

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Populaire et Démocratique Algérienne
République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Ref:.....

Centre Universitaire
Abdelhafid Boussouf Mila

Institut Des Mathematiques Et Informatique
Département d'informatique

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité: Intelligence Artificielle et Ses Applications (I2A)

Vers une solution E-administrative intelligente pour Les projets urbains

Réalisé Par:

- **BOUARRA Ilyes**
- **BELMEHBOUL Kamel**

Soutenu devant le jury:

Dr. KIMOUCHE Abdelkader	Président
Dr. AFRI Faiza	Examineur
Dr. ATTIA Mourad	Encadrant
Dr. GUETTICHE Mourad	Co-Encadrant

Année Universitaire: 2023/2024

Remerciements

Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation et au succès de ce projet.

Tout d'abord, nous tenons à adresser nos sincères remerciements et notre gratitude au professeur superviseur, le **Dr. Attia Mourad**, pour son soutien indéfectible et ses précieux conseils, qui ont été déterminants à chaque étape de ce travail.

Son soutien scientifique et moral a eu un impact significatif sur la concrétisation de ce projet.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance à l'assistante dévouée, l'honorable **Dr. Guettiche Mourad**, pour ses efforts inlassables en fournissant une assistance et des conseils tout au long de la mise en œuvre de ce projet.

Ses directives précises et ses conseils éclairés ont été des phares nous guidant à surmonter de nombreux défis.

Nous adressons toute notre gratitude aux membres du Comité de discussion pour leur temps précieux et leurs efforts considérables lors de l'examen de notre mémoire.

Nous avons été honorés de bénéficier de vos discussions constructives et de vos conseils précieux, qui ont significativement contribué à l'amélioration de notre travail de recherche.

Nos remerciements vont également à nos chères familles pour leur soutien constant et leurs encouragements tout au long de notre parcours académique.

Leur soutien et leurs prières ont été d'une aide inestimable pour persévérer et avancer dans cette entreprise.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous ceux qui nous ont apporté leur soutien et leur aide, que ce soit par des conseils, des encouragements ou simplement des mots de soutien.

Ce projet n'aurait pas pu aboutir sans vos précieuses contributions. Nous vous remercions sincèrement à tous.

Belmehboul Kamal * Bouarra Ilyas**

Dédicace

Pour votre amour inconditionnel, votre soutien constant et vos encouragements indéfectibles, qui ont été nos phares et notre force tout au long de ce parcours.

À nos amis, Pour votre présence rassurante, vos mots d'encouragement et vos rires partagés, qui ont illuminé nos journées et nous ont aidés à surmonter les moments de doute.

À nos mentors et enseignants, Pour votre sagesse, votre patience et vos précieux conseils, qui ont guidé nos pas et nourri notre soif de connaissance.

À tous ceux qui ont cru en nous et nous ont soutenus d'une manière ou d'une autre,

Ce mémoire vous est dédié, avec notre plus profonde gratitude.

Belmehboul Kamal * Bouarra Ilyas**

Résumé

L'objectif de cette recherche est de développer une nouvelle architecture et un modèle de système intelligent d'aide à la décision (**SIAD**) dédié aux services administratifs électroniques, en particulier pour l'urbanisme.

Le (**SIAD**) intègre des connaissances en urbanisme, des données sur les citoyens, les infrastructures, les services et les équipements publics.

Il utilise des technologies avancées d'apprentissage automatique, de modélisation prédictive et d'analyse de données pour améliorer la précision et l'efficacité des décisions de planification.

Ce système multi-agents peut modéliser des interactions complexes entre les citoyens, les autorités locales et les infrastructures, facilitant ainsi une gestion plus efficace et adaptative des projets urbains, tout en réalisant des économies de temps et d'argent.

La mise en œuvre est basée sur un système multi-agent holonique (**SMAH**) avec une structure hiérarchique.

Nous avons utilisé le langage de programmation Python et l'environnement de développement Jupyter Anaconda, ainsi que les bibliothèques associées. Le facteur holonique est renforcé par un algorithme d'apprentissage automatique basé sur des arbres de décision et des réseaux bayésiens, et nous avons soutenu le système avec des cartes urbaines comme référence.

Cette approche assure l'interopérabilité et la coordination des agents holoniques, assurant ainsi une mise en œuvre cohérente et flexible des projets d'urbanisme.

Les mots clés: Urbanisme, Permis de construire, Équipements publics, Le développement urbain, l'aide à la décision, décision, le système multi-agents holonique (SMAH), Les systèmes d'aide à la décision intelligents (SIAD).

ملخص

هدف هذا البحث هو تطوير بنية ونموذج جديدة لنظام ذكي يدعم اتخاذ القرارات (SIAD) مخصص للخدمات الإدارية الإلكترونية، وخاصة في مجال التخطيط الحضري.

يتكامل نظام (SIAD) مع المعرفة في التخطيط الحضري، وبيانات المواطنين، والبنية التحتية، والخدمات، والمرافق العامة.

يستخدم تقنيات متقدمة في التعلم الآلي، والنمذجة التنبؤية، وتحليل البيانات لتحسين دقة وكفاءة قرارات التخطيط.

يمكن لهذا النظام متعدد الوكلاء نمذجة التفاعلات المعقدة بين المواطنين، والسلطات المحلية، والبنية التحتية، مما يسهل إدارة أكثر فعالية وتكيفاً للمشاريع الحضرية، مع تحقيق وفرة في الوقت والمال. يستند التنفيذ إلى نظام متعدد الوكلاء بهيكل هرمي.

استخدمنا لغة البرمجة بايثون وبيئة التطوير **Jupyter Anaconda**، بالإضافة إلى المكتبات المرتبطة. يتم تعزيز العامل **holonique** بواسطة خوارزمية تعلم آلي قائمة على أشجار القرار و شبكة باييز، ودعمنا النظام بخرائط حضرية كمرجع.

يضمن هذا النهج التداخل والتنسيق بين الوكلاء **holonique**، مما يضمن تنفيذاً متسقاً ومرناً للمشاريع الحضرية.

الكلمات المفتاحية: التخطيط الحضري، تصاريح البناء، المرافق العامة، التنمية الحضرية، دعم اتخاذ القرار، النظام متعدد الوكلاء **holonique (SMAH)**، أنظمة دعم اتخاذ القرار الذكية (SIAD).

Abstract

The objective of this research is to develop a new architecture and model for an intelligent decision support system (**IDSS**) dedicated to electronic administrative services, particularly for urban planning.

The **IDSS** integrates urban planning knowledge, data on citizens, infrastructure, services, and public facilities.

It utilizes advanced technologies such as machine learning, predictive modeling, and data analysis to improve the accuracy and efficiency of planning decisions.

This multi-agent system can model complex interactions between citizens, local authorities, and infrastructure, thereby facilitating more effective and adaptive management of urban projects while achieving time and cost savings.

The implementation is based on a holonic multi-agent system (**SMAH**) with a hierarchical structure. We used the Python programming language and the Jupyter Anaconda development environment, along with associated libraries.

The holonic factor is reinforced by a machine learning algorithm based on decision trees and Bayesian network, and we supported the system with urban maps as a reference.

This approach ensures interoperability and coordination of the holonic agents, thereby ensuring coherent and flexible implementation of urban planning projects.

Keywords: Urban planning, Building permits, Public facilities, Urban development, decision support, decision, the holistic multi-agent system (SMAH), Intelligent decision support systems (SIAD).

Table des Matières

Liste des Figures	viii
Liste des Tableaux	x
Liste des Abréviations	xi
Introduction Générale	1
1 Conception et Planification Stratégique des Projets Urbains	3
1.1 Introduction	3
1.2 Origines de la planification urbaine	3
1.3 Définition de la planification urbaine	4
1.3.1 La croissance urbaine	5
1.3.2 L'objectif de l'urbanisme	6
1.3.2.1 Des objectifs architecturaux	6
1.3.2.2 Des objectives de services	6
1.3.2.3 Des objectifs sociaux et économiques	7
1.3.3 Procédures d'urbanisme	7
1.3.4 L'importance de la Planification et de la Prise de Décision dans l'Aménagement Urbain	7
1.3.5 Reconstruction urbaine	8
1.3.6 Mesures de planification	9
1.4 Planification de projets urbains	9
1.5 La planification urbaine en Algérie	9
1.5.1 Définition du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U)	10
1.5.2 Définition du plan d'occupation des sols (P.O.S)	11
1.5.3 Mise en œuvre des (P.D.A.U) et (P.O.S)	12
1.5.4 Les niveaux de planification en Algérie	12
1.5.5 Les domaines de l'urbanisme en Algérie	13
1.6 Équipements publics	14
1.6.0.1 Définition:	14
1.6.1 Étapes de réalisation de l'équipement	15
1.7 Concrétiser des projets d'équipements publics	15
1.7.1 Étapes de mise en œuvre	15
1.7.2 Acteurs et acteurs de la réalisation des équipements publics	16
1.7.2.1 Direction de l'équipement public	16
1.7.2.2 Direction de la reconstruction, de l'architecture et de la construction	17

1.7.2.3	Elwalli	18
1.7.2.4	Les différentes directions	18
1.7.3	Sélection des terrains et répartition des équipements	18
1.7.3.1	Tâches du comité de sélection des terrains	19
1.7.3.2	Étapes des travaux du comité de choix des terrains	19
1.8	Les processus de construction dans la législation algérienne	20
1.8.1	La notion de processus de construction dans la législation algérienne	20
1.8.2	Définition de la construction dans la législation algérienne	21
1.8.3	Contrôles du processus de construction	21
1.8.4	Servitudes limitations de construction	21
1.8.5	Servitudes de non-construction	22
1.8.6	Étapes juridiques du processus de construction	23
1.9	Définition d'un permis de construire	23
1.9.1	L'importance d'un permis de construire	24
1.9.2	Demande de permis de construire	24
1.10	Conclusion	26

2 Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens **27**

2.1	Introduction	27
2.1.1	Les Arbres de Décision	27
2.1.1.1	Les Arbres de Decision Pour La Classification	27
2.1.1.2	Approches pour Les Arbres de Décision	28
2.1.1.3	Différents Algorithmes d'Arbre de Décision	28
2.1.1.4	Avantages des Arbres de Décision	29
2.1.1.5	Applications des Arbres de Décision	29
2.1.2	Les Réseaux Bayésiens	30
2.1.2.1	Avantages des Réseaux Bayésiens	30
2.1.2.2	Applications des Réseaux Bayésiens	31
2.1.3	Décision et L'aide à la décision	31
2.1.4	Les systèmes intelligents d'aide à la décision	32
2.2	Le concept holon	32
2.2.1	Les caractéristiques des holons	32
2.2.2	L'architecture holarchique	33
2.3	Les systèmes multi-agents (SMA) et l'approche holonique	35
2.3.1	Notion d'agent et système multi-agent	35
2.3.2	Les Systemes multi agents , avantages et limites	37
2.3.3	L'agent holonique	37
2.3.4	Agents vs Holons	37
2.4	Les systèmes multi-agents holoniques (SMAH)	39
2.4.1	Spécification individuelle des agents holoniques	40
2.5	Un Cadre pour la Modélisation des Systèmes Holoniques	41
2.5.1	Principes clés de la Formation et de l'Interaction des Holons dans les Systèmes Holoniques:	42
2.5.2	Modélisation des membres de Holon	43
2.6	Prise de décision dans le système holonique	44
2.7	Conclusion	45

3	Expérimentation et Evaluation	46
3.1	Introduction	46
3.2	Travaux connexes antérieurs	46
3.3	Description du système réalisé	47
3.4	Choix méthodologique	47
3.4.1	Définition de l'Agent Holonique Unified Modeling Language (AUML)	47
3.5	Diagrammes AUML	48
3.5.1	Diagramme de Classes d'Agent	49
3.5.2	Diagramme de Protocole d'Interactions	49
3.6	Les systèmes multi-agents holoniques pour la e-administration	49
3.6.1	Approche d'Holonisation pour l'e-administration	49
3.6.2	Démarche pour la composition des services administratifs moyennant les SMAH	51
3.7	Analyse	53
3.7.1	Explication du scénario d'inspection de la parcelle	53
3.7.2	Identification des utilisateurs	55
3.7.3	Objectifs du Système	56
3.7.4	Description Fonctionnelle du Système	56
3.7.5	Interactions entre les Agents holonique	56
3.8	Conception	57
3.8.1	Méthodologie de Modélisation	57
3.8.2	Identification et description des cas d'utilisations	57
3.8.3	Description le diagramme de séquence système	59
3.8.3.1	Diagramme de séquence « Créer compte »	60
3.8.3.2	Diagramme de séquence « Envoyer les information»	61
3.8.3.3	Diagramme de séquence « Consulter Les Demandes et Recevoir les informations au système »	62
3.8.3.4	Diagramme de séquence « Faire la decision»	63
3.8.3.5	Diagramme de séquence « Envoyer et Consulter la decision»	64
3.8.4	Description le diagramme des classes	64
3.8.4.1	Classes et Attributs	64
3.8.4.2	Relations	65
3.8.4.3	Explication des interactions	66
3.8.5	Description le diagramme de classes des Agents	67
3.9	Modélisation des décisions administratives via des réseaux Bayésiens	67
3.9.1	Réseau Bayésien et décision dans l'incertain	67
3.9.1.1	Construction du réseau Bayésien	68
3.9.1.2	Construction des tableaux des probabilités conditionnelles	68
3.9.1.3	L'apprentissage du réseau Bayésien	70
3.9.1.4	Le raisonnement dans le réseau Bayésien	70
3.9.1.5	L'extensibilité du réseau	70
3.9.2	L'arbre de décision et l'avis réel	71
3.9.2.1	La construction de l'arbre de décision	71
3.9.2.2	Les avis local et les sous arbre de décision:	72
3.10	Avantages du Système	73

3.11 Conclusion	73
4 Expérimentation, Evaluation et Explications sur L'application et L'outil Développé	74
4.1 Introduction	74
4.2 Langages et outils de développement utilisé	74
4.3 Les interfaces principales du système	76
4.4 Les Résultats d'Arbre Décision	79
4.5 Les Résultats Bayésienne	80
4.5.1 Explication des résultats	81
4.5.2 Construction et Interprétation du réseau bayésien	81
4.5.2.1 Utilisation du tableau pour l'arbre de décision	81
4.6 Conclusion	82
Conclusion Générale	83

Liste des Figures

1.1	Deux projets prioritaires en cours de réalisation (PDAU d'Alger).	5
1.2	(P.D.A.U) la commune de Mila	11
1.3	POS de la commune de Mila	11
1.4	Les niveaux de planification en Algérie	13
1.5	Étapes de réalisation de l'équipement	15
1.6	Schéma de la procédure de délivrance d'un permis de construire	26
2.1	Exemples d'une arbre de décisions.	28
2.2	Exemple de réseau bayésien avec la probabilité jointe.	30
2.3	Systeme holarchique comme étant une structure multicouche.	34
2.4	Architecture d'une holarchie multicouches.	35
2.5	Différence entre objet et agent	36
2.6	Composition d'un SMA.	36
2.7	Composition des agents holoniques dans un SMAH	40
2.8	Un exemple de structure holonique d'une université	42
2.9	Département d'informatique et Laboratoire Holons	44
3.1	Modèle Holonique de la Hiérarchie des Tâches Administratives	52
3.2	Modèle dynamique pour les services administratifs	52
3.3	Modèle statique d'un service e-administratif holonisé	53
3.4	Diagramme montrant le scénario du processus d'inspection de la parcelle.	54
3.5	Le diagramme de cas d'utilisation.	59
3.6	Diagramme de séquence « Créer compte»	60
3.7	Diagramme de séquence « Envoyer les informations»	61
3.8	. Diagramme de séquence « Consulter Les Demandes et Recevoir les informations au système »	62
3.9	Diagramme de séquence «Traiter les informations et Faire la decision»	63
3.10	Diagramme de séquence « Envoyer et Consulter la decision»	64
3.11	Le diagramme des classes.	66
3.12	le diagramme de classes des agents.	67
3.13	Réseau Bayesain pour la procédure d'admission dans la construction des projets urbains	68
3.14	Réseau Bayesain après l'ajout du nœud A (agriculture)	71
3.15	L'arbre de décision pour la construction des projets urbains	72
3.16	Sous-arbre de décision pour l'administration Sonalgaz.	72
4.1	Demande de Permis de Construire	77
4.2	Agent Image Processing	78
4.3	Les Résultats d'Arbre Décision	79

4.4	Un Résultat Bayésien	82
-----	--------------------------------	----

Liste des Tableaux

2.1	Comparaison des caractéristiques entre Agent et Holon.	39
3.1	e-administration vs SMAH	51
3.2	Tableau de distribution probabiliste de la variable LG	69
3.3	Tableau de probabilité conditionnelle de la variable S	69
4.1	Les Résultats Bayésienne	80

Liste des Abréviations

SIAD	Système intelligent d'aide à la décision.
SAD	Système d'aide à la décision.
ML	Machine Learning.
RL	Referencement learning.
SNAT	Schéma National d'Aménagement du Territoire.
SRAT	Schéma Régional d'Aménagement du Territoire.
PAW	Plan d'Aménagement de Wilaya.
PUD	Plans d'Urbanisme Directeur.
PUP	Plans d'Urbanisme Provisoire.
PDAU	Plans Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.
POS	Plans d'Occupation des Sols.
DUAC	Direction de l'urbanisme de l'architecture et de la construction.
APC	L'assemblée populaire communale.
SMA	Système multi-agent.
SMAH	Système multi-agent Holonique.
CS	Computer Science.
AEP	Adduction d'Eau Portable.
PGM	Probabilistic Graphical Models.
GPS	Global Positioning System.
PDF	Portable Document Format.
HTML	Highly Textual Markup Language.
SOHO	Self-regulating Open Hierarchic Order.

Introduction Générale

- **Contexte générale :** Les services d'administration électronique complexes, tels que Inspection au sol et les permis de construire, nécessitent des décisions collectives et une coordination entre plusieurs autorités administratives, souvent entravées par des délais prolongés. Il est crucial d'améliorer l'efficacité et la rapidité de ces processus. Une approche utilisant un système multi-agents holonique et des réseaux bayésiens est proposée pour modéliser et optimiser ces procédures. Cette méthode vise à faciliter la coordination entre les administrations, rendant les processus plus transparents et efficaces, contribuant ainsi à une meilleure gestion urbaine et à un développement durable.
- **Problématique :** Les services d'administration électronique complexes, tels que les procès-verbaux de choix de terrain et les permis de construire, nécessitent des décisions collectives et une coordination interdépartementale. Ces processus, dans le cadre des procédures traditionnelles, sont souvent longues et peuvent entraîner des réponses négatives après des mois d'attente. Les urbanistes et décideurs doivent équilibrer les ressources disponibles avec les besoins des citoyens, tout en respectant diverses contraintes économiques, de qualité, environnementale et sociale.

Les études en urbanisme se sont souvent concentrées sur l'optimisation des équipements, négligeant l'impact des décisions administratives. Une étude de 2020 a proposé un système de soutien à la décision utilisant un modèle multi-agents et un algorithme d'optimisation par colonie de fourmis pour identifier les plans urbains les plus efficaces et améliorer la localisation des bâtiments et des services. Cependant, cette étude n'a pas pris en compte les délais administratifs liés aux contraintes techniques.

Alors quelles solutions notre projet peut-il adopter pour résoudre cette problématique de manière optimale ? Comment intégrer ces solutions aux travaux antérieurs pour améliorer les procédures et la diffusion de la planification urbaine ?

- **Objectifs du projet à atteindre :**

Ce projet de recherche, mené dans le cadre du programme de master en intelligence artificielle, vise à développer un système intelligent d'aide à la décision dans le domaine de la planification urbaine. L'objectif principal est de surpasser les processus manuels traditionnels en créant des départements électroniques capables de gérer les exigences de la planification urbaine de manière efficace et efficiente.

Le système repose sur l'approche du système multi-agents holonique (SMAH) et les réseaux bayésiens pour créer une architecture décisionnelle intelligente. Ce système combine la flexibilité de la structure holonique avec la précision et l'efficacité de l'intelligence artificielle dans la prise de décision, réduisant ainsi les erreurs et augmentant l'efficacité des opérations administratives. Il vise également à améliorer la transparence et l'efficacité des processus, tout en réduisant les délais d'approbation et de rejet.

Cette recherche se divise en quatre chapitres principaux :

- **Le premier chapitre: *Conception et Planification Stratégique des Projets Urbains*** Nous examinerons les fondamentaux des procédures de planification urbaine et de suivi en Algérie, y compris les niveaux de planification et la participation des équipements publics. Nous discuterons des outils de planification utilisés en Algérie et explorerons la phase initiale de planification jusqu'à la finalisation du projet. Notre attention sera particulièrement portée sur les méthodes de sélection des sites et le processus d'obtention des permis de construire, ainsi que sur les critères essentiels à considérer lors du choix du terrain optimal.
- **Le deuxième chapitre: *Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens*** Nous expliquerons le système multi-agents et le concept de holon. Nous discuterons de l'agent holonique dans le cadre d'un système multi-agents holonique, de son architecture, et des différences par rapport aux systèmes traditionnels. Nous aborderons également les spécifications individuelles des agents holoniques et le processus de prise de décision dans le système holonique, en mettant l'accent sur l'utilisation des arbres de décision et des réseaux bayésiens.
- **Le troisième chapitre: *Expérimentation et Evaluation*** Ce chapitre concerne la modélisation du système des administratives décisionnels dans notre urbanisme Basé sur des systèmes multi-agents holoniques . Nous expliquons en détail toutes les étapes Concevoir notre système en utilisant un langage Modélisation UML.
- **Le quatrième chapitre: *Expérimentation, Evaluation et Explications sur L'application et L'outil développé*** Ce chapitre détaille l'implémentation de notre système, en décrivant Algorithmes de Réseaux bayésiens et algorithmes d'arbre de décision. Il inclut également une présentation des différents outils et langages de développement utilisés.

Nous espérons que les résultats de cette étude contribueront à améliorer les processus de planification urbaine en Algérie et à proposer des solutions innovantes basées sur l'intelligence artificielle pour atteindre un développement durable et futur dans ce domaine crucial.

Chapitre 1

Conception et Planification Stratégique des Projets Urbains

1.1 Introduction

L'urbanisme joue un rôle essentiel en analysant et influençant les dynamiques sociales pour améliorer la qualité de vie urbaine.

C'est un outil clé pour les autorités publiques afin de prévoir, orienter, réguler et superviser le développement urbain.

Les approches de planification varient en fonction de la taille de la ville : les petites villes bénéficient de mises en œuvre rapides et économiques, tandis que les grandes villes nécessitent une planification à long terme et une coopération étendue.

Face aux défis économiques et environnementaux mondiaux, la planification urbaine est cruciale et en Algérie, elle est régulée par la loi 29-90. Cette loi utilise des outils comme le plan directeur d'aménagement pour gérer le développement urbain et environnemental.

Ces plans anticipent l'expansion urbaine et les interactions régionales, constituant des éléments essentiels du tissu urbain national.

1.2 Origines de la planification urbaine

La croissance des villes, influencée par des facteurs comme la démographie, l'immigration et l'exode rural, entraîne un surpeuplement des zones urbaines et le déclin des espaces ruraux. Pour gérer cette concentration urbaine, une politique publique claire est nécessaire.

Celle-ci doit inclure des outils pour contrôler l'expansion urbaine, l'utilisation des sols, la protection des espaces agricoles et de l'environnement, et l'intégration sociale des habitants. Une gestion efficace des intérêts locaux requiert prévision, anticipation et mobilisation des ressources.

En somme, la planification urbaine vise à un développement harmonieux et durable des villes [1]. Cette politique, connue sous le nom de "planification urbaine", a émergé en 1909 en Grande-Bretagne et au début des années 1910 aux États-Unis, marquée par des initiatives telles que le Burnham Plan de Chicago et le premier plan de New York.

Elle se compose d'un ensemble d'outils et de moyens visant à rationaliser la

gestion urbaine et l'utilisation des sols. L'histoire de la planification urbaine met en lumière deux aspects : d'une part, les grandes réalisations, documents, plans et techniques qui attestent de son évolution dans l'histoire des villes d'autre part, les politiques urbaines, décisions, législations, chartes et documents réglementaires qui encadrent son application.

À partir de 1945, les théories de la planification urbaine ont été largement influencées par les idéaux des Lumières et les réalisations du XIXe siècle, illustrant l'originalité et l'innovation de la planification urbaine à cette époque [2].

1.3 Définition de la planification urbaine

La planification urbaine et l'urbanisme sont étroitement liés. Jean-Paul Lacaze [3] identifie cinq approches réglementaires distinctes influencées par ces disciplines :

- L'urbanisme de composition, axé sur la conception de projets urbains spécifiques.
- La planification stratégique, dérivée de la planification économique, orientée vers des objectifs stratégiques globaux..
- L'urbanisme participatif, impliquant une collaboration étendue au-delà des seuls pouvoirs publics, intégrant les autres parties prenantes.
- L'urbanisme de gestion, adapté pour faire face aux fluctuations économiques et sociales.
- L'urbanisme de communication, qui se concentre sur l'image et l'attraction de la ville.

Ces approches illustrent la diversité des méthodes utilisées pour structurer et développer les environnements urbains.

Henri Derycke, selon lui : « pour assurer le développement des villes, effacer l'urbanisme chaotique, la planification urbaine réduit les erreurs et les aléas que recèle le futur, dans une démarche prospective qui s'appuie sur les prévisions futur, elle définit des procédures et s'assigne des objectifs et désigne des instruments pour les atteindre. Ces plans d'urbanisme qui sont l'un des outils de la planification sont réducteur des effets néfastes de l'urbanisation.

La planification urbaine par ses instruments qui s'appelle le plan, la prospective, la recherche opérationnelle et la liste sans doute n'est pas close est un réducteur d'incertitude, il ne s'agit pas de devenir l'avenir, mais de contribuer à l'avenir » [4] .

L'urbanisme est une discipline qui se concentre sur l'étude et la gestion de l'utilisation des terres et de l'aménagement des espaces urbains.

Il s'agit de planifier et de réguler le développement des villes et des zones métropolitaines avec pour objectifs de créer des environnements fonctionnels, durables et esthétiques. Les urbanistes cherchent à coordonner les infrastructures, les transports, les services publics, et les espaces verts, tout en tenant compte des besoins économiques, sociaux, et environnementaux de la communauté.

Cette pratique peut inclure des projets variés, allant de la revitalisation de quartiers anciens à la création de nouvelles zones résidentielles ou commerciales, en passant par la planification des systèmes de transport public.

Certainement, les planificateurs ont un besoin constant de plans actualisés pour s'adapter aux changements potentiels, offrant des solutions à court et à long terme.

Face aux contraintes temporelles de cette tâche, des techniques appropriées sont nécessaires pour relever ce défi, adaptées à la nature des problèmes et aux objectifs des décideurs.

Récemment, un domaine émergent de recherche, appelé Apprentissage Automatique (ML), a suscité un vif intérêt.

Les techniques de ML reposent sur l'analyse des données ou l'application de règles préétablies pour classer, prédire, identifier des schémas ou détecter des comportements inattendus.

L'apprentissage par renforcement (RL) constitue un domaine actif de recherche en ML, se concentrant sur l'apprentissage de la correspondance entre les situations et les actions pour maximiser une récompense numérique, [5].



Figure 1.1: Deux projets prioritaires en cours de réalisation (PDAU d'Alger).
source : [6].

1.3.1 La croissance urbaine

La croissance urbaine désigne l'expansion des villes, généralement associée à une augmentation de la population dans les zones urbaines, ce qui se traduit par le phénomène de l'urbanisation. Depuis le milieu du XIXe siècle, cette urbanisation a pris une nouvelle dimension. En effet, en raison de l'essor de notre société et des transformations économiques, politiques et démographiques, ainsi que de la quête d'amélioration du niveau de vie, les modes de vie ont considérablement évolué. Ces changements ont entraîné une explosion démographique mondiale, laquelle a profondément modifié la structure générale des villes, caractérisée par une expansion significative.[7]

1.3.2 L'objectif de l'urbanisme

La finalité de la planification urbaine consiste à orchestrer le développement et l'établissement des villes en tenant compte du bien-être des résidents actuels et futurs, ainsi que de l'équilibre essentiel entre la population et les infrastructures. Cela englobe la création et l'aménagement d'espaces publics et verts, ainsi que la mise en place de réseaux indispensables tels que l'eau potable, l'assainissement, l'éclairage public, l'électricité, le gaz et les communications. L'objectif principal de la planification est d'améliorer les conditions de l'environnement naturel, ainsi que les conditions de vie, les services et les conditions sociales et économiques des habitants. En résumé, cela se traduit par :

1.3.2.1 Des objectifs architecturaux

- Favoriser une meilleure intégration entre le logement, les voies de circulation, les zones industrielles et les services publics
- Promouvoir la création de parcs publics et d'espaces ouverts au sein des quartiers résidentiels afin de fournir aux habitants des lieux de détente et de loisirs.
- Privilégier la séparation autant que possible entre les zones résidentielles et les zones industrielles.
- Embellir la ville ou certains de ses quartiers en leur conférant une esthétique distinctive grâce à l'aménagement architectural des bâtiments
- Allocation de zones dédiées aux marchés [8] .

1.3.2.2 Des objectives de services

- Assurer une distribution équilibrée des services essentiels tels que l'eau, l'éclairage et l'assainissement dans tous les quartiers de la ville, évitant ainsi les excès dans certaines zones et les pénuries dans d'autres.
- Faciliter les déplacements professionnels des travailleurs en raccourcissant les distances entre leur domicile et les chantiers, soit en mettant en place des logements à proximité des zones de travail, soit en améliorant les moyens de transport et en optimisant les infrastructures de communication et de circulation dans la ville .
- Mise en place de centres administratifs et exécutifs, ainsi que de services éducatifs, judiciaires, sanitaires, récréatifs et autres, dans différents quartiers de la ville, afin de faciliter l'accès des habitants à ces infrastructures et de réduire leur besoin de se déplacer sur de longues distances.
- Faciliter l'accessibilité de la ville aux zones environnantes, notamment aux zones rurales avoisinantes, aux ports, aux capitales et aux centres de marché, en assurant des connexions efficaces et pratiques

- L'établissement de centres administratifs et exécutifs, ainsi que de services éducatifs, judiciaires, sanitaires, récréatifs et autres dans divers quartiers de la ville, vise à faciliter l'accès des habitants à ces installations et à réduire la distance qu'ils doivent parcourir pour les atteindre [9].

1.3.2.3 Des objectifs sociaux et économiques

- Optimiser les conditions de vie et de travail dans le centre-ville en facilitant l'accès à des emplois appropriés pour les chômeurs ou en les orientant vers des opportunités d'emploi dans le centre-ville.
- Améliorer les conditions sociales et sanitaires de la population en empêchant la surpopulation de certains quartiers et en interdisant la construction de logements qui ne respectent pas les normes sanitaires et de logement
- Stimuler le commerce de la ville en satisfaisant les besoins quotidiens des habitants à travers une offre variée de commerces, tout en améliorant le niveau de vie général.
- Favoriser le développement économique de la ville en établissant de nouveaux centres industriels ou en aménageant de nouvelles zones de production [10] .

1.3.3 Procédures d'urbanisme

il comprend les étapes suivantes :

- Désignation d'un comité d'experts chargé du processus de planification.
- Recueillir tous les documents, cartes et statistiques nécessaires à ce processus.
- Définir les objectifs du plan.
- Établir un plan préliminaire et fondamental en se basant sur un programme théorique.
- Identifier les principales difficultés et obstacles susceptibles d'être rencontrés [11] .

1.3.4 L'importance de la Planification et de la Prise de Décision dans l'Aménagement Urbain

- La planification, en général, implique l'établissement d'une série d'actions organisées de manière séquentielle pour accomplir les objectifs identifiés [12].

Dans le contexte urbain, la planification englobe un ensemble d'initiatives principalement dirigées par les autorités locales ou d'autres acteurs décisionnels.

Son objectif est de répondre à leurs responsabilités en établissant des règles, des plans et des politiques. En parcourant différentes villes, on observe des variations dans leurs caractéristiques et leur niveau de développement, allant

des cités intelligentes aux zones aux conditions de vie précaires. Une gestion irrationnelle des ressources telles que les fonds, les terres, l'eau et l'énergie, combinée aux effets démographiques, économiques et technologiques, malheureusement engendre des villes imprévisibles.

Pour une gestion efficace des villes, une planification continue est cruciale, nécessitant des ressources humaines et matérielles adéquates.

Ainsi, les intervenants tels que les urbanistes, les décideurs, les politiciens, les économistes, les parties prenantes et les autorités urbaines collaborent pour améliorer l'état actuel de la ville et le préserver autant que possible en termes d'environnement et de ressources naturelles.

Les urbanistes font face à de multiples défis liés à la croissance urbaine et à l'utilisation du territoire [13].

- Les plans urbains, basés sur les opinions des acteurs impliqués, deviennent les critères de choix pour les décideurs.

Ce processus itératif vise à obtenir un consensus parmi les parties prenantes. Les phénomènes urbains étant dynamiques et complexes, générant une grande quantité d'informations, la prise de décision implique de jongler avec de multiples objectifs contradictoires. Ainsi, pour renforcer une zone urbaine en fonction de ses besoins, la planification urbaine consiste à diagnostiquer les caractéristiques de la région et à établir des priorités pour chaque projet contribuant au développement de son infrastructure.

- Dans le domaine de l'urbanisme, la prise de décision revêt une importance cruciale, influant sur l'ensemble du système urbain. C'est pourquoi de nombreux systèmes dotés de technologies et d'outils opérationnels efficaces semblent soutenir ce processus décisionnel. En conséquence, les urbanistes et les professionnels devraient exploiter ces systèmes avancés pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées, tout en minimisant les risques [14].

1.3.5 Reconstruction urbaine

La construction urbaine est un levier essentiel pour améliorer la formation des villes, et le processus de planification et d'organisation en est un élément central.

Ce processus est basé sur des prévisions et des estimations démographiques, car il est associé à la croissance démographique et aux besoins croissants de la population.

De même, il prend en compte les aspects économiques, en particulier l'emploi, l'expansion géographique de la ville et les schémas d'utilisation des sols. Conceptuellement, la reconstruction urbaine comprend tous les processus visant à organiser la population et les activités au niveau régional, y compris les infrastructures, les équipements et les moyens de communication.

Il s'agit donc d'une série d'activités administratives menées par les pouvoirs publics, impliquant l'aménagement du territoire et la mobilisation de diverses parties prenantes, telles que les institutions, les groupes locaux et les acteurs administratifs.

La loi 90-29 du 01 décembre 1990 sur l'aménagement urbain fait référence à la fois à l'aménagement et à la reconstruction dans son premier article, définissant ainsi les règles générales d'organisation et de planification de la zone pour la reconstruction, la formation et la transformation des bâtiments.

Cela s'inscrit dans la gestion économique du territoire, en tenant compte des interactions entre habitat, agriculture et industrie, tout en préservant les milieux naturels, les paysages et le patrimoine culturel, conformément aux principes et objectifs de la Politique Nationale d'Urbanisme[15].

1.3.6 Mesures de planification

- Planification de la circulation afin de faciliter les déplacements dans la ville et de réduire le temps nécessaire aux personnes pour se rendre sur leur lieu de travail ou passer leur temps libre.
- La planification de la communication, qui comprend la construction de rues, de routes et d'autres moyens de transport.
- Services de planification cela comprend la création de nouvelles écoles, la distribution de services récréatifs, de parcs publics et d'hôpitaux.
- Les projets de logement visant principalement à reloger, les habitants des régions sous-développées dans de nouveaux logements avec l'intention d'élever leur niveau de vie.

1.4 Planification de projets urbains

La planification urbaine implique l'organisation séquentielle d'actions pour atteindre des objectifs définis [12].

Elle varie selon les caractéristiques et le développement des villes, influencée par la gestion des ressources et les défis démographiques, économiques et technologiques.

Les urbanistes et les décideurs coopèrent pour améliorer les villes en préservant l'environnement et les ressources naturelles, malgré les défis [14, 13].

L'utilisation de systèmes technologiques avancés soutient ce processus décisionnel crucial pour le développement urbain.

En conséquence, les urbanistes et les professionnels devraient exploiter ces systèmes avancés pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées, tout en minimisant les risques.

1.5 La planification urbaine en Algérie

La planification spatiale en Algérie s'exerce à différentes échelles [16]:

- **Territoire national** : appelée aménagement du territoire.
- **Région, massif, bande littorale** : correspond à la planification régionale.
- **Quartier, ville, agglomération** : concerne l'urbanisme.
- **Îlot ou petit groupe de bâtiments et leur environnement** : désignée composition urbaine (urban design).
- **Bâtiment lui-même** : relève de l'architecture.

La politique de la planification en Algérie repose sur deux niveaux d'intervention, similaires à ceux de la France [17].

- **Premier niveau d'intervention (Aménagement du territoire):** Ce niveau est illustré par des instruments essentiels à l'échelle nationale :
 - **Schéma National d'Aménagement du Territoire (SNAT)** : définit les grandes orientations en matière d'occupation de l'espace national.
 - **Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT)** : couvre plusieurs wilayas, une wilaya ou une partie de wilaya, et établit des prescriptions d'occupation de l'espace.
 - **Plan d'Aménagement de Wilaya (PAW)**.
- **Deuxième niveau d'intervention (Aménagement et urbanisme):** Ce niveau est traduit par les instruments d'urbanisme suivants :
 - **Plans d'Urbanisme Directeur (PUD)**.
 - **Plans d'Urbanisme Provisoire (PUP)**.
 - **Plans Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU)**.
 - **Plans d'Occupation des Sols (POS)** : à l'échelle de la commune, des groupements de communes, ou de l'agglomération, y compris certaines parties spécifiques.

Ces instruments définissent les orientations générales d'organisation et d'occupation de l'espace.

- **Échelle de la parcelle** À une échelle plus petite, celle de la parcelle, des actes autorisent la réalisation physique proprement dite. Parmi ces actes figurent :
 - **Certificat d'urbanisme.**
 - **Permis de construire.**
 - **Permis de lotir.**
 - **Permis de démolir.**
 - **Certificat de conformité.**

En plus de ces instruments, des études techniques sont réalisées, incluant les études de sols, d'architecture, et de contrôle technique de la construction. Ministère de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville

1.5.1 Définition du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U)

Il s'agit d'un outil de planification et de gestion urbaine qui segmente le territoire d'une commune ou d'un groupement de communes en différentes zones : secteurs urbanisés, secteurs à urbaniser, secteurs d'urbanisation future et secteurs non urbanisables, voir figure 1.2 [18].

- **Objectifs:**

- Détermine l'affectation générale des sols.
- Définit l'expansion urbaine, l'emplacement des services et activités, ainsi que la nature et l'implantation des grands équipements et infrastructures.
- Identifie les zones d'intervention sur les tissus urbains existants et les zones à protéger (sites historiques, forêts, terres agricoles, littoral).

- **Contenu de (P.D.A.U):**

- Un rapport d'orientation.
- Un règlement.
- Les documents graphiques.

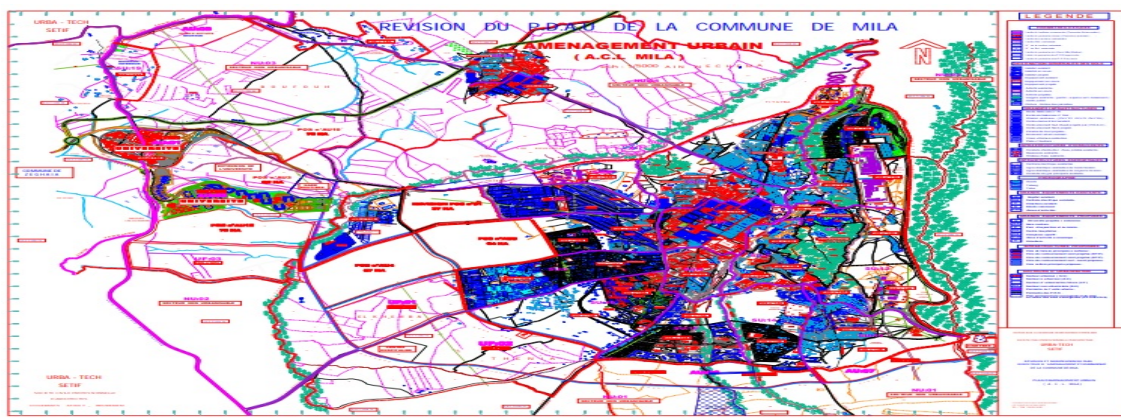


Figure 1.2: (P.D.A.U) la commune de Mila .
Source :[19]

1.5.2 Définition du plan d'occupation des sols (P.O.S)

Plan d'Occupation des Sols, est un outil détaillant et mettant en œuvre les directives générales contenues dans la législation sur l'urbanisme et l'aménagement.

Il précise en détail les droits d'utilisation des terres et établit les exigences minimales pour le développement et la reconstruction, voir figure1.3 [18].



Figure 1.3: POS de la commune de Mila
source :[19].

- **Objectifs:** Il précise :
 - La configuration urbaine et les droits de construction et d'utilisation des sols.
 - La nature et l'envergure des constructions.
 - Les directives concernant l'apparence extérieure des bâtiments.
 - Les espaces publics, les équipements d'intérêt général, les routes et les infrastructures.
 - Les restrictions et servitudes.
 - Les zones, sites et monuments historiques à préserver.
 - Les terres agricoles à préserver [18].
- **Contenu de P.O.S :** Le plan d'occupation des sols (P.O.S) se compose d'un règlement et de documents graphiques.

Le règlement comprend une note explicative et des prescriptions réglementaires.

1.5.3 Mise en œuvre des (P.D.A.U) et (P.O.S)

Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) et le Plan d'Occupation des Sols (POS) sont des instruments essentiels que chaque commune doit mettre en œuvre sous la responsabilité des présidents d'Assemblée Populaire Communale (P/APC).

Leur mise en place nécessite des moyens adéquats, mais se heurte à des contraintes foncières et juridiques.

L'absence de textes régissant le transfert des terrains agricoles et l'absence de cadastre général compliquent les procédures juridiques, rendant la gestion des titres de propriété délicate.

Les projets de PDAU et de POS doivent être adoptés par les APC, soumis à une enquête publique, puis approuvés définitivement pour acquérir une valeur réglementaire.

Ces plans s'intègrent dans un système hiérarchisé d'aménagement du territoire, le POS devant respecter un PDAU approuvé.

Le PDAU aide les autorités locales à optimiser les ressources, résoudre les problèmes existants et définir une politique urbaine et foncière.

La concertation autour des projets est cruciale pour la mise en œuvre de cette politique.

La collectivité locale doit définir sa politique urbaine et foncière avant ou pendant l'élaboration du PDAU. Les concertations autour des projets sont des outils essentiels pour mettre en œuvre cette politique [20].

1.5.4 Les niveaux de planification en Algérie

En Algérie, la planification territoriale est structurée en trois niveaux spatiaux distincts, voir la figure 1.4.

Le premier niveau, la planification nationale, est représenté par le Schéma National d'Aménagement du territoire (SNAT).

Ce niveau est responsable de l'élaboration du Plan National de Développement Urbain, englobant l'ensemble du pays.

Il s'agit d'une planification prospective à long terme, définissant la vision future du développement et les politiques publiques correspondantes.

Le deuxième niveau est la planification régionale (SRAT), qui se concentre sur des zones géographiques plus restreintes que le niveau national.

Ce niveau transforme les politiques générales en plans stratégiques spécifiques à chaque région, avec pour objectif de mettre en œuvre les directives nationales de manière optimale.

Cela inclut l'exploitation efficace des ressources territoriales, l'identification des tendances de croissance urbaine, et la détermination des emplacements optimaux pour les projets.

Le troisième niveau, la planification locale (PAW) , concerne les unités urbaines de plus petite taille, telles que les villages et les villes.

Ce niveau de planification est caractérisé par un haut degré de détail en matière d'aménagement du territoire.

Il inclut la répartition des utilisations du sol, les exigences de construction, l'efficacité des services éducatifs, sanitaires et sociaux, ainsi que la planification des routes locales.

De plus, il prend en compte les besoins en infrastructures, y compris l'eau, les égouts, le gaz, l'électricité et le téléphone [21].



Figure 1.4: Les niveaux de planification en Algérie .
Source: [21] .

1.5.5 Les domaines de l'urbanisme en Algérie

Nous les énumérons comme suit :

- **La Population:**

Les discussions entre urbanistes ont souligné l'importance de la rénovation et de l'aménagement du territoire, en insistant sur la nécessité d'une analyse démographique approfondie pour une planification urbaine efficace. Cette

analyse doit inclure les aspects sociaux, économiques, culturels, ainsi que les données démographiques telles que les migrations, les naissances et les décès.

- **Planification des marchés et des services:**

La planification adéquate des marchés et des services est essentielle pour la stabilité sociale et la qualité de vie urbaine. Elle nécessite des infrastructures adaptées, des équipements communautaires, et une gestion efficace pour éviter la congestion et répondre aux besoins diversifiés des habitants.

- **Planification des transports:**

La croissance urbaine moderne dépend étroitement de l'efficacité des transports, notamment des chemins de fer, qui structurent l'écologie urbaine en facilitant l'expansion des grandes villes le long de leurs lignes et aux points de rencontre. Les transports soutiennent le commerce, le développement des marchés mondiaux et l'approvisionnement en surplus agricoles et matières premières des zones environnantes [22] .

1.6 Équipements publics

1.6.0.1 Définition:

Un équipement est un service, marchand ou non, accessible à la population.

Il peut s'agir d'un aménagement (comme une zone de baignade aménagée, un espace remarquable, ou un patrimoine), d'une infrastructure (telle qu'un gymnase, une piscine, ou une gare), ou d'un service (comme un commerce, une banque, ou un tribunal). Ces équipements sont répertoriés dans la Base permanente des équipements.

Souvent, c'est l'établissement lui-même qui est identifié, mais le terme "équipement" peut également désigner le service rendu au sein de cet établissement (par exemple, un service de maternité peut être fourni dans un établissement autonome ou un établissement pluridisciplinaire). Les équipements sont regroupés en catégories appelées types d'équipement, qui à leur tour sont classés en 7 domaines :

- Les services aux particuliers.
- Les commerces.
- L'enseignement.
- La santé et le social.
- Les transports et déplacements.
- Les sports, loisirs et culture.
- Le tourisme [23].

1.6.1 Étapes de réalisation de l'équipement

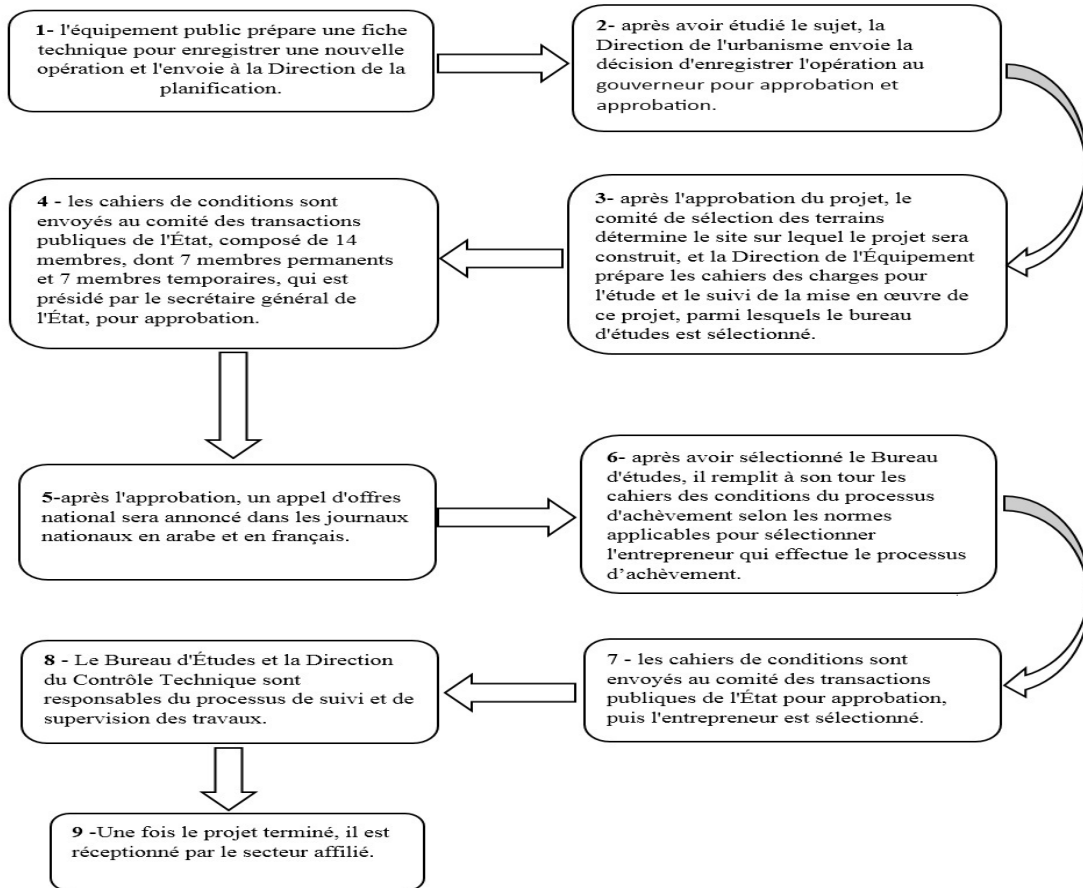


Figure 1.5: Étapes de réalisation de l'équipement

1.7 Concrétiser des projets d'équipements publics

1.7.1 Étapes de mise en œuvre

- Élaboration d'un programme technique détaillé, intégrant des données quantitatives et qualitatives pour les futurs équipements, essentiel à la réussite de chaque processus.
- Chaque processus nécessite une analyse minutieuse, impliquant la conception de services nouveaux et efficaces.
- Les données quantitatives doivent être traduites en schémas conceptuels pour l'organisation et les fonctions.
- Connaissance des différentes parties et entités impliquées dans le projet de construction.
- Bonne compréhension des schémas architecturaux.
- Suivi du développement et de l'avancement de la construction dans ses dernières étapes.

1.7.2 Acteurs et acteurs de la réalisation des équipements publics

1.7.2.1 Direction de l'équipement public

La Direction des Équipements Publics a été créée à partir de la division de la Direction du Logement et des Équipements Publics.

Fin 2013, cette entité a été scindée en deux directions distinctes : la Direction de l'Équipement Public et la Direction du Logement. Cette réorganisation a été effectuée conformément au Décret exécutif n° 13/13 du 15 janvier 2013, qui précise les règles d'organisation et de gestion des intérêts du Ministère du Logement, du Développement Urbain et de la Ville.

- **Ses tâches :** La Direction de l'Équipement Public crée tous les équipements publics au niveau de l'État à la demande de divers organes étatiques.

Elle surveille la réalisation de ces équipements en respectant les délais stipulés dans le cahier des charges et sélectionne les bureaux d'études ainsi que les entreprises de passation des marchés par appels d'offres nationaux et internationaux.

Cette direction est responsable de toutes les initiatives d'utilité publique, quelle que soit leur nature.

La Direction de l'Équipement Public assure la mise en œuvre de la politique de l'État au niveau local dans les dispositions générales et est chargée des missions suivantes :

- Assurer le contrôle des travaux en tant qu'entrepreneur agréé pour les programmes de marchés publics.
 - Participer à l'identification des besoins en installations publiques conformément aux programmes de logement.
 - Assurer le suivi et l'évaluation des réalisations des programmes d'équipements publics.
 - Contribuer à la définition des procédures de protection de la charpente bâtie.
 - Participer à la préparation des dossiers réglementaires liés aux transactions et études de travaux.
 - Assurer la collecte et l'exploitation de données approfondies à travers des études et des réalisations dans le domaine des marchés publics.
 - Veiller à la livraison des projets terminés aux entrepreneurs.
 - Identifier le tissu urbain existant et proposer des processus pour l'adapter en collaboration avec les structures concernées.
- **Sa structure:** La Direction de l'équipement public comprend de trois à quatre intérêts:
 - Le Département des études et de l'évaluation.
 - Le Département de la gestion et du suivi des opérations terminées.
 - L'intérêt des transactions publiques.
 - L'intérêt de la gestion et des moyens.

1.7.2.2 Direction de la reconstruction, de l'architecture et de la construction

D'un point de vue administratif, la Direction de la Reconstruction, de l'Architecture et de la Construction suit et surveille tous les processus de reconstruction conformément aux principaux plans de reconstruction (PDAU et POS).

Elle assure les missions suivantes :

- Accorder toutes les licences et certificats de reconstruction.
- Surveiller les opérations de construction en fonction de leur conformité au droit de la construction et les spécifier dans le cahier des charges.
- Mettre en œuvre la politique relative à la reconstruction, à l'architecture et à la construction au niveau local.

La Direction est spécifiquement chargée des missions suivantes :

- **Dans le domaine de la reconstruction** La Direction de la Reconstruction, de l'Architecture et de la Construction assure les missions suivantes :
 - Mettre en œuvre, suivre et superviser les outils de développement et de reconstruction en coordination avec les instances concernées.
 - Préserver les sites et les zones de caractère spécial.
 - Veiller au respect des règles dans le domaine de la reconstruction.
 - Organiser des interventions pour la revitalisation des tissus urbains existants.
 - Programmer et assurer la disponibilité de biens immobiliers pour la reconstruction à court, moyen et long terme.
 - Étudier les demandes de contrats de reconstruction et fournir les avis techniques nécessaires à la préparation des différents documents y afférents.
- **Dans le domaine de l'architecture:** La Direction de la Reconstruction et de la Construction veille à ce que les documents techniques et réglementaires applicables ainsi que les normes de construction soient respectés. Ses missions incluent également :
 - Collecter et analyser les statistiques des capacités de production des carrières et déterminer les emplacements des matériaux naturels utilisés dans la construction.
 - Initier des recherches approfondies pour moderniser et développer les systèmes et matériaux de construction.
 - Effectuer un contrôle réglementaire dans le domaine de la construction.

La Direction de la Reconstruction et de la Construction se compose de quatre départements principaux :

- Département de la Reconstruction et du Développement Urbain
- Département d'Architecture et de Construction
- Département du Suivi des Transactions Publiques
- Département de la Gestion et des Moyens

1.7.2.3 Elwalli

Il est le premier responsable de la prise de décision dans le processus d'achèvement, représentant tous les ministères et l'État. Il a le droit de contrôler et de superviser le bon fonctionnement des équipements publics soumis à son autorité, et dispose de tous les pouvoirs légaux nécessaires pour les surveiller.

1.7.2.4 Les différentes directions

Les directions générales jouent un rôle crucial dans la sélection des équipements et leur distribution sur le terrain. Elles sont composées de différentes directions dirigées par le Directeur de la Reconstruction et de la Construction. Des sessions se tiennent presque tous les mois pour discuter des applications, et ces réunions se composent de 15 secteurs, à savoir :

- Directeur de la Construction et de la Reconstruction - Président.
- Directeur des Biens de l'État ou son représentant.
- Gérant des Intérêts Agricoles ou son représentant.
- Directeur de l'Organisation et des Affaires Publiques ou son représentant.
- Directeur de l'Urbanisme et de l'Autorité Urbaine ou son représentant.
- Directeur de l'Industrie et des Mines ou son représentant.
- Directeur de la Culture ou son représentant.
- Gestionnaire du Logement et des Équipements Publics ou son représentant.
- Directeur des Antiquités ou son représentant.
- Gestionnaire de Transport ou son représentant.
- Directeur de l'Agence Locale d'Arpentage ou son représentant.
- Directeur des Travaux Publics ou son représentant.
- Directeur du Tourisme et des Industries Traditionnelles ou son représentant.
- Chefs de Départements.
- Chefs des conseils populaires [24].

1.7.3 Sélection des terrains et répartition des équipements

La sélection des terrains nécessaires à la construction de tout projet est d'une importance capitale.

Considérée comme la phase initiale, elle vise à mettre en lumière les caractéristiques du projet et sa conception.

La sélection des terrains constitue le point de départ de tout projet.

Ce processus est géré par le Comité de Développement et de Reconstruction, présent au niveau de chaque département.

Avec la publication de la décision N° 05/242 du 27 février 2005, créant le Comité de Sélection des Terrains, cette responsabilité incombe principalement à la Direction de la Construction, en lien avec tous les domaines relatifs à l'urbanisation [25] .

1.7.3.1 Tâches du comité de sélection des terrains

Le comité a plusieurs tâches, à savoir :

- **Déterminer la pertinence du projet** : Le comité évalue si le projet contribue à promouvoir l'urbanisation dans la région et examine son impact, qu'il soit positif ou négatif. Par exemple, la création d'une zone industrielle en centre-ville pourrait être plus nuisible qu'utile, donc le comité veille à choisir un projet approprié.
- **Vérifier la conformité** : Le comité s'assure que la sélection du terrain respecte les règles générales de préparation et de reconstruction, ainsi que les outils de reconstruction PDAU et POS. Le travail du comité se concentre sur le choix du terrain approprié pour le projet, en mettant toujours en avant l'intérêt du citoyen.

Le comité évalue si le projet sert les habitants de la zone et contribue au développement de la région.

Un bon emplacement doit remplir les conditions suivantes :

- **Raccordement au réseau** : Voirie, assainissement, adduction d'eau potable, etc.
- **Coûts fonciers raisonnables** : Les coûts doivent être abordables pour la réalisation du projet.
- **Conformité aux conditions de reconstruction** : Le projet doit respecter toutes les conditions de reconstruction.

Lors des réunions du comité, diverses directions soulèvent des questions et répondent scientifiquement. Les aspects suivants sont examinés :

- **Propriété du terrain** : Le terrain est-il public ou privé ?
- **Usage du terrain** : Est-il agricole, vacant ou utilisé pour autre chose ?
- **Servitudes et risques naturels** : Le terrain est-il soumis à des servitudes ou exposé à des aléas naturels ?

Après avoir considéré ces aspects et effectué une concertation sur le terrain, le comité approuve ou rejette la sélection des terrains alloués au projet.

1.7.3.2 Étapes des travaux du comité de choix des terrains

Le travail de la commission se déroule en plusieurs étapes :

- **Réception des demandes de projet** : Les demandes de projet sont reçues, accompagnées d'un dossier dans lequel le porteur de projet explique le type de projet et son identité.

- **Étude préliminaire** : Le bureau examine les demandes et effectue une étude préliminaire pour évaluer leur conformité avec les règles de reconstruction définies par les PDAU et POS.
- **Invitation à une réunion** : Le bureau de promotion immobilière envoie des courriers aux personnes concernées, les invitant à participer à une réunion pour discuter et sélectionner le terrain approprié pour le projet
- **Visite sur le terrain** : Après la réunion, la commission effectue une visite sur le terrain pour évaluer sa pertinence. Une fois l'approbation initiale obtenue lors de la réunion et après l'inspection sur le terrain, la décision finale d'approbation ou de rejet est prise.

1.8 Les processus de construction dans la législation algérienne

Le développement des pays est étroitement lié à leur capacité à contrôler la répartition des terres et l'immobilier. Cette maîtrise est cruciale pour réaliser le développement socio-économique souhaité, car la terre est considérée comme la source la plus importante de richesse. Le développement des pays se reflète ainsi dans le degré de contrôle exercé par les autorités sur la gestion de la propriété immobilière privée. Dans ce chapitre intitulé "Le processus de construction dans la législation algérienne", nous aborderons :

- La définition de la notion de processus de construction en Algérie.
- Les dispositions relatives aux conditions générales de construction.
- Les procédures du processus de construction [26].

1.8.1 La notion de processus de construction dans la législation algérienne

De ce qui précède, il est clair que la construction découle du droit de propriété foncière, conférant au propriétaire tous les éléments de ce droit.

Cependant, dans les lois modernes, ce droit est restreint en fonction de la nature et de la fonction du terrain. L'utilisation du droit de propriété pour la construction n'est donc pas absolue, étant régie par diverses procédures et réglementations.

Approuvées par le législateur algérien, visent à contrôler les organismes de reconstruction, en particulier tout le processus de construction de la propriété foncière, à respecter les règles d'utilisation et à imposer un permis de construire avant toute construction. Par conséquent, notre étude portera sur le concept du processus de construction dans la législation algérienne.

Dans un premier temps, nous définirons la notion de construction dans cette législation, puis nous aborderons les différentes formes de construction en tant que deuxième volet de cette étude.

1.8.2 Définition de la construction dans la législation algérienne

La construction fait référence à tout bâtiment ou installation destiné à l'habitation, à la transformation, aux activités commerciales, à la production industrielle et artisanale, à la production agricole ou aux services [27] .

1.8.3 Contrôles du processus de construction

Les "conditions de construction" désignent un ensemble de critères à respecter concernant la construction elle-même et ses dimensions, ainsi que des restrictions spécifiques et d'autres conventions empêchant la construction pour des raisons juridiques.

Ces articles stipulent que le propriétaire doit exercer ses droits en conformité avec la législation relative à l'intérêt public et privé.

En particulier, le propriétaire doit respecter les règles concernant le droit de passage, le droit de vue et les droits de voisinage.

Ces droits influencent le choix de l'étage de construction, le type et la taille de la construction, ainsi que la forme du bâtiment à réaliser [28] .

1.8.4 Servitudes limitations de construction

Il existe de nombreux outils pour la reconstruction, notamment en ce qui concerne les accords définissant la propriété et le "droit de servitude".

Le droit de servitude est un droit établi par la loi permettant à un bien de bénéficier des avantages d'un autre bien qui supporte cette charge ou servitude.

Ce droit immobilier est intrinsèquement lié à un bien en raison de sa nature.

La notion de servitude dans le droit privé diffère de celle dans le droit de la reconstruction, qui concerne les limitations des droits de construction, de développement ou d'exploitation des biens immobiliers dans le but de servir certains objectifs tels que la protection, la sécurité des résidents, les exigences de confort et de propreté, etc... [29].

Par exemple, selon l'article 10 du décret 175.91, le constructeur ne peut ériger de bâtiment ou de clôture dans les parties durables de la commune qu'à une distance minimale de quatre mètres de l'axe de la voie publique.

Cette distance est augmentée à cinquante mètres de chaque côté des autoroutes et à trente mètres de chaque côté des routes nationales. Ces mesures visent à garantir la santé et la sécurité publiques et à rassurer la population.

La loi d'aménagement et de reconstruction, approuvée par l'article 06 de la loi n° 29-90, limite la hauteur des bâtiments dans les parties bâties de la commune à la hauteur moyenne des bâtiments voisins.

De plus, si des bâtiments sont situés en bordure de la voie publique, leur hauteur ne peut dépasser la distance horizontale calculée entre chaque point afin de garantir les conditions de base liées à l'éclairage des logements.

Ces conditions exigent qu'au moins la moitié des pièces bénéficient d'une vue sur la façade, et que les ouvertures éclairant les pièces résidentielles ne soient pas obstruées par une partie de l'architecture visible depuis ces ouvertures à un angle supérieur à 60 degrés par rapport à un niveau horizontal.

En plus de ces restrictions, il existe d'autres accords, appelés accords de non-construction, qui interdisent définitivement la construction à proximité en fonction de leur gravité.

1.8.5 Servitudes de non-construction

Selon l'article 164 de la loi n° 01/02 du 5 février 2002 sur la distribution d'électricité et de gaz, aucun permis de construire n'est accordé dans les zones de passage des conduites à haute pression, quelle que soit la nature de la construction envisagée.

Cela inclut les centres scolaires, les installations sportives, les bâtiments résidentiels, les sites culturels et les cimetières [30] .

Parmi les servitudes les plus importantes, on peut citer :

- Les servitudes militaires : Elles englobent les casernes et visent à protéger les biens et les personnes aux alentours de ces installations.
- Les servitudes liées au transport de l'énergie : Elles revêtent également une grande importance en termes de sécurité publique et concernent les pipelines de transport de gaz et de pétrole, ainsi que les conduites à haute et moyenne pression.
- Les servitudes liées à l'exploitation privée : Elles concernent des activités telles que l'exploitation minière, la gestion des déchets et certaines industries lourdes.
- Les servitudes pour la protection des sites archéologiques et naturels.
- Les accords relatifs à la protection du littoral.
- Les accords relatifs aux ressources dans le but d'assurer la sécurité sanitaire et hygiénique, notamment la protection des sources d'eau potable, la préservation des espaces verts, les excavations dirigées pour la consommation et la protection des zones aquatiques.

Voici les distances de sécurité pour les principaux accords liés à la construction :

- Pour les servitudes concernant les lignes de transport de gaz naturel : 150 mètres.
- Pour les servitudes par rapport à la côte ou au bord de la mer : 100 mètres.
- Pour les servitudes concernant les lignes de chemin de fer : 80 mètres.
- Pour les servitudes concernant les routes nationales : 50 mètres.
- Pour les servitudes concernant les routes nationales : 30 mètres.
- Pour les servitudes concernant les conduites à haute et moyenne pression : 30 mètres.
- Pour les servitudes concernant les réseaux de drainage d'eau potable : 30 mètres.
- Pour les servitudes concernant les cimetières : 35 mètres.

- Pour les servitudes concernant les sources d'eau : jusqu'à 50 mètres

En ce qui concerne les conventions de construction qui proscrivent la construction à certains endroits, des distances spécifiques doivent être observées.

Ces conventions incluent les accords de non-construction définis par des lois spécifiques, visant à restreindre l'octroi de permis de construire sauf si les distances de servitude sont respectées.

Ces distances dépendent de l'importance de la servitude en question ou du danger qu'elle représente, le tout dans le but de préserver la santé et la sécurité publiques afin de promouvoir l'intérêt général

1.8.6 Étapes juridiques du processus de construction

La civilisation urbaine évolue avec les idées et les besoins de l'époque, intégrant science, art et éthique dans l'urbanisme. La qualité, le design harmonieux des constructions, et la préservation du patrimoine culturel sont essentiels pour la société et l'État .

L'objectif est d'atteindre un équilibre entre les différentes activités sociales telles que l'agriculture, l'industrie et le logement, tout en préservant l'environnement et le paysage urbain [28] .

Pour prévenir les risques naturels et technologiques, la loi modifiée et complétée n° 29/90 se distingue par l'élaboration de deux types de plans :

- le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (PDAU).
- le Plan d'Occupation des Sols (POS).

Ces plans sont considérés comme des outils juridiques essentiels pour la gestion des zones urbaines.

Le (PDAU) clarifie les grandes orientations de développement, tandis que le POS fournit des détails architecturaux et urbanistiques précis pour chaque partie du terrain.

Une fois approuvés, ces deux plans constituent une référence juridique contraignante pour les tiers [28].

Sur cette base, il est nécessaire d'organiser le processus de construction en conciliant le droit de construire, en tant que droit garanti, avec l'ordre public urbain.

Cela exige de préserver la santé publique, la tranquillité publique et la sécurité publique, tout en assurant la coordination globale des constructions et en prenant en compte l'aspect esthétique de la ville .

1.9 Définition d'un permis de construire

Il est défini comme une décision administrative émise par une autorité compétente pour réglementer les bâtiments, autorisant une certaine action liée à l'immeuble pour lequel elle est délivrée [31].

1.9.1 L'importance d'un permis de construire

- **l'importance du permis de construire avant la fin des travaux de construction:**

Un permis de construire est un outil essentiel pour s'assurer du respect des règles et des principes généraux de construction, y compris Le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme (P.D.A.U) ainsi que le Plan d'Occupation des Sols (P.O.S) [15].

- **l'importance du permis de construire après l'achèvement des travaux de construction :**

Le permis de construire permet de surveiller et de suivre les différentes étapes de la construction dès le début, afin d'éviter toute déviation par rapport au plan initial. Cela permet de prévenir les violations des règles du permis de construire, de maintenir la régularité de la construction et d'éviter le passage à une construction désordonnée et chaotique [15].

1.9.2 Demande de permis de construire

Pour obtenir un permis de construire, il est nécessaire de fournir plusieurs dossiers administratifs, architecturaux et techniques. Voici un résumé des éléments requis pour chaque type de dossier [32]:

- **Dossier administratif:**
 - **Références du permis de lotir :** Nécessaire pour les constructions sur un terrain faisant partie d'un lotissement.
 - **Arrêté d'autorisation :** Pour la création ou l'extension d'établissements industriels et commerciaux classés.
 - **Certificat de viabilité :** Délivré pour les constructions situées dans un lotissement autorisé.
- **Dossier architectural:**
 - **Plan de situation :** Localisation du projet à une échelle appropriée.
 - **Plan de masse :** Différentes échelles selon la superficie du terrain :
 - * 1/200^{ème} pour parcelles $\leq 500 \text{ m}^2$.
 - * 1/500^{ème} pour parcelles entre 500 m^2 et 5000 m^2 .
 - * 1/1000^{ème} pour parcelles $> 5000 \text{ m}^2$.

Indications requises sur le plan de masse :

- * Limites du terrain, superficie, orientation, et clôtures.
- * Courbes de niveau ou surface de nivellement, coupes schématiques du terrain.
- * Hauteur et nombre d'étages des constructions voisines et projetées.
- * Destination des espaces construits et non construits.
- * Surface totale de planchers et surface construite au sol.

- * Réseaux de viabilité desservant le terrain, points de raccordement, et tracé des voiries.

– **Plans divers** : À différentes échelles selon l'emprise au sol :

- * 1/50^{ème} pour $\leq 300 \text{ m}^2$.
- * 1/100^{ème} pour entre 300 m^2 et 600 m^2 .
- * 1/200^{ème} pour $> 600 \text{ m}^2$.

Doivent inclure :

- * Distribution intérieure des niveaux de construction.
 - * Locaux techniques, façades, clôtures, coupes utiles, images 3D.
 - * Parties anciennes conservées ou démolies (si transformation de façades ou gros œuvres).
- Notice descriptive: Devis estimatif des travaux et délais de réalisation.
- Pièces graphiques et écrites : Indication de construction par tranche si applicable.

• **Dossier technique** :

– **Notice technique** : : Non requise pour les habitations individuelles, mais nécessaire pour autres projets :

- * Effectifs et capacité d'accueil de chaque local.
- * Mode de construction des toitures, matériaux utilisés.
- * Dispositifs d'alimentation en électricité, gaz, chauffage, eau potable, assainissement, aération.
- * Plans des réseaux d'évacuation des eaux usées.
- * Description des dispositifs industriels (production, transformation, stockage).
- * Moyens de défense et secours contre l'incendie.
- * Substances nuisibles contenues dans les eaux usées et émissions gazeuses, dispositifs de traitement.
- * Niveau de bruit pour constructions industrielles et commerciales.

– **Étude de génie civil** :

- * Rapport signé par un ingénieur agréé : Description de la structure porteuse, et Dimensionnement des ouvrages.
- Plans des structures aux mêmes échelles que ceux du dossier architectural.

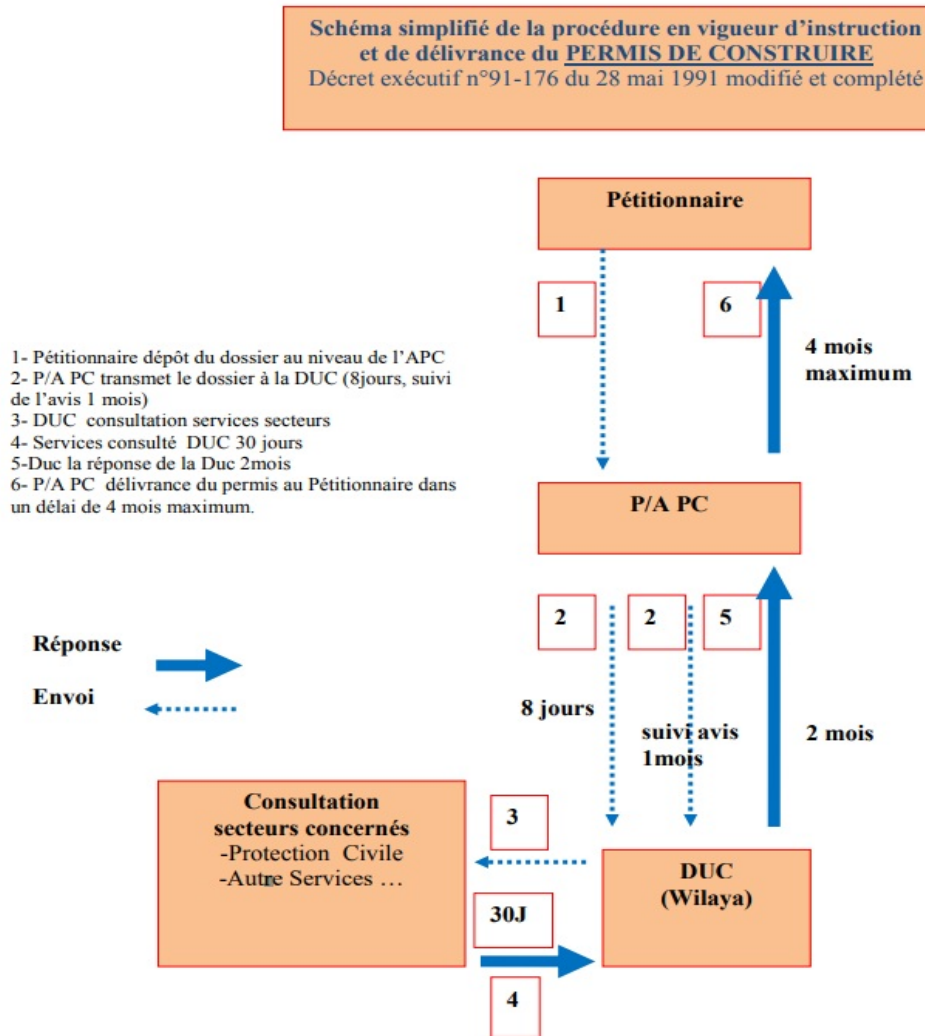


Figure 1.6: Schéma de la procédure de délivrance d'un permis de construire .
Source : [33]

1.10 Conclusion

La complexité urbaine nécessite l'adoption de nouvelles méthodes de planification et d'aide à la décision.

Le projet urbain, impliquant tous les acteurs concernés, permet une vision globale et intégrée du développement territorial.

Cette approche, basée sur l'analyse du territoire et la compréhension des dynamiques communautaires, vise à valoriser l'histoire et le patrimoine tout en assurant une répartition optimale des composantes urbaines.

Chapitre 2

Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens

2.1 Introduction

Le système global multi-agents représente une approche innovante et efficace de la création de systèmes d'aide à la décision, en particulier dans le domaine de l'urbanisme. Inspiré par les structures biologiques et sociales, le SMAH intègre des agents indépendants, appelés holons, qui coopèrent et communiquent pour atteindre des objectifs communs.

Cette méthodologie permet de gérer la complexité et la diversité des tâches administratives en apportant plus de flexibilité et d'adaptabilité.

Dans ce chapitre, nous explorerons les principes de base des plus importants, leurs avantages et leur application dans l'amélioration des processus décisionnels. Nous aborderons également des techniques spécifiques telles que les arbres de décision et les réseaux bayésiens, qui jouent un rôle crucial dans l'optimisation et la précision des décisions prises au sein de ce cadre multi-agents.

2.1.1 Les Arbres de Décision

L'analyse par arbre de décision est une approche de classification basée sur la méthode du diviser pour régner. Les arbres de décision permettent de découvrir des caractéristiques et d'extraire des motifs dans de grandes bases de données, essentiels pour la discrimination et la modélisation prédictive. Leur interprétation intuitive en fait un outil largement utilisé en analyse exploratoire des données et en modélisation prédictive depuis plus de deux décennies. Les arbres de décision ont une base solide dans la littérature sur l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle, et commencent à se faire une place dans les sciences chimiques et biochimiques [34].

2.1.1.1 Les Arbres de Decision Pour La Classification

Un arbre de décision classe simplement les données, ce qui permet de les stocker facilement et de les reclasser ultérieurement. Dans cet article, nous décrivons différents algorithmes de classification des données utilisant des arbres de décision.

L'exemple suivant illustre le fonctionnement d'un algorithme simple d'arbre de décision.

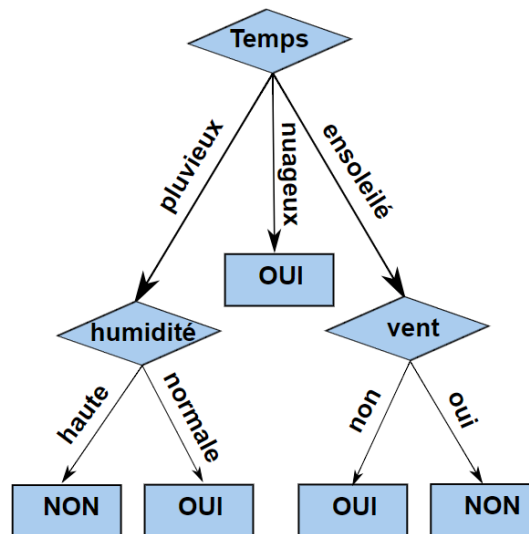


Figure 2.1: Exemples d'une arbre de décisions.
Source : [35].

2.1.1.2 Approches pour Les Arbres de Décision

Pour la génération des nœuds d'un arbre de décision, on utilise l'approche du gain d'information pour déterminer la propriété la plus appropriée. À partir du gain d'information le plus élevé, nous pouvons sélectionner l'attribut. Il existe différents algorithmes d'arbres de décision, parmi lesquels l'ID3 est utilisé pour générer l'arbre de décision. Proposé en 1986 par Quinlan, l'ID3 est un algorithme important pour les arbres de décision. Basé sur l'entropie de l'information, l'ID3 est un algorithme supervisé. L'ID3 a été développé à partir de plusieurs classes de jeux de données.

L'algorithme ID3 trouve l'attribut de la classe qui permet de classifier les autres classes.

2.1.1.3 Différents Algorithmes d'Arbre de Décision

- **C4.5** : est un algorithme d'arbre de décision utilisé pour classifier les données. C4.5 est la version améliorée de l'algorithme ID3. Il utilise le rapport de gain d'information comme critère de division[36].
- **CART** : L'acronyme CART signifie "Classification and Regression Trees" (arbres de classification et de régression) et a été développé par Breiman et al. CART fonctionne comme un arbre binaire où chaque nœud interne a exactement deux arêtes sortantes. Les divisions sont sélectionnées en utilisant la condition de remorquage et l'arbre généré est élagué par la méthode de coût-complexité. Une caractéristique importante de CART est sa capacité à obtenir des arbres de régression[36].
- **ID3** : ID3 signifie "Iterative Dichotomiser 3". Proposé en 1986 par Quinlan, c'est un algorithme d'arbre de décision très important et simple. Cet algorithme n'applique pas d'élagage. L'algorithme ID3 utilise le gain d'information

pour décider de l'attribut de division. Étant donné une collection de résultats possibles, l'entropie est utilisée pour mesurer l'incertitude[36].

2.1.1.4 Avantages des Arbres de Décision

Les arbres de décision sont une méthode populaire en apprentissage automatique et en analyse des données pour diverses raisons. Voici les principaux avantages :

- **Classification rapide** : Les arbres de décision sont capables de classer rapidement les enregistrements inconnus. Une fois l'arbre construit, la classification d'un nouvel échantillon consiste simplement à traverser l'arbre en suivant les décisions de chaque nœud jusqu'à une feuille terminale, ce qui est un processus très rapide[37].
- **Gestion des attributs redondants** : Les arbres de décision gèrent efficacement les attributs redondants. Lors de la construction de l'arbre, des critères tels que l'entropie ou le gain d'information sont utilisés pour sélectionner les attributs les plus pertinents à chaque niveau de division. Les attributs redondants sont souvent moins susceptibles d'être sélectionnés, ce qui réduit leur impact sur le modèle final[37].
- **Robustesse au bruit** : Les arbres de décision sont relativement robustes au bruit. Cette robustesse peut être encore améliorée en appliquant des méthodes de lutte contre le surapprentissage (overfitting), telles que la validation croisée, la taille (pruning) de l'arbre, ou l'utilisation d'ensembles de modèles (comme les forêts aléatoires ou le boosting). Ces techniques aident à créer des modèles plus généralisables qui ne se contentent pas de mémoriser les données d'entraînement mais capturent des motifs sous-jacents robustes même en présence de bruit[37].

2.1.1.5 Applications des Arbres de Décision

Les arbres de décision trouvent des applications dans divers domaines grâce à leur capacité à traiter efficacement les données complexes et à générer des résultats interprétables. Voici quelques exemples d'applications :

- **Médecine** : Les arbres de décision sont largement utilisés pour le diagnostic de diverses maladies. Par exemple, ils peuvent aider à diagnostiquer des conditions cardiaques en analysant des données cliniques telles que les antécédents médicaux, les résultats des tests et les symptômes des patients. De même, ils sont utilisés pour diagnostiquer des troubles auditifs en fonction des résultats des tests auditifs et d'autres informations pertinentes. La transparence des arbres de décision permet aux médecins de comprendre facilement les raisons derrière chaque diagnostic[37].
- **Détection d'intrusion** : Dans le domaine de la cybersécurité, les arbres de décision sont utilisés pour détecter les intrusions en générant des algorithmes génétiques. Ces algorithmes aident à créer automatiquement des règles pour les systèmes d'experts en détection d'intrusion. Cela permet d'identifier les comportements suspects ou les attaques potentielles en analysant les modèles dans les données de réseau[37].

- **Traitement d'image** : Les arbres de décision sont également utilisés dans le traitement d'image, notamment pour le regroupement des caractéristiques 3D dans les images aériennes. Par exemple, ils peuvent être utilisés pour segmenter et classer les différentes structures présentes dans les images capturées par des drones ou des satellites. Cela permet une analyse plus précise des paysages et des structures urbaines, facilitant des applications telles que la cartographie, l'urbanisme et la surveillance environnementale[37].

2.1.2 Les Réseaux Bayésiens

Un réseau bayésien (RB) est un modèle graphique probabiliste qui représente un ensemble de variables et leurs dépendances conditionnelles à l'aide d'un graphe orienté acyclique (DAG). Dans un RB, les nœuds représentent des variables aléatoires et les arcs orientés indiquent des dépendances probabilistes entre ces variables. Chaque nœud est associé à une distribution de probabilité conditionnelle qui quantifie l'effet des nœuds parents sur le nœud lui-même[rb]. ci-dessous vous pouvez voir un exemple de réseau bayésien avec la probabilité jointe.

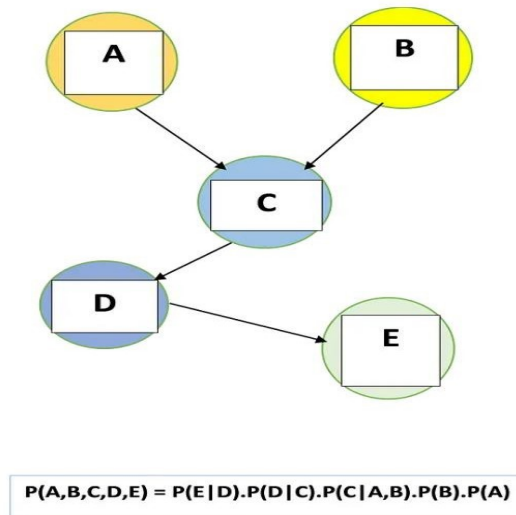


Figure 2.2: Exemple de réseau bayésien avec la probabilité jointe.

2.1.2.1 Avantages des Réseaux Bayésiens

- **Gestion de l'incertitude** : Les RB sont excellents pour gérer l'incertitude et les données incomplètes. Ils fournissent un moyen systématique de mettre à jour la probabilité d'une hypothèse à mesure que des preuves ou des informations supplémentaires deviennent disponibles [38].
- **Structure modulaire** : La nature graphique des RB permet l'ajout modulaire de nouvelles variables et dépendances sans nécessiter une refonte complète du modèle existant. Cela les rend adaptables et évolutifs [38].
- **Visualisation intuitive** : La structure du DAG des RB offre une représentation visuelle et intuitive des relations complexes entre les variables, ce qui aide à la compréhension et à la communication [38].

- **Inférence et prédiction** : Les RB permettent une inférence et une prédiction efficaces en permettant le calcul de la distribution postérieure de tout sous-ensemble de variables étant donné les données observées. Cela en fait des outils puissants pour la prise de décision et l'analyse prédictive [38].

2.1.2.2 Applications des Réseaux Bayésiens

- **Diagnostic médical** : Les RB sont largement utilisés dans le domaine de la santé pour modéliser les relations probabilistes entre les maladies et les symptômes, facilitant un diagnostic et une planification de traitement précis [38].
- **Ingénierie logicielle** : Dans le domaine de l'ingénierie logicielle, les RB aident à prédire la qualité et la fiabilité des logiciels, ainsi qu'à gérer les risques des projets en modélisant les dépendances probabilistes entre différents paramètres et résultats des projets [38].
- **Modélisation environnementale** : Les RB sont utilisés pour modéliser des systèmes environnementaux complexes, évaluer les risques de catastrophes naturelles et soutenir la prise de décision en gestion des ressources et en conservation de l'environnement [38].
- **Apprentissage automatique** : Les RB jouent un rôle important dans l'apprentissage automatique pour des tâches telles que la classification, le regroupement et la sélection de caractéristiques en capturant et utilisant efficacement les dépendances entre les variables [38].
- **Finance et gestion des risques** : Dans le domaine financier, les RB modélisent les relations probabilistes entre divers indicateurs économiques et facteurs de risque, aidant à l'évaluation des risques et à la prise de décisions en situation d'incertitude [38].

2.1.3 Décision et L'aide à la décision

La décision est un acte ou un processus visant à résoudre des problèmes.

Dans le monde contemporain, où les exigences des clients évoluent rapidement, il est essentiel que les entreprises puissent répondre de manière agile et efficace en utilisant leurs connaissances et compétences pour prendre des décisions.

Il s'agit d'une décision qui vise à résoudre un problème dans n'importe quel secteur.

Toutefois, les instruments de soutien à la prise de décision diffèrent en fonction des paramètres et de la nature particulière du problème à résoudre.

L'analyse du processus de prise de décision est un processus complexe qui peut être simplifiée en utilisant des modèles théoriques, Selon Herbert Simon [39], le modèle de la rationalité limitée est composé de quatre étapes : intelligence, modélisation, décision et contrôle.

2.1.4 Les systèmes intelligents d'aide à la décision

Les systèmes intelligents d'aide à la décision (SIAD) ont suscité un grand intérêt parmi les chercheurs en raison de leur application dans divers domaines tels que la santé, l'intelligence d'affaires, l'urbanisme, les industries et les systèmes de contrôle.

En combinant l'intelligence artificielle (IA) et le Système d'aide à la décision avec des compétences cognitives avancées, le (SIAD) simplifient l'accès aux informations pertinentes et adoptent une logique similaire à celle utilisée par les humains pour résoudre des problèmes et prendre des décisions.

Ils ont réussi à relever les défis posés par des données vagues, non confirmées et non structurées, souvent diffusées et provenant de diverses sources [40].

Aujourd'hui, l'efficacité des SIAD dans de nombreux secteurs suscite un intérêt croissant au sein de la communauté de l'urbanisme, notamment en ce qui concerne la conception de projets urbains, et dans ce chapitre, nous mettons en lumière un type spécifique de systèmes multi-agents utilisé pour la prise de décision : le système multi-agents holonique.

2.2 Le concept holon

À la fin des années 1960, Arthur Koestler a introduit le concept d'holon pour étudier les organismes vivants et les organisations sociales, visant à réduire la dichotomie entre holisme et réductionnisme [41, 42].

Les systèmes holoniques, influencés par la théorie de l'évolution des systèmes simples vers des systèmes complexes d'Herbert Simon, reposent sur la notion d'holon plutôt que d'agent.

Koestler a souligné que les entités, telles que les cellules et les individus, sont simultanément des ensembles et des parties d'un tout plus large.

Cette structure hiérarchique, appelée holarchie, implique une communication bidirectionnelle entre les niveaux [43].

2.2.1 Les caractéristiques des holons

Chaque holon doit être autonome, autosuffisant et coopératif, capable d'opérer indépendamment tout en collaborant avec d'autres holons, sous le contrôle de holons supérieurs qui régulent leur liberté d'action [42].

Il peut s'adapter aux circonstances sans instructions supérieures et contrôler les unités subordonnées.

Koestler a également établi des règles sur la coopération-autonomie et la communication pour la viabilité des systèmes holoniques [44].

D'autres classifications basées sur la théorie de l'auto-transcendance et la dynamique de l'univers ont élargi le concept d'holon [45], mettant en avant l'organisation holarchique et les caractéristiques fondamentales d'un holon :

- **Auto-préservation:** permettant de maintenir sa structure et son organisation.
- **Auto-adaptation:** lui permettant de réagir avec ses super-holons.
- **Auto-transcendance:** créant de nouvelles propriétés émergentes.

- **Auto-dissolution:** impliquant une division verticale et une décomposition ascendante.

Ken Wilber a classé les holons en sensibles et non-sensibles [45].

Les holons sensibles comprennent les holons individuels, avec une intériorité et une conscience objective, et les holons sociaux, formés de groupes d'individus avec une existence autonome.

Les holons non sensibles incluent les artéfacts ou systèmes physiques, créés par des holons sensibles mais dépourvus de dimension intérieure, et les tas ou amas, qui manquent de modèle organisationnel stable.

Selon Wilber, seules les entités conscientes sont des holons typiques, tandis que les entités inconscientes ne constituent pas de holarchies.

Les holons sont classés en deux catégories [46] : les holons indépendants, existant sans dépendre des niveaux supérieurs, et les holons intermédiaires ou sociaux, qui dépendent des holons de niveau supérieur.

Les holons sociaux représentent le plus haut niveau d'observation des holons individuels. En généralisant, les holons peuvent être considérés comme des entités conceptuelles non observables, agissant comme des liens entre les niveaux hiérarchiques de la réalité pour former un système entièrement interconnecté.

Les holons sociaux représentent le plus haut niveau d'observation des holons individuels, bien que chaque holon individuel contienne implicitement une dimension sociale.

Conceptuellement non-observable, un holon agit comme un élément connecteur entre les niveaux hiérarchiques de la réalité, formant une holarchie interconnectée.

Bien qu'il soit structurant, un holon n'est pas lui-même une structure observable, mais plutôt un point de référence central dans les relations avec d'autres composants et structures [42, 43].

2.2.2 L'architecture holarchique

Les holons dans un système sont à la fois des unités autonomes qui interagissent avec leurs parties inférieures et des composants qui dépendent des holons plus élevés.

L'idée d'inclusion signifie que chaque holon est intégré progressivement dans d'autres holons selon un ordre vertical standard, formant ainsi une organisation hiérarchique imbriquée appelée holarchie.

Selon Koestler, l'holarchie est une hiérarchie ouverte où les holons se régulent eux-mêmes, organisés en coordination avec leur environnement local, Self-regulating Open Hierarchic Order (SOHO).

Ils fonctionnent à la fois comme des ensembles organisés de leurs parties constitutives et comme des éléments subordonnés sous le contrôle de holons de niveaux supérieurs [42].

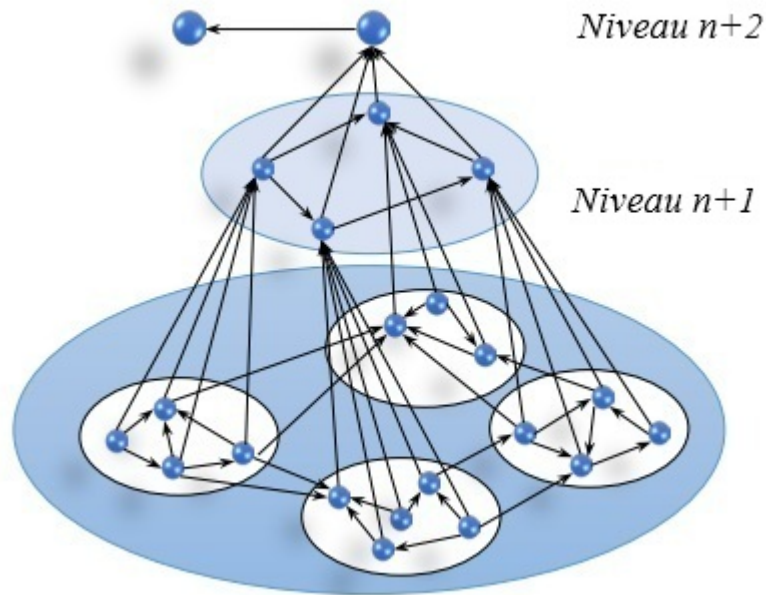


Figure 2.3: Systeme holarchique comme étant une structure multicouche.
Source : [47].

Ce système d'holons peut être illustré comme une structure en arborescence où les branches s'étendent vers le bas pour former des niveaux hiérarchiques successifs, tandis que les nœuds représentent des agents holoniques voir 2.3.

Chaque holon agit comme la tête pour la partie inférieure de la branche et comme un membre pour la partie supérieure.

Les holarchies commencent avec les holons de base et se terminent avec les holons terminaux, formant une structure ouverte qui facilite la connexion avec l'environnement.

Chaque holon est connecté aux holons supérieurs et inférieurs grâce à la relation tout/partie, mais il n'a pas de connexion directe avec ceux du même niveau, ces connexions horizontales se font à travers les holons supérieurs.

L'holarchie peut se former en descendant des holons de base jusqu'au holon final au niveau 0, ou en montant des holons de base jusqu'au holon final au niveau N [43].

En observant de bas en haut, chaque niveau hiérarchique inclut tous les holons de base, tandis qu'en observant de haut en bas, le holon final apparaît segmenté, voir figure 2.4.

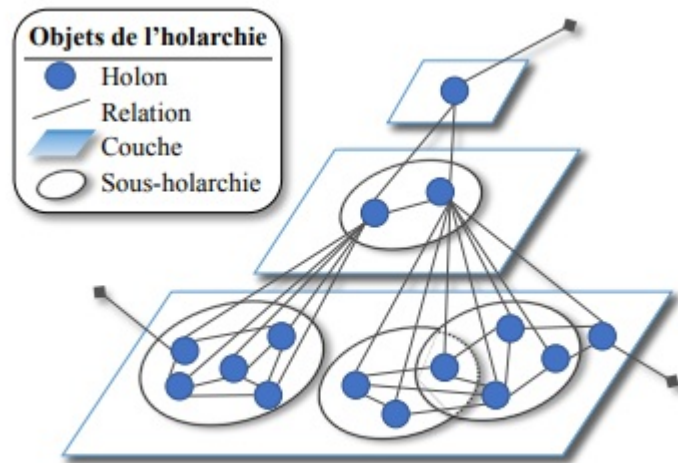


Figure 2.4: Architecture d'une holarchie multicouche.
Source : [48].

Effectivement, chaque niveau inférieur représente une version réduite des holons du niveau hiérarchiquement supérieur, où chaque holon principal est divisé en holons subordonnés.

Cependant, chaque niveau ne contient pas nécessairement tous les holons de base.

2.3 Les systèmes multi-agents (SMA) et l'approche holonique

L'étude d'un système ou environnement repose principalement sur ses aspects structurels, dynamiques et fonctionnels [49].

Cela permet de comprendre l'évolution de sa structure et de définir les activités correspondantes.

Cette analyse peut se faire à travers une vision macroscopique, centrée sur les composants de grande taille et leur fonctionnement global, ou une vision microscopique, focalisée sur les composants élémentaires.

L'objectif est de mieux comprendre le système, d'identifier ses problèmes et de proposer des solutions adaptées.

Dans ce contexte, plusieurs approches ont été développées pour modéliser les systèmes réels (biologiques, physiques, sociaux, économiques, industriels, etc.), notamment les systèmes distribués à grande échelle manipulant des connaissances hétérogènes.

Parmi ces approches, l'approche multi-agents se distingue comme une technologie bien adaptée à l'étude de la dynamique des déplacements et des actions des individus, des objets, ou des systèmes dans leur environnement .

2.3.1 Notion d'agent et système multi-agent

- **Agent:** Un agent est une entité, virtuelle ou réelle, qui évolue dans un environnement, capable de percevoir cet environnement et d'y intervenir.

Chapitre2 : Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens

Il peut communiquer avec d'autres agents et présente un comportement autonome, découlant de ses connaissances, de ses interactions avec d'autres agents et des objectifs qu'il vise à atteindre [50].

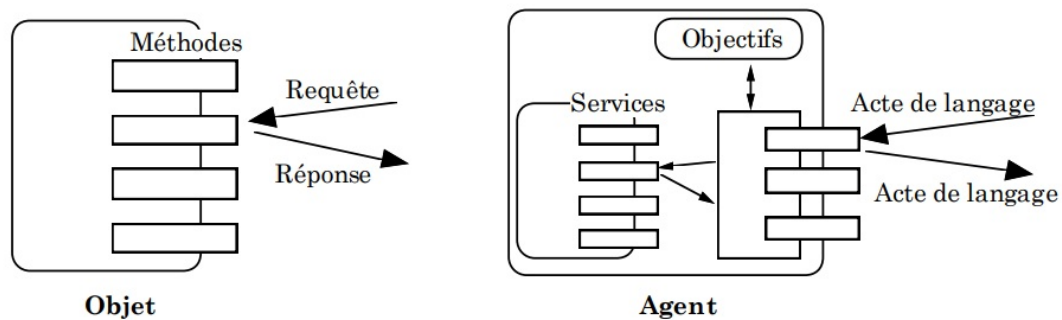


Figure 2.5: Différence entre objet et agent source:[51].

- **système multi-agent :**

Un système multi-agent est une structure distribuée constituée d'une collection d'agents.

Contrairement aux systèmes d'intelligence artificielle qui émulent partiellement les capacités de raisonnement humain, les SMA sont idéalement conçus et mis en œuvre comme un ensemble d'agents qui interagissent, souvent en coopérant, en rivalisant ou en coexistant.

Un SMA présente généralement les caractéristiques suivantes :

- Chaque agent dispose d'informations ou de capacités de résolution de problèmes restreintes, ce qui signifie que chaque agent a une perspective partielle.
- Il n'existe aucun contrôle global sur le système multi-agent.
- Les données sont décentralisées.
- Les calculs sont effectués de manière asynchrone.

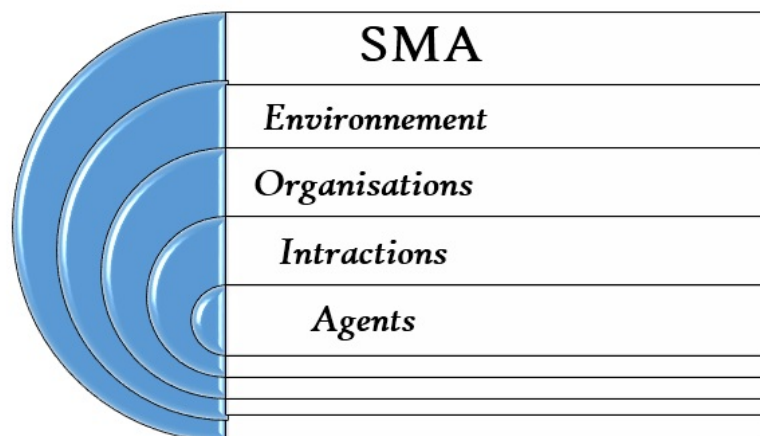


Figure 2.6: Composition d'un SMA. Source [52].

2.3.2 Les Systemes multi agents , avantages et limites

Grâce à leur potentiel dans le domaine industriel, les SMA ont démontré leur utilité dans diverses applications, notamment dans les processus de contrôle [53], le système de diagnostics [54], l'industrie manufacturière [55], et l'administration des réseaux [56].

La structure distribuée et le vaste volume d'informations font d'Internet un domaine idéal pour les SMA dans la gestion de l'information [57].

À travers des agents exécutables, ils peuvent rechercher et traiter des informations, ce qui a permis d'introduire la technologie SMA dans d'autres domaines tels que le commerce électronique et les processus d'affaires automatisés [58].

Les SMA offrent de nombreux avantages, particulièrement dans le domaine des systèmes distribués, mais ils présentent également des défis importants en termes de conception et d'implémentation [59].

Il est donc crucial de développer un modèle d'organisation hiérarchique capable de gérer des systèmes complexes à grande échelle, comme c'est le cas pour les systèmes holoniques.

Ce modèle doit permettre de décomposer le système étudié de manière à ce que tous les composants soient traités de façon partielle tout en réalisant un objectif commun.

2.3.3 L'agent holonique

En combinant l'approche multi-agents avec le concept d'holon au sein d'une organisation hiérarchique, on crée un système appelé système multi-agents holonique (SMAH).

Ce système adopte une architecture holarchique, dans laquelle les composants sont des holons assumant le rôle des agents.

Les holons possèdent des propriétés plus complexes, étant à la fois des entités autonomes et des parties intégrantes d'une organisation plus larg [60].

En conformité avec les principes de Koestler concernant les systèmes holoniques, le SMAH maintient une structure où chaque composant, ou holon, possède à la fois une autonomie et une intégration au sein de l'ensemble organisationnelle [61].

Dans ce système, la communication repose sur l'échange de messages entre les agents et leurs supérieurs hiérarchiques, ainsi qu'entre les agents d'une même couche. Cette communication évolue vers une cognition accrue en direction des niveaux supérieurs de l'holarchie, tandis qu'elle devient de plus en plus réactive en direction des niveaux inférieurs.

Chaque agent holonique est caractérisé par son identité distincte, son état actuel, ainsi que par ses connaissances particulières, Chaque agent holonique est également défini par son comportement vis-à-vis de son environnement et des autres holons qui composent le système [44].

2.3.4 Agents vs Holons

Les systèmes holoniques multifactoriels suscitent un intérêt croissant dans le domaine de la recherche.

Une question fréquemment débattue dans la communauté porte sur la relation entre les holons et les mandataires, cette relation variant selon les interprétations

Chapitre2 : Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens

des holons. Dans ce contexte, notre objectif est de clarifier les distinctions, le cas échéant, entre les mandataires et notre conception des holons.

Les holons sont intrinsèquement constitués d'autres holons, pouvant être vus comme des holons supérieurs et inférieurs.

En revanche, les mandataires ne sont pas nécessairement composés d'autres mandataires.

Bien que certains agents puissent être formés par d'autres agents, l'idée fondamentale est que les agents sont des entités autonomes.

Toutefois, la plupart des structures d'agents n'ont pas encore résolu le défi essentiel de traiter les groupes d'agents comme des entités de niveau supérieur, comme cela se produit couramment dans les organisations.

Les systèmes holoniques multifactoriels visent à surmonter cette difficulté.

Alors, pourquoi introduire un nouveau terme, "holons" ? En termes simples, le terme "holon" apporte une précision supplémentaire : il indique immédiatement que l'entité fait partie d'un tout plus vaste, constitué d'autres holons et intégré dans un holon supérieur.

Il est crucial de distinguer la conception des holons dans les systèmes holoniques de celle dans les systèmes d'agents [62], voir le tableau 2.1.

Chapitre2 : Un Système Multi-Agents Holoniques (SMAH) Décisionnel Basé sur les Réseaux Bayésiens

Caractéristique	Agent	Holon
Autonomie	Oui	Oui
Réactivité	Oui	Oui
Proactivité	Oui	Oui
Capacité sociale	Oui, l'interface utilisateur est mise en œuvre pour faciliter les interactions	Oui, l'interface utilisateur est spécifique à chaque holon
Coopération	Oui, il peut être à la fois compétitif et coopératif	Oui, les holons ne rejettent pas exprès la coopération
Organisation, ouverture	Oui, les holarchies sont mises en œuvre en utilisant des structures ouvertes	Oui, holarchies
Rationalité	Oui	Oui
Apprentissage	Oui	Oui
Bénévolat	Oui	Oui
Mobilité	Oui	Les holons nécessitent rarement la mobilité pour effectuer des tâches
Récurtivité	Il n'existe pas d'architecture récursive proprement dite	Oui
Traitement des informations et traitement physique	Il n'existe aucune séparation explicite.	La séparation est explicite, bien que le traitement soit souvent intégré
Attitudes mentales	Oui	Ils n'ont pas besoin de raisonner en fonction de l'intelligence émotionnelle

Table 2.1: Comparaison des caractéristiques entre Agent et Holon. source [63].

2.4 Les systèmes multi-agents holoniques (SMAH)

Les systèmes multi-agents (SMA) sont généralement constitués d'agents autonomes individuels.

Cependant, il est parfois nécessaire de modéliser un groupe d'agents qui fonctionnent ensemble comme une entité unique, appelée "super-agent".

Cela permet de représenter des structures plus complexes, telles que des organisations ou des sociétés d'agents.

Pour expliquer ce concept, plusieurs termes ont été utilisés dans la recherche, notamment méta-agents, agents intermédiaires, agents collectifs, SMA holoniques et agents récursifs. Les systèmes multi-agents holoniques (SMA holoniques) sont particulièrement reconnus dans la communauté de l'intelligence artificielle distribuée.

Ces systèmes sont conçus pour s'adapter à leur environnement et accomplir des tâches spécifiques [64].

Les SMA holoniques possèdent des propriétés émergentes et des capacités d'apprentissage,

leur permettant de s'adapter et d'adopter un comportement approprié. Même si chaque agent exécute une tâche partielle, la performance globale du système dépend fortement de l'organisation de ces agents.

Dans la théorie des SMA holoniques, les agents holoniques sont composés d'autres agents et peuvent se regrouper pour former des agents plus complexes. Cette approche hiérarchique facilite la modélisation de phénomènes complexes et la création de systèmes intelligents capables de s'adapter à diverses situations.

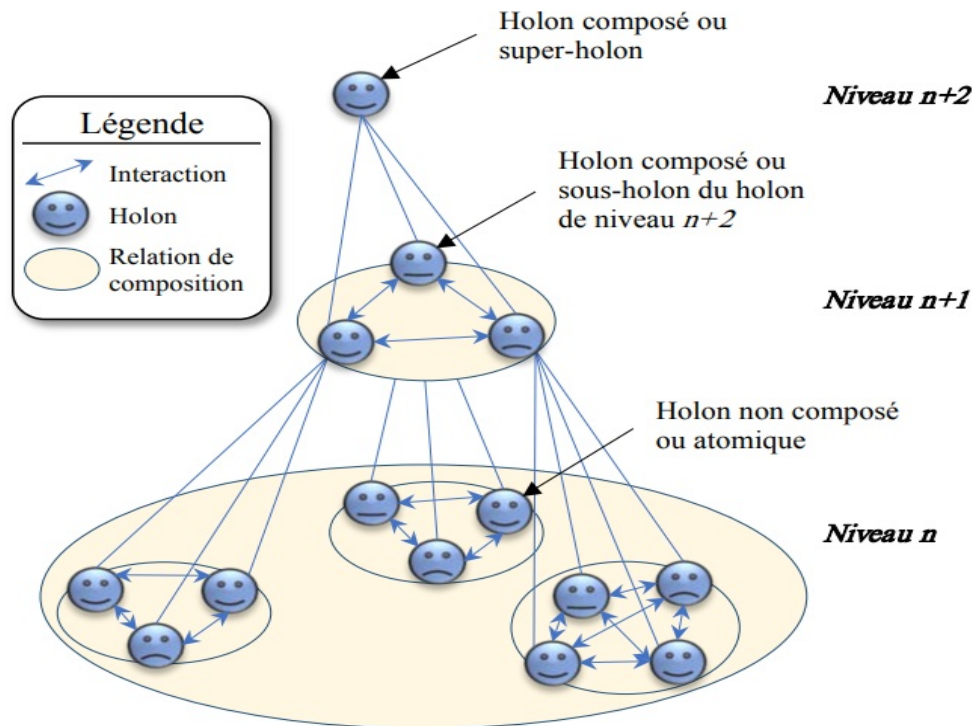


Figure 2.7: Composition des agents holoniques dans un SMAH
source: [65].

2.4.1 Spécification individuelle des agents holoniques

Avant d'aborder la spécification du fonctionnement coopératif, il est crucial de détailler les caractéristiques des différents types d'agents, lesquels varient en fonction de leurs compétences et de leurs positions dans l'organisation (c'est-à-dire leur niveau de responsabilité).

Une grille d'analyse fonctionnelle peut être utilisée pour caractériser ces agents en fonction de leurs fonctionnalités. Cette grille peut être adaptée pour identifier non seulement les fonctionnalités des agents selon les dimensions personnelles, sociales et environnementales, mais aussi pour spécifier ces fonctionnalités.

Notre proposition de grille de spécification se concentre sur trois dimensions, au lieu des cinq initiales. Nous excluons la dimension physique, étant trop dépendante du système d'implémentation, de cette phase de spécification.

De même, nous fusionnons la dimension relationnelle, qui concerne la relation d'un agent avec les autres agents, avec la dimension sociale.

La fonction conative, traitant des besoins et désirs que nos agents holoniques ne possèdent pas encore, est également omise de la grille de spécification. Cette grille

permet ainsi de définir, pour chaque agent holonique, les fonctions relatives :

- aux connaissances, qu'elles soient procédurales ou non (la fonction représentative), Ces connaissances varient en détail selon la position de l'agent dans l'organisation .
- à la planification des actions (la fonction organisationnelle), Chaque agent, étant autonome, doit être capable de gérer ses propres actions .
- aux interactions (la fonction interactionnelle), Les agents holoniques doivent coopérer entre eux et donc interagir efficacement.
- à la maintenance (la fonction conservatrice), nécessaire pour maintenir la stabilité de l'agent et de l'organisation dans son ensemble.
- aux actions spécifiques au rôle de l'agent (la fonction productive), Par exemple, l'agent peut être responsable de l'interface utilisateur ou de la gestion des données sur le poste de travail.

Ces fonctions sont décrites en tenant compte de l'environnement de l'agent, des autres agents et de l'agent lui-même.

Cette grille peut ainsi être utilisée pour spécifier les caractéristiques individuelles de chaque type d'agent jouant un rôle dans l'organisation.

Dans une organisation multi-agent holonique, chaque agent partage la même structure, seule la variation comportementale et des connaissances dépend de sa position et de son rôle [66].

2.5 Un Cadre pour la Modélisation des Systèmes Holoniques

Un holon est une structure auto-similaire constituée de sous-structures appelées holons, formant une holarchie.

Selon le niveau d'observation, un holon peut être perçu comme une entité autonome ou une organisation de holons, une dualité connue sous l'effet Janus.

Chaque holon est à la fois une entité complète et une partie d'un holon de niveau supérieur.

Des exemples d'holarchies sont omniprésents dans la vie quotidienne, comme le corps humain, composé d'organes, eux-mêmes composés de cellules, de molécules, etc.

D'autres exemples incluent les entreprises, les villes et les galaxies.

Considérons une université comme un holon.

Elle comprend des départements et des laboratoires, qui à leur tour, sont constitués de personnel académique, d'étudiants et de chercheurs.

Cette holarchie est illustrée dans la figure 2.8.

Au plus haut niveau ($n+2$), se trouve l'université, divisée en trois sous-holons : le département d'informatique, les départements de mécanique et un laboratoire (niveau $n+1$). Au niveau le plus bas (n), se trouvent les professeurs, les étudiants et les chercheurs.

Les structures holoniques sont des abstractions puissantes pour modéliser de grands systèmes complexes.

Pour les utiliser efficacement, il est crucial de développer un langage de description générique permettant de représenter les différents aspects des holons et des holarchies [67].

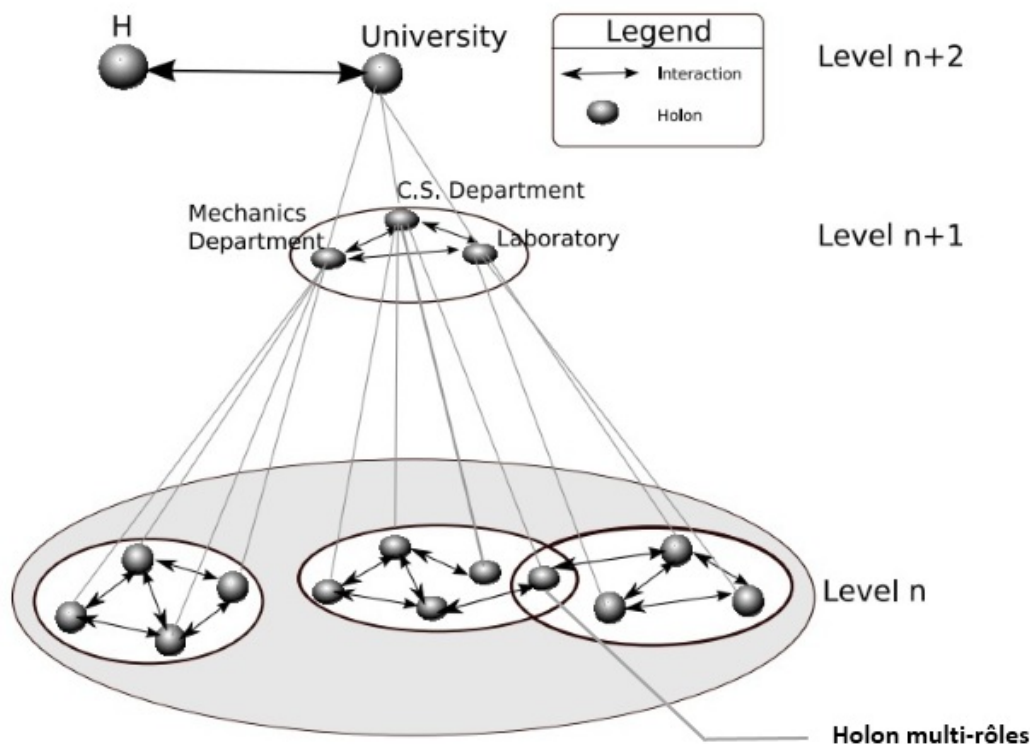


Figure 2.8: Un exemple de structure holonique d'une université . source: [67].

2.5.1 Principes clés de la Formation et de l'Interaction des Holons dans les Systèmes Holoniques:

- **Création d'un Super-Holon** : Un groupe d'entités (sous-holons) peut former une nouvelle entité plus grande (super-holon) uniquement s'ils interagissent les uns avec les autres.
- **Définition d'un Holon** : Un holon n'est pas seulement défini par ses membres mais aussi par la manière dont ils interagissent. Cela signifie que le même ensemble de sous-holons peut former différents super-holons en fonction de leurs interactions. Par exemple, un groupe de personnes peut travailler ensemble dans une entreprise et former également une équipe sportive, mais les interactions et les rôles dans chaque contexte sont différents.
- **Structure d'un Super-Holon** : La structure d'un super-holon est basée sur les engagements sociaux et les interactions de ses membres. Cela s'aligne avec les idées de *Ferber* sur les agents individuels et collectifs.

- **Niveaux d'Engagement :** L'engagement de chaque membre envers le super-holon est défini par les obligations du rôle qu'il joue en son sein. Cela signifie que les membres doivent remplir certaines responsabilités pour maintenir le super-holon.

En essence, pour qu'un super-holon se forme, ses composants doivent interagir, et leurs rôles et interactions définissent la structure et la stabilité du super-holon. Des interactions différentes peuvent conduire à des super-holons différents même si les membres sont les mêmes. Par exemple, le même groupe de personnes peut agir différemment en tant qu'entreprise et en tant qu'équipe sportive, en fonction de leurs interactions dans chaque contexte [68].

2.5.2 Modélisation des membres de Holon

Cette section explique comment les membres au sein d'un super-holon interagissent, formant ce qu'on appelle une Organisation Holonique. Ce concept se concentre uniquement sur la dynamique interne des membres du super-holon, en abstrayant les applications spécifiques:

- **Groupe Holonique :** Désigne l'ensemble des membres au sein d'un super-holon. Il vise à comprendre leurs rôles et comportements, distincts des groupes axés sur des objectifs spécifiques.
- **Rôle de Chef :** Dirigeants ou porte-paroles du super-holon, agissant comme interface avec le monde extérieur. Ils détiennent l'autorité et gèrent le flux d'informations, bien que plusieurs chefs puissent coexister simultanément.
- **Rôle de Partie :** Membres dédiés exclusivement à un seul super-holon, interagissant par l'intermédiaire des chefs. En cas de mécontentement, un membre de ce rôle peut soit partir, soit fusionner avec un autre super-holon.
- **Rôle Multi-Part :** Se produit lorsqu'un membre appartient simultanément à plusieurs super-holons. Par exemple, dans un cadre universitaire, le département d'informatique et le laboratoire peuvent avoir des rôles différents en fonction de leurs responsabilités et interactions au sein de l'institution, voir figure 2.9.
- **Défis des Membres Partagés :** Des conflits surviennent lorsque les membres partagés reçoivent des demandes contradictoires ou rencontrent des conflits d'intérêts ou d'autorité provenant de différents super-holons.
- **Avantages des Membres Multi-Part :** Malgré les défis, les membres multi-part permettent la transmission de messages entre les super-holons et ouvrent des possibilités pour des mécanismes de confiance.

La compréhension de ces rôles contribue à maintenir la cohérence et la stabilité au sein de systèmes complexes, assurant une interaction efficace entre les membres du super-holon [67].

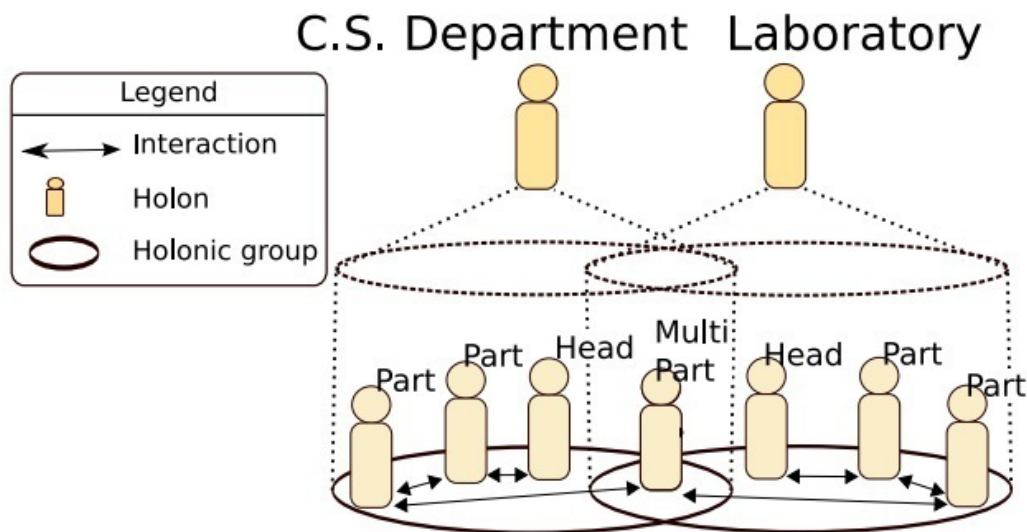


Figure 2.9: Département d'informatique et Laboratoire Holons source [67].

2.6 Prise de décision dans le système holonique

Nous expliquerons les différentes manières de prendre des décisions au sein d'un groupe de holons, qui font partie d'un système plus vaste appelé super Holon. Décomposons cela étape par étape:

- **Prise de décision :**
 - Lorsqu'il est nécessaire de prendre une décision, comme par exemple permettre à un nouveau membre de rejoindre le groupe, les membres du super-holon doivent convenir d'un processus.
 - Une méthode courante est le vote, où les membres votent pour accepter ou rejeter une proposition.
- **Types de structures de prise de décision :**
 - **Fédération :** Tous les membres ont une voix égale dans les décisions.
 - **Dictature :** Un seul leader (tête) prend toutes les décisions sans avoir besoin de l'approbation des autres. Les membres ont très peu d'indépendance.
 - **Configurations intermédiaires :** Ces configurations se situent entre la fédération et la dictature, équilibrant le pouvoir entre les têtes et les membres.
- **Mécanisme de vote :**
 - Pour gérer la prise de décision, chaque tâche ou fonction peut avoir son propre processus de vote.
 - Trois éléments définissent ce processus :
 - * **Demandeur :** Qui peut demander un vote (par exemple, tous les membres, uniquement les têtes, un sous-groupe de holons).

- * **Participants** : Qui peut voter (mêmes options que les demandeurs).
- * **Mécanisme d'adoption** : Comment une proposition est acceptée (par exemple, consensus, majorité des deux tiers).
- **Structures de gouvernement** :
 - **Monarchie** : Une tête contrôle toutes les décisions.
 - **Oligarchie** : Un petit groupe de têtes partage le pouvoir sans impliquer les autres membres.
 - **Polyarchie** : Un petit groupe de têtes partage le pouvoir mais doit consulter les autres membres pour certaines décisions.
 - **Apanarchie** : Tous les membres partagent équitablement la prise de décision.
- **Décentralisation** :
 - Apanarchie représente le niveau le plus élevé de décentralisation, où tout le monde participe également.
 - Dans un système hautement décentralisé, les têtes agissent uniquement comme des interfaces avec le monde extérieur, mais n'ont aucune autorité réelle sur le super-holon ou ses membres.

En résumé Ici, nous avons expliqué comment le processus de prise de décision dans un groupe (Super Holon) peut être organisé avec différents niveaux de centralisation, allant d'une personne prenant toutes les décisions (propriété) à une participation égale de tous (abanarchi). L'objectif est de trouver un équilibre qui réponde aux besoins du groupe tout en assurant une prise de décision efficace et équitable [69].

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts sous-jacents aux systèmes holoniques ainsi qu'un cadre facilitant l'ingénierie de tels systèmes.

Notre cadre aborde la modélisation et la représentation de trois aspects cruciaux d'un SMA holonique, la structure et la gestion des holons, les interactions dépendantes des objectifs et la dynamique.

L'approche holonique, bien que non universelle, peut optimiser l'organisation et l'efficacité des processus décisionnels en E-administration.

Elle exploite les propriétés hiérarchiques et dynamiques des systèmes multi-agents holoniques pour atteindre les objectifs administratifs.

Chapitre 3

Expérimentation et Evaluation

3.1 Introduction

Après avoir discuté des concepts de systèmes et de simulation multifactorielle dans le chapitre précédent, ce chapitre se concentre sur les étapes d'analyse et de conception de notre système. Nous commencerons par rappeler certains des travaux antérieurs dans ce domaine, suivis d'une description fonctionnelle détaillée du système à développer. Nous présenterons ensuite la méthode des voyelles et le langage de modélisation UML (unified modeling language agent) pour la modélisation. La troisième section identifiera les agents et explorera leurs interactions. Enfin, la partie conception fournira divers schémas décrivant notre système.

3.2 Travaux connexes antérieurs

- **B. Khelifa et M. R. Laouar (2020)**: Un système intelligent d'aide à la décision (IDSS) pour déterminer les plans urbains optimaux en utilisant un algorithme d'optimisation de colonies de fourmis multi-objectifs. Bien que ce travail soit centré sur l'optimisation de l'emplacement des projets urbains, notre recherche vise une gestion plus large des processus administratifs.
- **B.D. Carlos Alberto et F. Massoud (2021)**: Une approche basée sur la simulation pour optimiser l'allocation des tâches et des ressources dans les systèmes de production. Bien que ce domaine diffère, l'étude souligne l'importance de l'optimisation et de l'efficacité, des aspects cruciaux pour notre recherche [70].
- **N. Houssein Eddine et D. Olfa Belkahla (2015)**: Une approche hybride de métaheuristiques dans un modèle multi-agent holonique pour résoudre le problème de la planification flexible du Job Shop (FJSP). Ce travail montre la pertinence et l'efficacité des systèmes multi-agents holoniques dans des contextes complexes [71].
- **Giret et al. (2017)**: Une méthodologie holonique multi-agents pour assister la conception de systèmes de contrôle de fabrication intelligents et durables. Ce travail souligne l'importance des principes holoniques dans l'ingénierie [72].

- **Tchappi et al. (2018)**: Un état de l'art sur la modélisation et la simulation des problèmes multiniveaux utilisant une approche multi-agent holonique, appliqué aux systèmes de circulation et de transport [73].
- **Adriano Ferreira et Ângela Ferreira (2015)**: Une extension du paradigme holonique pour modéliser les nœuds d'énergie électrique dans les réseaux intelligents, démontrant l'efficacité des holons multifonctions pour différents niveaux de contrôle [74].
- **S. Moujahed, N. Gaud, et D. Meignan (2007)**: Une approche basée sur les systèmes multi-agents holoniques (HMAS) pour résoudre les problèmes de localisation multi-niveaux avec des mécanismes de champs de potentiel artificiel [75].

Ces recherches illustrent la pertinence des approches holoniques multi-agents dans divers domaines, soulignant leur capacité à résoudre des problèmes complexes de manière efficace. En nous appuyant sur ces travaux, nous visons à adapter ces principes à la gestion des processus administratifs complexes, contribuant ainsi à l'innovation dans ce domaine.

3.3 Description du système réalisé

Dans le cadre de ce projet de fin d'études, notre objectif est de développer un système intelligent d'aide à la décision pour l'urbanisme, en utilisant une approche multi-agents holonique .

Ce système intègre l'intelligence artificielle pour améliorer l'efficacité des processus administratifs, automatiser la gestion des commandes et proposer des stratégies optimales pour des projets urbains durables.

En modélisant de manière flexible et précise les entités urbaines et leurs interactions, des algorithmes tels que les arbres de décision et les réseaux bayésiens sont utilisés pour formuler des recommandations basées sur des données complexes.

L'objectif principal est d'aller au-delà des méthodes manuelles traditionnelles et de créer des départements électroniques capables de gérer et d'appuyer efficacement la prise de décision en matière d'urbanisme.

3.4 Choix méthodologique

3.4.1 Définition de l'Agent Holonique Unified Modeling Language (AUML)

L'Agent Holonique Unified Modeling Language (AUML) est une extension du langage de modélisation unifié (UML) conçue spécifiquement pour la modélisation des systèmes multi-agents holoniques. Ces systèmes combinent les concepts de multi-agents et de holarchie, où chaque holon est à la fois une entité autonome et une composante d'un ensemble plus vaste. AUML permet de représenter les interactions, les comportements et les structures des agents holoniques de manière claire et organisée [76]. L'AUML permet aux développeurs de modéliser les aspects suivants :

- **Interactions entre les agents:** En utilisant des diagrammes de séquence spécifiques aux agents pour décrire comment les agents interagissent et échangent des messages.
- **Comportements des agents:** En représentant les états et les transitions des agents à travers des diagrammes d'états et d'activités.
- **Organisation des agents:** En décrivant les relations hiérarchiques et les structures de collaboration entre les agents.

3.5 Diagrammes AUML

AUML (Agent UML) étend UML pour intégrer des concepts liés aux agents, offrant des représentations spécifiques pour la technologie des agents. Voici une liste des principaux diagrammes AUML, incluant ceux d'UML et les extensions pour les agents :

- **Diagramme de Cas d'Utilisation:** Représente les fonctionnalités du système du point de vue des utilisateurs.
- **Diagramme de Classes:** Montre les classes du système, leurs attributs, méthodes et les relations entre elles.
- **Diagramme d'Objets:** Illustre des instances spécifiques de classes et les relations entre ces instances.
- **Diagramme de Séquence:** Modélise la séquence d'interactions entre les objets au fil du temps.
- **Diagramme de Collaboration:** Met en évidence les interactions entre les objets et leurs relations.
- **Diagramme d'État:** Représente les différents états d'un objet et les transitions entre ces états.
- **Diagramme d'Activités:** Montre le flux de contrôle ou de travail dans un processus.
- **Diagramme de Déploiement:** Représente la configuration matérielle du système et la manière dont les composants logiciels y sont déployés.
- **Diagramme de Composants:** Montre les composants logiciels et leurs dépendances.
- **Diagramme de Package:** Organise les éléments du modèle en paquets et montre les dépendances entre les paquets.

3.5.1 Diagramme de Classes d'Agent

Le diagramme de classes d'agent représente un agent ou un groupe d'agents capables de jouer des rôles spécifiques. Il inclut :

- **Nom de la classe d'agent/Rôles:** Un agent peut assumer plusieurs rôles (par exemple, un détaillant peut être à la fois acheteur et vendeur).
- **Description des états:** Variables d'instance reflétant l'état actuel de l'agent.
- **Actions (Plans):**
 - **Actions proactives:** Déclenchées par l'agent lui-même sous certaines conditions.
 - **Actions réactives:** Déclenchées en réponse à un message reçu d'un autre agent.
- **Méthodes:** Définies selon les conventions UML, avec des conditions préalables et postérieures.
- **Envoi et réception de messages:** Décrit les messages échangés par l'agent et les protocoles associés.
- **Automate:** Représente les changements d'état induits par les échanges de messages.

3.5.2 Diagramme de Protocole d'Interactions

Un protocole d'interaction entre agents (AIP) définit une séquence autorisée de messages échangés entre agents ayant divers rôles, en imposant des contraintes sur le contenu des messages. Il garantit une cohérence dans les échanges entre les agents. AUML permet de représenter :

- **Communication simultanée:** Plusieurs actes de communication sont envoyés en parallèle.
- **Sélection multiple:** Zéro ou plusieurs actes peuvent être envoyés simultanément, y compris l'option d'envoyer un seul acte parmi eux.
- **Choix exclusif:** Un seul acte de communication est envoyé à la fois.

3.6 Les systèmes multi-agents holoniques pour la e-administration

3.6.1 Approche d'Holonisation pour l'e-administration

En menant une analyse comparative entre les SMA holoniques d'un côté et l'administration de l'autre côté, on peut dégager plusieurs points de ressemblances qui contribuent au rapprochement et à l'utilisation des SMA holoniques comme des solutions envisagées dans l'administration publique. Dans la suite, on recense les points suivants [77]:

- **Architecture pyramidale** : Une administration se voit comme une hiérarchie pyramidale, elle se constitue d'un ensemble de bureaux regroupés dans des services. Ceux-ci sont à leur tour rassemblés dans des départements qui sont aussi réunis dans une seule unité ou organisation ; ce qui est le cas pour les SMA holoniques.
- **Principe de décomposition** : Au sein de l'administration, une procédure se décompose en plusieurs tâches et sous-procédures qui elles-mêmes sont décomposées en plusieurs tâches et sous-procédures, et ainsi de suite. Les SMA holoniques suivent ce même principe : la mission du holon initial (supérieur) est découpée en sous-missions réparties sur ses sous-holons, et ainsi de suite jusqu'aux holons élémentaires.
- **Principe de composition** : Dans une administration, le principe de composition intervient lorsque l'on termine d'exécuter des sous-tâches, ces dernières se réunissent en vue de construire une tâche globale demandée par l'utilisateur (tâche = sous-tâches).
- **Dépendance horizontale** : Dans l'administration publique, une tâche administrative peut parfois participer à deux processus administratifs différents. Par exemple, la tâche "extraire acte de naissance" fait partie des processus de "délivrance de carte d'identité" et "délivrance de passeport". De même, au sein des SMA holoniques, un holon peut assurer un même rôle dans deux groupes holoniques différents.
- **Principe de communication** : Souvent, les bureaux ou guichets d'une administration sont obligés de se communiquer, de collaborer et d'échanger des informations afin de mener à bien la tâche de chacun. Pour l'accomplissement de leurs rôles, les holons peuvent aussi entraîner et nécessiter des communications et échanges entre les holons du même niveau.
- **Aspect organisationnel prédéfini** : Les SMA holoniques, comme les procédures administratives, sont caractérisés par l'aspect organisationnel ou structurel qui est prédéfini et connu au préalable, et l'aspect dynamique ou émergence de nouvelles voies est peu présent ; cela signifie que les tâches et sous-procédures d'un processus administratif ne se changent pas en permanence. Ils sont plutôt statiques que dynamiques, ce que l'on trouve aussi dans les SMA holoniques.

Ainsi, à la lumière des points de similitudes qui existent entre les deux domaines, le tableau suivant présente et introduit les différents concepts holoniques qu'on peut associer et faire correspondre aux concepts e-administratifs.

Concept administratif	Concept holonique	Holonisation (commentaires)
Demande	Requête	La demande est déposée au niveau du site du portail administratif
Prestation	Réponse	La réponse doit être retournée au demandeur d'une façon électronique ou par correspondance classique
Service final	Super-holon	C'est le holon chargé du service lui-même sollicité par le demandeur
Sous-service composé	Inter-holon	Tous les holons intermédiaires entre le service demandé et les exécuteurs des éléments constituant le service demandé
Service élémentaire	Élément-holon	Les holons exécuteurs directs des tâches constituant le service global
Décomposition	Décomposition	Opération d'affectation (descendance dans la holarchie) des sous-services aux holons concernés
Composition	Composition	Opération de retour des résultats d'exécution des tâches composant (remonte dans la holarchie)
Niveau	Niveau	Correspondance entre les classes administratives et catégories d'holon dans la holarchie

Table 3.1: e-administration vs SMAH
Source: [77]

3.6.2 Démarche pour la composition des services administratifs moyennant les SMAH

Après avoir introduit un rapprochement entre les deux domaines en commençant par les Systèmes Multi Agents Holoniques suivis d'e-administration, on propose dans cette section une démarche pour la composition des services administratifs moyennant les SMAH (voir figure 3.1 suivante).

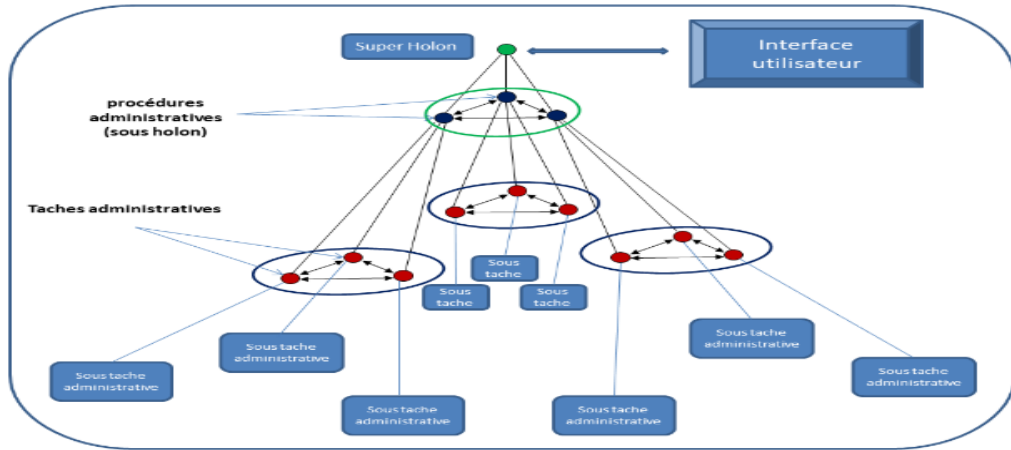


Figure 3.1: Modèle Holonique de la Hiérarchie des Tâches Administratives
Source : [77]

Les progrès à faire dans le domaine de l'e-administration relèvent du partage des données au sein de l'administration, des échanges d'informations entre les différentes administrations et entre l'administration et les usagers. Tout ceci doit être mis en œuvre dans notre approche dans une structure holarchique. Cette dernière sera réalisée sur la base d'une hiérarchie de services qui est à elle-même une forme hiérarchique de sous-services, tout en mettant l'accent sur la hiérarchie des services administratifs, objet réel de notre approche d'holonisation, et non sur la hiérarchie organisationnelle. Pour donner à notre système une tendance dynamique, nous présentons ci-après un diagramme d'activité pour la holonisation des services administratifs.

Dans ce qui suit, on présente un modèle dynamique pour les services administratifs, celui-ci fournit une vue illustrant le déroulement d'un service administratif holonisé. Ce dernier est initié suite à la déposition d'une demande de service en question au sein de l'e-administration.

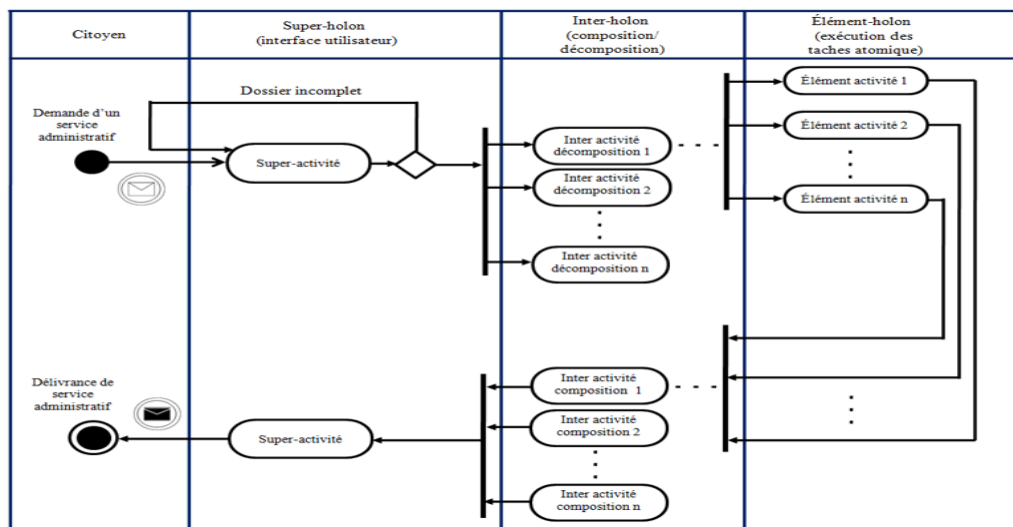


Figure 3.2: Modèle dynamique pour les services administratifs
Source : [77]

Le modèle ci-dessus expose qu'un service administratif holonisé correspond à une

succession de plusieurs sous-services simples et/ou composés, ces sous-services sont réalisés à des niveaux différents et par des holons différents, généralement trois types de niveaux (cf. figure ci-dessous) et trois types de holons (i.e. super-holon, inter-holon et holon-élémentaire). Le premier niveau correspond à celui du super-holon qui reçoit la demande et engage les inter-holons dont le métier correspond au service demandé, les inter-holons, à leur tour, subdivisent le travail en des sous-travaux et les distribuent à leurs descendants jusqu'à ce que les sous-travaux obtenus deviennent atomiques. Ils sont alors affectés aux holons-élémentaires concernés. Ces derniers rendent les résultats de leurs activités à leurs supérieurs jusqu'au super-holon qui fournit au demandeur le service administratif sollicité.

La décomposition des services en sous-services ainsi que la composition des sous-résultats en résultats ne s'effectuent pas de façon purement réactive (i.e. statique) ou arbitraire, mais plutôt de manière intelligente.

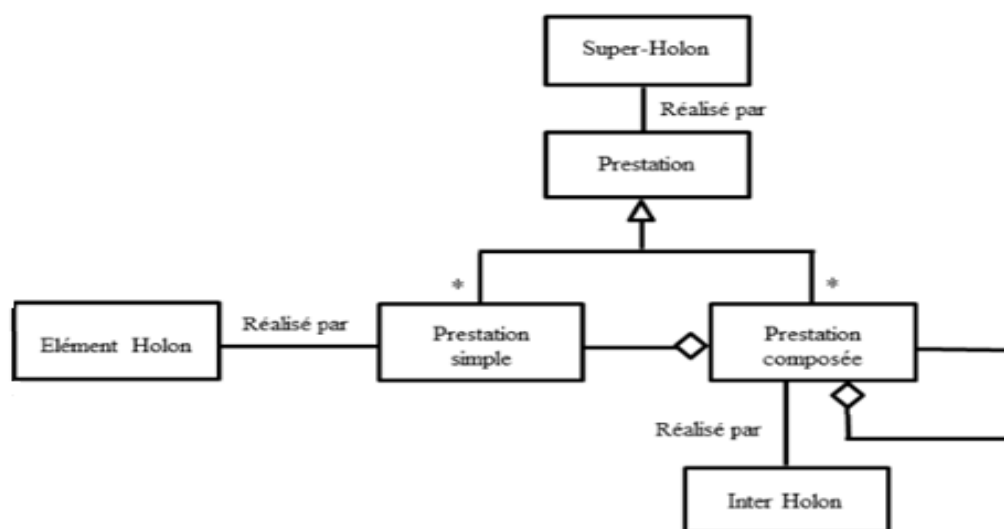


Figure 3.3: Modèle statique d'un service e-administratif holonisé

Le super-holon connaît la procédure de la décomposition globale. Il se chargera de décomposer la requête en sous-requêtes selon la procédure en vigueur. Les inter-holons ont pour rôle de décomposer en éléments plus simples puis de reconstituer les résultats. Enfin, les holons de base, ou éléments-holons, exécutent la requête, ils savent faire des travaux simples comme établir un document.

Dans cette partie, après avoir mis en vue les motivations derrière l'utilisation et l'implication des technologies des systèmes multi-agents holoniques dans les administrations électroniques, nous avons discuté deux domaines : celui de la technologie des SMAH, reconnus pour leur réputation dans les problèmes de caractère complexe et hiérarchique, et celui de la e-administration.

3.7 Analyse

3.7.1 Explication du scénario d'inspection de la parcelle

Notre projet nous avons décrit le processus d'inspection sur un terrain pour la construction d'un institut semi-médical dans wilaya de Mila :

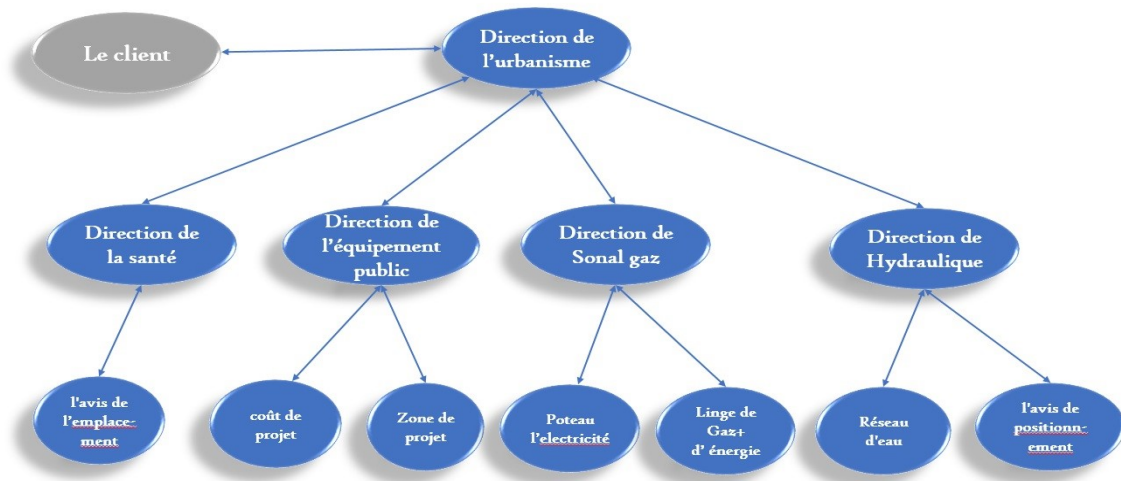


Figure 3.4: Diagramme montrant le scénario du processus d'inspection de la parcelle.

Voici le scénario du processus de demande de la signification du terrain, basé sur le schéma fourni :

- **Le Client :**

- Le client initie le processus en soumettant une demande pour obtenir des informations sur un terrain spécifique. Cette demande est envoyée à la Direction de l'urbanisme.

- **Direction de l'urbanisme :**

- La Direction de l'urbanisme reçoit la demande du client. Elle est l'autorité centrale qui coordonne avec plusieurs autres directions spécialisées pour obtenir des avis et des inspections concernant le terrain en question.

- **Distribution des Demandes :**

- La Direction de l'urbanisme distribue les demandes aux directions suivantes :
 - * Direction de la santé
 - * Direction de l'équipement public
 - * Direction de Sonal gaz
 - * Direction d'Hydraulique

- **Direction de la santé :**

- Cette direction est chargée de vérifier les aspects sanitaires du terrain. Elle émet un avis concernant l'emplacement après avoir effectué les inspections nécessaires.

- **Direction de l'équipement public :**

- Cette direction s'occupe des infrastructures publiques nécessaires pour le projet. Elle évalue le coût du projet et délimite la zone du projet. Elle s'assure également de la présence des poteaux d'électricité nécessaires.

- **Direction de Sonal gaz :**
 - Cette direction est responsable des services de gaz et d'énergie. Elle vérifie la disponibilité et la sécurité des lignes de gaz et d'énergie nécessaires pour le terrain et émet un avis à ce sujet.
- **Direction d'Hydraulique :**
 - Cette direction inspecte les ressources en eau disponibles et le réseau d'eau sur le terrain. Elle émet également un avis de positionnement concernant l'accès et la distribution de l'eau.
- **Évaluation et Retour :**
 - Chaque direction effectue ses inspections et émet des avis basés sur ses conditions spécifiques. Ces avis peuvent concerner l'acceptation ou le rejet de l'état du terrain.
 - Tous les avis sont retournés à la Direction de l'urbanisme, qui compile les résultats et les communique au client.
- **Décision Finale :**
 - La Direction de l'urbanisme examine tous les avis des différentes directions. Basé sur ces évaluations, elle prend une décision finale concernant la demande du client.
 - Le client est informé de l'état final de sa demande, qu'il s'agisse d'une acceptation ou d'un rejet, accompagné des raisons et des conditions spécifiques des différentes directions impliquées.

Ce processus assure que toutes les inspections nécessaires sont effectuées de manière coordonnée et que le client reçoit une réponse complète et informée concernant l'état du terrain et la faisabilité de son projet.

3.7.2 Identification des utilisateurs

Dans notre système, nous avons identifié deux types d'utilisateurs : le client et l'administrateur système. Chaque utilisateur joue un rôle spécifique.

- **Le client :** Le client soumet son nom, les documents requis, des informations sur le terrain de sa région, sa situation géographique et l'adresse souhaitée à l'administrateur système. Ensuite, la réponse du régime est attendue concernant la décision sur le terrain, soit le rejet, l'acceptation ou l'acceptation avec réserves.
- **Administrateur système :** L'administrateur du système reçoit et enregistre les informations du client, détermine l'emplacement du terrain, puis le système prévisualise et prend une décision à envoyer au client.

3.7.3 Objectifs du Système

- **Automatisation des Processus Administratifs** : Réduire la dépendance aux processus manuels en automatisant la gestion des demandes de permis.
- **Amélioration de la Prise de Décision** : Utiliser l'intelligence artificielle pour analyser des données complexes et fournir des recommandations basées sur des algorithmes avancés.
- **Gestion Flexible et Précise** : Modéliser les entités urbaines et leurs interactions pour une meilleure gestion des projets urbains.
- **Développement Durable** : Promouvoir des stratégies de planification qui soutiennent le développement urbain durable.

3.7.4 Description Fonctionnelle du Système

Le système repose sur une organisation holonique où chaque holon (agent) est à la fois une partie autonome et une composante d'un ensemble plus grand. Les principaux agents du système et leurs fonctions sont les suivants :

- **Agent de traitement des demandes** : Gère la réception et la validation des demandes de permis de construire.
- **Agent d'Analyse** : Analyse les données des demandes en utilisant des techniques de data mining et de machine learning.
- **Agent de recommandation** : Génère des recommandations pour les décideurs en se basant sur les résultats de l'analyse.
- **Agent de décision** : Prend la décision finale concernant l'approbation ou le rejet des demandes et notifie les citoyens.

3.7.5 Interactions entre les Agents holonique

Les agents interagissent de manière structurée pour accomplir les tâches assignées. Les interactions clés incluent :

- **Agent de traitement des demandes** transmet les demandes validées à **Agent d'Analyse**.
- **Agent d'Analyse** envoie les résultats de l'analyse à **Agent de recommandation**.
- **Agent de recommandation** propose des stratégies et envoie ses recommandations à **Agent de décision**.
- **Agent de décision** finalise la décision et en informe **Agent de traitement des demandes**, qui notifie ensuite le client.

3.8 Conception

3.8.1 Méthodologie de Modélisation

Nous utiliserons l'Agent Unified Modeling Language (AUML) pour modéliser les différentes composantes et interactions du système. Les principaux diagrammes AUML seront :

- **Diagramme de Cas d'Utilisation** : Pour identifier les principales interactions entre les agents et les utilisateurs du système.
- **Diagramme de Séquence** : Pour décrire les interactions temporelles entre les agents.
- **Diagramme de Classes** : Pour représenter les agents et leurs relations.

3.8.2 Identification et description des cas d'utilisations

La figure 3.5 diagramme de cas d'utilisation décrit un système d'aide à la décision pour l'urbanisme. Voici une explication simplifiée des cas d'utilisation représentés :

- **Créer compte**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à un utilisateur de créer un nouveau compte dans le système de gestion de l'urbanisme. Il inclut les étapes nécessaires à l'inscription.
 - **Acteurs** : Utilisateur
- **s'authentifier**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de s'authentifier pour accéder au système. Il inclut généralement l'entrée d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe.
 - **Acteurs** : Utilisateur, Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation est étendu par le cas d'utilisation "Créer compte", ce qui signifie qu'après avoir créé un compte, l'utilisateur doit s'authentifier.
- **envoyer les informations**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur d'envoyer les informations nécessaires au système pour traitement.
 - **Acteurs** : Utilisateur
- **consulter les demandes**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'administrateur de consulter et de revoir les demandes soumises par les utilisateurs.
 - **Acteurs** : Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation est étendu par "recevoir et saisir les informations au system".

- **recevoir et saisir les informations au system**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation consiste à recevoir et saisir les informations dans le système.
 - **Acteurs** : Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation inclut le cas d'utilisation "consulter les demandes", ce qui signifie que la consultation des demandes implique de recevoir et de saisir les informations.

- **Déterminer l'emplacement du chemin**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'administrateur de déterminer l'emplacement d'un chemin dans le cadre du processus de planification urbaine.
 - **Acteurs** : Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation inclut "recevoir et saisir les informations au system".

- **Traiter les informations**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation consiste à traiter les informations reçues des utilisateurs.
 - **Acteurs** : Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation inclut "Déterminer l'emplacement du chemin".

- **Faire une décision intelligemment**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'administrateur de prendre des décisions éclairées en se basant sur les informations traitées.
 - **Acteurs** : Administrateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation inclut "Traiter les informations".

- **Envoyer la décision**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation consiste à envoyer la décision finale à l'utilisateur.
 - **Acteurs** : Administrateur

- **Consulter la décision**
 - **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de consulter la décision prise par l'administrateur.
 - **Acteurs** : Utilisateur
 - **Relations** : Ce cas d'utilisation est étendu par "faire appel de la décision".

- **faire appel de la décision**

- **Description** : Ce cas d'utilisation permet à l'utilisateur de faire appel de la décision prise par l'administrateur.
- **Acteurs** : Utilisateur

Ce diagramme montre le flux de travail principal et les interactions entre l'utilisateur et l'administrateur système pour prendre des décisions relatives à l'urbanisme.

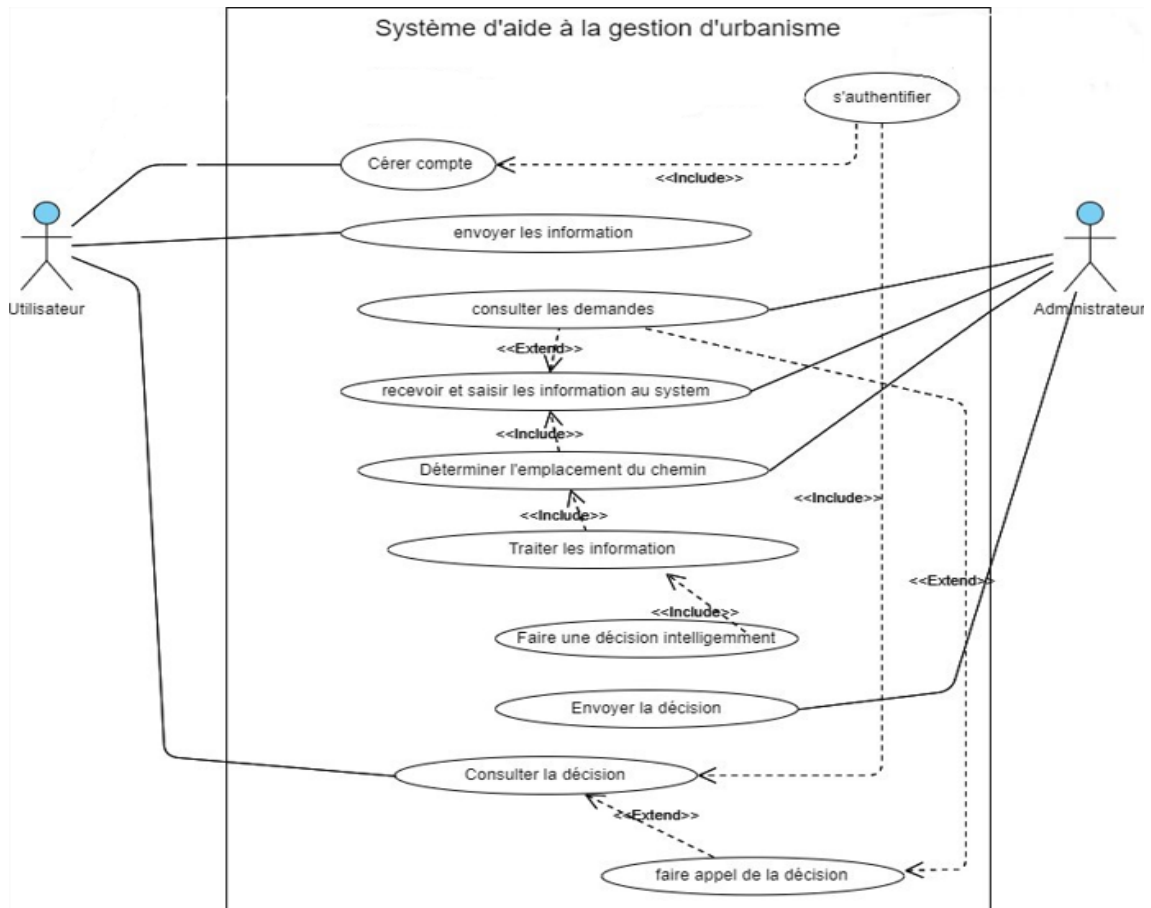


Figure 3.5: Le diagramme de cas d'utilisation.

3.8.3 Description le diagramme de séquence système

Ce diagramme de séquence système illustre le déroulement des processus dans notre système.

3.8.3.1 Diagramme de séquence « Créer compte »

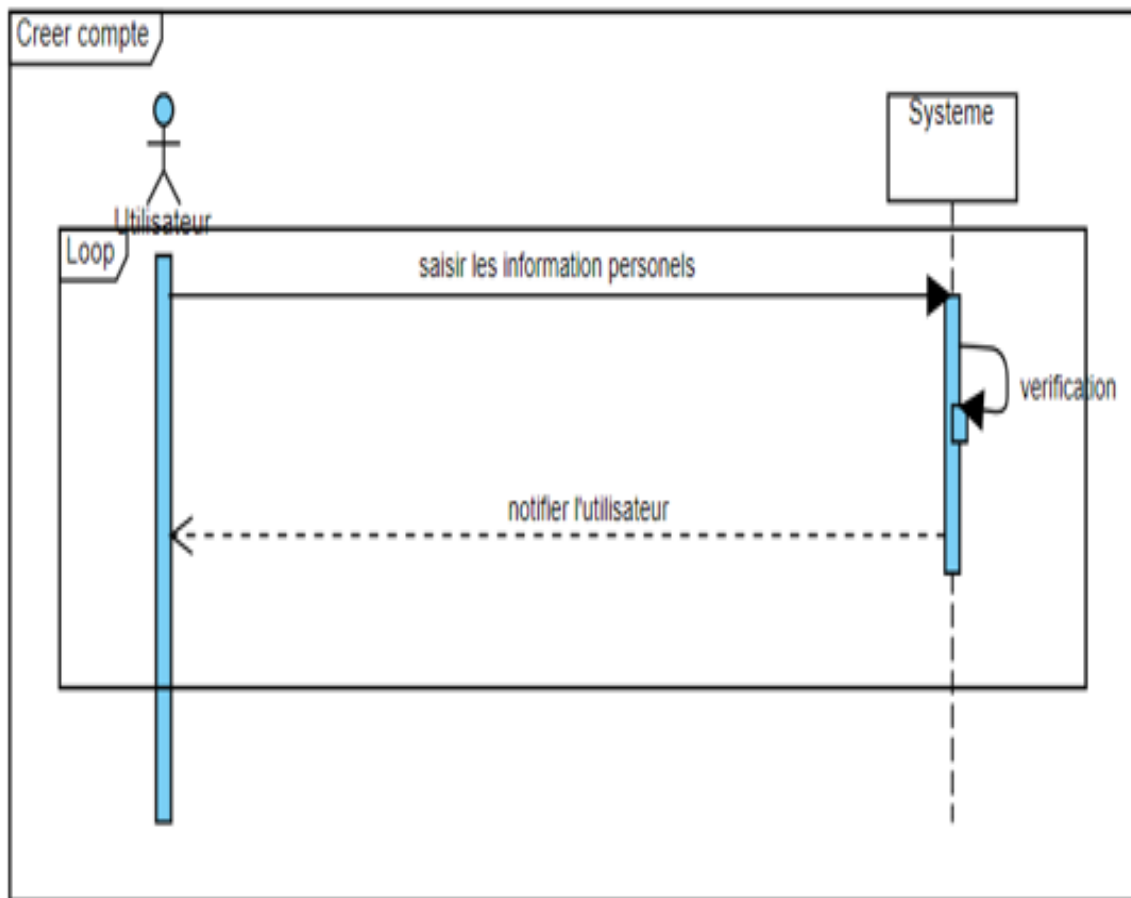


Figure 3.6: Diagramme de séquence « Créer compte»

3.8.3.2 Diagramme de séquence « Envoyer les information»

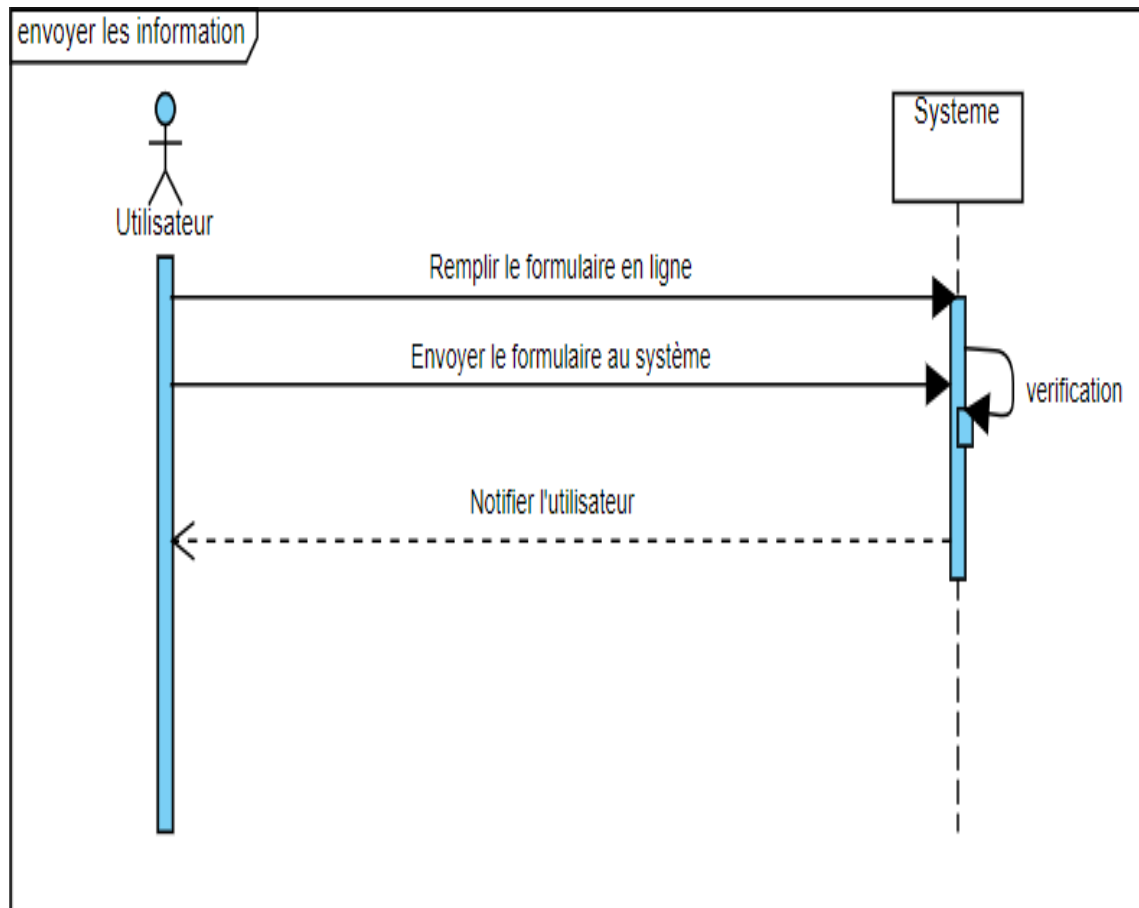


Figure 3.7: Diagramme de séquence « Envoyer les informations»

3.8.3.3 Diagramme de séquence « Consulter Les Demandes et Recevoir les informations au système »

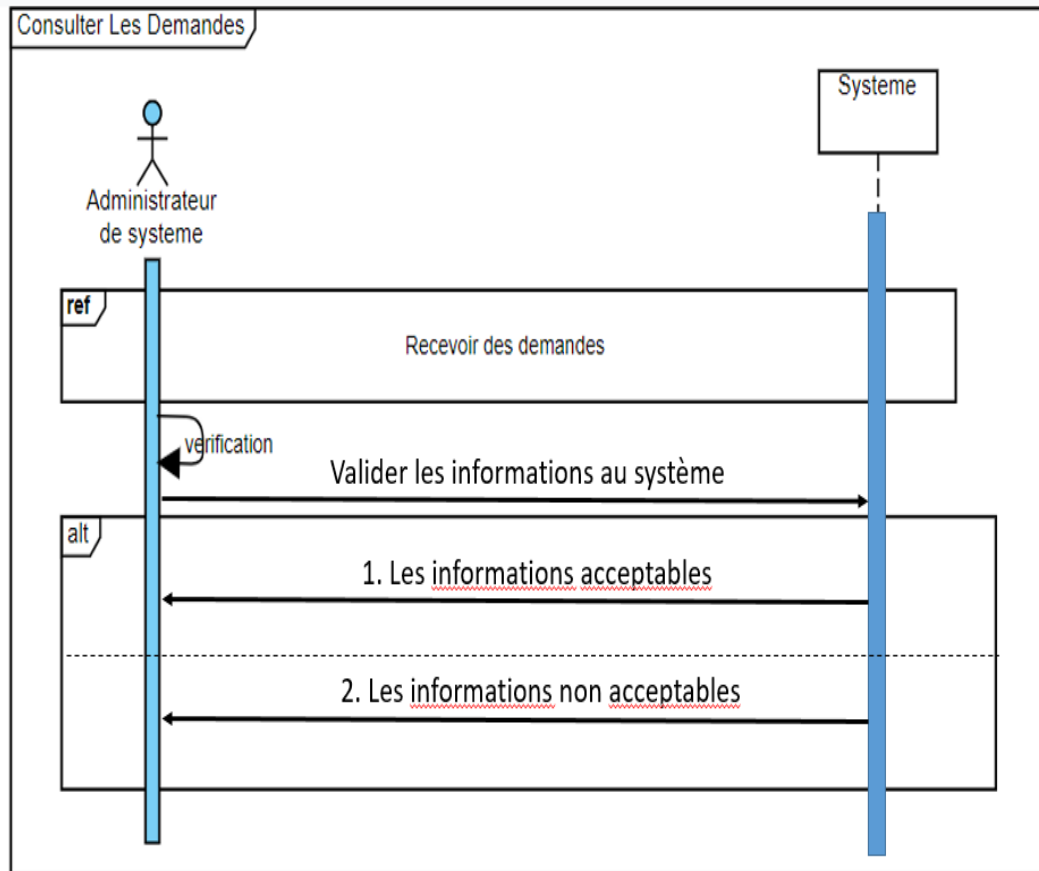


Figure 3.8: . Diagramme de séquence « Consulter Les Demandes et Recevoir les informations au système »

3.8.3.4 Diagramme de séquence « Faire la decision»

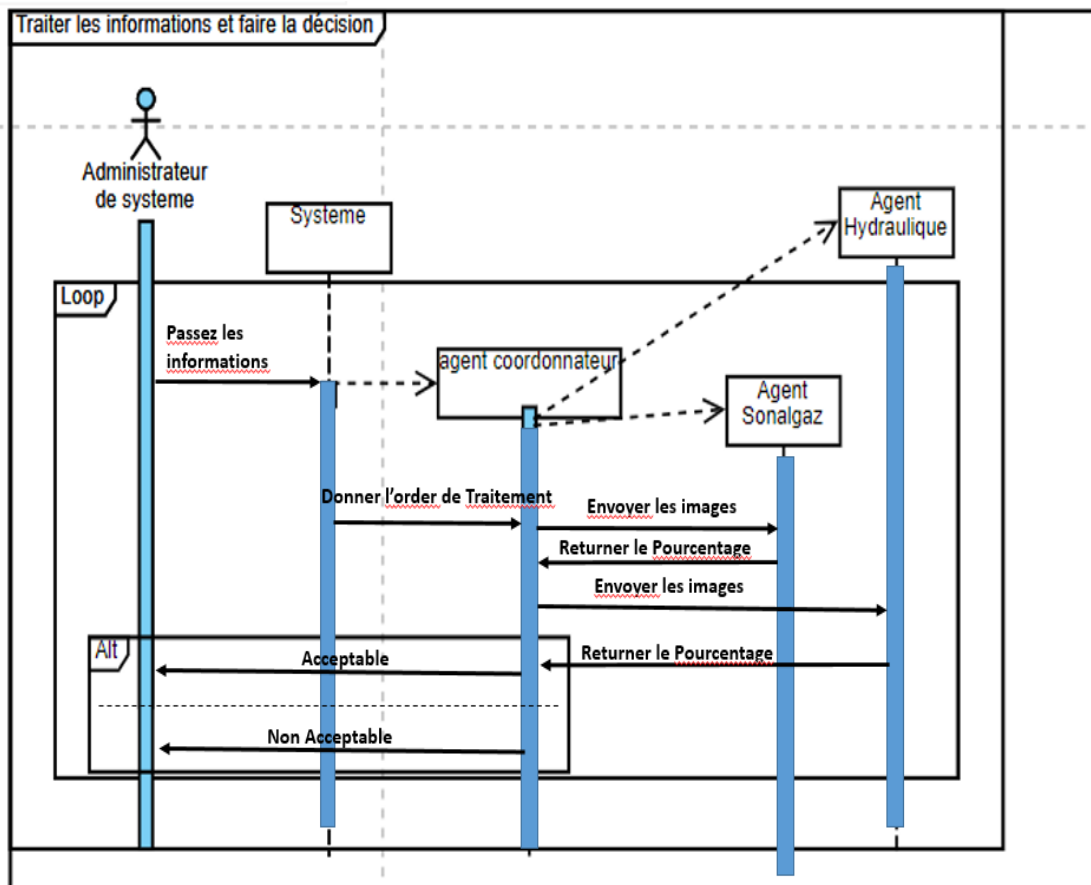


Figure 3.9: Diagramme de séquence «Traiter les informations et Faire la decision»

3.8.3.5 Diagramme de séquence « Envoyer et Consulter la decision»

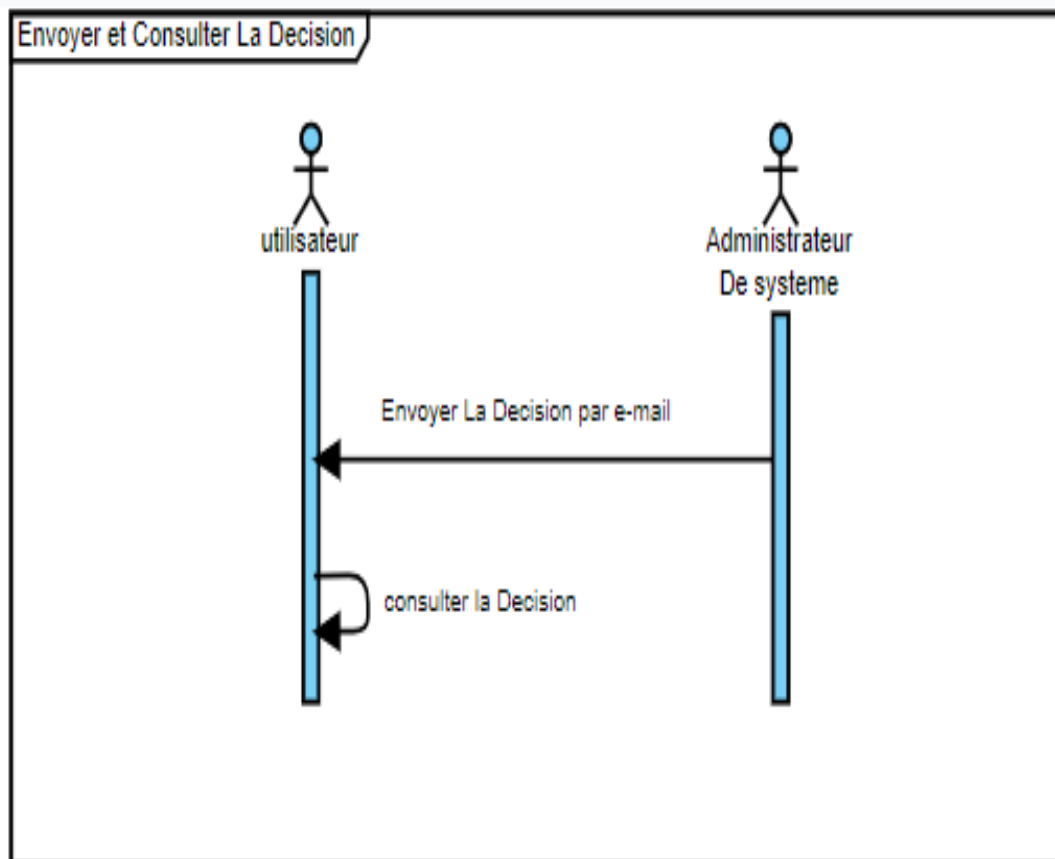


Figure 3.10: Diagramme de séquence « Envoyer et Consulter la decision»

3.8.4 Description le diagramme des classes

Ce diagramme de classes 3.11 représente les relations entre différentes entités dans un système d'administration électronique pour la gestion des projets urbains. Voici une explication simplifiée et détaillée de chaque classe et de leurs interactions :

3.8.4.1 Classes et Attributs

- **Utilisateur**

- **Attributs :**

- * nom: String
 - * email: String

- **Méthodes :**

- * `soumettreInformations()`: L'utilisateur soumet les informations du terrain.
 - * `recevoirDecision()`: L'utilisateur reçoit la décision finale.

- **InformationTerrain**

- **Attributs :**
 - * `id`: `int`: Identifiant unique de l'information.
 - * `coordonneesGPS`: `String`: Coordonnées GPS du terrain.
 - * `mesuresMetriques`: `String`: Mesures métriques du terrain.
 - * `erreurs`: `Boolean`: Indique si des erreurs sont présentes.
- **Méthodes :**
 - * `saisirInformations()`: Permet de saisir les informations du terrain.
 - * `enregistrerInformations()`: Enregistre les informations saisies.
 - * `verifierErreurs()`: Vérifie la présence d'erreurs dans les informations.

- **AdministrateurSysteme**

- **Attributs :**
 - * `nom`: `String`
- **Méthodes :**
 - * `validerInformations()`: Valide les informations soumises par l'utilisateur.

- **Decision**

- **Attributs :**
 - * `statut`: `String`: Statut de la décision (e.g., approuvé, rejeté).
 - * `commentaires`: `String`: Commentaires associés à la décision.
- **Méthodes :**
 - * `prendreDecision()`: Prend une décision basée sur les informations.
 - * `envoyerDecision()`: Envoie la décision à l'utilisateur.

- **SystemeAideDecision**

- **Attributs :**
 - * `donnees`: `List<InformationTerrain>`: Liste des informations terrain.
- **Méthodes :**
 - * `genererDonnees()`: Génère les données nécessaires pour la décision.
 - * `traiterInformations()`: Traite les informations terrain.
 - * `prendreDecisionIntelligence()`: Prend une décision en utilisant les données traitées.

3.8.4.2 Relations

- **Utilisateur -> InformationTerrain** : Un utilisateur soumet une ou plusieurs informations terrain.
- **InformationTerrain -> AdministrateurSysteme** : Un administrateur valide les informations terrain soumises.

- **InformationTerrain -> SystemeAideDecision** : Le système d'aide à la décision utilise les informations terrain pour générer une décision.
- **SystemeAideDecision -> Decision** : Le système d'aide à la décision génère une décision.
- **Decision -> Utilisateur** : La décision finale est envoyée à l'utilisateur.

3.8.4.3 Explication des interactions

- L'Utilisateur saisit et soumet des InformationsTerrain via la méthode `soumettreInformations`.
- Les InformationsTerrain sont ensuite validées par un AdministrateurSysteme.
- Le SystemeAideDecision utilise les InformationsTerrain validées pour traiter les données et prendre une décision intelligente.
- Une Decision est prise et envoyée à l'Utilisateur.

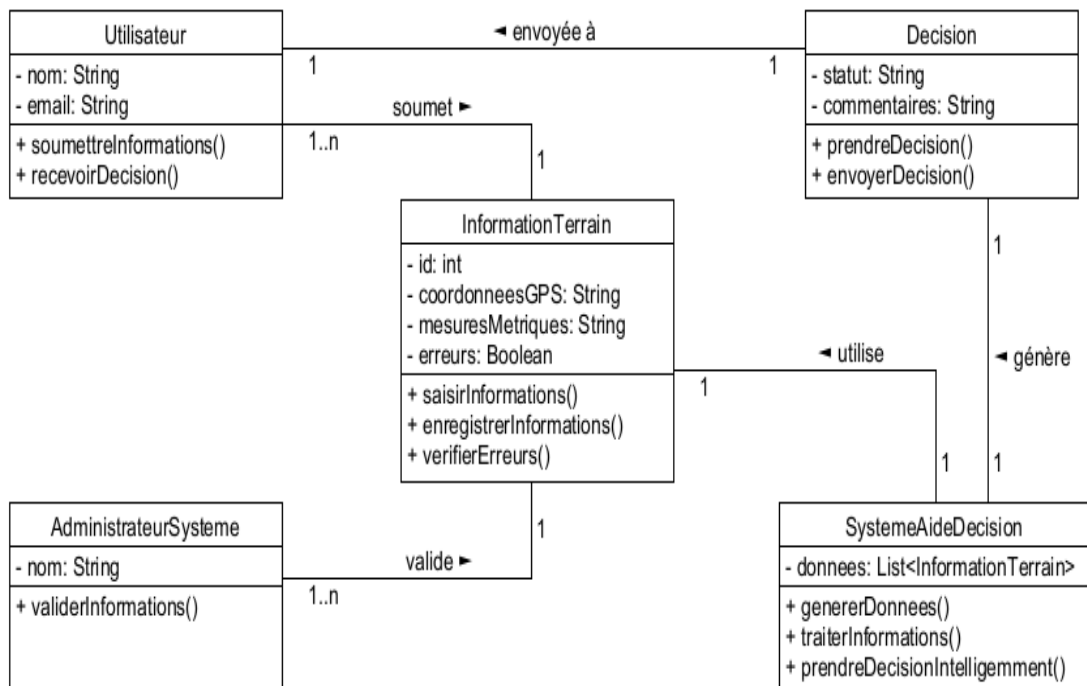


Figure 3.11: Le diagramme des classes.

En résumé, ce diagramme décrit comment les utilisateurs interagissent avec le système pour soumettre des informations sur le terrain, comment ces informations sont traitées et validées par le système et les administrateurs, et comment une décision finale est générée et communiquée à l'utilisateur.

3.8.5 Description le diagramme de classes des Agents

Voici le diagramme de classes des agents de notre système. Ce diagramme montre trois classes d'agents qui héritent de la classe principale "Agent".

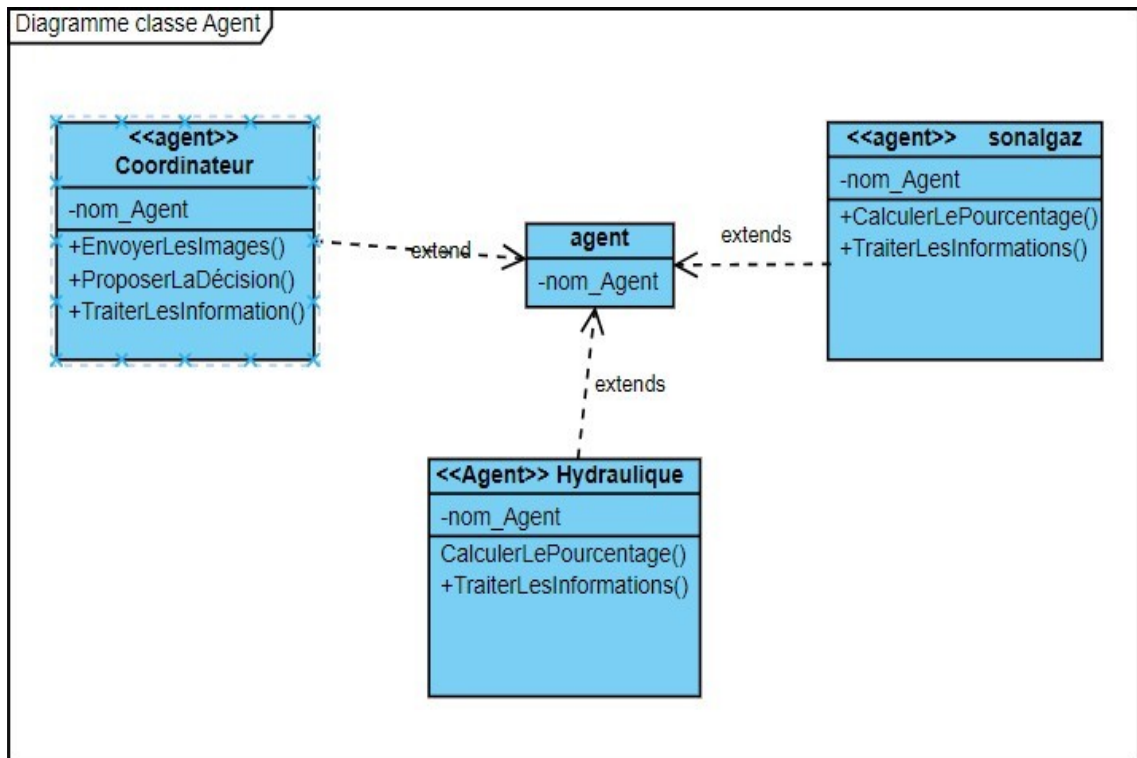


Figure 3.12: le diagramme de classes des agents.

3.9 Modélisation des décisions administratives via des réseaux Bayésiens

3.9.1 Réseau Bayésien et décision dans l'incertain

La décision dans le domaine de l'immobilier prend généralement un temps considérable pouvant aller jusqu'à une année puisqu'il s'agit d'une procédure complexe impliquant beaucoup d'administrations différentes. La prévention d'une telle décision peut aider le constructeur à améliorer son dossier ce qui permet d'accélérer la procédure d'admission. Cependant, nous ne disposons pas d'informations précises sur lesquelles se basent les décisions prises par les différentes administrations. Pour cela, nous optons pour une approche probabiliste permettant de prédire les décisions futures en acceptant un certain degré d'incertitude.

Il paraît que les réseaux Bayésiens (Bayesian Belief Network) sont la solution la plus adéquate. En effet, ils permettent de modéliser les concepts clés du système et la relation entre eux ainsi que les probabilités de différents événements (décisions) pour chaque administration.

Les réseaux Bayésiens (BN) sont des modèles graphiques permettant de raisonner sous incertitude dans lesquels les nœuds représentent des variables (discrètes ou continues) et les arcs représentent des connexions directes entre elles. Ces arcs représentent souvent des liens causals.

3.9.1.1 Construction du réseau Bayésien

L'un des avantages majeurs dans l'utilisation des réseaux Bayésiens est la simplicité de construction. Dans le cas de processus d'admission du projet, nous présentons chacune d'administration par un nœud. Notre modèle se compose de 12 nœuds. Par exemple, le nœud LG représente la variable aléatoire ligne de gaz (voir Figure 3.13). Chaque variable aléatoire peut prendre différentes valeurs, par exemple, la variable ligne de gaz LG peut prendre trois valeurs : acceptés, rejetés ou réserves (presque le cas pour toutes les autres variables). Une probabilité est attribuée à chacune des valeurs. Par exemple, la probabilité attribuée à chacune des valeurs pour la variable LG est estimée selon le degré d'intersection de la ligne de gaz avec l'endroit du projet.

Les arcs dans le réseau Bayésien représentent les dépendances conditionnelles entre les variables. Par exemple, la variable S (Sonalgaz) dépend des deux variables LG (ligne de gaz) et PE (Poteau électricité). Donc la décision de l'administration Sonalgaz dépend de celles prises par les deux services techniques LG et PE. Pour cela, la distribution probabiliste de la décision de Sonalgaz est représentée par un tableau de dépendance conditionnelle (voir Tableau 3.3).

La Figure 3.13 représente le réseau Bayésien pour la prise de décision concernant la construction des projets urbains.

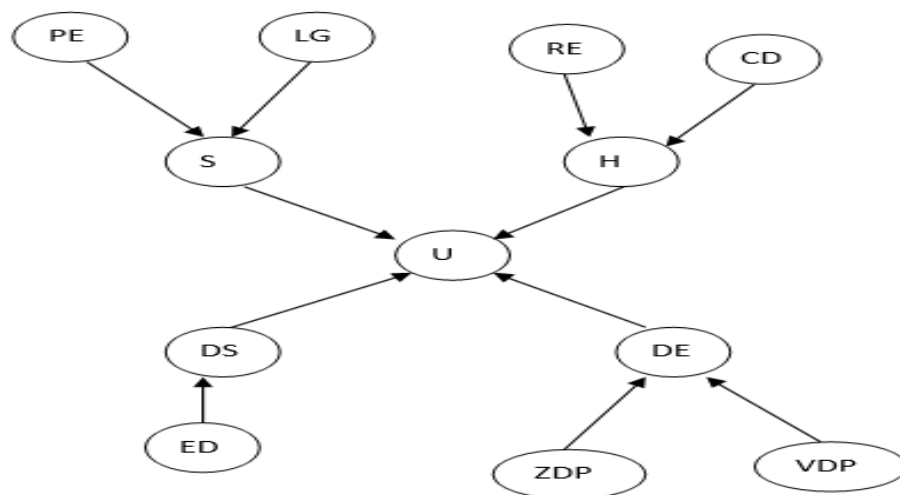


Figure 3.13: Réseau Bayésien pour la procédure d'admission dans la construction des projets urbains

3.9.1.2 Construction des tableaux des probabilités conditionnelles

Les tableaux des probabilités conditionnelles sont construits au début basant uniquement sur les lois administratives et rectifiés par la suite en exploitant les données historiques (les caractéristiques des projets acceptés). En se basant sur la loi administrative, on peut avoir les tableaux de probabilités conditionnelles suivants.

Tableau de probabilité LG : Comme mentionné précédemment, la distribution probabiliste de cette variable aléatoire dépend de la surface occupée par la ligne de gaz par rapport à la surface totale du projet et pour cela le tableau de distribution probabiliste sera comme suit :

Surface occupée	P(LG=ACC)	P(LG=REJ)	P(LG=RES)
0-2%	0.9	0.01	0.09
2-10%	0.2	0.3	0.5
≥10%	0.01	0.9	0.09

Table 3.2: Tableau de distribution probabiliste de la variable LG

Le tableau indique que la variable aléatoire LG dépend de la surface occupée par la ligne de gaz par rapport à la surface totale du projet. Par exemple, si la distance est inférieure à 2%, le projet sera accepté à 90% tandis que si la surface occupée est supérieure à 10%, le taux de rejet du projet est très élevé (90%).

Le tableau de PE est construit de la même manière, considérant la distance au poteau haute tension. Le tableau de probabilité de Sonalgaz dépend de ceux de LG et PE. Ce tableau prend comme entrée les différentes combinaisons possibles des valeurs que peuvent prendre les variables (LG, PE) comme suit :

LG	PE	P(S=ACC LG, PE)	P(S=REJ LG, PE)	P(S=RES LG, PE)
ACC	ACC	0.9	0.01	0.09
ACC	REJ	0.3	0.5	0.2
ACC	RES	0.4	0.4	0.2
REJ	ACC	0.2	0.5	0.3
REJ	REJ	0.01	0.9	0.09
REJ	RES	0.01	0.8	0.19
RES	ACC	0.2	0.2	0.6
RES	REJ	0.01	0.9	0.09
RES	RES	0.1	0.09	0.9

Table 3.3: Tableau de probabilité conditionnelle de la variable S

Les probabilités des valeurs ACC (Accepté), REJ (Rejeté) ou RES (Réserve) pour la variable aléatoire S dépendent directement des deux valeurs des variables (LG, PE). Par exemple, si les deux variables prennent la valeur acceptée, la probabilité que la variable aléatoire S prenne la valeur acceptée est très élevée (90%) tandis que si les deux avis techniques sont négatifs, S prend la valeur rejetée avec une probabilité très élevée (90%).

Le nombre d'entrées dans un tableau est calculé comme suit :

$$NBR(VE) = INST(v_1)INST(v_2) \dots INST(V_n)$$

où :

- NBR(VE) : le nombre d'entrées dans le tableau de probabilité conditionnelle de la variable VE,
- INST(Vi) : le nombre d'instances, c'est-à-dire les valeurs que peut prendre le i-ème parent v_i de la variable aléatoire VE,
- N : le nombre de parents de la variable aléatoire VE.

Par exemple, la variable S a deux parents LG et PE (voir Figure 3.13), chacun d'eux peut prendre trois valeurs possibles : accepté, rejeté ou accepté avec réserve.

Par conséquent, le nombre d'entrées du tableau de S est 9. Concernant le tableau U, le tableau urbain sur lequel nous nous basons pour prendre la décision finale, le nombre de parents de la variable (U) est quatre : S, H, DS et DE (voir Figure 3.13). Chacun peut prendre les trois valeurs : accepté, rejeté ou accepté avec réserve. Donc, il contient 81 entrées.

3.9.1.3 L'apprentissage du réseau Bayésien

Comme mentionné précédemment, les valeurs données pour chacune des entrées de chaque tableau sont initialement calculées en se basant uniquement sur les lois administratives et les avis des services techniques. Par exemple, si les deux services techniques LG et PE acceptent le projet, il y a une grande chance que l'avis de S soit favorable. Cependant, ces valeurs seront mises à jour avec le temps en fonction des avis effectués sur les projets traités. Donc, le système effectue une mise à jour d'apprentissage incrémentale et évolutive. Pour cela, nous disposons d'un agent intelligent pour automatiser la tâche de création et de mise à jour des tableaux de probabilité conditionnelles.

3.9.1.4 Le raisonnement dans le réseau Bayésien

Le raisonnement est un concept clé dans les réseaux Bayésiens, parce qu'il permet de déduire des nouvelles connaissances à partir des celle déjà existant. Dans notre cas, il joue un rôle intrinsèque parce qu'il permet d'avoir des avis sur la décision administrative même quelques avis sont manquants. Ce qui permet au constructeur de commencer à traiter les réserves ou à la rigueur préparer une autre soumission, avant que la décision administrative soit prise. Ce qui permet d'accélérer la procédure d'admission et diminue, par la suite, la durée de réalisation du projet.

Il existe dans la littérature, deux catégories d'algorithmes qui permettent de faire l'inférence sur les réseaux Bayésiens, les algorithmes exactes et les algorithmes approximatifs.

L'algorithme par élimination de variable est l'un des algorithmes les plus puissants pour effectuer le raisonnement dans les réseaux Bayésiens. L'algorithme a été implémenté déjà dans les différentes plateformes de gestion des réseaux Bayésiens notamment, pgmpy, un package Python permettant de travailler avec les réseaux Bayésiens [78].

Pour cela, nous adoptons cet algorithme pour faire le raisonnement dans notre réseau. Notamment, pour estimer la distribution de U, ce qui permet d'avoir une idée claire sur la probabilité d'accepter, rejeter ou accepter avec réserve du projet. Ce qui permet de régler les anomalies dans le dossier et augmenter, par la suite, les chances d'avoir un avis favorable pour sa construction.

3.9.1.5 L'extensibilité du réseau

L'ajout de quelques critères tel que, l'utilité et l'urgence du projet et l'inclusion même des directions complète comme Transport, agriculture et la gestion des catastrophes, ce fait d'une manière directe en rajoutant le nœud et son tableau de probabilité, et en modifiant juste les tableaux de probabilité conditionnel de ses fils. Par exemple, l'ajout de l'administration agriculture, qui permet de vérifier c'est la fauchette (l'intersection avec le terrain agricole) n'est pas dépasser un certain seuil

par le constructeur, nécessite seulement l'ajout de ce nœud et son table de probabilité (voir Figure 3.14). Notons que le tableau de probabilité conditionnel de la direction de urbanisme (U) doit être modifié pour inclure la nouvelle variables et toutes ses valeurs possibles. L'ajout de cette variable au tableau (U) augmente le nombre de ses entrées à 243 (voir la formule de la Section 3.9.1.1). Concernant les grands projets qui nécessite les avis d'un nombre énorme d'administration tel que les grande usine et les hôpitaux universitaire, le raisonnement exacte devient éventuellement coûteux en en terme de temps, ce qui mettre en cause l'efficacité du système. Le basculement vers le raisonnement approximative notamment l'algorithme MCMC [79], peut palier le problème, malgré il retourne des valeurs approximatives des probabilités.

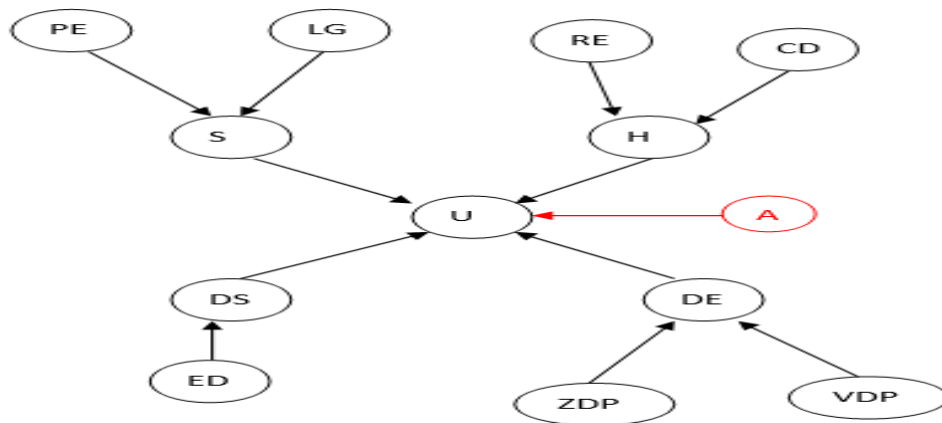


Figure 3.14: Réseau Bayésien après l'ajout du nœud A (agriculture)

3.9.2 L'arbre de décision et l'avis réel

La décision prise par le réseau Bayésien n'est qu'une prévention de la décision réel qui subi a une procédure complexe qui contient un nombre très élevé des facteurs hystérogène et parfois même subjectifs. Cependant, on peut automatiser la prise de décision en utilisant un outil adéquat tel que l'arbre de décision.

Un arbre de décision est un moyen de classer visuellement et logiquement les informations et de prendre des décisions. Cette méthode permet grâce à un simple système de calcul de trouver quel est le choix le plus viable.

Dans notre cas on peut classer les administrations selon une échelle d'importance logique, en mettant en avant les décisions les plus critiques, comme celle de sonalgaz et hydraulique. Cela permet d'avoir un ordre hiérarchique, sous forme d'un arbre de décision, des avis administratifs. La décision se faite, par la suite, en parcourant l'arbre prenant guidant par les avis prise par des différentes administrations.

3.9.2.1 La construction de l'arbre de décision

Comme nous avons mentionné précédemment, l'arbre de décision se faite en classifiant les administrations selon leur importance, mettant en avant celle les plus décisifs, notamment les administrations Sonalgaz et Hydraulique, puis en ajoutant graduellement les autre administrations tel que, direction des équipements et de la santé, selon leurs critiqualités, jusqu'à est-ce que l'arbre soit complet.

Suivant ce processus, l'arbre de décision de notre système sera comme suit (voir Figure 3.15).

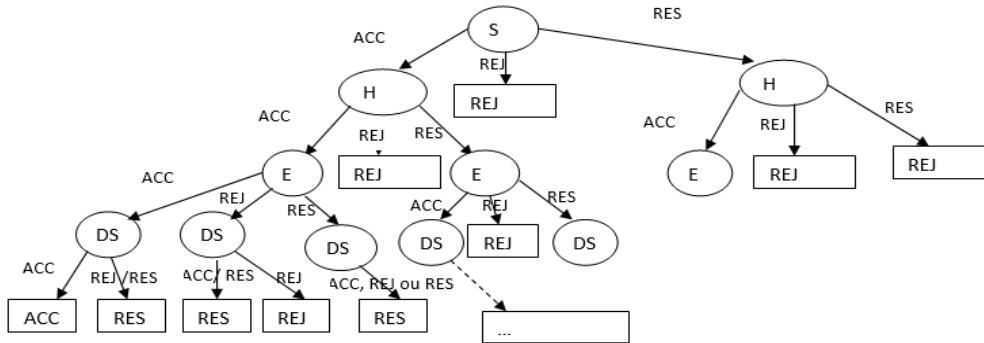


Figure 3.15: L'arbre de décision pour la construction des projets urbains

La lecture de l'arbre de décision se fait comme suit, par exemple, si tous les administrations acceptent, alors on suit le chemin le plus à gauche et la décision finale sera acceptée. En revanche, si sonalgaz ou hydraulique rejettent, donc la décision l'est aussi. L'arbre de décision présente toutes les combinaisons possibles des avis de différentes administrations.

Cet arbre n'est qu'une version initiale développé en se basant sur un ordre logique de l'importance des différentes administrations. Cependant, cet arbre peut être modifié avec le temps, prenant en considération les décisions faites sur les différents projets traités. Pour cela, nous disposons un agent intelligent pour la construction et la modification de l'arbre de décision si nécessaire, jusqu'à ce qu'on avoir une version stable de l'arbre, sur laquelle on peut se baser pour automatiser la procédure de prise de décisions sur les projets urbains.

3.9.2.2 Les avis local et les sous arbre de décision:

L'arbre de la Figure 3.15 est l'arbre général de décision qui considère l'avis finale de chaque administration. Cependant, l'avis de chaque administration est effectuée en fonction des différents avis de ses départements et services.

Pour cela, on peut disposer pour chaque administration un sous-arbre de décision sur laquelle elle se base pour automatiser la procédure de prendre de décision locale. Par exemple, l'administration de Sonalgaz qui contient les deux services LG et PE peut construire sa propre sous-arbre de décision comme suit (voir Figure 3.16).

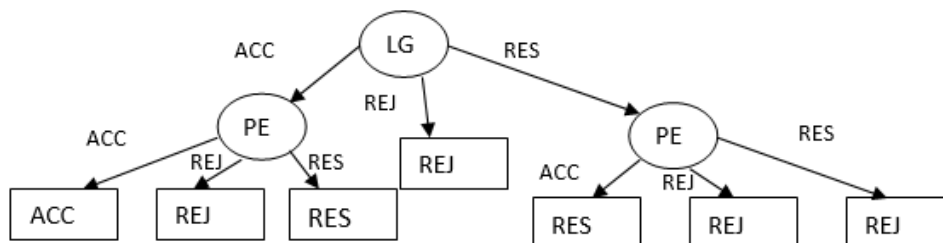


Figure 3.16: Sous-arbre de décision pour l'administration Sonalgaz.

3.10 Avantages du Système

- **Efficacité** : Accélère les processus administratifs et réduit les erreurs humaines.
- **Précision** : Utilise des algorithmes avancés pour des analyses et des recommandations précises.
- **Flexibilité** : L'organisation holonique permet une gestion agile et adaptable.
- **Développement Durable** : Soutient des stratégies de planification urbaine durables et innovantes.

3.11 Conclusion

Le développement de ce système intelligent de soutien à la décision vise à révolutionner la planification urbaine en Algérie. En automatisant les processus et en utilisant des technologies avancées, ce projet promet de surmonter les limitations des méthodes traditionnelles et de favoriser un développement urbain durable et efficient.

Chapitre 4

Expérimentation, Evaluation et Explications sur L'application et L'outil Développé

4.1 Introduction

Ce chapitre présente l'expérimentation, l'évaluation et les explications sur l'application et l'outil développé. Nous allons détailler les différents langages et outils de développement utilisés, comme Python et Jupyter Notebook, ainsi que les bibliothèques spécifiques comme Tkinter et Pillow. Nous montrerons également les interfaces principales du système, en mettant en évidence la partie de récupération des dossiers E-administratif et la partie de mise en œuvre.

Ensuite, nous expliquerons les résultats obtenus à partir de l'arbre de décision et des modèles bayésiens, en utilisant des exemples concrets pour illustrer leur utilisation. Nous analyserons comment ces résultats aident à prendre des décisions administratives plus efficaces et transparentes. Ce chapitre vise à offrir une compréhension claire et simple du fonctionnement de notre application et de ses avantages.

4.2 Langages et outils de développement utilisé

- **Système d'exploitation utilisé :**

Microsoft Windows 10 Professionnel Éducation

Version 10.0.19045 Build 19045

Autre description du système d'exploitation : Non disponible

Fabricant du système d'exploitation : Microsoft Corporation

Ordinateur : DESKTOP-HJIGGFB

Fabricant : HP

Modèle : HP 348 G4

Type : PC à base de x64

Référence (SKU) du système : 2YV87PA#AB4

Processeur : Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz, 2712 MHz, 2 cœur(s), 4 processeur(s) logique(s)

Mémoire physique (RAM) installée : 8.00 Go

Mémoire virtuelle totale : 9.51 Go

- **Langage de programmation utilisé et son adéquation :**

Le langage de programmation utilisé dans ce code est **Python**, un langage populaire pour les applications de bureau, notamment pour des interfaces graphiques.

Il utilise la bibliothèque Tkinter pour créer l'interface utilisateur, ce qui est une pratique courante pour les applications simples et légères en Python. Bien que Python ne soit pas le plus performant pour les applications nécessitant une haute performance en temps réel, sa simplicité, sa flexibilité et la richesse de ses bibliothèques le rendent très approprié pour des applications de traitement d'images basiques et des projets pédagogiques ou de prototypage rapide.

- **Jupyter Notebook :**

Jupyter Notebook est une application web open-source qui permet de créer et de partager des documents contenant du code en direct, des équations, des visualisations et du texte narratif. Il est largement utilisé dans les domaines de la science des données, de l'analyse statistique, du machine learning, et de l'enseignement en raison de sa flexibilité et de son interactivité.

Voici quelques aspects clés de Jupyter Notebook :

- **Interface interactive :** Jupyter Notebook offre une interface basée sur le navigateur où les utilisateurs peuvent saisir du code, l'exécuter et voir les résultats immédiatement dans le même document. Cela inclut non seulement le code, mais aussi les images, les tableaux, et même des graphiques interactifs.
- **Support de multiples langages de programmation :** Bien que initialement conçu pour Python (Jupyter est un dérivé de "Julia", "Python", et "R"), il prend en charge de nombreux autres langages de programmation tels que R, Julia, Scala, et beaucoup d'autres grâce à l'utilisation de "kernels" spécifiques.
- **Intégration de données :** Les utilisateurs peuvent intégrer des données directement dans les documents, permettant une analyse et une visualisation en temps réel. Cela facilite la création de rapports interactifs et la présentation de résultats reproductibles.
- **Partage et collaboration :** Les notebooks peuvent être partagés avec d'autres, permettant la collaboration sur des projets. Ils peuvent être exportés dans une variété de formats, tels que HTML, PDF, et même être transformés en présentations interactives.
- **Éducation et recherche :** Jupyter est largement utilisé dans l'éducation pour enseigner la programmation, les mathématiques, la science des données, et plus encore. Il est également utilisé pour des recherches académiques pour assurer la reproductibilité des résultats.

- **Composants de Jupyter Notebook :**

- **Notebook :** Le document où les utilisateurs peuvent écrire du code, exécuter des analyses, et ajouter des annotations. Un notebook est composé de cellules, qui peuvent être de type code, markdown (pour le texte formaté), ou brut.

- **Kernel** : Le kernel est un moteur d'exécution du code écrit dans le notebook. Chaque notebook est associé à un kernel dans un langage de programmation spécifique, qui exécute le code contenu dans les cellules.
- **Dashboard** : L'interface où tous les notebooks sont gérés, permettant aux utilisateurs de créer, de visualiser ou de fermer les notebooks actuellement ouverts.

- **Utilisation :**

- Pour utiliser Jupyter Notebook, les utilisateurs doivent installer Python et Jupyter sur leur ordinateur (habituellement via Anaconda, qui est une distribution Python qui inclut Jupyter) ou utiliser des services en ligne qui offrent des environnements Jupyter prêts à l'emploi, tels que Google Colab ou Microsoft Azure Notebooks.
- Jupyter Notebook est particulièrement apprécié pour son approche modulaire et interactive, qui permet une exploration et une visualisation des données en temps réel, une documentation complète des étapes d'analyse, et la création de workflows reproductibles.

- **Bibliothèques utilisées :**

- **Tkinter** : C'est une bibliothèque standard de Python pour créer des interfaces graphiques. Elle est intégrée avec Python, ce qui la rend facile à utiliser pour des applications simples. Elle permet de créer des fenêtres, des boutons, des textes, des entrées utilisateur et d'autres éléments de GUI de manière assez simple.
- **PIL (Pillow)** : Python Imaging Library (maintenant connue sous le nom de Pillow) est une bibliothèque puissante pour ouvrir, manipuler et sauvegarder différents formats de fichiers image. Dans ce programme, elle est utilisée pour charger, redimensionner, découper et traiter les images.
- **filedialog** et **messagebox** (sous-modules de tkinter) : **filedialog** est utilisé pour ouvrir une boîte de dialogue permettant à l'utilisateur de choisir un fichier, et **messagebox** fournit des boîtes de dialogue standard pour afficher des messages d'erreur ou d'information.
- **pgmpy** (Probabilistic Graphical Models using Python) : est une bibliothèque Python open source développée pour faciliter la création, la manipulation et l'inférence de modèles graphiques probabilistes (PGM). Ces modèles sont utiles pour représenter des distributions complexes de manière compacte et intuitive via des graphiques et sont largement utilisés dans divers domaines tels que la bio-informatique, l'apprentissage automatique, le traitement du langage naturel, etc.

4.3 Les interfaces principales du système

En partageant le travail en deux parties :

La Partie de récupération des dossiers E-administratif:

Demande de Permis de Construire

Veuillez remplir ce formulaire pour soumettre votre demande de permis de construire. Assurez-vous de télécharger tous les fichiers requis.

Nom du Demandeur:

Localisation du Projet:

Surface du Projet (en m²):

Coordonnée X1:

Coordonnée Y1:

Coordonnée X2:

Coordonnée Y2:

Télécharger les fichiers PDF:

Réseau Bayésien SYNTHÈSE ECRITE.pdf
Reseau Bayésien SYNTHÈSE ECRITE.pdf

Mémoire - Nassira Zemleche.pdf
Mémoire - Nassira Zemleche.pdf

tutorial_arbre_revue_modulad_33.pdf
tutorial_arbre_revue_modulad_33.pdf

Figure 4.1: Demande de Permis de Construire

Pour saisir les coordonnées GPS latitude et longitude du point de saisie (X1,Y1,X2,Y2), il faut faire cela :

- **Conversion Degrés, Minutes, Secondes (DMS) à Degrés Décimaux (DD)** : Les coordonnées GPS sont souvent données en degrés, minutes, secondes. Pour les convertir en degrés décimaux, qui sont plus simples à utiliser dans des calculs, on utilise la formule suivante :

$$DD = \text{degrés} + \left(\frac{\text{minutes}}{60} + \frac{\text{secondes}}{3600} \right)$$

Cette conversion est souvent nécessaire pour l'utilisation de coordonnées dans des applications informatiques ou des APIs qui requièrent des formats décimaux.

La partie mise en œuvre:

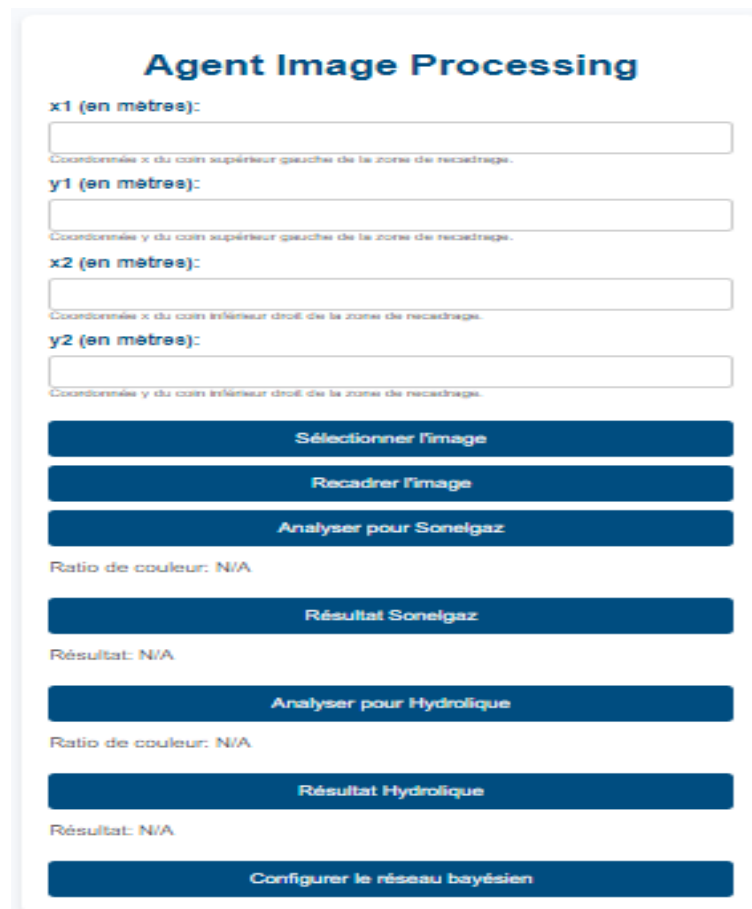


Figure 4.2: Agent Image Processing

Le script commence par importer les modules nécessaires et définir quelques fonctions globales pour gérer les images.

- **open_image()**: Cette fonction permet à l'utilisateur de sélectionner une image depuis leur système de fichiers. L'image sélectionnée est ensuite ouverte et stockée dans une variable globale pour une utilisation ultérieure. Le PDAU est un document établi conformément aux dispositions législatives visant la production d'un outil de planification spatiale et de gestion de l'espace urbain et réglementaire, dans le respect des instruments d'Aménagement du Territoire des communes concernées en tenant compte des schémas d'aménagement du territoire en vigueur et de développement régional. Il vise la définition des termes de référence des plans d'occupation des sols.
- **update_image()**: Redimensionne l'image pour l'affichage dans l'interface graphique et actualise l'affichage dans le label approprié.
- **crop_image()**: Permet à l'utilisateur de saisir des coordonnées pour découper l'image. La région découpée est ensuite redimensionnée et affichée.
- **display_image_size()**: Affiche la taille de l'image chargée à l'aide d'une boîte de dialogue.

Chapitre4 : Expérimentation, Evaluation et Explications sur L'application et L'outil Développé

- **analyze_and_display()**: Analyse la couleur spécifiée dans l'image découpée, calcule le pourcentage de pixels correspondant à cette couleur et affiche l'image avec les zones non correspondantes en blanc.
- **display_result()**: Détermine le résultat du projet basé sur le pourcentage de couleur et l'affiche.
- **Ensuite**: le script configure l'interface graphique avec Tkinter, en ajoutant des étiquettes, des entrées, des boutons, et des zones d'affichage pour les résultats. Le script se termine par l'exécution de la boucle principale de Tkinter qui attend les actions de l'utilisateur.

4.4 Les Résultats d'Arbre Décision

Le graphique montre un arbre de décision illustrant les résultats possibles de différentes directions administratives dans un processus de validation. Chaque nœud représente une direction spécifique avec des décisions d'acceptation, de rejet ou de réservation. Les flèches indiquent les transitions entre les directions en fonction des décisions prises. Le but est de cartographier les différentes étapes de validation pour garantir une transparence et une efficacité accrues dans le processus administratif

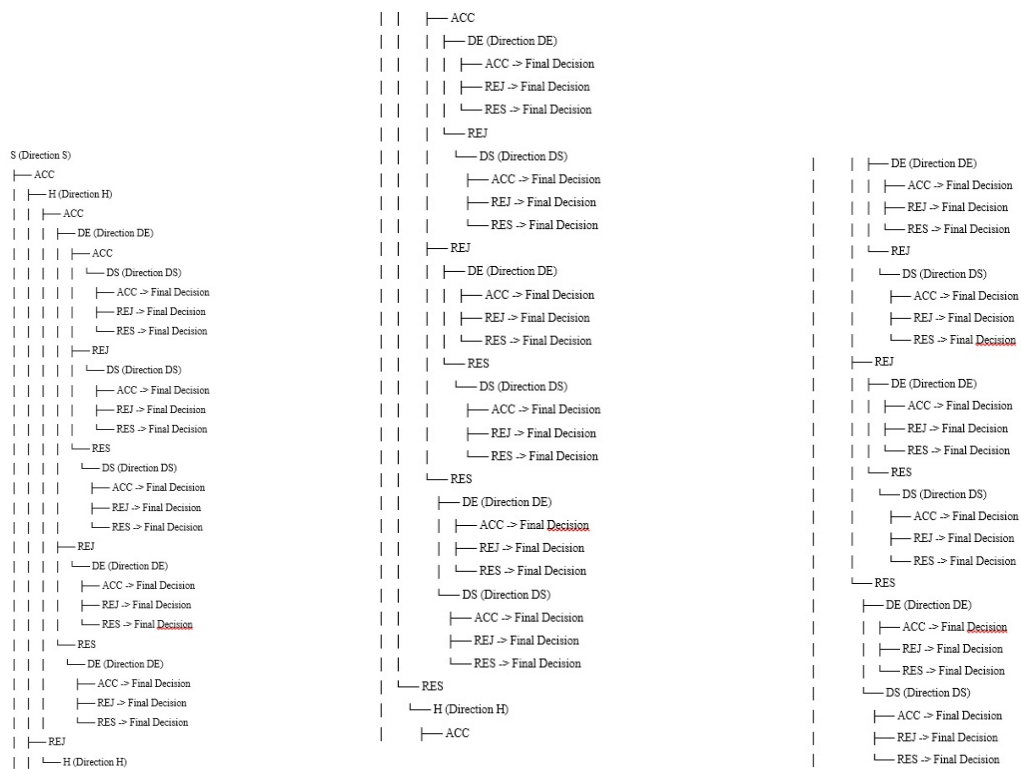


Figure 4.3: Les Résultats d'Arbre Décision

4.5 Les Résultats Bayésienne

Pour expliquer le résultat de l'arbre de décision utilisant un réseau bayésien avec 12 nœuds et 11 arêtes à partir du tableau fourni :

	X1 (M)	Y1 (M)	X2 (M)	Y2 (M)	Prob Sonelgaz	Prob hydro	AVIS	AD
1	0	0	150	150	0	0	ACC REJ RES	0.68 0.20 0.12
2	359	453	789	612	0.53	0	ACC REJ RES	0.67 0.21 0.12
3	524	905	1000	1030	20.28	3.12	ACC REJ RES	0.47 0.14 0.39
4	500	1000	500	1100	9.09	5.75	ACC REJ RES	0.26 0.57 0.17
5	977	1005	1090	1090	0	0	ACC REJ RES	0.70 0.12 0.18
6	1098	4122	10223	4200	1.23	4.43	ACC REJ RES	0.45 0.24 0.31
7	3122	5688	3541	5700	0	0	ACC REJ RES	0.70 0.12 0.18
8	5298	6200	5600	7200	1.45	0	ACC REJ RES	0.67 0.03 0.30
9	7400	9400	9492	9999	2.20	0	ACC REJ RES	0.50 0.33 0.17
10	10200	10000	10492	12459	0	0	ACC REJ RES	0.81 0.04 0.15

Table 4.1: Les Résultats Bayésienne

Le tableau contient les colonnes suivantes :

- X1 (M) : Coordonnée X1.
- Y1 (M) : Coordonnée Y1.
- X2 (M) : Coordonnée X2.
- Y2 (M) : Coordonnée Y2.
- Probabilité Sonelgaz : Probabilité relative à Sonelgaz.
- Probabilité hydrolique : Probabilité relative à l'hydraulique.
- Avis : Avis (ACC pour acceptation, REJ pour rejet, RES pour réserve).
- Res A D : Résultat de l'arbre de décision.

4.5.1 Explication des résultats

Résultat de l'arbre de décision (Res A D)

Les valeurs de la colonne Res A D représentent les probabilités d'acceptation (ACC), de rejet (REJ), ou de réserve (RES) pour chaque ensemble de données.

- ACC (Acceptation) : La probabilité que le projet soit accepté.
- REJ (Rejet) : La probabilité que le projet soit rejeté.
- RES (Réserve) : La probabilité que le projet soit mis en réserve.

Prenons la première ligne comme exemple :

- X1 (M) : 0.
- Y1 (M) : 0.
- X2 (M) : 150.
- Y2 (M) : 150.
- Probabilité Sonelgaz : 0.
- Probabilité hydrolique : 0.
- Avis : ACC.
- Res A D : 0.68.

Pour ce jeu de données, le réseau bayésien a déterminé que la probabilité d'acceptation du projet est de 0.68 (68 %). Les autres probabilités (REJ et RES) ne sont pas listées pour cette ligne spécifique, mais peuvent être déterminées si nécessaire.

4.5.2 Construction et Interprétation du réseau bayésien

- **Nœuds** : Représentent les différentes variables impliquées dans la décision, telles que les coordonnées, les probabilités associées, et les avis.
- **Arêtes** : Représentent les relations de dépendance entre les variables. Par exemple, une arête entre deux nœuds signifie que la valeur d'un nœud influence la valeur de l'autre.
- **Probabilités conditionnelles** : Pour chaque nœud, les probabilités conditionnelles sont déterminées en fonction des valeurs des nœuds parents.

4.5.2.1 Utilisation du tableau pour l'arbre de décision

Le réseau bayésien utilise les données du tableau pour calculer les probabilités d'acceptation, de rejet, ou de mise en réserve du projet. Voici comment procéder pour interpréter les résultats du réseau bayésien à partir des données du tableau :

```
# Exemple de requête
query_result = inference.query(variables=['S'])
query_result = inference.query(variables=['H'])
query_result = inference.query(variables=['U'])
print(query_result)
```

```
INFO:numexpr.utils:NumExpr defaulting to 4 threads.
BayesianNetwork with 12 nodes and 11 edges
```

U	phi(U)
U(0)	0.4728
U(1)	0.3860
U(2)	0.1412

Figure 4.4: Un Résultat Bayésien

- **Identifier les variables et leurs valeurs:** Prenez les valeurs des variables X1, Y1, X2, Y2, Probabilité Sonelgaz, et Probabilité hydraulique pour une ligne spécifique.
- **Utiliser le réseau bayésien:** En utilisant les probabilités conditionnelles du réseau bayésien, calculez les probabilités d'acceptation, de rejet, et de mise en réserve.
- **Interpréter les résultats:** Les valeurs dans la colonne Res A D montrent les probabilités calculées pour chaque ligne. Par exemple, une valeur de 0.68 pour ACC signifie qu'il y a une probabilité de 68 % que le projet soit accepté pour ce jeu de données particulier.

En conclusion, le réseau bayésien permet de modéliser et de calculer les probabilités de décision (ACC, REJ, RES) en fonction des données d'entrée fournies dans le tableau. Les résultats dans la colonne Res A D représentent ces probabilités pour chaque ensemble de données. Ce modèle repose principalement sur l'avis consultatif des Directions Sonelgaz et Hydraulique auprès de la Direction de l'Équipement et des Hospitaliers.

4.6 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a illustré de manière détaillée les processus d'expérimentation et d'évaluation de l'application et de l'outil développé. Nous avons expliqué les technologies et bibliothèques utilisées, comme Python, Jupyter Notebook, Tinker et Pillow. Les interfaces du système ont été présentées, mettant en avant la récupération des dossiers E-administratif et la mise en œuvre. Les résultats obtenus à partir de l'arbre de décision et des modèles bayésiens ont démontré l'efficacité de l'application dans la prise de décisions administratives plus transparentes et efficaces. Ce chapitre offre ainsi une vue claire et compréhensible des avantages et du fonctionnement de notre solution.

Conclusion Générale

En conclusion, les questions d'urbanisme et de développement sont essentielles pour répondre aux défis contemporains.

La mise en œuvre efficace de ces enjeux nécessite une approche globale et une compréhension approfondie des outils et stratégies nécessaires.

Dans ce travail, nous avons développé un système intelligent d'aide à la décision (SIAD), qui intègre une connaissance approfondie de l'urbanisme avec des technologies modernes telles que l'apprentissage automatique, ainsi que des algorithmes d'arbre de décision. Nous avons adopté le modèle global intégré, qui permet de modéliser des interactions complexes entre les citoyens, les autorités locales et les infrastructures.

Cette approche a prouvé son efficacité pour améliorer la précision et l'efficacité des décisions d'urbanisme et faciliter la gestion de projet de manière intégrée et flexible. Il facilite également les procédures administratives d'émission des décisions sur la mise en œuvre des projets de construction en évaluant la qualité du terrain.

Notre projet fournit un outil efficace pour aider les décideurs à délivrer des permis de construire, à mettre en œuvre et à gérer des projets urbains, ce qui contribue à surmonter les défis liés au temps et aux coûts, réalisant ainsi un développement durable et inclusif.

Le système Multi agents intégré a prouvé son efficacité dans la gestion des complexités urbaines grâce à l'intégration d'algorithmes d'intelligence artificielle, améliorant ainsi la gestion intégrée des projets.

Nos résultats soulignent l'importance des technologies d'intelligence artificielle et de la modélisation des systèmes d'aide à la décision pour parvenir à un développement urbain durable et s'adapter aux changements futurs. Ce programme représente une étape importante vers la création de services de planification électronique, améliorant ainsi la qualité de vie et l'efficacité de la gestion de projet.

Les résultats obtenus constituent un progrès significatif pour l'amélioration de l'urbanisme en Algérie.

Nous avons introduit un outil innovant pour analyser les possibilités de construction, et réduisez le temps et les coûts pour l'achèvement de la planification . Nous soulignons que l'approche holistique et intégrée adoptée dans la conception de Siad contribue au développement d'un environnement urbain durable et intégré, répondant aux besoins de la société et s'adaptant aux défis du futur, jetant ainsi les bases du développement de solutions avancées dans le domaine de l'urbanisme et de l'amélioration de la qualité de vie dans les villes.

Nous nous efforcerons également à l'avenir de développer cet outil et ce programme en l'enrichissant de technologies d'intelligence artificielle telles que l'apprentissage

Conclusion Générale

en profondeur et les réseaux de neurones artificiels.

Cela nous permettra d'élargir la portée et la gestion de divers aspects de la planification urbaine et de la mise en œuvre de projets de manière plus efficace et innovante.

Bibliographie

- [1] Annik Osmont. “Pour une planification urbaine démocratique”. In: *Quels plans pour la ville ? Gouvernance, gestion et politique urbaines*. Document de discussion 69. France: UNESCO, publié par le programme MOST, 2004, p. 11.
- [2] Chafia Latreche. “La planification urbaine : entre théorie, pratiques et réalité. Cas de Constantine”. Thèse de Magister. Université de Constantine, 2008, pp. 25–26.
- [3] Jean-Paul Lacaze. *Introduction à la planification urbaine : Imprécis d’urbanisme à la française*. France: Presses de l’École Nationale des Ponts et Chaussées, 1995, p. 58.
- [4] Henri Derycke. *Économie et planification urbaine : Théories et modèles*. 1ère édition. Presses Universitaires de France, Nov. 1982, p. 298.
- [5] U Cortés, M Sánchez-Marrè, and L Ceccaroni. “R-Roda, I., & Poch, M.(2000)”. In: *Artificial intelligence and environmental decision support systems. Applied Intelligence* 13.1 (2000), pp. 77–91.
- [6] Nora Semmoud. “Les marges urbaines: un analyseur privilégié de l’urbanisme d’Alger?” In: *Les Cahiers d’EMAM. Études sur le Monde Arabe et la Méditerranée* 27 (2015).
- [7] Étienne Juilliard. “Croissance urbaine et urbanisation”. In: *Revue Géographique de l’Est* 25.3 (1974), p. 258.
- [8] Horacio Capel. “L’image de la ville et le comportement spatial des citadins”. In: *L’Espace géographique* (1975), pp. 73–80.
- [9] Sebastian Zenker and Natascha Rütter. “Is satisfaction the key? The role of citizen satisfaction, place attachment and place brand attitude on positive citizenship behavior”. In: *Cities* 38 (2014), pp. 11–17.
- [10] Houssameddine Ammi. “Villes et développement économique en Algérie”. PhD thesis. Toulon, 2019.
- [11] Isabelle Savarit-Bourgeois. “L’essentiel du droit de l’urbanisme 2016-2017”. In: *Revue Géographique de l’Est* 57 (2017), pp. 1–2.
- [12] Peter Hall and Mark Tewdwr-Jones. *Urban and regional planning*. Routledge, 2019.
- [13] Mohamed Al-shalabi et al. “Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana’a metropolitan city, Yemen”. In: *Environmental earth sciences* 70 (2013), pp. 425–437.

- [14] Edward J KaiSer and R David. “GodSchalk, and F, Stuart Chapin Jr”. In: *Urban Land Use Planning, 4th ed. Chicago: University of Illinois Press* (1995).
- [15] Ministère de l’habitat, de l’urbanisme et de la ville. *Loi n° 90-29 du 01 Décembre 1990, modifiée et complétée, relative à l’aménagement et l’urbanisme*. Journal Officiel n°52 du 02 Décembre 1990. Dec. 1990.
- [16] Françoise Choay. *Dictionnaire de l’urbanisme et de l’aménagement*. Presses Universitaires de France-PUF, 1988.
- [17] JEAN-PAUL LACAZE. *Introduction à la planification urbaine: Imprécis d’urbanisme à la français, l’école nationale des ponts et chaussées*. 1995.
- [18] Ministère de l’habitat, de l’urbanisme et de la ville. *Ministère de l’habitat, de l’urbanisme et de la ville*. <http://www.mhuv.gov.dz>. Accessed: 2024-06-21.
- [19] *Direction de l’Urbanisme de l’Architecture et de la Construction Mila (DUAC)*. Government document.
- [20] *Journal officiel*. 1991.
- [21] Mr Madani Azzeddine and Nadhira Attalah. “Les instruments de planification territoriale et leurs rôles dans le développement du secteur de transport en Algérie”. In: *Bulletin de la Société de géographie d’Egypte* 86 (2013), p. 213.
- [22] *Loi n° 90-29 du 01/12/1990 sur le développement et la reconstruction*. Journal Officiel n° 51. Legislation. 1990.
- [23] Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). *Équipement*. Date de publication : 18/07/2022. July 2022. URL: <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2187>.
- [24] Ministre de l’Habitat, de l’Urbanisme et de la Ville. *Ministre de l’Habitat, de l’Urbanisme et de la Ville*. Consulté le : 22/06/2024. 2024. URL: <http://www.ministre-de-lhabitat.dz>.
- [25] *Loi n° 05/242 du 27 février 2005*. Journal officiel de la République algérienne. Feb. 27, 2005.
- [26] *Loi n° 90-29 du 01 décembre 1990, article 50*. Journal officiel de la République algérienne. Dec. 1, 1990.
- [27] *Loi n° 15-08 du 20 juillet 2008*. Journal officiel de la République algérienne. July 20, 2008.
- [28] *Loi n° 15-08 du 20/07/2008 précisant les règles de conformité et d’achèvement des bâtiments*. Journal Officiel n° 44. July 2008.
- [29] *Loi n° 29-90, article 06*. Journal officiel de la République algérienne. 1990.
- [30] *Loi n° 01/02 du 25 février 2002 sur la distribution d’électricité et de gaz par canaux*. Journal officiel n° 08. Feb. 25, 2002.
- [31] Sina Guas. “Mécanismes juridiques pour la conduite des travaux”. Mémoire pour l’obtention d’une maîtrise en droit public, Direction de l’Administration publique. MA thesis. Université de Mentouri Constantine, 2012, p. 83.

- [32] Journal Officiel de la République Algérienne. *Décret exécutif n° 15-19 du 4 Rabie Ethani 1436 correspondant au 25 janvier 2015 fixant les modalités d’instruction et de délivrance des actes d’urbanisme*. JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE, N° 07, 12 février 2015, article N° 43, pages 11-12. 2015.
- [33] Ministère de l’Habitat et de l’Urbanisme, Direction de l’Urbanisme. *Titre du Document*. Informations supplémentaires, par exemple le numéro de publication ou l’éditeur. 2011.
- [34] Anthony J Myles et al. “An introduction to decision tree modeling”. In: *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society* 18.6 (2004), pp. 275–285.
- [35] In: URL: https://projeduc.github.io/intro_apprentissage_automatique/arbres.html.
- [36] Lan Li, Shaobin Ma, and Yun Zhang. “Optimization algorithm based on genetic support vector machine model”. In: *2014 Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design*. Vol. 1. IEEE. 2014, pp. 307–310.
- [37] Madan Somvanshi et al. “A review of machine learning techniques using decision tree and support vector machine”. In: *2016 International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA)*. 2016, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2016.7860040.
- [38] Ayse Tosun, Ayse Basar Bener, and Shirin Akbarinasaji. “A systematic literature review on the applications of Bayesian networks to predict software quality”. In: *Software Quality Journal* 25 (2017), pp. 273–305.
- [39] Bernard Espinasse. “Introduction aux décisions et processus Décisionnels”. In: *Université d’Aix-Marseille* (2009).
- [40] Jeffrey W Tweedale, Gloria Phillips-Wren, and Lakhmi C Jain. “Advances in intelligent decision-making technology support”. In: *Intelligent Decision Technology Support in Practice* (2016), pp. 1–15.
- [41] Arthur Koestler. “Beyond Atomism and Holism - The Concept of the Holon”. In: *The Rules of the Game: Cross-Disciplinary Essays on Models in Scholarly Thought*. 1969, pp. 233–247.
- [42] Arthur Koestler. *The Ghost in the Machine*. London: Pan, 1967, p. 73.
- [43] Piero Mella. *The Holonic Revolution: Holons, Holarchies and Holonic*. 2009.
- [44] E Adam, R Mandiau, and C Kolski. “Approche holonique de modélisation d’une organisation orientée workflow: Sohtco”. In: *Ingenierie des Systemes multi-agents*. Ed. by M P Gleizes and P Marcenac. Paris: HERMES Science publications, Jan. 1999, pp. 121–134.
- [45] Ken Wilber. “An informal overview of transpersonal studies”. In: *The Journal of Transpersonal Psychology* 27.2 (1995), p. 107.
- [46] Andrew P. Smith. *Worlds within Worlds. The Holarchy of Life*. 2000.
- [47] Jacques Ferber and Gerhard Weiss. *Multi-agent systems: An introduction to distributed artificial intelligence, volume 1*. Addison-Wesley Reading, 1999.

- [48] Marco Calabrese et al. “Hierarchical-granularity holonic modelling”. In: *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 1.3 (2010), pp. 199–209.
- [49] James Rumbaugh et al. *Object-oriented modeling and design*. Vol. 199. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991.
- [50] Jacques Ferber. *Les systèmes Multi-Agent: Vers une Intelligence Collective*. InterEditions, 1995, p. 13.
- [51] Jacques Ferber. “Les systèmes multi-agents: un aperçu général”. In: *Technique et Science Informatiques* 16.8 (1997), pp. 979–1012.
- [52] Yves Demazeau. “From interactions to collective behaviour in agent-based systems”. In: *Proceedings of the 1st European Conference on Cognitive Science*. cf. p. 70. Citeseer, 1995.
- [53] Nicholas R Jennings. “Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions”. In: *Artificial Intelligence* 75.2 (1995), pp. 195–240.
- [54] Martin Albert et al. “Multi-agent systems for industrial diagnostics”. In: *IFAC Proceedings Volumes* 36.5 (2003), pp. 459–464.
- [55] Yun Peng et al. “A multi-agent system for enterprise integration”. In: *International Journal of Agile Manufacturing* 1.2 (1998), pp. 213–229.
- [56] Andrzej Bieszczad, Bernard Pagurek, and Tony White. “Mobile agents for network management”. In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 1.1 (1998), pp. 2–9.
- [57] Keith Decker, Katia Sycara, and Mike Williamson. “Middle-agents for the internet”. In: *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-97)*. Vol. 1. 1997, pp. 578–583.
- [58] Joel SE Teo, Eiichi Taniguchi, and Ali Gul Qureshi. “Evaluating city logistics measures in e-commerce with multiagent systems”. In: *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 39 (2012), pp. 349–359.
- [59] Katia P Sycara. “Multiagent systems”. In: *AI Magazine* 19.2 (1998), pp. 79–79.
- [60] Sebastian Rodriguez. “From analysis to design of Holonic Multi-Agent Systems: a Framework, methodological guidelines and applications”. PhD thesis. Besançon, 2006.
- [61] Arthur Koestler. “Beyond atomism and holism - the concept of the holon”. In: *The rules of the game: Cross-disciplinary essays on models in scholarly thought*. 1969, pp. 233–247.
- [62] Sebastián A. Rodríguez. “From analysis to design of Holonic Multi-Agent Systems: A Framework, Methodological Guidelines and Applications”. Soutenue le 14 décembre 2005 devant le Jury composé de: page 33.34. PhD thesis. University Name (if available), 2005.
- [63] Adriana Giret and Vicente Botti. “Holons and agents”. In: *Journal of Intelligent Manufacturing* 15.5 (2004), pp. 645–659.

- [64] Christian Gerber, Jörg Siekmann, and Gero Vierke. “Flexible autonomy in holonic agent systems”. In: *Proceedings of the 1999 AAAI Spring Symposium on Agents with Adjustable Autonomy*. 1999.
- [65] Nicolas A. Gaud. “Systèmes multi-agents holoniques: de l’analyse à l’implantation: méta-modèle, méthodologie, et simulation multi-niveaux”. PhD thesis. Besançon: Université de Besançon, 2007.
- [66] L. Jonnequin et al. “Co-operative Agents for a Cooperative Technological Watch”. In: *CADUI’02 (CADUI’2002 - 4th International Conference on Computer-Aided Design of User Interfaces)*. Université de Valenciennes. Valenciennes, France, May 2002.
- [67] Sebastian Rodriguez et al. “Holonic Multi-Agent Systems”. In: *Self-organisation Software: From Natural to Artificial*. 1st. Natural Computing Series. Springer, Mar. 2011. Chap. 11, pp. 238–263. ISBN: 978-3642173479.
- [68] Jacques Ferber. *Les systèmes multi-agents: vers une intelligence collective*. InterEditions, 1997.
- [69] Gerhard Weiss. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT press, 1999.
- [70] Carlos Alberto Barrera Diaz et al. “Optimizing reconfigurable manufacturing systems: A simulation-based multiobjective optimization approach”. In: *CIRP 104* (2021), pp. 1837–1842. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.079.
- [71] Housseem Eddine Nouri, Olfa Belkahla Driss, and Khaled Ghédira. “Hybrid metaheuristics within a holonic multiagent model for the flexible job shop problem”. In: *19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, Procedia Computer Science*. Vol. 60. Elsevier B.V., 2015, pp. 83–92.
- [72] Adriana Giret et al. “A holonic multi-agent methodology to design sustainable intelligent manufacturing control systems”. In: *Journal of Cleaner Production* 167 (2017), pp. 1370–1386. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.079.
- [73] Igor Haman Tchappi et al. “A brief review of holonic multi-agent models for traffic and transportation systems”. In: *Procedia Computer Science* 134 (2018), pp. 137–144.
- [74] Adriano Ferreira et al. “Extension of holonic paradigm to smart grids”. In: *IFAC-PapersOnLine* 48.3 (2015), pp. 1099–1104. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.230.
- [75] Sana Moujahed, Nicolas Gaud, and David Meignan. “Self-organizing and holonic model for optimization in multi-level location problems”. In: *2007 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2007, pp. 760–765. DOI: 10.1109/indin.2007.4384921.
- [76] James Odell, H. Van Dyke Parunak, and Bernhard Bauer. “Representing Agent Interaction Protocols in UML”. In: *Agent-Oriented Software Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000, pp. 121–140.
- [77] Mourad Attia and Mahdaoui Latifa. “An approach based holonic multi-agent systems for the integration between eadministratives services”. In: *2013 ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. Fes/Ifrane, Morocco: IEEE, 2013. DOI: 10.1109/AICCSA.2013.6616463.

- [78] pgmpy. *Variable Elimination*. https://pgmpy.org/exact_infer/ve.html. Accessed: 2024-07-22.
- [79] Justin Grimmer. “An introduction to Bayesian inference via variational approximations”. In: *Political Analysis* 19.1 (2011), pp. 32–47.