettre aux paisibles citoyens en général et ceux de la ville de Lubumbashi en particulier de trouver aussi possible qu'il soit et aisément une habitation tout en leur permettant d'avoir un tableau de bord leur indiquant le niveau des bruits et différents impacts des niveaux de bruits auxquels ils sont exposés dans le but de les prévenir.

2. Etudes des ondes sonores et conception du système avec prédiction sonore et modélisation du système

2.1. Les ondes sonores et leurs impacts sur la santé

Sur l'écosse terrestre, on distingue 2 grandes catégories d'ondes :

- Les ondes mécaniques[5] dont la propagation s'appuie sur la matière (ondes sonores, ondes de gravité, ondes sismiques, ...)
- Les ondes électromagnétiques[6] n'ont pas besoin de support matériel pour se propager (ondes radioélectriques, optiques, rayons X, cosmiques, ...).

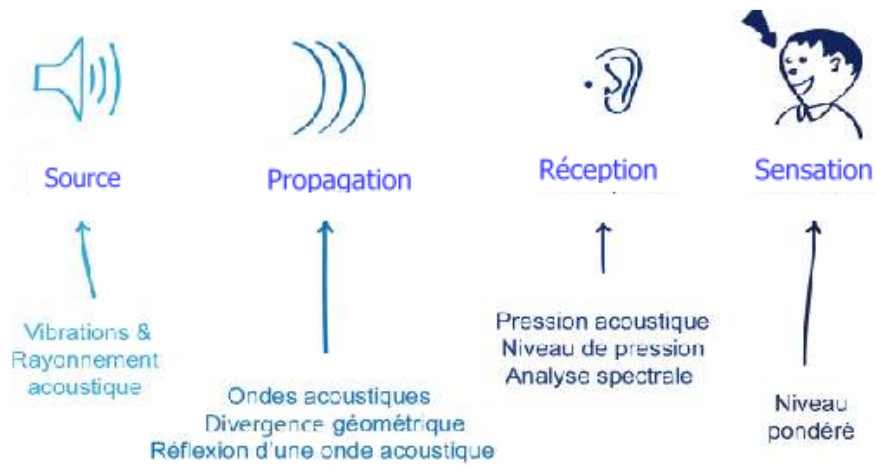
Le son : c'est un phénomène ondulatoire produit par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagée grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'ondes longitudinales, tandis qu'une onde sonore est une onde mécanique, longitudinale de périodicité spatiale et temporelle à des fréquences perceptibles par l'appareil auditif humain. En effet, la notion d'onde acoustique n'existe que par la présence d'un récepteur, l'appareil auditif humain.

Les ondes sonores sont produites par la vibration mécanique d'un corps. La source de l'onde sonore, nommée également exciteur, doit être capable de créer une vibration de fréquence audible par l'Homme. Les sources de fréquences inférieures à 20 vibrations par seconde, soit 20 Hz, ou supérieures à 20 000 Hz ne représentent pas des sources sonores.

Un son est une onde acoustique audible dans l'air. Mais l'onde acoustique peut exister et se propager dans tout milieu déformable, qu'il soit solide, liquide ou gazeux. Selon la capacité du milieu à se déformer, les caractéristiques physiques des ondes sonores telles que la célérité ou l'amplitude varient. Il n'existe pas d'onde sonore dans le vide.

La perception sonore est générée par le cerveau humain suite à un stimulus de l'oreille, elle-même stimulée par une onde acoustique. L'oreille joue à la fois un rôle de récepteur et d'activateur. Il existe des récepteurs électroniques (les microphones)[7]. Ces microphones sont composés d'une membrane capable de vibrer sous l'influence d'ondes sonores. Ils constituent les éléments essentiels des prothèses auditives et permettent de substituer l'oreille humaine défectueuse.

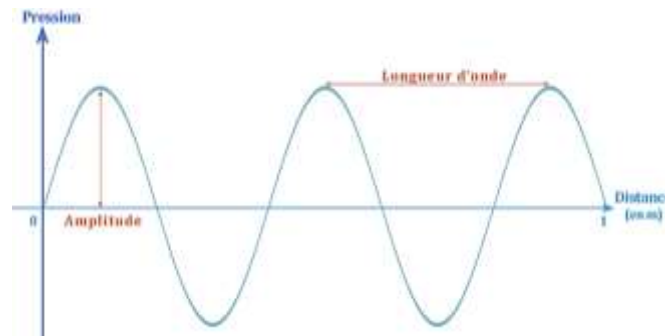
Figure 1: Production de l'onde sonore



On appelle longueur d'onde λ [8], c'est la distance qui sépare deux états vibratoires équivalents consécutifs. Elle correspond également à la distance parcourue par l'onde pendant une période d'oscillation et représente la périodicité spatiale des oscillations. Elle s'exprime par la relation :

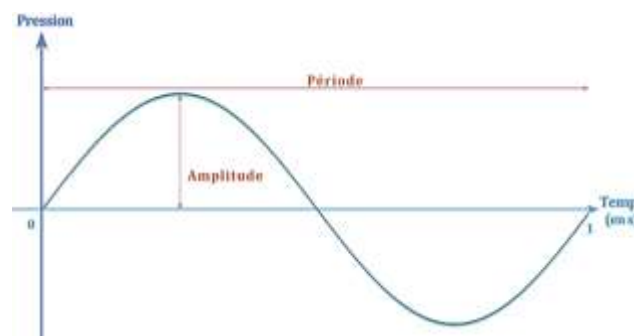
$$\lambda = V * T \text{ avec } T = 1 / F$$

Figure 2: Représentation physique de la longueur d'onde λ



On appelle également période T [9], le temps qui sépare deux états vibratoires identiques consécutifs. Elle correspond également au temps parcouru par l'onde pendant une période d'oscillation et est inversement proportionnelle à la fréquence. Elle représente la périodicité temporelle des oscillations.

Figure 3: Représentation physique de la période de l'onde sonore



Lors d'un mouvement cyclique, la fréquence ou la hauteur de l'onde sonore correspond au nombre de périodicités temporelles par seconde de ce même mouvement ou encore elle représente le nombre de vibrations engendrées par le corps sonore en 1 seconde.

Les sons dont les fréquences sont plus faibles que la plus petite fréquence audible (donc, du côté des graves) sont appelés les infrasons (20 Hz chez l'homme). Les sons dont les fréquences sont plus élevées que la plus haute fréquence audible (donc, du côté des aigus) sont appelés les ultrasons (20 000 Hz chez l'homme).

Les fréquences les plus utilisées par l'Homme sont comprises entre 1 et 3 kHz. Mais, la plage audible est de 20 Hz à environ 20 kHz (non audibles: infrasons et ultrasons)[10].

Figure 4: Représentation physique de la fréquence de l'onde sonore

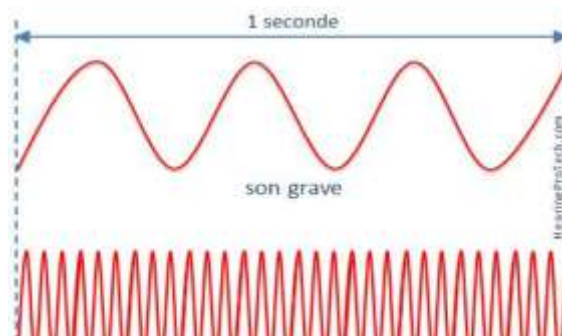
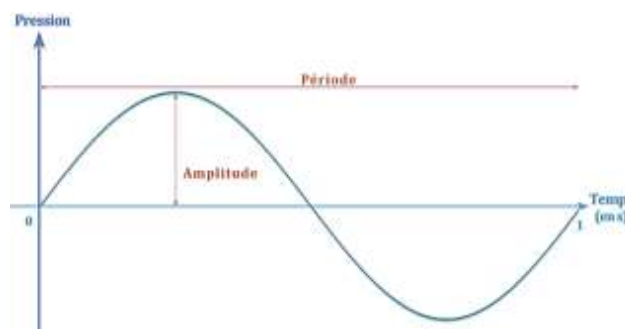


Figure 5: Plage des fréquences sonores



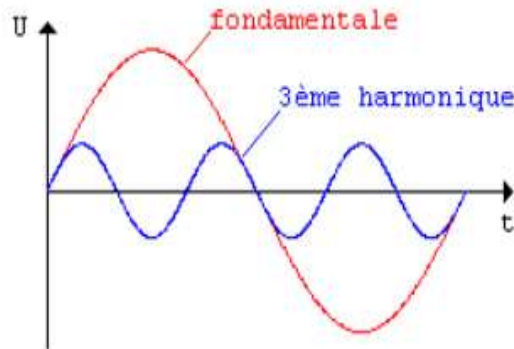
L'intensité correspond à l'amplitude ; c'est la quantité d'énergie qui traverse pendant un temps d'une seconde, une surface unitaire au sens de propagation des ondes sonores. Exprimée en décibels (dB) qui sont des unités logarithmiques.

Figure 6: Intensité de l'onde sonore



Une onde périodique complexe peut être décomposée en un ensemble d'ondes périodiques simples. Ainsi, un son est, en général, un mélange de fréquences dites "harmoniques" qui sont des multiples entiers de la fréquence de base. Un son qui n'est accompagné d'aucune harmonique est appelé son pur.

Figure 7: La fondamentale et les harmoniques



Le timbre, c'est la différence entre deux sons ayant la même hauteur et le même volume (même fréquence, même intensité) : c'est la qualité de sensation. Le timbre dépend de l'intensité des harmoniques qui accompagnent le son fondamental.

La propagation du son n'est possible que dans un milieu dit « élastique », c'est-à-dire que le son a besoin d'un vecteur de transmission pour se diffuser (air, liquide ou dans un milieu solide).

Lorsque le milieu est homogène, l'onde sonore se propage à vitesse constante :

- Dans l'air à 0 °C : vitesse du son = 330 m/s et à 20 °C : 344 m/s ;
- Dans l'eau à 20°C : vitesse du son = 1460 m/s ;
- Dans le diamant : vitesse du son = 18000 m/s ;
- Dans le béton : vitesse du son = 3160m/s ;
- Dans le verre : vitesse du son = 5000m/s ;
- Dans le vide, le son ne se propage pas (car, le son est une onde mécanique).

La propagation des ondes sonores dans l'atmosphère est un phénomène complexe qui peut être affecté par toute une série d'éléments comme par la topographie du terrain, la nature du sol ou les caractéristiques atmosphériques.

Le bruit est défini en électroacoustique comme étant un signal parasite non souhaité perturbant la compréhension du signal transmis[11]. C'est ce qu'on appelle le « bruit de fond ». En acoustique physiologique[12], le bruit, nous le définissons par toute sensation auditive non souhaitée, non agréable ou gênante quelles que soient ses caractéristiques physiques. Cette notion de bruit pour un son donné est propre à chacun. Selon la norme NFS 30001, le bruit est défini comme un « phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme désagréable ou gênante ». Suivant ces caractéristiques physiques, un son peut être nocif ou non pour l'appareil auditif. De même, un son peut ne pas être considéré comme bruit pour l'un et ne pas l'être pour l'autre.

La nuisance sonore est un trouble constitué par des bruits qui, au-delà d'un certain seuil auditif, constituent un événement anormal. Elle est une gêne qui n'a pas de conséquences néfastes sur la santé ou l'environnement. Un bruit considéré comme une nuisance aura une « intensité inférieure au seuil de lésions physiologiques »[13]. Mais cela reste subjectif, chacun ressent les bruits différemment : un bruit sera gênant pour certains sans l'être pour d'autres.

La pollution sonore est l'ensemble des bruits à un haut niveau d'intensité ou de répétitivité qui peuvent avoir un impact sur la santé. A l'opposé de la nuisance sonore, celle-ci possède la possibilité d'affecter la santé humaine, en l'occurrence l'acuité auditive et les écosystèmes.

Pour mesurer l'intensité d'un son en dB, il suffit donc de disposer d'un microphone, qui convertit le son en courant ou en tension, puis d'interpréter la tension obtenue en termes de décibels. Toutefois, ces décibels, s'ils traduisent la physique du son (indépendante du récepteur), ne correspondent pas vraiment à la perception que nous en avons, car l'oreille humaine ne perçoit pas toutes les fréquences de la même manière. Ainsi, un son ne sera pas perçu comme étant de même intensité s'il est de fréquence 1 kHz ou s'il est de fréquence 500 Hz.

Les dBA et dBC sont des variantes à partir de l'unité "dB", sont des tentatives de mesurer, non pas l'intensité sonore réelle, mais l'intensité sonore telle qu'elle sera perçue par une oreille humaine moyenne. Les dBA et dBC sont obtenus en utilisant un filtre « proche » dans son comportement de l'oreille humaine. Il n'est pas possible, cependant, avec un filtre unique de reproduire le comportement de l'oreille « moyenne » humaine.

Il n'y a pas de seuil de décibels à partir duquel on estime qu'il s'agit d'une pollution. La différence entre la pollution sonore et les autres pollutions réside dans le fait que pour les autres types de pollution, l'objectif est de les réduire au maximum. Tandis que pour le bruit, l'objectif n'est pas qu'il y en ait le moins possible car il est vital, mais qu'il y ait le bon bruit au bon moment, au bon endroit. De plus, la sensibilité au bruit et au nombre de décibels est très personnelle. Un bruit peut devenir pénible à partir de 40 ou 50 dB s'il impacte le sommeil et on le considère comme étant dangereux pour l'audition à 85 dB. Une douleur auditive peut apparaître au-delà de 100 dB.

Tableau 1: Niveau de gravité par rapport à la durée d'exposition au son

Niveau sonore en dB	Durée d'exposition
85	8h
88	4h
91	2h
94	1h
97	30 minutes
100	15 minutes

Plus un son est impulsif et plus il est toxique, contrairement au son continu régulé partiellement par le réflexe stapédien[14]. Cependant, cette contraction du muscle stapédien est limitée dans le temps et fonctionne principalement avec les basses fréquences. Elle est de 7 secondes à 121 dB, de 1 minute 52 secondes à 109 dB et d'environ 15 minutes à 100 dB.

De plus, la fréquence et la pureté d'un son ont une incidence sur sa nocivité. Plus un son possède une fréquence élevée, plus il sera nocif. Il en est de même pour sa pureté. La fréquence la plus toxique est aux alentours de 4 kHz, là où la sensibilité de la cochlée est la plus grande.

Le bruit à haut niveau d'intensité peut interférer avec les processus biologiques et physiologiques de l'appareil auditif ainsi qu'avec l'organisme dans sa globalité.

Nous ne sommes pas tous égaux face à un son nocif. En effet, les caractères individuels de l'appareil auditif tels que l'âge, les malformations héréditaires, les antécédents de traumatismes crâniens, les séquelles d'ototoxicité et les antécédents médicaux (oto-rhino-laryngites, métaboliques ou encore cardiovasculaires) nous rendent plus ou moins sensibles à un son nocif. Les caractéristiques physiques

du son sont également un facteur de gravité des potentielles lésions de l'appareil auditif. De ce fait, les conséquences auditives postérieures à une exposition sonore supérieure à 85 dB peuvent aller de la simple fatigue auditive à la rupture du tympan.

La fatigue auditive se définit comme une augmentation temporaire du seuil de l'audition unilatérale ou bilatérale et peut être accompagnée d'acouphènes. Cette fatigue se manifeste à des fréquences précises correspondant aux fréquences du son « fatigant ». L'augmentation du seuil audiométrique est maximale à la fréquence du son la plus nocive perçue. En règle générale, elle atteint son maximum pour les fréquences d'environ 4 kHz pour les sons à large spectre. Le temps de récupération ainsi que la gravité de la perte d'audition sont fonction du niveau sonore et de la durée d'exposition. Le temps de récupération peut varier de quelques minutes à quelques jours. La récupération n'est pas un signe d'absence lésionnelle. Au contraire, une atteinte des cellules ciliées, indétectable à l'audiogramme, peut persister malgré un retour de l'audition, principalement au niveau des fibres du nerf auditif.

La fatigue auditive représente le premier signe de traumatisme cellulaire irréversible. Sa répétition entraîne des séquelles cumulatives et évolue vers une hyperacousie irréversible ; c'est le traumatisme sonore chronique.

La surdité traumatique est une augmentation permanente, définitive et irréversible, uni ou bilatérale du seuil de l'audition. Cette perte d'audition peut être provoquée par des nuisances sonores de l'ordre de 85 dB sur des temps d'exposition relativement longs ; on parle alors de traumatismes sonores chroniques. Lorsqu'elle intervient suite à une exposition de niveau sonore élevé sur un temps d'exposition court, on évoque le terme de traumatisme sonore aigu ou TSA en sigle[15]. Il existe aujourd'hui un nombre croissant de cas de surdité traumatique en raison notamment d'un changement de mode de vie de plus en plus urbanisé, industrialisé et robotisé.

Cette pathologie est le résultat d'une destruction progressive et irréversible des cellules ciliées externes de l'organe cochléaire en réponse à de fortes pressions mécaniques. Une composante métabolique entre en compte et explique l'aggravation de la perte auditive plusieurs heures encore après l'éviction de la source sonore. Le glutamate, par sa surcharge et son action neurotoxique, détruirait les terminaisons nerveuses afférentes aux pieds des cellules ciliées. Généralement, la diminution de l'audition débute pour des sons de fréquences voisines de 4 000 Hz, correspondant au spectre des bruits les plus courants. Elle peut être associée à une hypersensibilité aux sons d'intensités élevées ou hyperacousie, une perte de la résolution temporelle ou encore une perte de la sélectivité fréquentielle. Cette perte de sélectivité séquentielle peut être interprétée par une difficulté de compréhension de la parole dans un milieu bruyant. Ce sont les premiers signes d'une surdité de perception.

Lorsqu'un bruit atteint des niveaux d'intensité très élevés de l'ordre de 120 dB, une rupture de la membrane tympanique peut avoir lieu. Cette perforation est plus ou moins grave et réversible suivant les caractéristiques physiques du bruit ainsi que la durée d'exposition. Une rupture de la membrane n'est pas systématiquement visible à l'otoscope et le diagnostic est confirmé par l'absence de mobilité de la membrane tympanique à l'otoscope pneumatique[16]. Une surdité de transmission peut s'installer avec une baisse de l'audition, notamment dans les basses fréquences.

Cette rupture peut être associée à des lésions ossiculaires et des atteintes des fenêtres ronde et ovale. Dans la grande majorité des cas, la guérison est spontanée et nécessite une surveillance particulière, notamment concernant l'entrée d'eau dans le conduit auditif. La capacité de régénération de la membrane tympanique n'est pas totale et des modifications de ses caractéristiques physiques peuvent persister et se traduire par des troubles de la transmission.

La luxation des osselets[17], au même titre que la rupture du tympan, fait suite à des bruits de niveaux sonores très élevés. L'osselet le plus sujet à une luxation est l'enclume. En effet, il constitue l'osselet le plus instable de par son poids et ses points de fixation.

Les acouphènes sont définis comme des sons[18], des bourdonnements ou des sifflements perçus sans stimulation sonore et souvent assimilés à des sensations auditives fantômes. Ces phénomènes peuvent être permanents ou temporaires, unilatéraux ou bilatéraux. En France, plus de 5 millions de personnes souffrent de cette pathologie et plus de 8 % des jeunes entre 18 et 24 ans seraient atteints d'acouphènes liés à un environnement extraprofessionnel.

Il convient de distinguer deux catégories : les acouphènes subjectifs et les acouphènes objectifs. Pour la plupart, ils se déclenchent suite à des traumatismes sonores et sont associés, dans 90 % des cas, à une baisse de l'audition. C'est ce qu'on appelle les acouphènes subjectifs. Cette catégorie de formes très variées se manifeste le plus souvent par des sons aigus coïncidant aux fréquences d'une hypoacousie de perception comme les hypoacousies liées au bruit, les hypoacousies liées à l'âge ou presbyacousies et les hypoacousies d'origine médicamenteuse[19]. Contrairement aux acouphènes objectifs, ils sont inaudibles par l'examineur. De mécanisme encore identifié, ces acouphènes sont provoqués par un dysfonctionnement de l'activité neuronale centrale. Ce dérèglement débiterait par des lésions situées au niveau périphérique et plus précisément au niveau de la cochlée en ce qui concerne les traumatismes sonores. Ces lésions provoqueraient une diminution de stimulation du système auditif au niveau des fréquences touchées. Par un mécanisme d'adaptation, le système auditif central augmenterait son seuil de sensibilité à ces mêmes fréquences. Il s'ensuit alors une réorganisation cérébrale ; ces zones non stimulées vont être réactivées par des fréquences voisines. Lors de cette réorganisation, de nouvelles connexions nerveuses vont s'effectuer avec d'autres circuits, cette fois-ci non auditifs, et notamment avec le système limbique et le système nerveux autonome. C'est pourquoi l'état émotionnel et l'état d'anxiété ont souvent été rapportés comme facteurs de survenue d'acouphène. Ces sons incontrôlables impactent de manière très significative la qualité de vie et font entrer le patient dans un cercle vicieux où les acouphènes seront activés par l'anxiété et l'état émotionnel qu'eux-mêmes déclenchent.

D'autre part, les acouphènes objectifs sont quant à eux perceptibles et mesurables par l'examineur et leur origine n'est pas imputée à des traumatismes sonores. Ils comportent notamment les acouphènes myocloniques qui constituent des sons émis par la contraction involontaire des muscles du palais ou des muscles de l'oreille interne comme ceux du marteau ou de l'étrier.

Les acouphènes pulsatiles[20] qui sont d'origine vasculaire peuvent aussi bien être objectifs que subjectifs. Le patient ressent une sensation de battement qui coïncide avec la cadence du pouls.

L'hyperacousie est une intolérance spontanée ou progressive face à des bruits d'intensité modérée à faible, fréquemment associée à des acouphènes. Dans les cas d'hyperacousies sévères[21], des sensations douloureuses, voire insupportables, sont ressenties par l'individu pour des niveaux sonores inférieurs à 40 dB. Ces personnes ont tendance à développer une phonophobie et à s'isoler socialement. Environ 2 % de la population seraient touchés par cette hypersensibilité auditive. Cette pathologie provient d'un dysfonctionnement cérébral. En effet, nous avons vu que des lésions de la cochlée génèrent une diminution du nombre de fibres nerveuses et entraînent une levée d'inhibition d'influx nerveux. Ce déplacement de la sonie des niveaux bas vers des niveaux plus intenses pour ces fréquences lésées crée une hypersensibilité cérébrale de ces fréquences. Le questionnaire calibré de Nelting permet l'évaluation de l'hyperacousie pour une prise en charge adaptée[22].

Les conséquences des nuisances sonores sur l'homme ne se réduisent pas aux troubles ou dysfonctionnements de l'appareil auditif et de la zone du système nerveux central dédiée à l'audition. Par voie sy-

naphtique, les messages nerveux acoustiques peuvent interférer avec d'autres voies nerveuses et altérer des fonctions biologiques et physiologiques de l'organisme avec des effets psychologiques et sociaux ; mais aussi les troubles du sommeil sont les effets extra-auditifs les plus rencontrés souvent chez les personnes exposées aux nuisances sonores. D'un point de vue quantitatif, il a été démontré que des bruits d'un niveau sonore égal ou supérieur à 45 dB pouvaient raccourcir la durée du sommeil en augmentant de quelques minutes à 20 minutes la phase d'endormissement. De plus, la durée du sommeil peut également être réduite par un réveil anticipé en présence de nuisances sonores. Le niveau sonore des bruits responsables du réveil varie en fonction de la phase de sommeil. En moyenne, les éveils nocturnes sont provoqués par des bruits de niveau sonore égal ou supérieur à 55 dB.

Le bruit peut induire un état de stress. Cet état résultant d'une surexcitation du système nerveux sympathique se traduit cliniquement par une tachycardie, une dyspnée, des acidités gastriques et une asthénie. En dehors de cette anxiété spontanée suite à un bruit stressant, une exposition chronique au bruit peut entraîner des désordres physiologiques. On peut noter qu'au sein de groupes de population soumis à un bruit chronique d'intensité élevée, une forte prédominance à l'hypertension artérielle permanente, à l'arythmie cardiaque, aux ulcères gastroduodénaux, au ralentissement du transit et à la modification de la sécrétion salivaire. Ce type de pathologies est fréquemment rencontré dans les expositions aux bruits de type professionnel.

Les effets cardiovasculaires d'une exposition à des bruits de trafic aérien ou routier à un niveau sonore égal ou supérieur à 70 dB sur la période de 6h à 22h augmentent le risque de développer une hypertension artérielle.

L'étude suisse « Aircraft Noise, Air Pollution, and Mortality From Myocardial Infarction »[23] met en évidence le lien entre la mortalité par infarctus du myocarde et l'intensité et le temps d'exposition au bruit des avions. Une autre étude, cette fois-ci américaine, estime que 2,3 % des hospitalisations pour des maladies cardiovasculaires étaient attribuables au bruit des avions dans une population proche des aéroports, soumise à des niveaux sonores supérieurs à 55 dB. Toujours à proximité des aéroports, une étude prouve également l'effet hypertenseur artériel des bruits des avions pendant la phase de sommeil. Cette augmentation de pression artérielle est proportionnelle à l'intensité du bruit.

D'autre part, l'étude danoise « Road traffic noise and stroke »[24] démontre une augmentation de 14 % du risque d'infarctus du myocarde suite à une élévation de 10 dB de l'exposition au trafic routier. Cette augmentation atteint les 27 % pour une population âgée de plus de 64 ans.

On note une augmentation significative chez l'adulte et chez l'enfant des concentrations hormonales surréaliennes, notamment celles de l'adrénaline, de la noradrénaline et du cortisol durant des expositions sonores lors du sommeil. Ces concentrations anormalement élevées se traduisent par des hypertensions artérielles, des tachycardies, des arythmies, des agrégations plaquettaires ainsi qu'une augmentation du métabolisme des graisses.

En outre, l'étude « Exposure to traffic noise and markers of obesity »[25] conclut que l'exposition au bruit de la circulation peut faire croître le risque d'obésité centrale. Les résultats soulignent que l'augmentation de l'intensité du trafic routier de 5 dB entraîne une augmentation du tour de taille de 0,21 cm.

On note également une influence sur le comportement social. Les enfants soumis à la pollution sonore aérienne sont plus irritables, agressifs, fatigués, agités et hyperactifs.

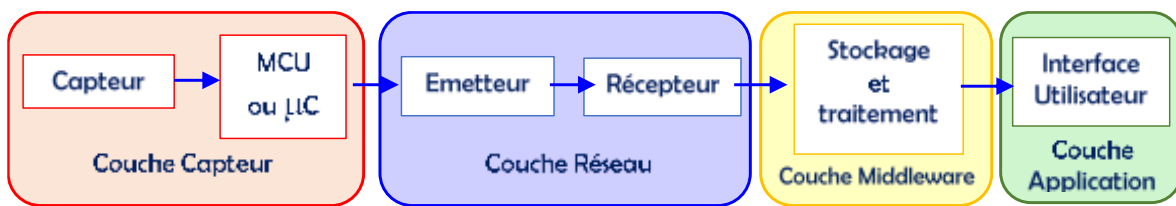
2.2. Conception du système de vente, achat d'habitation avec prédiction sonore

L'objectif est de concevoir un système web dynamique qui va permettre aux citoyens se trouvant dans la ville de Lubumbashi, passagers, et également ceux désirant y demeurer, de consulter et de choisir en

ligne par rapport à leurs désirs et contraintes le lieu d’habitation y afférent selon la disponibilité sur le système, soit pour la location ou l’achat en ayant un aperçu du niveau de bruit afin de prévenir l’impact des effets négatifs des polluants environnementaux sur la santé publique et l’environnement lui-même et également visualiser les tendances environnementales.

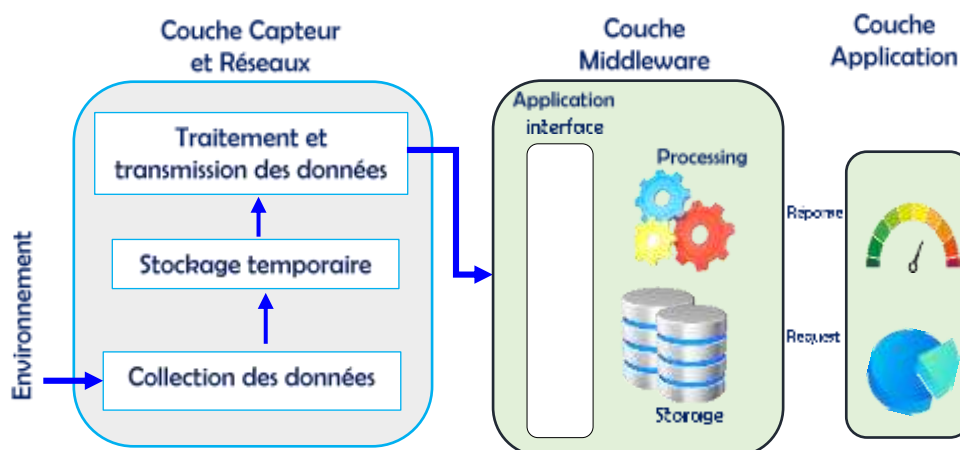
L’intégralité de la conception de notre plateforme est mise au point à partir de l’architecture IoT à quatre couches et chacune des couches est décrite comme suit :

Figure 8: Architecture matérielle du système



La couche capteur de l’architecture IoT est la couche de détection qui comprend des dispositifs, des capteurs et des actionneurs qui collectent les données de leur environnement et contrôlent les éléments à la périphérie ; notre système se compose des capteurs sonores considérés comme unité d’acquisition ou de collecte des données et d’une unité de traitement (MCU ou µC) qui acquiert les informations en provenance de l’unité d’acquisition et les envoie à l’unité de radiocommunication. L’unité de traitement possède une interface pour l’unité d’acquisition et une interface pour l’unité de transmission. Ainsi chaque nœud sera placé à un emplacement fixe de chaque parcelle dans la ville de Lubumbashi et enverra des données à un serveur distant centralisé à des intervalles de temps bien définis. Nous allons utiliser ESP32 (Espressif) comme unité de traitement, elle est facile à prendre en main car elle est cousine à la carte Arduino, utilise le même langage de programmation, les mêmes modules complémentaires et surtout le même logiciel de compilation (Arduino IDE). L’ESP32 est en ce sens une solution intéressante car elle contient au sein de son architecture un module WiFi intégré. Nous n’avons donc pas besoin de monopoliser des broches en ajoutant un module WiFi externe ; chaque nœud alimenté à partir d’une banque d’alimentation USB est en mesure de se connecter à un réseau local ou sur internet.

Figure 9: Architecture logique du système



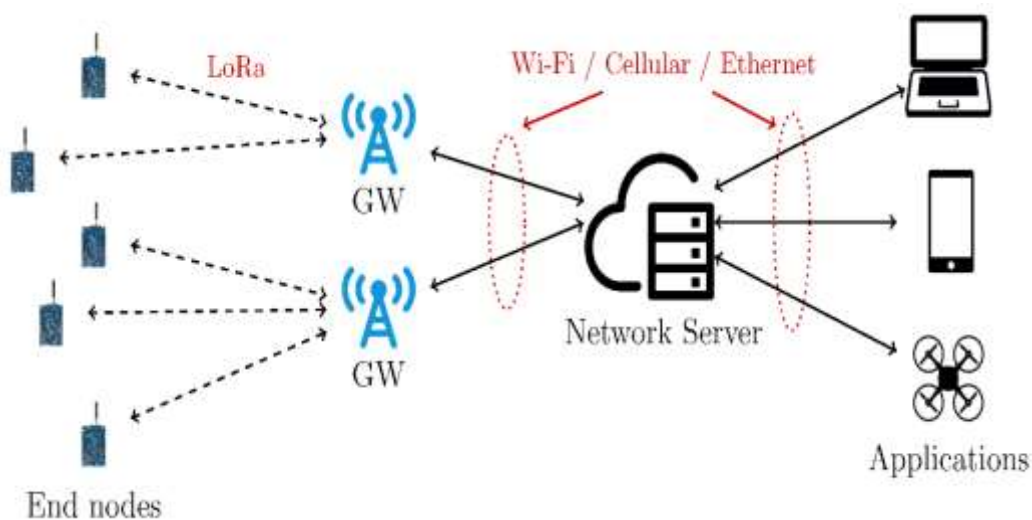
La couche réseau transporte les données de la couche périphérique vers un réseau local ou sur Internet, souvent via une passerelle qui peut effectuer un traitement supplémentaire et regroupe souvent les communications avec de nombreux périphériques. La fonctionnalité de sécurité, y compris l'authentification, le cryptage et la protection contre les logiciels malveillants, peut être effectuée ici, et certains traitements et la prise des décisions peuvent également être effectués dans cette couche.

Pour le choix du réseau sans fil et de la technologie à utiliser dans notre système, nous tiendrons compte de paramètres : la consommation en énergie, la portée, la vitesse de transmission des données (débit) et le coût de déploiement.

Dans notre travail nous avons choisi la technologie LoRa qui est basée sur LoRaWAN, un protocole réseau bas débit et longue portée et très basse consommation d'énergie pour notre couche réseau. Les puces LoRa de Semtech fonctionnent sur des bandes des fréquences 434 Mhz et 868 MHz en Europe et 915 MHz pour le reste du monde. La portée théorique en zone suburbaine est supérieure à 15km avec des débits compris entre 0,3 et 22 kbps. La puissance d'émission est adaptative.

La communication des « dispositifs fins » (capteurs) avec la ou les passerelles, en utilisant LoRa, cette communication à travers une seule passerelle de capteur[26] ; et entre la passerelle LoRa et le serveur Edge. Cela peut se faire via des connexions Ethernet filaires ou sans fil (avec WiFi ou 3G / 4G). Ces liens hétérogènes représentent la connexion Internet. Le serveur Edge prétraite les données reçues des capteurs et les relaie à la passerelle. Ici, la passerelle LoRa doit avoir au moins 2 interfaces de communication : une radio LoRa et une interface Ethernet, WiFi ou 3G/4G ; et enfin, les données du serveur Edge sont rendues accessibles aux utilisateurs via Internet.

Figure 10: Architecture réseau de LoRaWAN



LoRaWAN utilise différentes clés d'authentification lors du processus de connexion entre les terminaux et les passerelles, les passerelles et le serveur. Toutes les clés ont une longueur égale à 128 bits et sont cryptées à l'aide du cryptage avancé standard (AES). Les clés sont décrites comme suit: La clé d'intégrité de session réseau de service (SNwkSIntKey) est un périphérique final clé utilisée pour vérifier le code d'intégrité du message (MIC) de la moitié des données de liaison montante et de toutes les données de liaison descendante[27]. La clé de session de chiffrement réseau (NwkSEncKey) est une clé spécifique pour que l'appareil final déchiffre et chiffre les commandes MAC en liaison montante et transmission en liaison descendante. La clé de session d'application (AppSKey) est une clé d'appareil final qui est utilisée par le serveur d'applications et le terminal pour chiffrer et décrypter les données entre eux. Ces données sont cryptées point à point, ce qui signifie que les données sont protégées en un saut entre l'appareil

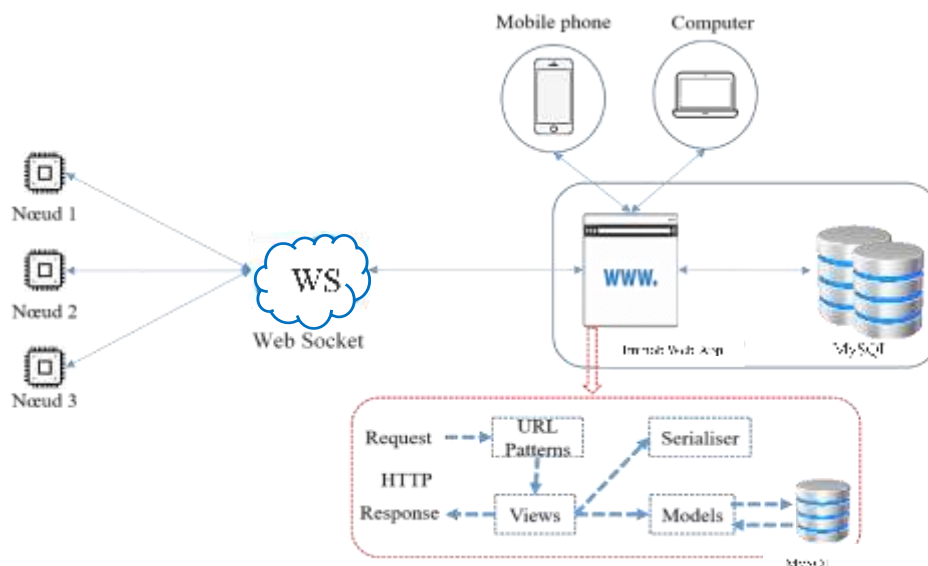
final et le serveur d'applications. Au cas où un tiers interviendrait et modifierait les données en transit, une réaction sur le serveur applicatif sera créée qui sera prise en compte par le serveur du réseau pour empêcher sa transmission.

La couche middleware traite et structure les données pour gérer l'analyse et le prétraitement des données. Selon l'application et l'implémentation, cette couche est soit située dans la passerelle, soit dans le cloud. Ici, les données peuvent être consultées par des applications d'analyse de périphérie dans des cas d'utilisation.

La couche applicative se compose de trois panoramas qui sont ainsi décrits. Les capteurs et le matériel de communication exécutent un logiciel (firmware) responsable de la collecte et de la transmission des données. Logiciel basé sur serveur qui appartient à la couche middleware est responsable de la réception et de l'analyse des données. Enfin, les logiciels Web ou mobiles de la couche applicative se chargent d'afficher les informations aux utilisateurs finaux.

L'infrastructure Web traditionnelle n'est pas adaptée à toutes les applications IoT. Maints objets connectés ont des limites en ce qui concerne la capacité de stockage et la consommation d'énergie, tandis que les contraintes sur les réseaux IoT sont dues à des taux d'erreurs élevés dans la transmission des paquets et à un faible débit (quelques dizaines de kbit/s)[28]. Par conséquent, pour surmonter ces contraintes, des protocoles moins verbeux sont nécessaires avec un nombre limité de messages et de petites tailles. Nous avons utilisé WebSocket (WS) car c'est un protocole de communication client-serveur fonctionnant au-dessus de TCP (Transmission Control Protocol). Il prend en charge les échanges de messages bidirectionnels en duplex intégral entre un client (généralement un navigateur Web) et un serveur Web avec peu de surcharge par rapport à HTTP. Cela en fait un protocole idéal pour les applications qui nécessitent un échange de messages « en temps réel » puisque la connexion est persistante, elle n'est donc pas créée/détruite à chaque cycle de demande/réponse et les mises à jour sont asynchrones.

Figure 11: Architecture logique du système



Pour réaliser la mise en place de notre système il est impératif que nous représentions l'ensemble des besoins fonctionnels auxquels devrait répondre notre plateforme web et fassions apparaître une référence pour le développement de la solution. Ces besoins ainsi que les attentes par rapport à notre système dépendent de la nature de l'acteur qui va y interagir. Pour cela, nous avons décrit pour chaque acteur les besoins fonctionnels qui lui sont reliés.

Les besoins implicites auxquels notre système doit répondre se résument dans les points suivants : permettre l’authentification des utilisateurs par un login et un mot de passe crypté pour accéder aux différentes fonctionnalités ; permettre à un client de créer un compte ; permettre à un client de visiter les habitations sur le système ; permettre à un client de choisir et de discuter avec le propriétaire ; permettre à un client de louer et ou d’acheter une habitation ; permettre à l’administrateur de créer son compte administratif, de créer et supprimer un compte client, d’ajouter et d’enlever une habitation et de gérer les commentaires.

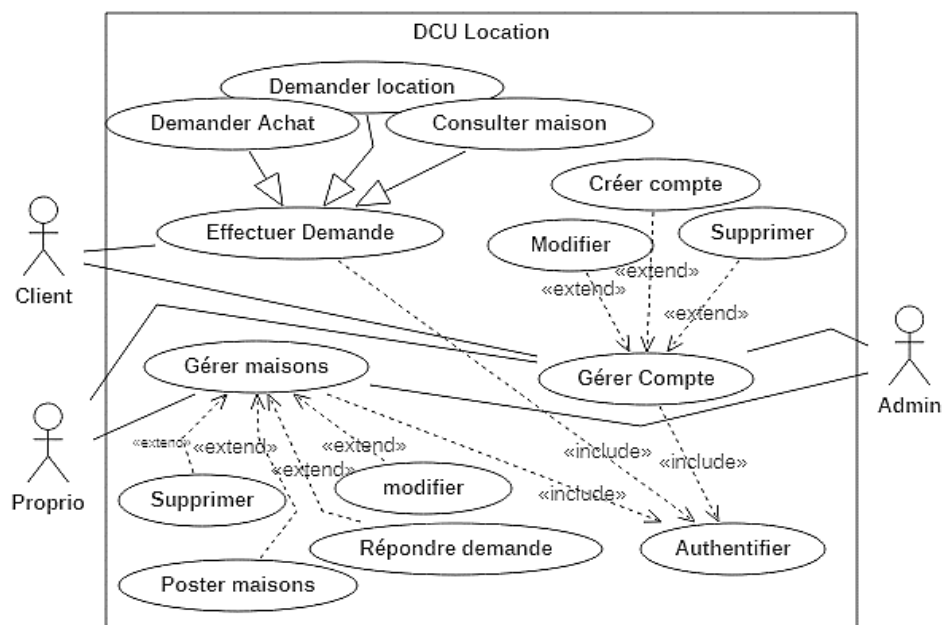
Les besoins non fonctionnels concernent les contraintes d’implémentation comme le langage de programmation, les matériels à utiliser, le type du SGBD et du système d’exploitation.

2.3. Modélisation du système

Le client est toute personne désirant acheter ou trouver une location. Son rôle est de consulter, choisir et faire une demande auprès du propriétaire sur le système. Le propriétaire a pour rôle de poster ses maisons et terrains qu’il désire mettre en location et ou en vente ainsi que de répondre aux demandes des clients par rapport à ses attentes. L’administrateur, quant à lui, a pour rôle de gérer toutes les maisons, tous les propriétaires des maisons ainsi que tous les clients de notre système. Nous utiliserons trois diagrammes dans notre système : le diagramme des cas d’utilisation, le diagramme de séquence et le diagramme d’activités.

- Diagramme des cas d’utilisation: permet de recueillir, d’analyser et d’organiser les besoins. Aussi, il recense les grandes fonctionnalités d’un système. Il modélise les services rendus par le système aux utilisateurs. Il met en évidence ce que l’acteur peut faire par rapport au système. Il identifie les grandes fonctionnalités, les limites du système en représentant les interactions entre le système et ses utilisateurs. Le diagramme des cas d’utilisation apporte une vision utilisateur et liste que des fonctions générales essentielles et principales sans rentrer dans les détails.

Figure 12: Diagramme des cas d’utilisation du système



- Diagramme de séquences : modélise les échanges entre les objets de manière chronologique. Il est établi pour chaque cas d’utilisation à partir de la description du cas d’utilisation.

- Diagramme d'activités : est un diagramme comportemental qui modélise particulièrement le cheminement des flots de contrôle et de flots de données de toute l'activité. Il permet de décrire l'enchaînement des cas d'utilisation. Il peut comporter des synchronisations pour représenter les déroulements parallèles.

Figure 13: Diagramme de séquence de créer compte

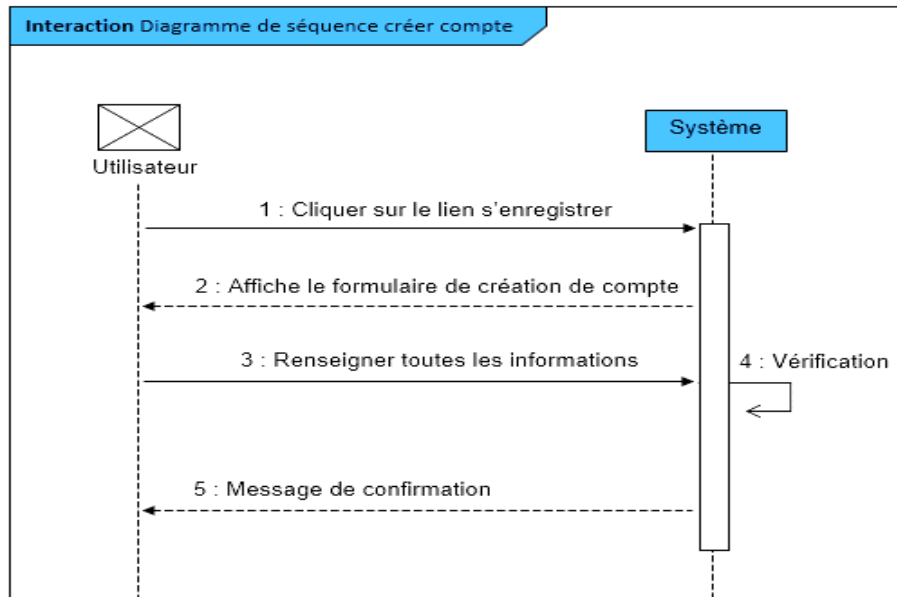


Figure 14: Diagramme d'activité de créer compte

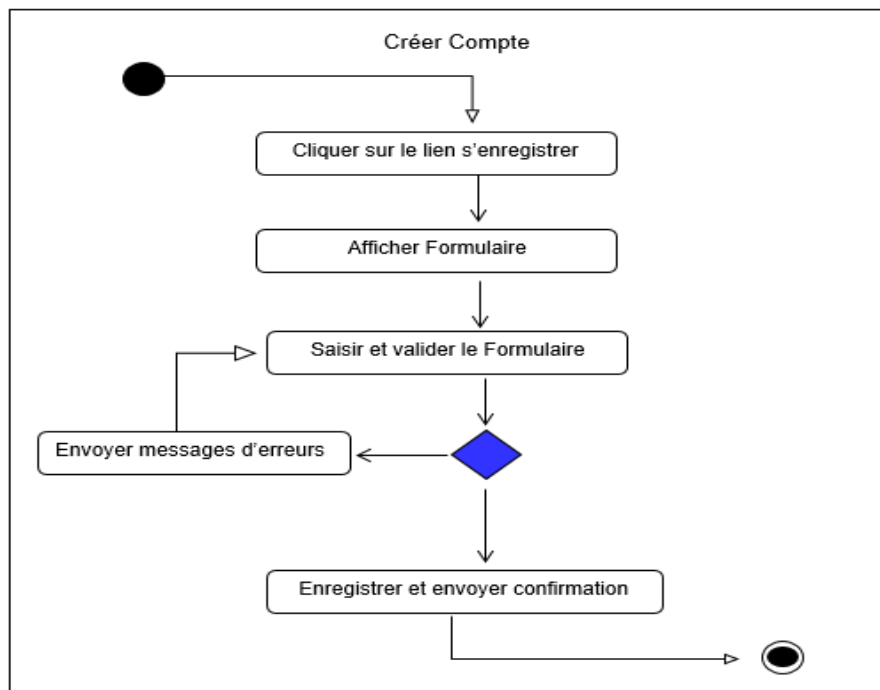


Figure 15: Diagramme de séquence de s'authentifier

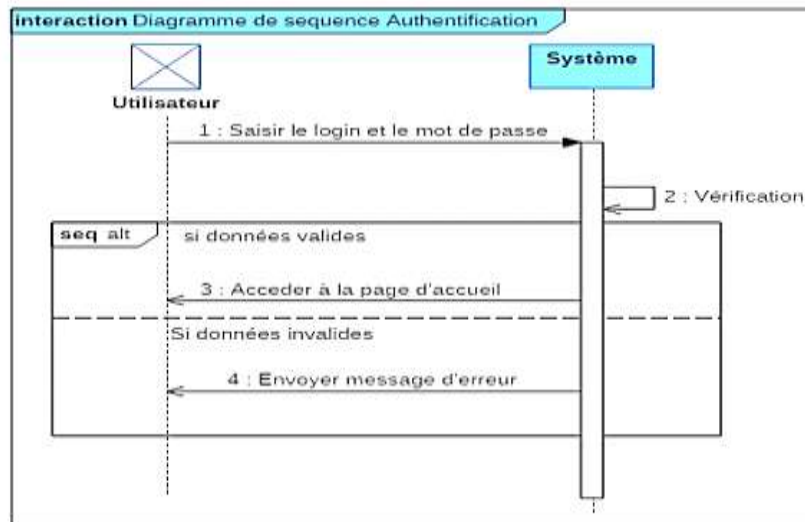


Figure 16: Diagramme d'activité de s'authentifier

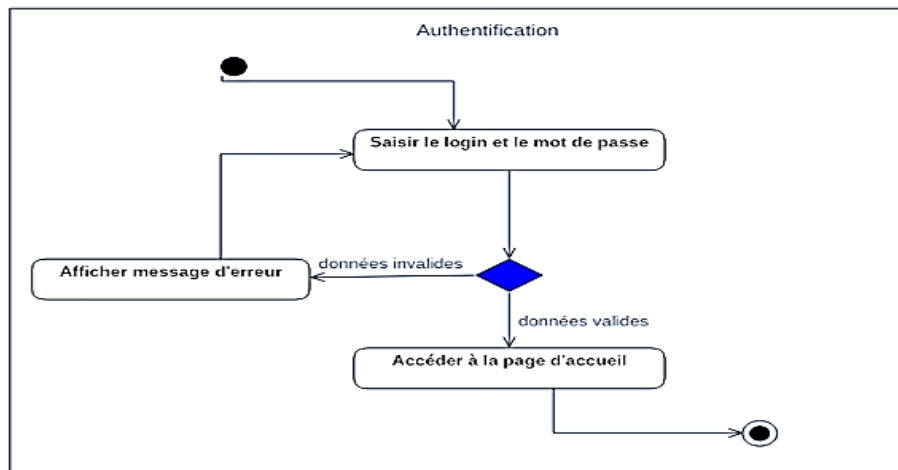


Figure 17: Diagramme de séquence de demander location

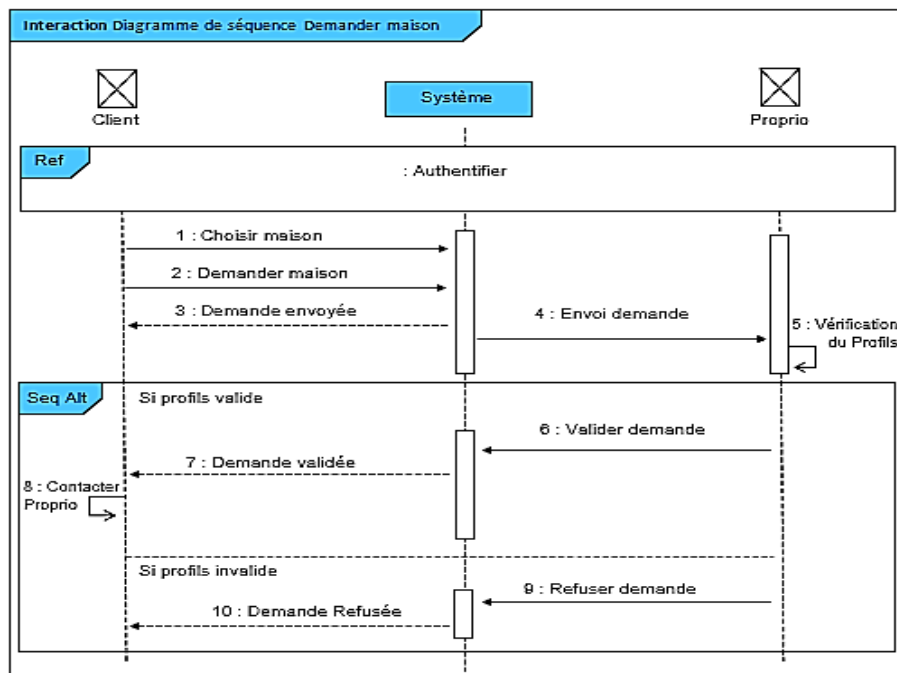
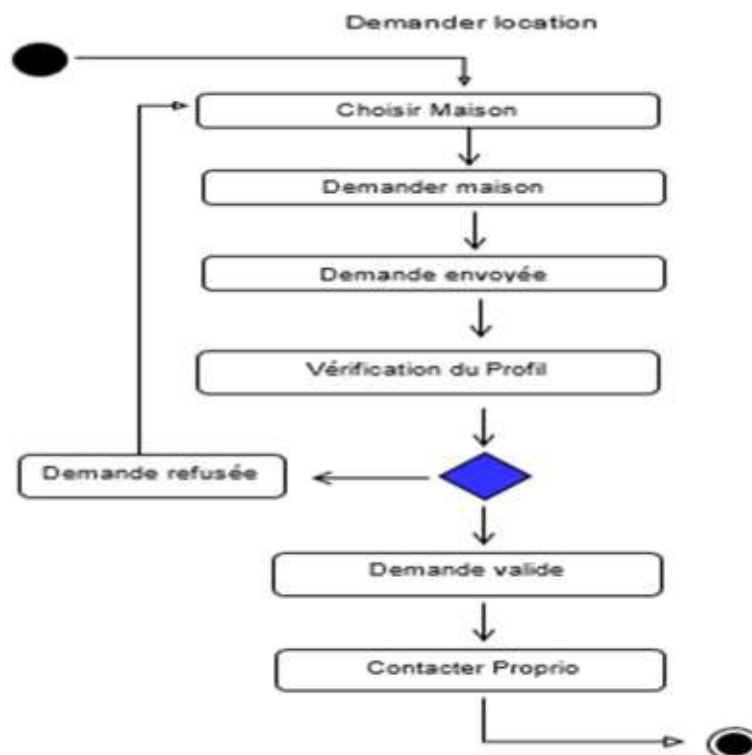


Figure 18: Diagramme d'activité de demander location



3. Implémentation du système et expérimentation des résultats

La réalisation d'un système web dynamique a besoin de plusieurs logiciels et outils. Pour cela, nous allons présenter quelques outils et langages qui nous ont aidés à implémenter ce projet ; et enfin, nous terminerons par les différentes fonctionnalités qu'offre notre plateforme web à travers diverses interfaces.

3.1. Les outils de développement

- Wampserver est une plateforme de développement Web de type WAMP, permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. WampServer n'est pas en soi un logiciel, mais un environnement comprenant deux serveurs (Apache et MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi qu'une administration pour les deux bases SQL PhpMyAdmin et SQLi-teManager. Il dispose d'une interface administrateur permettant de gérer et d'administrer ses serveurs au travers d'un trayicon (icône près de l'horloge de Windows). La grande nouveauté de Wampserver réside dans la possibilité d'y installer et d'utiliser n'importe quelle version de PHP, Apache ou MySQL en un clic. Ainsi, chaque développeur peut reproduire fidèlement son serveur de production sur sa machine locale.
- PhpMyAdmin est une application web qui permet de gérer un serveur de bases de données MySQL. Dans un environnement multiutilisateur, cette interface écrite en PHP permet également de donner à un utilisateur un accès à ses propres bases de données. Les fonctions principales de PhpMyAdmin sont : la création des nouvelles bases de données ; la création/suppression/modification des tables ; l'édition, l'ajout et la suppression de champs ; l'exécution de commandes SQL et des requêtes ; et les privilèges des utilisateurs.
- Le serveur Apache est le plus répandu sur Internet, permettant la configuration de l'environnement d'exécution des pages web. Il s'agit d'une application fonctionnant à la base sur les systèmes d'exploitation de type Unix, mais elle a désormais été portée sur de nombreux systèmes, dont Microsoft Windows grâce à sa conception modulaire (morceaux de code) qui correspond à différents aspects ou fonctions du serveur. Cette conception autorise le développeur à choisir quelles fonctionnalités seront incluses dans le serveur en sélectionnant les modules à charger soit à la compilation, soit à l'exécution. Elle lui permet aussi d'écrire son propre morceau de code qui pourra ensuite être facilement intégré dans le serveur Web Apache.
- MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) libre fonctionnant sous diverses plates-formes telles que UNIX, Linux et Windows, et permettant de manipuler des instructions adressées à la base de données sous forme de requêtes SQL.

3.2. Les langages de programmation utilisés

- L'HyperText Markup Language, généralement abrégé HTML, est le format de données conçu pour représenter les pages web. C'est un langage de balisage qui permet d'écrire de l'hypertexte, d'où son nom. HTML permet également de structurer sémantiquement et de mettre en forme le contenu des pages, d'inclure des ressources multimédias dont des images, des formulaires de saisie, et des éléments programmables tels que des applets. Il permet de créer des documents interopérables avec des équipements très variés de manière conforme aux exigences de l'accessibilité du web. Il est souvent utilisé conjointement avec des langages de programmation (JavaScript) et des formats de présentation (feuilles de style en cascade). HTML est initialement dérivé du Standard Generalized Markup Language (SGML).
- PHP est un langage de programmation très proche syntaxiquement du langage C, destiné à être intégré dans des pages HTML. Contrairement à d'autres langages, PHP est principalement dédié à la production de pages HTML générées dynamiquement.
- SQL (ou Standard Query Language) est un langage permettant d'interroger les bases de données de manière simple. Il est doté d'une syntaxe particulière que l'on doit respecter pour que la communication avec la base de données se passe au mieux. Son succès est dû essentiellement à sa simplicité et

au fait qu'il énonce des requêtes en laissant le SGBD responsable de la stratégie d'exécution. SQL couvre les trois fonctions indispensables à la mise en œuvre et à l'exploitation de bases de données relationnelles : la création des données ; la manipulation des données ; et le contrôle des données. A part le fait d'envoyer directement les requêtes SQL telles quelles au SGBD, le but ultime de l'utilisation de SQL sera aussi d'inclure ces requêtes SQL dans un programme écrit dans un autre langage. Ceci permet de coupler le SGBD à un langage informatique, donc à un programme. Tel est le cas de MySQL avec PHP.

- JavaScript est un langage de scripts incorporé aux balises HTML, permettant d'améliorer la présentation et l'interactivité des pages Web. Il est plus simple à mettre en œuvre, car c'est du code ajouté aux pages écrites en HTML.
- Le CSS ou feuille de style en cascade (Cascading Style Sheets) est un langage informatique qui sert à décrire la présentation des documents HTML et XML. Les feuilles de style ont l'avantage de séparer les informations de la mise en forme du contenu et facilitent ainsi les mises à jour et les modifications des pages HTML. Ces feuilles sont dites en cascade parce qu'on peut en définir plusieurs pour une même page HTML.

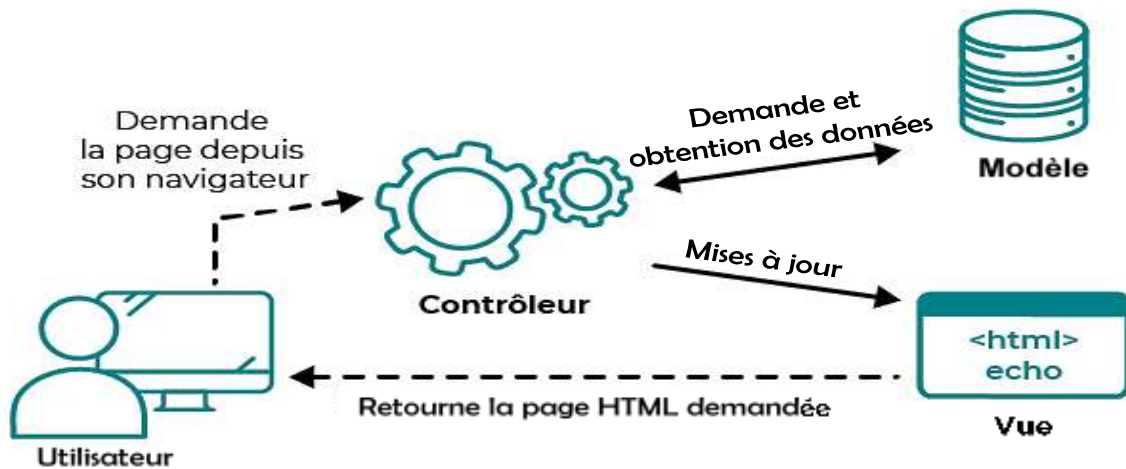
3.3. Architecture logicielle du système

L'architecture logicielle de notre système repose sur le design pattern MVC ; les initiales MVC (Modèle-Vue-Contrôleur) qui constituent une architecture, qui est un modèle en couche subdivisé en trois : une méthode de conception pour le développement d'applications logicielles qui sépare le modèle de données, l'interface utilisateur et la logique de contrôle.

Le paradigme MVC est un schéma de programmation qui propose de séparer une application en trois parties :

- Le modèle : représente le comportement de l'application : traitements des données, interactions avec la base de données etc. Il décrit les données, manipulées par l'application et définit les méthodes d'accès, il contient la logique et l'état de l'application ;
- La vue correspond à l'interface avec laquelle l'utilisateur interagit. Les résultats renvoyés par le modèle sont dénués de toute présentation mais sont présentés par les vues. Plusieurs vues peuvent afficher les informations d'un même modèle. Elle peut être conçue en HTML, ou tout autre langage. La vue n'effectue aucun traitement, elle se contente d'afficher les résultats des traitements effectués par le modèle, et de permettre à l'utilisateur d'interagir avec elles.
- Le contrôleur ou la logique métier : prend en charge la gestion des événements de synchronisation pour mettre à jour la vue ou le modèle. Il n'effectue aucun traitement, ne modifie aucune donnée, il analyse la requête du client et se contente d'appeler le modèle adéquat et de renvoyer la vue correspondante à la demande.

Figure 19: Architecture MVC et le Client

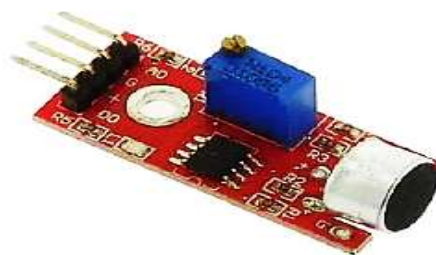


3.4. Composition physique du nœud IoT du système

Le nœud IoT dans notre système sera composé de trois parties, dont l'unité d'acquisition, l'unité de traitement et l'unité de transmission.

- L'unité d'acquisition : est composée d'un capteur qui va obtenir des mesures numériques sur les paramètres environnementaux et d'un convertisseur analogique/numérique qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement. Dans notre travail, nous utiliserons le capteur sonore GT1146, qui se compose d'une carte sur laquelle sont montés les broches de connexion à un MCU (Arduino, ESP32...); d'un amplificateur de son, le LM393, qui est un circuit intégré doté de deux amplificateurs opérationnels intégrés dont la fréquence est compensée en interne; un trimmer et un microphone électronique, sensible aux sons provenant de toutes les directions. Ce capteur délivre un signal analogique et un signal digital en fonction de l'intensité sonore reçue. La sensibilité est réglable via un potentiomètre ajustable. Il utilise une alimentation de 3,3 V ou 5 V, la plage de mesure va de 50 Hz à 20 kHz, il a des connecteurs de 3 broches (Vcc, GND et D0 et A0).

Figure 20: Capteur sonore GT1146

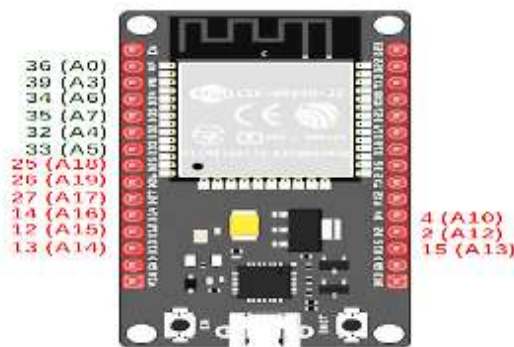


Lorsque le diaphragme du microphone oscille sous l'effet des ondes sonores, la capacité de son condensateur change, ce qui entraîne une variation de tension aux sorties du capteur de son correspondant au signal sonore.

- L'unité de traitement et de transmission : Elle est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une interface pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée du processeur et d'un système d'exploitation spécifique. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les envoie à l'unité de radiocommunication; et l'unité de transmission est responsable de toutes les émissions et réceptions de données via un support de communication radio. Comme mentionné précédemment, nous allons utiliser l'ESP32 comme unité de traitement, qui est

une carte électronique permettant de réaliser des projets IoT assez facilement. Elle possède en effet une connectivité assez complète. L'ESP32 est assez simple à prendre en main car elle est cousine de la carte Arduino. Il est donc possible de l'utiliser comme la carte microcontrôleur italienne, en utilisant le même langage de programmation, les mêmes modules complémentaires et surtout le même logiciel de compilation (Arduino IDE). Pas de changement fondamental d'interface pour l'utilisateur, ce qui la rend d'autant plus simple à utiliser. Côté entrées et sorties, l'ESP32 est semblable aux cartes Arduino et aux cartes Raspberry. On relève en effet l'utilisation des ports GPIO (General Purpose Input/Output) qui sont les broches permettant de servir soit d'entrée, soit de sortie selon le programme téléversé. Il comporte en principe un grand total de 18 broches pouvant être utilisées comme entrée analogique. La disposition des broches pouvant être utilisées comme entrées analogiques sur la carte ESP32 que nous possédons, nous avons mis en vert le numéro des 6 broches qui peuvent toujours être utilisées comme entrée analogique, alors que les numéros en rouge sont pour les 9 broches qui peuvent être utilisées comme entrée analogique à la condition que le WiFi soit inactif.

Figure 21: Entrées analogiques d'un ESP32



- L'afficheur LCD 16 X 2 avec IIC/I2C : Cet écran est un dispositif électronique utilisé pour afficher des données et des messages. Il est connu sous le nom d'écran LCD 16x2. Comme son nom l'indique, il comporte 16 colonnes et 2 lignes de sorte qu'il peut afficher 32 caractères ($16 \times 2 = 32$) au total et chaque caractère sera composé de 5×8 (40) points de pixels. Ainsi, le nombre total de pixels de cet écran LCD peut être calculé comme suit : 32×40 , soit 1280 pixels. La couleur des caractères est blanche et l'écran à un fond bleu. Cela le rend également lisible dans l'obscurité. Dans notre travail il va nous servir pour récupérer l'adresse IP dans la simulation. Les écrans LCD ont une interface parallèle, ce qui signifie que le microcontrôleur doit manipuler 16 broches d'interface à la fois pour contrôler l'affichage. L'interface se compose des broches suivantes :
 - Une broche de sélection de registre (RS) qui contrôle l'endroit où vous écrivez les données dans la mémoire de l'écran LCD ;
 - Une broche de lecture/écriture (R/W) qui sélectionne le mode de lecture ou le mode d'écriture ;
 - Une broche d'activation qui permet d'écrire dans les registres et une broche de contraste d'affichage (V_o) ;
 - 8 broches de données (D0-D7). Les états de ces broches (haut ou bas) sont les bits que vous écrivez dans un registre lorsque vous écrivez, ou les valeurs que vous lisez lorsque vous lisez ;
 - Deux broches d'alimentation (+5 V et GND) et une broche pour allumer et une broche pour éteindre la LED ;

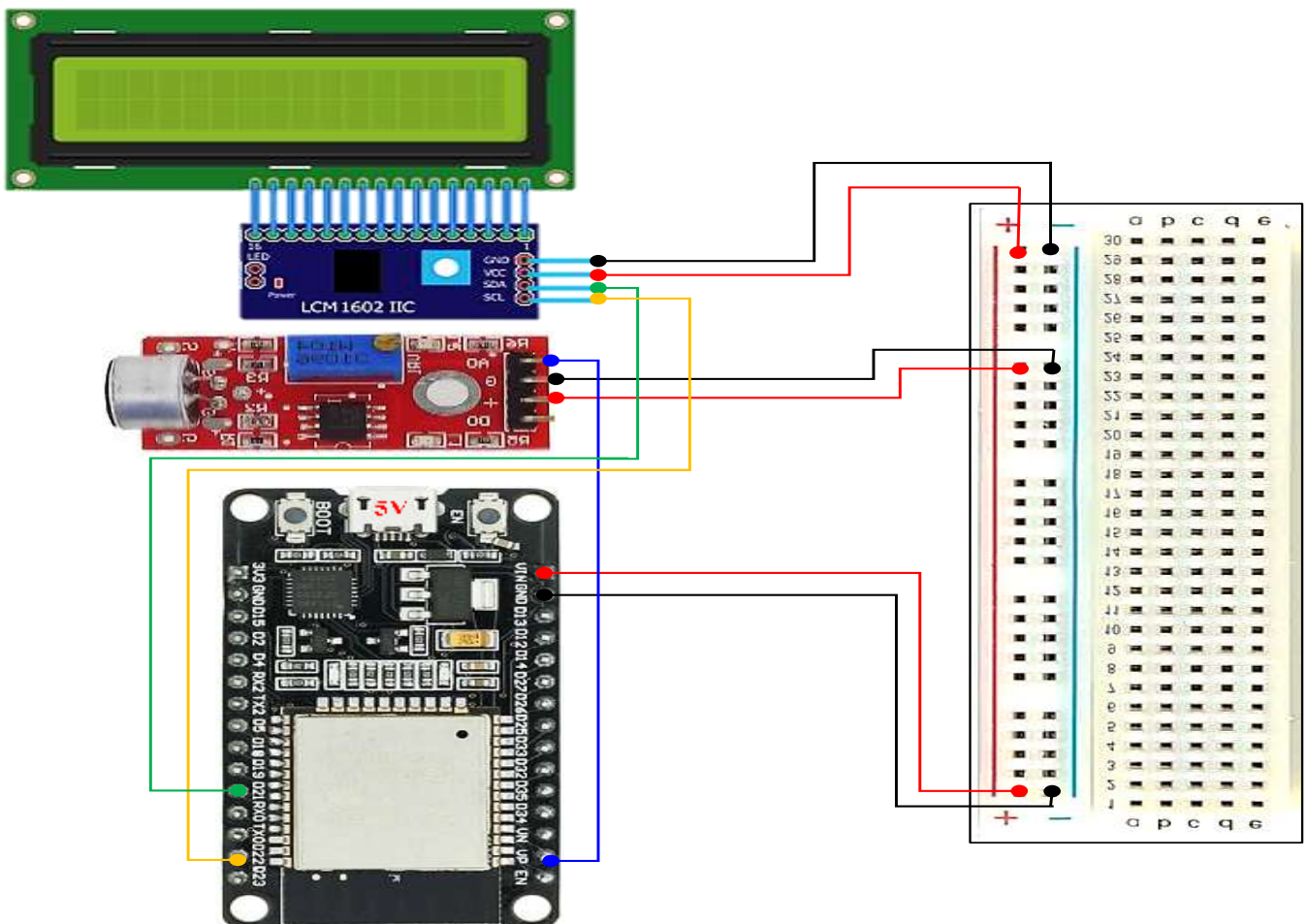
- Deux broches de rétroéclairage LED que vous pouvez utiliser pour alimenter l'écran LCD et contrôler le contraste de l'écran.

Le processus de contrôle de l'affichage consiste à mettre les données qui forment l'image de ce que nous souhaitons afficher dans les registres de données, puis à mettre les instructions dans le registre d'instructions. Pour un usage optimal des broches sur notre microcontrôleur, nous allons y intégrer le module IIC/I2C. Ce module doit être soudé sur le connecteur 16 broches de l'écran LCD. Une fois soudé, il nous permettra de contrôler l'écran LCD via le protocole I2C en le reliant avec seulement 4 fils au lieu de 16 à notre ESP32.

Figure 22: Afficheur LCD 16 X 2 avec IIC/I2C



Figure 23: Câblage du Node IoT



3.5. Simulation du réseau LoRa-Lubumbashi

Pour réaliser la simulation du déploiement de notre réseau LoRa de la ville de Lubumbashi, nous avons utilisé Atoll ; c'est un logiciel qui nous a permis de réaliser la planification pour mettre en évidence le bilan des connexions entre les nœuds capteurs et les passerelles. Cette simulation considère la partie communication entre les modules LoRa sur les nœuds capteurs et les passerelles. En insérant les caractéristiques des périphériques dans le simulateur, on obtient des paramètres importants pour l'étude d'un lien radio. Ces paramètres sont : l'élévation et l'orientation des antennes, les pertes par catégorie, le niveau du signal à la réception (niveau Rx), le niveau Rx relatif (la différence entre le niveau du signal à la réception et le seuil de réception), et la distance entre les équipements.

Figure 24: Communication entre les Nodes capteurs et la passerelle

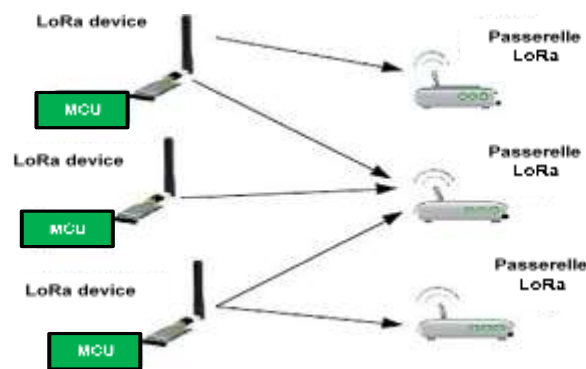
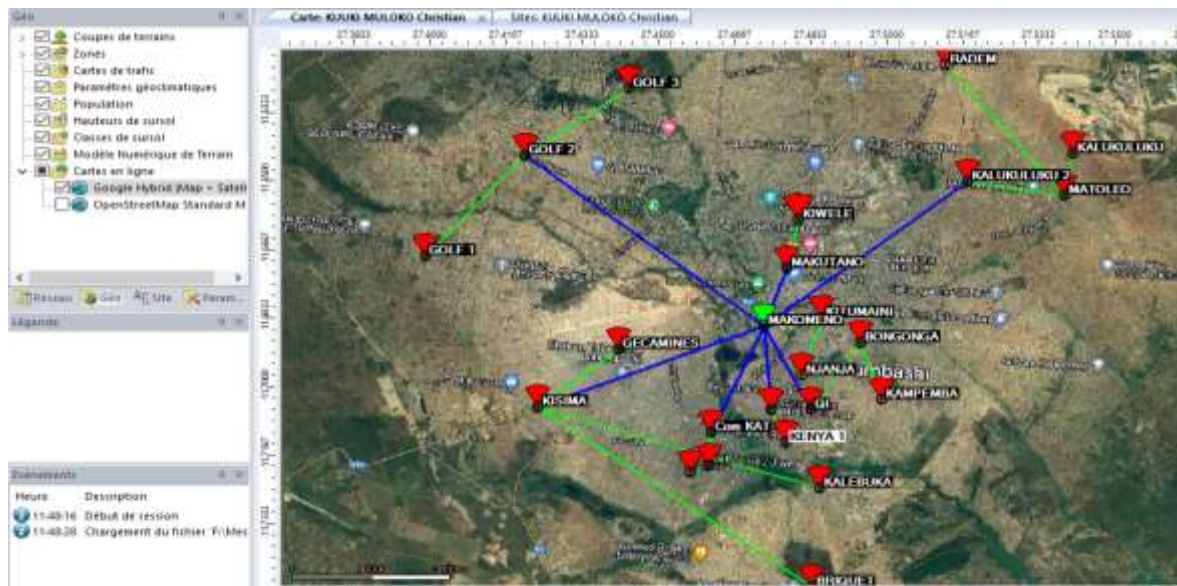


Figure 25: Simulation avec Atoll des liaisons du réseau LoRa-Lubumbashi

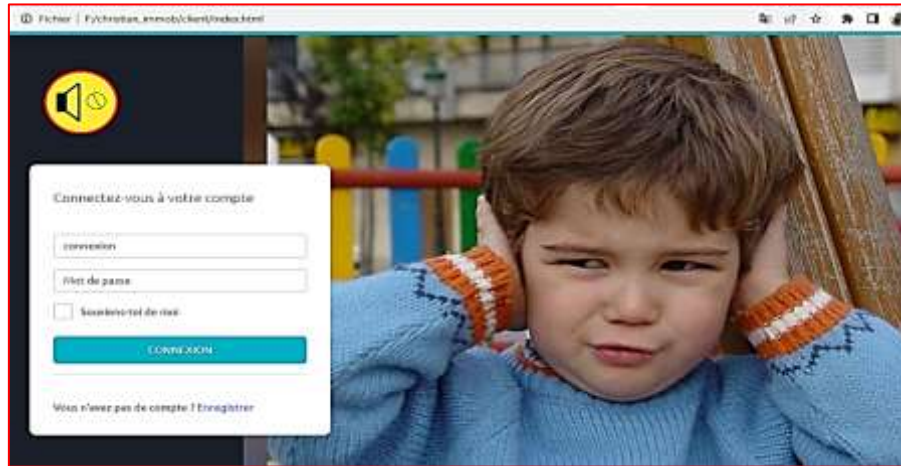


3.6. Présentation des interfaces du système

- Page d'authentification : L'accès à l'application se fait par une interface d'authentification. Pour se connecter, l'utilisateur doit saisir son login et son mot de passe. Si les informations renseignées sont correctes, il accède à la page d'accueil correspondant à son profil (administrative, cliente et ou propriétaire). Au cas contraire, un message d'erreur s'affiche et il reste sur la page

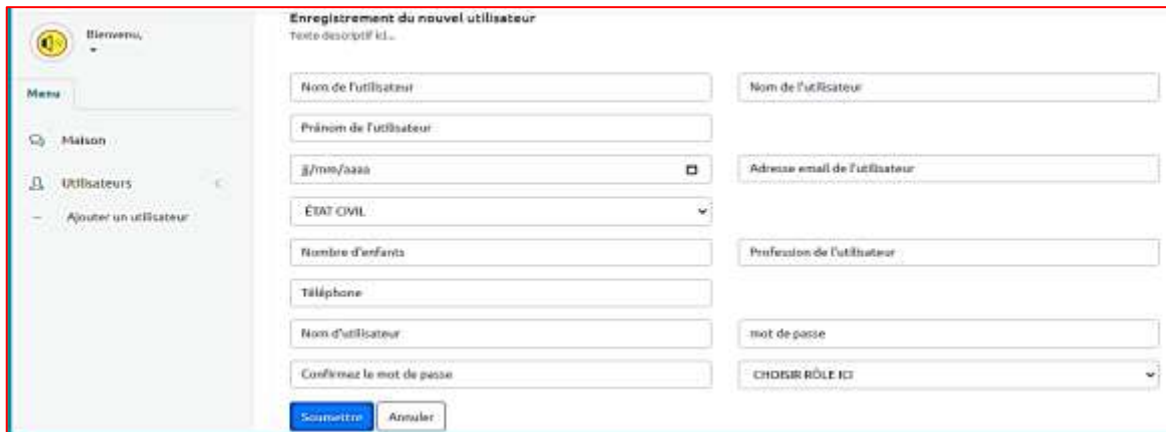
d'authentification.

Figure 26: Interface d'authentification



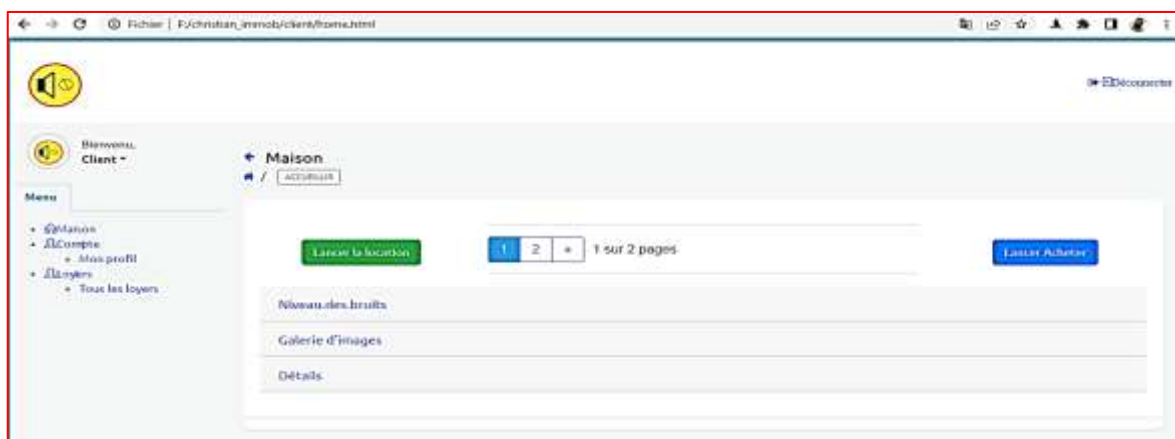
- Créer un compte : notre application dispose de trois types de comptes tels que le compte administrateur, le compte propriétaire et le compte client. Pour créer un compte, il faut aller sur le lien Enregistrer et saisir toutes les informations relatives au type de compte et l'enregistrer.

Figure 27: Interface de création de compte



- Page d'accueil : ici, nous avons présenté la page d'accueil qui fournit aux clients une possibilité de voir quelques fonctions.

Figure 28: Page d'accueil



- Consulter une maison : chaque client possède la possibilité de voir toutes les locations se trouvant sur le système, voir le niveau de bruit, et prendre une décision par rapport aux conséquences. Il peut voir quelques images de la maison et également voir les identifiants du propriétaire, le rappeler s'il effectue une demande et qu'ensuite le propriétaire valide.

Figure 29: Niveau de bruit d'une maison

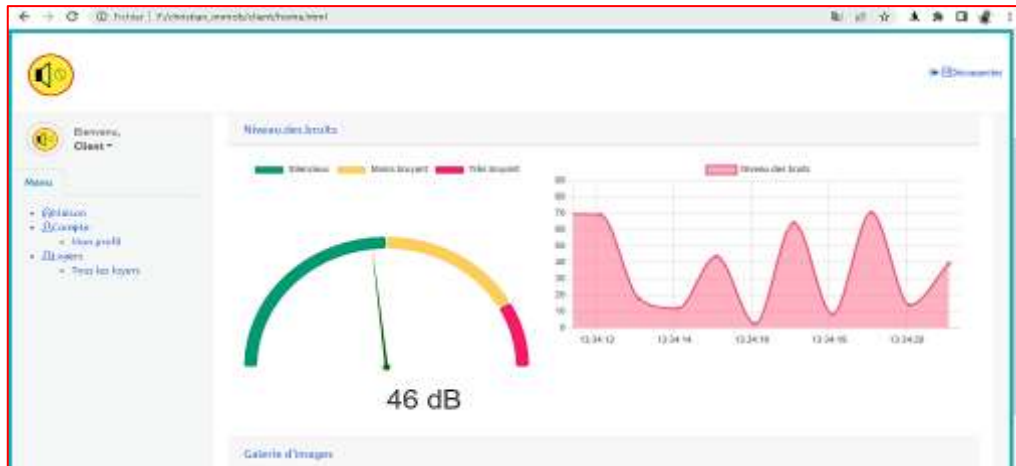
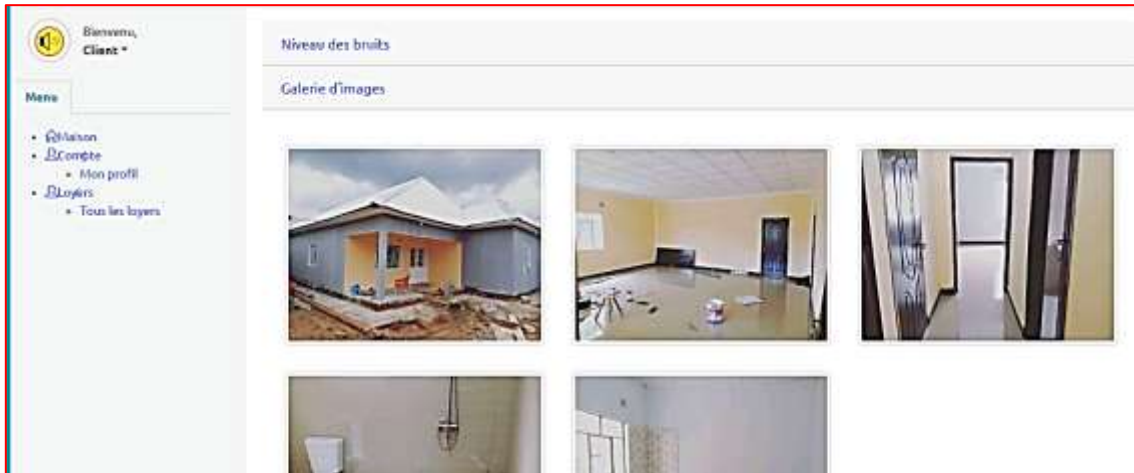


Figure 30: Caractéristiques d'une maison



Figure 31: Images d'une maison



- Ajout maison : chaque propriétaire a la possibilité de poster une maison en fonction de ses caractéristiques. Il peut y ajouter des images, voir toutes ses maisons seulement et même en supprimer.

Figure 32: Ajout maison

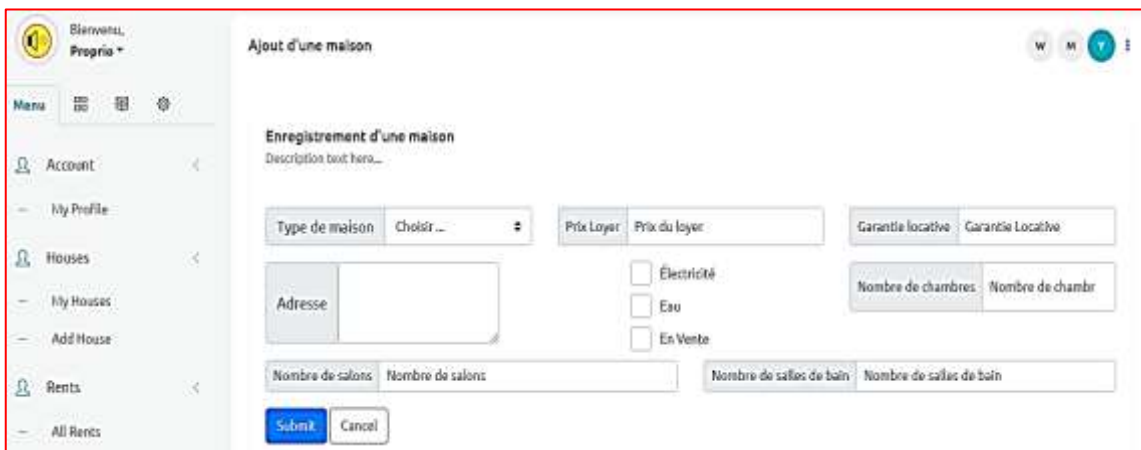
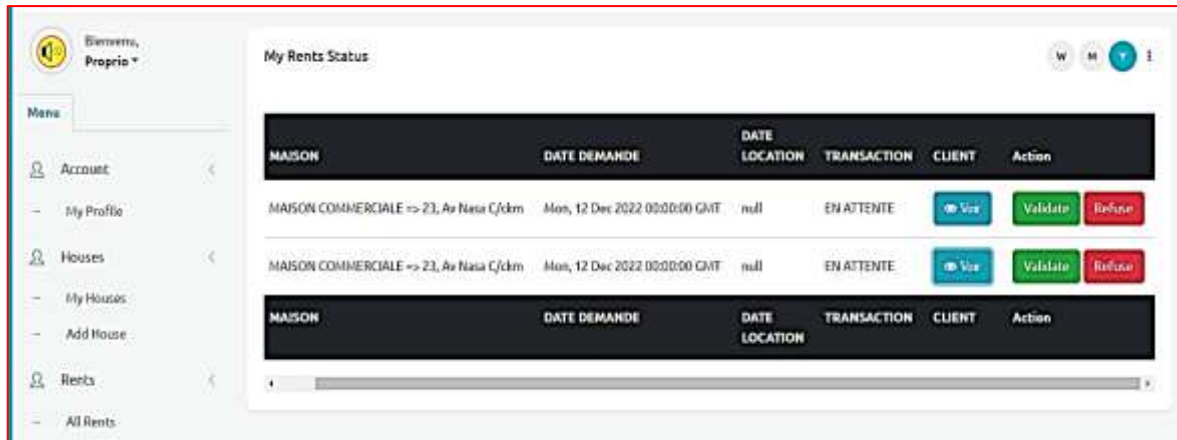


Figure 33: Action sur les caractéristiques d'une maison



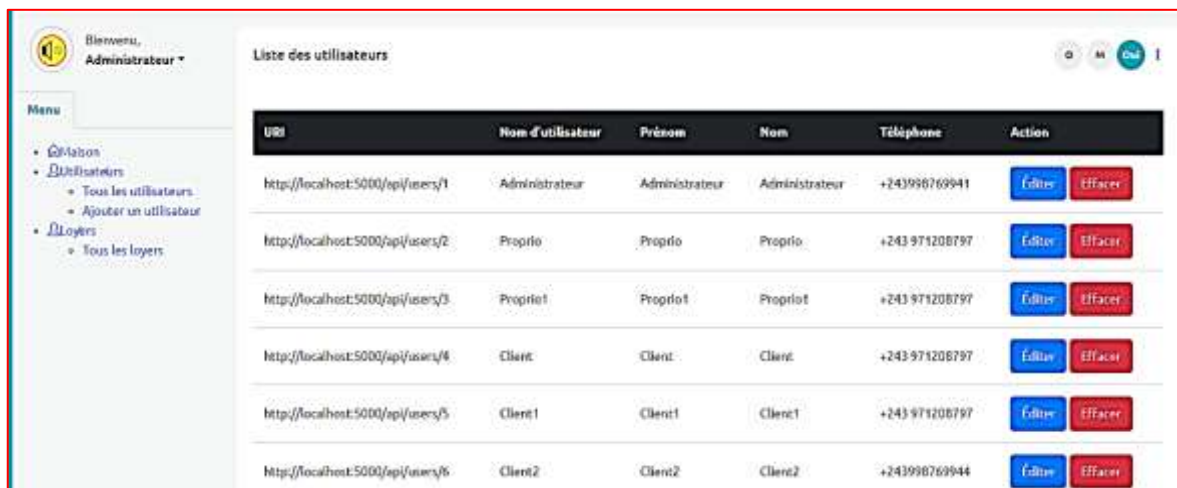
Le propriétaire peut voir les demandes des clients. Avant de valider ou de refuser une demande, il a la possibilité de voir le profil du demandeur.

Figure 34: Voir les demandes des clients



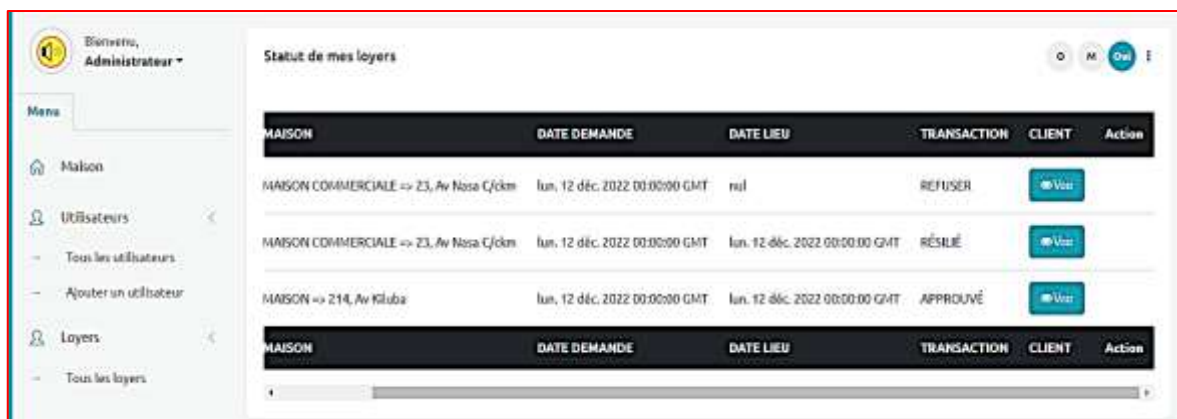
- Gestion des maisons: le rôle de l'administrateur est de gérer tous les comptes des propriétaires et des clients; les modifier en cas d'information non éthique et voire de les supprimer.

Figure 35: Voir tous les comptes par l'administrateur



L'administrateur peut également voir toutes les transactions de location et d'achat ; voir le profil du client mais il ne peut jamais résilier un contrat.

Figure 36: Tableau de bord des transactions



4. Discussion et commentaire

Le système va permettre aux paisibles citoyens de la ville de Lubumbashi en particulier de trouver aussi possible qu'il soit et aisément une habitation tout en leur permettant d'avoir un tableau de bord leur indiquant le niveau des bruits et différents impacts des niveaux de bruits auxquelles ils sont exposés dans le but de leurs prévenir. Nous ne sommes pas les seules personnes qui ont eu à élaborer un travail sur ce thème de recherche ; mais la seule différence avec nous, c'est cette particularité sur le niveau bruit environnemental.

Boufenneche Amine et Boudjenana Yazid, de l'Institut des sciences et de la technologie en Algérie ; ils ont conçu et développé un site web dynamique commercial effectif[29], qui permet à l'investisseur algérien d'acheter, de vendre et de louer des immobiliers (maisons, terre, etc) en ligne, et de visiter le site d'une manière simple et rapide.

Nathan MBAYO de l'Ecole supérieure d'informatique Salama en République Démocratique du Congo, a conçu et mis en place un modèle de surveillance de la pollution sonore et atmosphérique basé sur un Raspberry Pi et un microcontrôleur IoIo basé sur Android[30].

IMCongo (Immobilier du Congo), premier portail Immobilier en République Démocratique du Congo (Congo-Kinshasa), en termes de biens en ligne et de popularité, met à la disposition des professionnels de l'immobilier (courtiers, promoteurs, agences immobilières, propriétaire, etc.) une plateforme conviviale pour la promotion de leurs biens. Aux particuliers et organisations à la recherche d'un bien à louer ou à vendre, IMCongo offre la plus grande base d'annonces en RD Congo. De plus, l'application mobile IMCongo possède de puissants outils d'aide à la recherche et de communication avec les annonceurs.

Sony Computer Science Laboratory à Paris en collaboration avec la Vrije Universiteit Brussel. Depuis 2010, on assiste au développement croissant d'applications mobiles déployées comme outils d'évaluation du bruit ambiant et du paysage sonore, allant de la sortie de la première application, Noise Tube, aux plus récentes, telles que Hush City, Ambiciti. L'objectif du projet est de transformer les smartphones en sonomètres mobiles pour permettre aux citoyens de mesurer leur exposition au bruit dans leur environnement quotidien et de participer à la cartographie collective du bruit de leur ville ou de leur quartier.

5. Conclusion

L'achat et l'accès au logement dans un environnement moins bruyant est l'une des préoccupations majeures de la population de Lubumbashi. La volonté de s'offrir aisément un toit devient une nécessité. Le secteur immobilier connaît une forte croissance avec une demande de plus en plus forte.

Nous rappelons d'abord que l'objectif principal de ce travail de recherche n'était pas celui de concevoir un système qui réduit au maximum possible la pollution sonore dans la ville de Lubumbashi ; puisque pour le bruit, l'objectif n'est pas qu'il y en ait le moins possible car il est vital ; mais plutôt celui qui permet aux paisibles citoyens de la ville de Lubumbashi de s'y trouver aisément une habitation et également de voir le niveau de bruit environnant chaque habitation.

Ainsi, par rapport aux ambitions assignées dans notre travail, nous avons réalisé un système web médiateur entre un client acheteur ou locataire et un vendeur ou propriétaire de maison. Elle permet de consulter un immeuble, de louer, d'acheter (maison, parcelle, terrain, etc.) ; avec une jauge et une présentation graphique qui récupère du nœud déployé dans la maison les échantillons du niveau des bruits environnant chaque immeuble dans le quartier en continu après chaque deux secondes (période d'échantillonnage) et les affiche sur le système.

Notre réalisation est encore d'actualité et ne s'arrête pas à ce niveau. En effet, plusieurs perspectives s'offrent à ce projet : on peut ajouter aussi un comparateur de prix ainsi que les méthodes de paiement en ligne, e-commerce et m-commerce afin de la rendre plus digitale ; nous souhaitons aussi très fortement qu'il soit le fruit du progrès, de l'évolution et qu'il reste à la hauteur des exigences de la société.

6. References

1. H. Torgue, "Bruit urbain : nuisance ou ambiance ?," pp. 8–10.
2. M. Andre, J. Lelong, and A. E. Évaluation, "Évaluation de l'impact sur les populations de la pollution atmosphérique et du bruit liés aux trafics et aux modifications des infrastructures de transport - HAL Id : hal-01233504 infrastructures de transport - Éléments," 2015.
3. C. A. Kardous and P. B. Shaw, "Evaluation of smartphone sound measurement," vol. 135, no. March, pp. 186–192, 2014, doi: 10.1121/1.4865269.
4. M. R. Monazzam, E. Karimi, M. Abbaspour, and P. Nassiri, "SPATIAL TRAFFIC NOISE POLLUTION ASSESSMENT – A CASE STUDY," vol. 28, no. 3, pp. 625–634, 2015.
5. "PROPAGATION des ONDES ELECTROMAGNETIQUES," 2005.
6. C. C. Feuillet-palma, "Ondes Electromagnétiques," 2020.
7. A. B. Dipl and P. Son, "Les microphones numériques," pp. 0–31, 2004.
8. "Les ondes," pp. 1–21, 2008.
9. S. D. E. L. A. Normalisation and D. E. L. Uit, "UIT-T," vol. 931.
10. "No Title," pp. 3–9.
11. "brochure_le_bruit.pdf."
12. M. Auffret, "LES NOTIONS ESSENTIELLES DE L'ACOUSTIQUE."
13. P. De, "Le Bruit : Effets Auditifs et Extra Auditifs Sources d'exposition Effets du bruit," pp. 1–9.
14. D. Billot, "Résultats de la prise en charge des traumatismes sonores aigus : à propos de 225 patients To cite this version : HAL Id : hal-01732723 soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr," 2018.
15. N. Trompette, T. Venet, N. Trompette, and T. Venet, "Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique HAL Id : hal-02964700 Exposition sonore et risque auditif pour les professionnels de la musique et du son : revue bibliographique," 2020.
16. M. Harvie, C. F. Roy, and J. G. Mdc, "Perforations traumatiques du tympan," vol. 196, pp. 608–609, 2024, doi: 10.1503/cmaj.230868.
17. L. E. S. L. E. T. Fractures-luxations and P. D. U. Carpe, "LES LUXATIONS ET Fractures-LUXATIONS PÉRILUNAIRES DU CARPE À PROPOS DE 11 CAS," 2020.
18. F. D. E. C. Dentaire, D. D. Etat, D. E. D. En, and C. Dentaire, "THESE POUR LE Madame le Docteur Mathilde SAVIGNAT," 2021.
19. "Tableau clinique Informations de la SSORL pour les patientes et patients Survenue et fréquence Signes typiques Traitement," pp. 1–2.
20. K. Janot et al., "Acouphènes pulsatiles : rôle du neuroradiologue interventionnel — « Le cauchemar est guérissable »,» pp. 474–477, 2020, doi: 10.1016/j.lpmfor.2020.09.009.
21. T. R. E. Entendues, "A COUPHÈNES ET HYPERACOUSIE :," pp. 1–8, 2018.
22. "Création d'un test de mesure de l'hyperacousie à partir d'une série de suggestions imagées destiné aux personnes présentant une hypersensibilité."
23. A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, M. Ro, and S. Group, "Infarction," vol. 21, no. 6, pp. 829–836, 2010, doi: 10.1097/EDE.0b013e3181f4e634.
24. M. Sørensen et al., "Road traffic noise and stroke : a prospective cohort study," pp. 737–744, 2011,

doi: 10.1093/eurheartj/ehq466.

25. A. Pyko et al., “Exposure to traffic noise and markers of obesity,” pp. 1–8, 2015, doi: 10.1136/oemed-2014-102516.
26. R. Ventura, U. Pierre, and É. Ed, “Estimation de la pollution sonore en milieu urbain par assimilation d ’ observations mobiles To cite this version : HAL Id : tel-02555258 Raphaël Ventura Estimation de la pollution sonore en milieu urbain par assimilation d ’ observations mobiles,” 2020.
27. “No Title.”
28. Z. Li, M. Ba, and J. Kang, “Measuring soundscape quality of urban environments using physiological indicators : construction of physiological assessment dimensions and comparison with subjective dimensions,” vol. 257, no. June, pp. 1–36, 2024.
29. C. Universitaire, “Thème Conception et réalisation d ’ une application web pour l ’ achat , la vente et la location des immobiliers en ligne.”
30. N. Mbayo, H. Maluleke, and A. Bagula, “Environment 4 . 0 : An IoT-Based Pollution Monitoring Model,” pp. 1–14.