

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en Génie Logiciel

Thème :

Gestion d'énergie électrique et ordonnancement des équipements dans les smart houses

Réalisé par :

M^{me}. YAICHE Sabrina

Devant le jury composé de :

Présidente	M ^{me} BOUMEZOUED Badrina Née GASMI	U. A/Mira Béjaïa.
Examineur	M ^r AISSANI Sofiane	U. A/Mira Béjaïa.
Encadrante	M ^{me} SADOUKI Samia Née CHIBANI	U. A/Mira Béjaïa.

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant et le miséricordieux, nos vifs remerciements vont :

A mon encadrante :

Mme Samia SADOUKI Née CHIBANI

Maître de conférences à l'Université de Béjaïa Pour avoir Veillé au bon suivi de ce travail par son expertise, ses orientations, ses conseils qui ont été d'une grande utilité, sa disponibilité et surtout ses qualités humaines.

Soyez assurée de ma profonde gratitude et mes sincères appréciations.

A tous les membres du jury :

GASMI Badriba d'avoir accepter de présider le jury de la commission d'examen

AISSANI Sofiane : pour sa probation concernant l'évaluation de ce travail

Vous me faites l'honneur de juger ce travail. On vous remercie d'avoir honoré et accepté de faire partie du jury qui a évalué ce mémoire de fin d'études. Soyez rassurée de mon profond respect et de ma considération.

A toutes les personnes :

ayant contribué de près ou de loin au bon déroulement et à l'aboutissement de ce mémoire, tant sur le plan professionnel que sur le plan personnel, en particulier à ma meilleure amie "Imane"

Vous trouverez ici l'expression de ma parfaite considération.

Dédicaces

Je dédie ce travail

À MA CHÈRE MÈRE

Source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière et ta Bénédiction m'ont été d'un grand secours tout au long de ma vie. Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère ne jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes sacrifices.

Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur.

À MON TRÈS CHER PÈRE

De tous les pères, tu es le meilleur. Tu as été et tu seras toujours un exemple pour moi par tes qualités humaines, ta persévérance et perfectionnisme. En témoignage de brut d'années de sacrifices, de sollicitudes, d'encouragement et de prières. Vous pourriez trouver dans ce travail le fruit de toutes vos peines et tous de vos efforts. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes respects, ma reconnaissance et mon profond amour.

Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur.

À MES CHERS FRÈRES Sifou ET Ayoub :

Vous étiez toujours à mes côtés, je vous en suis très reconnaissante. Aucune dédicace ne peut exprimer la profondeur des sentiments fraternels et d'amour, d'attachement que j'éprouve à vos égards. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection. Puisse dieu vous protège.

A MES ADORABLES SŒURS : Maria, Ibtissam et Celia

Soyez rassuré de toute ma reconnaissance et mon grand attachement indefectible à vous, je vous remercie d'avoir été là pour moi, je vous aime. Puisse dieu vous protège et vous accorde la santé, longue vie et le Bonheur.

À MES TRÈS CHÈRES AMIES : Samira GASMI , Imane RABHI et Habiba AISSAOUI

Vos encouragements et votre soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles, de solitude et de souffrance. Puisse dieu vous protège.

SABRINA.

Table des matières

Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Liste des abréviations	v
Introduction Générale	1
I Domotique : Définitions et Généralités	3
I.1 Domotiques	3
I.1.1 Historique	3
I.1.2 Définition	4
I.1.3 Constitution d'un système domotique	4
I.1.4 Domotique en Algérie	4
I.1.5 Fabricants spécialisés de la domotique	5
I.1.6 Domotique libre	6
I.1.7 Fonctionnement de la domotique	6
I.1.8 Différents domaines d'application de la domotique	7
I.1.9 Les avantages et les inconvénients :	8
I.1.9.1 Les avantages :	8
I.1.9.2 Les inconvénients :	8
I.2 L'intelligence ambiante :	9
I.2.1 De l'informatique à l'intelligence ambiante :	9
I.3 Smart Home	10
I.3.1 Définition de la Maison intelligente	10
I.3.2 Caractéristiques de base d'une maison intelligente :	11
I.3.3 Les fonctionnalités d'une maison intelligente (smart home)	11
I.3.3.1 Le confort	11
I.3.3.2 La communication (Multimédia)	12
I.3.3.3 la sécurité	12
I.3.3.4 La santé	12
I.3.3.5 Gestion et Economie de d'énergie	13
I.3.4 Différence entre domotique et maison connectée	13
II Optimisation : Définitions et Généralités	14
II.1 Définition de l'optimisation :	14
II.2 Domaine d'application	15
II.3 Caractéristiques d'un problème d'optimisation	15
II.3.1 L'espace d'état	15
II.3.2 La fonction d'objective	15

II.3.3	Les variables de décision	15
II.3.4	Détermination des contraintes	15
II.4	La classification des problèmes d'optimisation	15
II.4.1	Variables de décisions :	15
II.4.2	La fonction objectif	16
II.4.3	Formulation du problème	16
II.5	Processus d'optimisation	16
II.5.1	Etape d'analyse et de modélisation	17
II.5.2	Etape de résolution	17
II.5.3	Etape d'interprétation	17
II.5.4	Etape de mise en œuvre	17
II.6	Formulation d'un problème d'optimisation mono-objective	17
II.6.1	Minimum global	17
II.6.2	Minimum local	18
II.7	Formulation d'un problème d'optimisation multi-objectifs (PMO) 18	
II.7.1	Approches de résolution des problèmes (PMO)	18
II.7.1.1	Approches agrégées	18
II.7.1.2	Les approches fondées sur dominance de Pareto	19
II.7.1.3	Les approches non agrégées et non Pareto	19
II.8	Méthodes d'optimisation	19
II.8.1	Les méthodes exactes	20
II.8.1.1	La méthode de Branch And Bound	21
II.8.1.2	Programmation dynamique	21
II.8.2	Les méthodes approchées	21
II.8.2.1	Les heuristiques	22
II.8.2.2	Les Métaheuristiques	22
II.8.3	Les méthodes hybrides	26
II.8.3.1	Hybridation méta/méta	26
II.8.3.2	Hybridation méta/exacte	26
II.8.4	Comparaison entre les méthodes exactes et approchées	26

III	Ordonnancement d'équipements et état de l'art sur l'optimisation du Coût d'électricité dans les Smart Home	27
III.1	L'ordonnancement	27
III.1.1	Définition :	27
III.1.2	Concepts fondamentaux d'ordonnancement	28
III.1.2.1	Les tâches	28
III.1.2.2	Les ressources	28
III.1.2.3	Les contraintes	28
III.1.2.4	Les critères d'optimisation	29
III.2	Concepts liés à l'énergie électrique	29
III.2.1	L'importance d'électricité	29
III.2.2	Economie d'énergie électrique	30
III.2.3	Architecture générale du système de gestion d'énergie dans une maison intelligente	30
III.3	Etat de l'art	31
III.3.1	Description du problème	31
III.3.2	Les travaux liés	31

IV Proposition et évaluation des résultats	35
IV.1 Enoncé du problème	35
IV.2 Modélisation et formulation du Problème	35
IV.2.1 Le codage de la solution	35
IV.2.2 La Fonction d'évaluation	36
IV.3 Implémentation et développement	36
IV.3.1 Description de l'algorithme	36
IV.3.1.1 Généralités et principe de fonctionnement	36
IV.3.1.2 Etapes procédurale de l'algorithme EHO [21]	38
IV.3.2 Application de l'algorithme	39
IV.3.3 Développement de l'application	40
IV.3.3.1 Spécification des besoins	40
IV.3.3.2 Mise en œuvre de l'algorithme	42
IV.4 Evaluation des résultats	42
IV.4.1 Modèle de tarification de l'énergie	43
IV.4.2 Résultats et discussion	44
IV.4.2.1 Prix en fonction des itérations	44
IV.4.2.2 Consommation journalière	45
IV.4.2.3 Tarif de consommation journalière	46
Conclusion générale et perspectives	48
Bibliographie	50

Table des figures

I.1	Différentes fonctions de la domotique	8
I.2	Fonctionnalités du Smart home.	11
II.1	Schéma représente le processus d'optimisation.	16
II.2	Illustration des différents minima d'une fonction objective.	18
II.3	Classification des méthodes d'optimisation[32].	20
II.4	Schéma représente la programmation dynamique.	21
II.5	Stratégie de déplacement PSO [21].	25
III.1	Schéma général d'un HEMS	31
IV.1	Diagramme EHO.	38
IV.2	La navigation dans l'application.	40
IV.3	Diagramme des cas d'utilisation du système.	40
IV.4	Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Simuler ».	41
IV.5	Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Interpréter les résultats de comparaison ».	42
IV.6	Options tarifaires de SONELGAZ [49].	43
IV.7	Graphe du modèle Triple Tarif (T 51M).	44
IV.8	Graphe du prix en fonction des itérations	45
IV.9	Graphe de la consommation journalière.	45
IV.10	Tarif de consommation journalière d'électricité	46

Liste des tableaux

IV.1 Le numéro du créneau de début d'exécution de chaque équipement	36
IV.2 Paramètre l'algorithme EHO	39
IV.3 Caractéristiques des équipements	39
IV.4 Tarifs de SONELGAZ [49].	43

Liste des abréviations

- ATMEL** : Advanced Technology for Memory and Logic
- ARM Microprocessor** : Microprocesseur Advanced Risk Machine.
- ACO** : Ant Colony Optimization
- BFA** : Bacterial Foraging Algorithm.
- CMA-ES** : Covariance Matrix Adaptation- Evolution Strategy
- CSA** : Cuckoo Search Algorithm
- DE** : Dynamique Evolution
- DP** : Dynamic Programming
- DA** : Dragonfly Algorithm
- EMC** : Energy Management Controller
- EHO** : Elephant Herding Optimization
- FA** : Firefly Algorithm
- GA** : Genetic Algorithms
- HEMS** : Home Energy Management System
- HSA** : Harmony Search Algorithm
- HAN** : Home Area Network
- HBT** : Hybrid Bacterienne Tabu Search
- HG** : Hub-Gateway
- IOT** : Internet Of Things
- IA** : Intelligence Artificielle
- IHD** : In-Home Display
- IBR** : Inclined Block Rate.
- MOGA** : Multi Objectives Genetic Algorithm.
- NPGA** : Niche Pareto Genetic Algorithm.
- NPGA** : Niche Pareto Genetic Algorithm.
- NSGA** : Non Dominated Sorting Genetic Algorithm
- PSO** : Particle swarm optimization.
- PMO** : Problem Multi-objectives Optimization

PAR : Pitch Adjusting Rate
RTP : Real Time Précising
RS : Recuit Simulé.
SH : Smart Home
SM : Smart Meter
SMS : Short message service
TS : Tabu Search.
TG-MFO : Time constrained Genetic - Moth Flame Optimization
XPL : eXtremly Simple Protocole
X3D : Système de Transmission Sécurisée à 3 Dimension

Introduction Générale

La maison est un lieu particulièrement important pour tout un chacun, étymologiquement il s'agit du lieu où l'on reste, où l'on revient, du lieu de sédentarisation. La majorité des individus, et plus particulièrement les personnes âgées, passent beaucoup de leur temps à domicile, d'où l'influence considérable de l'habitat sur la qualité de vie. L'amélioration du sentiment de sécurité et de confort dans l'habitat apparaît donc comme un élément d'une importance vitale.

Bien que la technologie et l'informatique occupent aujourd'hui une place prépondérante dans notre vie dans le sens où elles facilitent la gestion de nombreuses activités quotidiennes à travers des interfaces pour piloter la lumière, la température ou les différents appareils électroniques, il n'est cependant plus possible de négliger les conséquences indésirables qui en résultent, tel que l'augmentation de la consommation d'énergie grâce à l'utilisation accrue de nouveaux appareils intelligents, ce qui entraîne une facture d'électricité plus élevée.

L'efficacité énergétique des systèmes résidentiels est devenue un axe de recherche important durant ces dernières années. Des mécanismes prometteurs ont été mis en place dans le but de réduire efficacement le coût de l'énergie consommée par les appareils électroménagers allant des petits appareils portatifs jusqu'aux grands appareils contribuant à l'amélioration de la qualité de vie des occupants d'une maison. D'un point de vue algorithmique, de nouveaux problèmes d'optimisation apparaissent où la consommation d'énergie est prise en compte en tant que contrainte du problème ou en tant que fonction objectif.

L'objectif de notre travail se résume à la minimisation du coût de consommation de l'électricité après ordonnancement d'équipements dans une maison intelligente, qui est considéré comme un problème d'optimisation combinatoire NP-difficile, à cause du grand nombre d'appareils électroménagers qui peuvent être gérés et ordonnancés dans une telle maison intelligente.

Nous avons assisté ces dernières années à une croissance très rapide des travaux utilisant les algorithmes approchés « méthaheuristiques » pour résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire NP-Difficile. Cette tendance peut être observée dans tous les domaines de la science économique. Parmi ces derniers : le problème d'optimisation d'énergie électrique dans les smart houses. Nous présentons dans ce mémoire l'application de la technique basée sur l'algorithme EHO (Elephant Herding optimization) pour ordonnancer les équipements électroménagers dans une maison intelligente dans le but de minimiser le coût de consommation énergétique. Les résultats de la simulation confirment l'efficacité de cet algorithme par rapport à un ordonnancement non planifié.

La présentation de ce travail est scindée en quatre chapitres organisés comme suit :

- **Le premier chapitre**, dans lequel, nous allons essayer d'englober les théories qui concerne le domaine de la domotique et les maisons intelligentes, ce chapitre est subdivisé en trois parties principales, nous décrivons dans la première partie les dates marquantes de l'histoire de la domotique, ensuite le principe de fonctionnement de la domotique

est exposés en passant par la constitution du système ainsi que les différents fabricants spécialisés de ce domaine. Puis nous allons cerner d'une manière succincte ces domaines d'application.

Dans la deuxième partie nous aborderons quelques concepts liés à l'intelligence ambiante ensuite dans la troisième partie nous allons mettre l'accent sur les smart houses et ces différentes notions de base.

- **Dans le deuxième chapitre**, nous allons donner un rappel et quelques définitions de base sur l'optimisation, les formulations des problèmes d'optimisation mono et multi-objectifs sont exposés et discutés, les différentes méthodes d'optimisation et leurs classifications, ainsi que les différentes étapes d'un processus d'optimisation et leurs domaines d'application.
- En accord avec l'objectif de ce mémoire, **le troisième chapitre** sera consacré à la description du processus d'ordonnancement des tâches, ces différents concepts de base, ensuite nous allons mettre l'accent sur l'état de l'art et les différents travaux ayant déjà traité les problèmes d'ordonnancement des équipements et plus précisément ceux qui sont réalisés dans le but d'optimiser le coût de consommation d'électricité dans les maisons intelligentes.
- **Le quatrième chapitre** nommé proposition et évaluation des résultats représente la partie pratique de notre mémoire, il traite en détaille la technique d'optimisation adoptée, et les différents résultats obtenus par l'algorithme « EHO » utilisé sont alors discutés et ce en comparaison à un ordonnancement non planifié.
- Finalement, on terminera ce travail par une **conclusion générale et des prévisions** d'extension et continuité de ce travail.

Chapitre I

Domotique : Définitions et Généralités

Introduction

La notion d'habitat intelligent repose sur deux concepts parallèles, la domotique et l'intelligence ambiante. Les deux premières parties de ce chapitre sont consacrées à ces domaines. La domotique qui est un domaine particulier de l'automatique dédié à l'usage de la maison, elle existe depuis longtemps et pourtant elle reste très peu connue du public, elle reste marginalisée en Algérie, pourtant elle serait d'une grande aide dans la vie au quotidien surtout pour les personnes à mobilité réduite, la domotique possède un nombre de définitions divergentes qui induisent souvent en erreur sur les spécificités de ce domaine. Du fait de sa pluridisciplinarité, l'intelligence ambiante est un domaine difficile à définir, et mal connu du grand public. Ensuite dans la troisième partie de ce chapitre, nous aborderons les maisons intelligentes, qui est un domaine d'application qui combine les fonctionnalités de ces deux concepts.

I.1 Domotiques

I.1.1 Historique

Les premiers travaux de domotique sont apparus dans les années 70 avec les problématiques énergétiques dues aux crises pétrolières. Ces crises marquent le début du développement de l'électronique pour les bâtiments. Au départ, la domotique contrôle seulement les prises, l'éclairage et les volets roulants grâce à une télécommande. Au fur et à mesure, de nouveaux objets se mettent en réseau comme les thermostats et les alarmes. Mais c'est véritablement à partir de la fin du 20^e siècle, que la domotique va se démocratiser. Deux raisons expliquent ce développement[1] :

- L'arrivée de l'ordinateur et des technologies de communication dans la maison au début des années 1990; notamment, le déploiement d'Internet qui permet aux ordinateurs de communiquer entre eux.
- Le coût de l'énergie qui augmente suite aux deux crises pétrolières survenues dans les années 70. Désormais, de nouvelles normes forcent les constructeurs privilégiés des bâtiments bien mieux isolés pour limiter leur utilisation chauffage.

La domotique intervient donc avec des appareils capables de communiquer entre eux pour surveiller et gérer cette énergie. Depuis les années 2000, avec le développement des technologies sans fil comme le wifi ou le Bluetooth, la miniaturisation des composants électroniques, l'avènement des appareils mobiles, l'invasion des écrans tactiles et des télévisions connectées, les ingénieurs peuvent désormais proposer au public des produits, objets connectés ou systèmes domotiques bien plus puissants et simples d'utilisation [1].

I.1.2 Définition

Le terme est un peu obscur mais sa définition nous éclaire sur les propriétés de la domotique. Ce mot issu du latin "Domus", qui signifie maison associé au suffixe « tique » qui fait référence à la technique, regroupe l'ensemble des technologies électroniques, informatiques et des télécommunications permettant d'automatiser et d'améliorer les tâches au sein d'une maison. Les appareils de la maison sont intégrés au sein des systèmes qui doivent communiquer entre eux afin de gérer des automatismes. Car la domotique milite avant tout pour l'amélioration du quotidien au sein de l'habitat. la domotique vise à apporter des solutions techniques pour répondre aux besoins de confort, de sécurité, de communication, de divertissement et d'éducation que l'on peut trouver dans les maisons, les lieux publics, etc [2].

A l'origine, la domotique avait donc pour but d'automatiser sa maison : ouverture et fermeture automatiques des volets, ouverture du portail électrique, gestion du chauffage, gestion de l'éclairage, etc. Ainsi avant l'ère des smartphones, il était par exemple possible d'activer son chauffage à distance en passant un coup de téléphone à sa maison, ou encore en lui envoyant un SMS. C'était tout à fait réalisable, seulement une telle installation était relativement compliquée à mettre en place et, il faut bien l'avouer qu'elle est coûteuse. Pourtant, ce domaine a énormément évolué et il existe de nombreuses solutions simples à mettre en place et tout à fait abordables pour le grand public [3].

La domotique a surtout elle-même évolué, si bien que le terme est quelque peu dépassé. La domotique servait à automatiser sa maison ; aujourd'hui on parle de domotique 2.0, ou de « maison intelligente », pour bien marquer l'évolution de ce monde. Les différents domaines de la maison ne se contentent plus d'être automatisés et pilotables, ils communiquent ensemble, permettant à la maison de réagir selon différents événements [3].

I.1.3 Constitution d'un système domotique

Le fonctionnement d'un système domotique se repose sur plusieurs éléments communicants comportant au minimum les composants suivants :

- Unité de gestion.
- Capteurs.
- Actionneurs.
- Interfaces de pilotage.
- Protocoles de communication.

I.1.4 Domotique en Algérie

La domotique ce n'est plus un luxe, c'est une nécessité imposée par le temps pour se tenir au courant du développement technologique. En Algérie, la domotique est inexistante ou alors très peu présente dans les foyers algériens, bien qu'il y ait des tentatives pour suivre l'évolution de la domotique.

La réalité sur la domotique en Algérie est amère, malgré les publicités sur le Net. Alors parler de domotique en Algérie, c'est surtout parler des freins à son développement et de ses potentialités pour un avenir radieux.

Les obstacles que rencontre le développement de la domotique en Algérie sont dus à plusieurs raisons, parmi lesquelles :

- La faible demande, donc c'est une question de priorité de la part des citoyens, car les foyers algériens dans leur ensemble ne s'intéressent pas beaucoup à la domotique. Et pour cause, dans un pays où trouver un immeuble avec ascenseur relève de la prouesse, où des logements livrés attendent toujours une ligne téléphonique, et où les problèmes des coupures d'eau et d'électricité restent récurrents, la domotique passe au second plan.
- L'environnement est peu propice pour accueillir tous les aspects de la domotique.
- Rareté des entrepreneurs et des investisseurs capables de mettre en œuvre de tels projets.
- Rareté de compétences travaillant dans le domaine des technologies modernes et intelligentes.

Pour donner une valeur et une importance à la domotique en Algérie, il faut un média scientifique distingué, pour suivre le rythme d'évolution technologique moderne, et afin de développer la conscience scientifique, et donner à ses citoyens les compétences techniques de gestion de ces technologies. Par contre, certains pays arabes tels qu'EAU et KSA sont les leaders du monde arabe dans l'utilisation et la propagation de ces technologies.

I.1.5 Fabricants spécialisés de la domotique

Le marché de la domotique se partage un nombre important de fabricants (Legrand, ABB, ...), avec une forte hétérogénéité des matériels, y compris les matériels électroniques, les alarmes, les appareils multimédias, et les objets connectés. De nombreux opérateurs de télécommunication et d'information (Google, Apple, Microsoft...) ont pénétré ce marché, et proposent des solutions domotiques qui ne nécessitent pas des travaux lors de leur installation dans le logement, et assurent le développement de l'internet des objets (IOT : Internet Of Things).

- **Delta Dore** : C'est une société française, créée en 1970, reconnue surtout par ses solutions domotiques ou de maison connectée, elle utilise le protocole radio X3D [4].
- **Siemens** : est l'un des principaux producteurs mondiaux de solutions intelligentes pour économiser l'énergie et les ressources. Il est considéré comme l'un des géants dans le domaine des smart homes.
- **Control 4** : Control4 a été classé comme le meilleur fournisseur de solutions de maison automatique aux États-Unis depuis des années, avec ses produits contrôlant n'importe quel appareil dans la maison ou le bureau [5].

Notons que toutes les ressources et les logiciels utilisés par ces fabricants sont confidentiels, toutefois il existe des ressources et des logiciels qui sont ouverts, d'où le nom de la domotique ouverte « libre ».

I.1.6 Domotique libre

Dans cette partie, nous donnerons à titre indicatif et non exhaustif quelques ressources ouvertes disponibles sur le net.

- a - **NodeMCU ESP8266** : C'est une carte électronique open source, programmable, IoT, ie. qu'elle permet de connecter les objets les uns aux autres via internet, elle est basée sur le module ESP8266-12, très utilisée dans les applications IoT. NodeMcu a été créé par la société chinoise « Expressif Systems » en 2014 [6].
- b - **La carte Arduino** : C'est une carte électronique open source, basé sur un microcontrôleur de la compagnie ATMEL, c'est un outil qui va permettre la création des systèmes électroniques plus ou moins complexes, elle est programmée en langage Arduino C, qui est à son tour dérivé de langage C. Arduino est un projet crée par une équipe de développeurs italiens, qui donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celle de l'électronique [7].
- c - **Raspberry Pi** : Le Raspberry Pi est un micro-ordinateur équipé d'un microprocesseur ARM, et un système d'exploitation libre de type GNU/Linux et des logiciels compatibles, il est très utilisé dans les applications domotiques [6].

I.1.7 Fonctionnement de la domotique

Aujourd'hui, les différents objets connectés de la maison ne se contentent plus d'être automatisés et pilotables ; ils interagissent ensemble pour notamment offrir aux habitants un véritable confort d'usage, gagner en sécurité et optimiser la consommation énergétique des bâtiments. En communiquant avec l'habitat, il est possible de régler le chauffage par zones, de simuler à distance une présence, etc. En couplant l'installation avec une télécommande universelle ou avec un simple appui sur une touche sur son Smart phone, le pilotage s'effectue de n'importe où dans la maison, en fonction des besoins.

Concrètement, la domotique consiste à mettre en réseau différents appareils connectés dans une maison et à centraliser les commandes. Ces appareils sont déjà souvent existants : radiateurs, ventilation, éclairage, ... auxquels on ajoute des moyens de communiquer au sein de la maison. Chaque appareil est connecté avec d'autres via un appairage, qui consiste à associer deux ou plusieurs appareils entre eux. Cet appairage permet par exemple de dire à un interrupteur quel groupe de lampes il va devoir allumer. L'appairage peut se faire directement entre deux objets, ou via un boîtier domotique qui sert d'intermédiaire.

Chaque groupe d'appareils est pilotable via une ou plusieurs applications sur des appareils tels que les Smartphones, tablette, ordinateur ou télécommande. C'est cette application qui, à distance, permet de transmettre une demande (augmentation de la température, éclairage d'une pièce, démarrage de la télévision).

Les objets de l'habitat sont ainsi considérés comme intelligents. Ils sont équipés de capteurs tels que des capteurs de température et de présence pour un thermostat, qui vont mesurer et détecter les habitudes des personnes vivant dans la maison. Les informations telles que les arrivées, sorties, temps passé dans une pièce des habitants sont toutes enregistrées et envoyées aux radiateurs pour faire adapter la température en fonction des scénarii programmés. Ainsi, on ne chauffe que quand c'est nécessaire. Les objets peuvent communiquer entre eux par plusieurs moyens, dont les trois plus fréquents sont :

- L'envoi d'information par un réseau filaire, tel qu'un réseau informatique, un réseau téléphonique ou un câble dédié (un bus de données).

- Les informations peuvent aussi passer par des câbles électriques, ce qu'on appelle le courant porteur.
- Ou alors le boîtier peut émettre des ondes comme le wifi, le Bluetooth ou les ondes radio.

Le câblage reste, à ce jour, la solution la plus fiable. Mais la domotique sans fil est plus simple à installer. On choisira l'un ou l'autre de ces moyens de communication en fonction des caractéristiques de l'habitat. Enfin, il est possible d'utiliser plusieurs types de communication en utilisant un boîtier domotique pour transmettre les informations d'un réseau à un autre [8].

I.1.8 Différents domaines d'application de la domotique

L'utilisation de plus en plus importante des Smartphones et des Tablettes contribue à favoriser l'acceptation de la domotique au sein de l'habitat. Les domaines d'application sont au cœur de la vie quotidienne. Les fonctions suivantes peuvent être réalisées grâce aux technologies intégrées dans la domotique :

- a - **Sécurité** : une centrale domotique agit sur toute l'installation électrique de l'habitation, Les accès à cette dernière sont contrôlés et enregistrés et, si une intrusion est détectée, la centrale prend les mesures qui s'imposent : Sirène, Allumage de tous les éclairages de la maison ainsi l'appel d'un centre de surveillance, d'un voisin ou d'un téléphone mobile du propriétaire.
- b - **Surveillance** : par l'utilisation des différents capteurs qui détectent les anomalies : Inondation, Incendie, fuite de gaz, coupure de courant, vent ou pluie, la centrale intervient instantanément pour couper les alimentations, appeler les numéros d'urgence ou faire retentir la sirène si l'occupant est présent.
- c - **Gestion de l'énergie** : l'un des enjeux de la domotique est d'améliorer significativement l'efficacité énergétique de l'habitat. Ce sont des systèmes typiquement européens où l'énergie coûte chère. Ils permettent d'optimiser la consommation d'énergie de la maison en fonction de ses besoins, et ce grâce au délesteur électrique qui est un petit appareil qui gère automatiquement l'alimentation électrique des appareils. Son but est de permettre de réduire le montant de la facture d'électricité en jouant sur le prix de l'abonnement. Lorsque la consommation risque de dépasser le seuil de puissance souscrite dans le contrat d'abonnement, le délesteur va couper l'alimentation électrique des circuits jugés non prioritaires, mais conservera les circuits prioritaires alimentés[9].
- d - **Scénarisation des actions** : Au moment de quitter un habitat, la mise en fonction de l'alarme déclenche une série de contrôles et d'actions, (centralisation des commandes) tel que la fermeture de toutes les lumières, coupure de l'arrivée de gaz, vérification de la fermeture de toutes les fenêtres, ...
- e - **Communication** : une centrale domotique utilise des différents moyens de communication qui permet à une personne de recevoir l'état de son installation, d'émettre des alertes et piloter sa maison de n'importe quel endroit du monde.
- f - **Confort** : Gestion de l'éclairage, gestion du chauffage, gestion des volets roulants, par simple action d'une commande, toutes ces tâches sont simplifiées grâce à la domotique, à travers une application installée sur un Smartphone ainsi les différents capteurs installés un peu partout dans la maison détectent la présence des individus et peuvent ainsi donner le signal pour allumer ou éteindre les lumières dans une pièce, activer la température optimale,etc [8].



FIGURE I.1 – Différentes fonctions de la domotique

I.1.9 Les avantages et les inconvénients :

Comme tous les projets la domotique contient des avantages et des inconvénients parmi ces derniers on cite :

I.1.9.1 Les avantages :

- Le principal avantage de la domotique est l'amélioration du quotidien au sein de la maison, du point de vue du confort, de la sécurité et de la gestion de l'énergie.

- Ce type d'équipement simplifie la vie et optimise le confort en adaptant la maison à différents scénarios de la vie quotidienne.

- IL permet notamment d'éteindre tous les appareils électriques et de mettre l'alarme quand l'habitant quitte son domicile, de régler des ambiances lumineuses.

- Enfin, ces différentes technologies constituent une aide précieuse pour les personnes dépendantes et handicapées.

I.1.9.2 Les inconvénients :

- Le prix d'achat et d'installation pour certaines technologies, est beaucoup plus élevé, donc peu de gens sont équipés de cela. Mais, dans le futur, les prix vont sans doute devenir plus abordables et les gens pourront donc peut-être se permettre d'avoir de la domotique. Ainsi à long terme les factures d'énergie baisseront grâce à la planification des appareils qui optimise le coût de la consommation d'énergie .

- Le deuxième inconvénient est le verrouillage qu'offrent certaines marques dans leurs produits ne permettant pas d'avoir un logiciel ouvert.

- Des intrusions via le réseau internet par des personnes tierces par exemple les hackers (Pirate informatique), pourraient espionner la vie privée ou dérégler l'installation. Ainsi avoir les commandes et un accès illimité aux maisons d'autrui, faciliterais un éventuelle actes criminels (cambriolages, autres actes encore plus violent).

I.2 L'intelligence ambiante :

I.2.1 De l'informatique à l'intelligence ambiante :

L'intelligence ambiante est un terme assimilant l'évolution de l'informatique, des ordinateurs aux objets du quotidien. On désigne également cette évolution sous les termes d'informatique ubiquitaire, traduisant ainsi son omniprésence au sein de l'environnement. Waldner (Waldner, 2007) illustre l'évolution de l'informatique vers l'intelligence ambiante en quatre étapes-clés :

1. La naissance de l'informatique (\approx 1960);
2. La naissance des réseaux de communication informatiques (comme Internet) (\approx 1970);
3. La mobilité des dispositifs informatiques, par la gestion des sources d'énergie portables (systèmes mobiles) (\approx 1990/2000);
4. La multiplication des dispositifs informatiques au sein de l'environnement (systèmes ubiquitaires), jusqu'à ce que leur densité soit suffisamment importante pour développer des fonctions qualifiées « d'intelligences » (intelligence ambiante) (\approx 2000/2010)

Pour mieux comprendre le terme de l'intelligence ambiante trois concepts liés au domaine de recherche de cette faculté sont nécessaires, à savoir :

- **L'informatique ubiquitaire** : Ce terme a été introduit pour la première fois par Mark Weiser en 1991, pour désigner un modèle d'interaction homme-machine, dans lequel le traitement de l'information relatif aux activités quotidiennes a été intégré dans des objets [10]. Autrement dit, c'est un domaine de recherche visant à intégrer les ordinateurs dans des objets.
- **Internet des objets (IOT)** : Après qu'il a été un moyen de communication entre appareils, l'internet est devenu actuellement un moyen de communication entre objets. Tout objet connecté existant, fixe ou mobile est capable d'être connecté.
- **L'intelligence artificielle (IA)** : Ce terme est connu de grand public, car il alimente régulièrement les films de science-fiction. Le domaine de l'IA vise à intégrer l'intelligence humaine dans la machine. De tout ce qui précède, l'intelligence ambiante est un terme qui désigne la rencontre de l'informatique ubiquitaire, l'internet des objets ainsi l'intelligence artificielle, il a pour but d'exploiter des capacités de perception offertes par les capteurs afin d'analyser et d'interpréter et puis de réagir selon le contexte afin de fournir des services améliorant la qualité de vie des êtres vivants et notamment des personnes [10].

L'intelligence ambiante et la domotique se sont développées parallèlement, et convergent vers l'habitat intelligent. Si l'habitat intelligent peut être considéré comme un domaine d'application de l'intelligence ambiante, il est difficile de le situer par rapport à la domotique. Les définitions précédentes font émerger le point suivant : la domotique est « désirée ». Elle n'est pas indispensable à l'habitant, en témoigne ses échecs et ses descriptions imaginaires, mais apporte un supplément de confort par la gestion technologique de l'habitat. L'intelligence ambiante est, quant à elle, plus « subie », elle résulte d'une évolution quasiment naturelle de la technologie, évolution dirigée par la miniaturisation de l'électronique, et s'introduisant de manière disparate dans l'habitat.

I.3 Smart Home

I.3.1 Définition de la Maison intelligente

Les définitions de la maison intelligente provoquent des fois des ambiguïtés, principalement la confusion entre les termes « Domotique », et « Maison Intelligente ». La domotique (home automation) aujourd'hui ce terme est plutôt remplacé par celui de maison intelligente qui signifie un paradigme qui se positionne en successeur de la domotique, bénéficiant des avancées en informatique ambiante, intégrant notamment l'internet des objets. Outre la dimension dominante de l'informatique, la maison intelligente telle que représentée dans les années 2010 se veut également plus centrée utilisateur, s'éloignant de l'approche technophile caractéristique de la domotique des années 1990.

Le concept de maison intelligente désigne l'intégration de la technologie et des services au niveau du réseau d'un habitat pour assurer une meilleure qualité de vie avec la prise en compte des besoins des habitants [11].

Un habitat intelligent est défini comme une maison dispose de fonctionnalités susceptibles de simplifier la vie de ses habitants au quotidien, d'apporter un certain niveau de confort et de sécurité, à travers par exemple, des interfaces naturelles pour piloter la lumière, la température ou les différents appareils électroniques, ainsi de réaliser des économies d'énergie par la mise en veille des dispositifs de chauffage quand les habitants sont absents. Ou d'adapter automatiquement l'utilisation des ressources électriques en fonction des besoins des résidents afin de diminuer le gaspillage des ressources énergétiques.

Le terme «Maison intelligente» est utilisé pour décrire une résidence ordinaire partiellement ou totalement automatisée, équipée de différents objets et appareils connectés à votre Smartphone, tous ces appareils intelligents « smart devices » communiquent entre eux par le biais d'une connexion internet sans fil, permettant la surveillance ainsi que l'assistance de ses habitants en favorisant l'autonomie, l'indépendance et le maintien en bonne santé [12].

Un habitat intelligent est dirigé par une unité de contrôle centrale, capable d'interpréter les besoins de l'utilisateur et d'exécuter des actions pour y répondre (permet d'établir des liens entre les organes de commande et les récepteurs d'ordres, qui appartiennent habituellement à des sous-systèmes indépendants).

Elle est ouverte aux évolutions futures par la nature même de ses infrastructures de câblage et par son ouverture au monde numérique [13], ces équipements sont pilotables depuis un ordinateur, un smartphone ou une tablette tactile. L'installation est très simple, et se fait en quelques minutes par un utilisateur non expérimenté.

Les bénéficiaires de ces innovations peuvent être des individus autonomes mais également des personnes fragiles ayant une capacité limitée de mouvement. Par exemple, les personnes âgées ayant une autonomie limitée pourraient profiter des applications des maisons intelligentes pour faciliter leur vie quotidienne ou rester en contact avec leurs proches. Actuellement, l'augmentation du nombre de personnes âgées vivant seules a un impact social et économique important à travers le monde. À cet égard, l'usage de la technologie représente une grande opportunité ces personnes âgées vivant seules. Les systèmes intelligents peuvent rappeler aux habitants lorsqu'ils doivent prendre leurs médicaments ou même alerter les proches ou le service d'urgence si la personne tombe par accident [14].

I.3.2 Caractéristiques de base d'une maison intelligente :

- Connectivité interne : un réseau interne à l'habitat avec la possibilité de contrôler toutes les fonctions à partir de boutons- poussoirs, d'une télécommande et éventuellement d'un smartphone ou d'une tablette.
- Utilisation d'un même langage de communication (protocole) pour tous les composants.
- Couverture de tous les services ou fonctions de base par le même système.
- Compatibilité descendante, ou les nouveaux composants ou les nouvelles versions des logiciels restent compatibles avec les équipements installés.
- Extension des fonctions ou des services sans modification du système.
- Connectivité externe comme option (passerelle vers Wi-Fi, Internet ou autres protocoles). Un smartphone ou une tablette ne sont pas nécessairement un élément de base du smart home, mais peuvent y être intégrés.

I.3.3 Les fonctionnalités d'une maison intelligente (smart home)

Smart home est un marché qui ne cesse de se développer et d'apporter de nouvelles fonctionnalités pour le bien-être de tous. Tous ces petits gestes qu'il fallait répéter, vous pouvez les faire facilement depuis votre fauteuil et, même, loin de chez vous. Y compris après votre départ, votre domicile reste marqué de votre présence et vous fournit tous les renseignements nécessaires. Gestion et Economie de l'énergie, sécurité, confort sont parmi les thèmes les plus demandés par les consommateurs mais le besoin est parfois créé par les fabricants eux-mêmes.



FIGURE I.2 – Fonctionnalités du Smart home.

I.3.3.1 Le confort

Bien sûr, le fait d'automatiser une maison a un véritable apport sur le confort qu'on y trouve [15]. Plus besoin de se prendre une averse pour ouvrir le portail en rentrant à la maison et plus besoin de prendre froid en ouvrant les volets le matin. Aujourd'hui, le Smart House est capable de savoir quand vous rentrez à la maison (grâce à votre Smartphone par exemple), et donc d'ouvrir le portail avant même que vous n'arriviez. Les volets peuvent s'ouvrir et se fermer au rythme du soleil, et peuvent même aller jusqu'à s'adapter à la saison et la température pour laisser entrer la lumière et la chaleur du soleil l'hiver, ou au

contraire conserver le frais en été en fermant les volets des fenêtres exposées au soleil. De la même façon, la maison sait quand vous êtes présents, et peut ainsi adapter elle-même votre chauffage pour que la maison soit toujours à la température idéale. Tout ceci n'est pas de la science-fiction : c'est tout à fait réalisable aujourd'hui [15].

I.3.3.2 La communication (Multimédia)

La communication dans le Smart House (Maison Intelligente) est Le mariage de l'informatique, de télécom et l'électronique. Au royaume des normes domotique, il est difficile de se retrouver. On trouve des différents types de la communication dans le smart house :[15]

- **io-homecontrol** : est une technologie Radio sans fil et sécurisée, partagée par des spécialistes de l'habitat avec une communication bidirectionnelle.
- **Bluetooth** : protocole radio permettant une communication transparente entre tous les équipements situés dans un périmètre de quelques mètres.
- **XPL** : protocole de gestion domotique ultime (libre, simple et documenté) pour faire communiquer l'ensemble des équipements de l'installation.
- **Peer-To-Peer (P2P)** : échange de données entre deux ordinateurs reliés à Internet. Etablit un lien direct entre les deux machines sans nécessiter de serveur central.
- **Ethernet** : protocole de communication permettant le transport d'informations sur un réseau informatique.
- **ZigBee** : protocole de haut niveau permettant la communication de petites radios, à consommation réduite pour les réseaux à dimension personnelle.

I.3.3.3 la sécurité

L'un des domaines d'application qui se taille la part du lion d'une maison intelligente est la sécurité des biens et des personnes par des systèmes d'alarme qui préviennent d'une part des risques techniques (pannes ou dysfonctionnements des appareils) et d'autre part des éventuelles intrusions. Donc on trouve :

- **Alarmes techniques** : ce sont basées sur des capteurs capables de détecter différents incidents tels que les incendies, fuite d'eau et de gaz, etc. Ces différents capteurs sont raccordés à une centrale d'alarme.

- **Alarmes anti-intrusion** : ce sont en général des capteurs sur les portes (détection d'ouverture) ou dans les pièces détection de présence) qui sont reliés eux aussi à une centrale d'alarme. Ces capteurs peuvent être couplés avec un réseau de caméras numériques de surveillance. Lors d'une intrusion, un message d'alerte peut être envoyé par e-mail ou sur un téléphone portable.

I.3.3.4 La santé

Le Smart House trouve aujourd'hui de nouvelles applications dans le domaine de la santé. En installant des systèmes dans les maisons des personnes en situation de handicap, atteintes de maladies neuro-dégénératives telles que la maladie d'Alzheimer ou encore des personnes âgées, il est possible de les aider dans leur quotidien en automatisant le plus possible des tâches considérées comme complexes [16].

Cela permet également à la personne de rester à son domicile plus longtemps et d'être suivie à distance. Par exemple, grâce à la domotique, on peut détecter quand une personne

ne boit pas assez d'eau ou quand elle oublie de se nourrir. Si le comportement est considéré comme « préoccupant », il est alors possible d'alerter la famille ou les secours selon les scénarios programmés dans l'interface de commande [8].

I.3.3.5 Gestion et Economie de d'énergie

Le smart home implique l'utilisation d'équipements électriques, électroniques et informatiques. L'électricité est le « sang » nécessaire à leurs fonctionnements. Or celle-ci peut être, selon les circonstances, indisponible, il en est de même pour le chauffage si l'on utilise le gaz, par exemple. Anticiper des coupures ou des ruptures d'approvisionnement permet d'avoir un fonctionnement sans interruption.

Les maisons intelligentes sont équipées d'un ensemble de technologies innovantes permettant d'améliorer de manière globale leurs performances énergétiques sans perte de confort. Parmi ces technologies, de nombreux automatismes : gestion des volets, de la ventilation, gestion des équipements de chauffage rendent les maisons réactives aux conditions extérieures (climat) et intérieures (usage), l'objectif final étant de réduire les dépenses quotidiennes d'énergie tout en préservant le confort des habitants [8].

I.3.4 Différence entre domotique et maison connectée

La domotique facilite le quotidien mais avec l'intervention de l'Homme (appuyer sur des boutons pour fermer les volets roulants, gérer le climatiseur avec la télécommande...etc.). La maison intelligente connaît déjà certaines de nos habitudes et s'adaptera pour nous, on parle alors de « machine learning » ou d'intelligence artificielle [17].

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons illustré l'instrumentation technologique de l'habitat par deux domaines à priori distincts : la domotique et l'intelligence ambiante. La première s'est construite sur des bases technologiques et industrielles, dans le but de gérer électroniquement l'habitat. La deuxième résulte d'une évolution naturelle des dispositifs informatiques, cette discipline met en œuvre plusieurs domaines, dont les buts sont d'augmenter le nombre de dispositifs numériques au sein d'un environnement, d'utiliser ces dispositifs comme moyens d'interactions avec l'utilisateur, et d'augmenter l'intelligence des services rendus aux utilisateurs par une meilleure exploitation des données issues de l'environnement. Ces deux notions ont pour point commun la numérisation des espaces de vie, espaces auxquels l'habitat est éligible, conduisant ainsi au paradigme de la maison intelligente, dont on a présenté une vue globale de cette dernière, ses caractéristiques, ainsi que ses fonctionnalités.

Dans le chapitre qui suit on va mettre l'accent sur les techniques et les méthodes d'optimisations.

Chapitre II

Optimisation : Définitions et Généralités

Introduction

Les problèmes d'optimisation occupent actuellement une place de choix dans la communauté scientifique. Non pas qu'ils aient été un jour considérés comme secondaires mais l'évolution des techniques informatiques a permis de dynamiser les recherches dans ce domaine.

Le monde réel offre un ensemble très divers de problèmes d'optimisation :

- Problèmes combinatoires ou à variables continues.
- Problèmes à un ou plusieurs objectif(s).
- Problèmes statiques ou dynamiques.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive, et un problème peut être à la fois multi-objectifs et dynamique.

II.1 Définition de l'optimisation :

L'optimisation est une branche des mathématiques. Dans la pratique, on part d'un problème concret, on le modélise et on le résout mathématiquement (analytiquement : problème d'optimisation, numériquement : programme mathématique). Au sens général un problème d'optimisation est défini par un ensemble de variables, une fonction objectif f et un ensemble de contraintes d'égalité ou d'inégalité que les variables doivent satisfaire. L'ensemble des solutions possibles du problème forme l'espace de recherche S , où chaque dimension correspond à une variable. L'espace de recherche S est fini puisque le décideur précise exactement le domaine de définition de chaque variable entre autres pour des raisons de temps de calcul.

Suivant le problème posé, l'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum (de l'optimum) d'une fonction f donnée en respectant certaines conditions préalables [18]. Cette fonction dite « Objectif » peut être : minimisation d'un coût, maximiser un profit, maximiser la production, etc. Les fonctions objectifs sont diverses ainsi que les contraintes selon le problème à optimiser. Dans l'analyse de réseaux électrique plusieurs fonctions peuvent être optimisées (coût de production, l'émission des gazes toxique, les pertes de transmission, le confort des usagers, etc) avec considération les contraintes d'égalité et d'inégalité pour obtenir des solutions optimal acceptable.

La recherche d'un maximum peut toujours se ramener à la recherche d'un minimum i.e : trouver le maximum ; Le problème $\mathbf{Max} \mathbf{X} \in S, f(X)$ renvoi $(\mathbf{X0}, \mathbf{V})$, alors que le problème $\mathbf{Min} \mathbf{X} \in S, f(X)$ renvoi $(\mathbf{X0}, -\mathbf{V})$.

II.2 Domaine d'application

L'optimisation intervient dans de nombreux domaines, dont on cite :

- En recherche opérationnelle (problème de transport, économie, gestion de stocks...).
- En analyse numérique (approximation/résolution de systèmes linéaires, non linéaires...).
- En automatique (modélisation de systèmes, filtrage...).
- En ingénierie (dimensionnement de structures, conception optimale de systèmes (réseaux, ordinateurs ...)).

II.3 Caractéristiques d'un problème d'optimisation

II.3.1 L'espace d'état

L'espace d'état est défini par l'ensemble des domaines des variables du problème, cet espace est fini car la méthode de résolution utilisée à besoin de travailler dans un espace restreint pour des raisons opératoire et de temps de calcul, dont le décideur précise un domaine de valeurs envisageable à chaque variable [19].

II.3.2 La fonction d'objective

On l'appelle aussi fonction de coût ou fonction fitness, c'est la fonction f que l'algorithme d'optimisation va devoir optimiser (trouver leur optimum) [20].

II.3.3 Les variables de décision

Elles sont regroupées dans le vecteur \vec{X} . C'est en faisant varier ce vecteur que l'on recherche un optimum de la fonction f [18].

II.3.4 Détermination des contraintes

Définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche [19].

II.4 La classification des problèmes d'optimisation

On peut classer les différents problèmes d'optimisation que l'on rencontre dans la vie courante en fonction de leurs caractéristiques :

II.4.1 Variables de décisions :

- a) - **Domaine de définition des variables de décision** : selon le domaine de définition des variables de décision, le problème est soit :
 - Continu pour le type réel
 - Discret pour des entiers
 - Combinatoire pour un type de permutation sur un ensemble fini de nombres
- b) - **Nombre de variables de décision** :
 - Une \Rightarrow *monovariable*.
 - Plusieurs \Rightarrow *multivariable*.

II.4.2 La fonction objectif

On se basant sur la fonction objectif on distingue deux critères de classification, à savoir

- a) - **Type de la fonction objectif** : selon la nature de la fonction objectif le problème peut être soit :
 - Statique : le critère d'optimisation est fixé et connu sur l'horizon de temps ou l'on doit évaluer la fonction objectif.
 - Dynamique : cela veut dire que le système doit être capable d'intégrer des imprévus (i.e. la fonction objectif change avec le temps).
- b) - **Le nombre de fonctions objectifs à optimiser** : [21]
 - Problème mono objectif : si la fonction est scalaire.
 - Problème multi-objectifs : si la fonction est vectorielle (i.e. plusieurs fonctions objectifs doivent être optimisées).

II.4.3 Formulation du problème

Selon la présence des contraintes le problème est [21] :

- Avec des contraintes.
- Sans contraintes.

Ainsi, un problème d'optimisation peut être, par exemple, à la fois continu et dynamique[22].

II.5 Processus d'optimisation

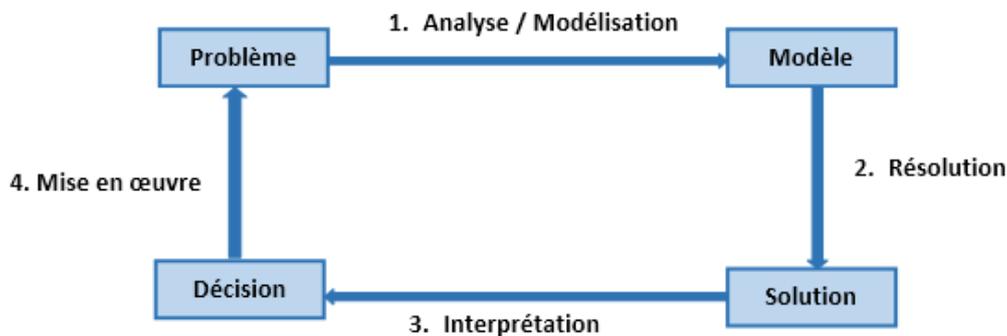


FIGURE II.1 – Schéma représente le processus d'optimisation.

II.5.1 Etape d'analyse et de modélisation

a) - **Analyse :**

- Compréhension du système
- Détermination des objectifs
- Obtention des données

b) - **Modélisation :**

- Choix d'un langage (formel), de la méthode.
- Traduction du problème : qui sert à identifier les paramètres (variables) et leurs domaines de définition ainsi de déterminer les contraintes de la situation par un système d'inéquations, incertitude,...
- Etablir la règle de la fonction à optimiser

II.5.2 Etape de résolution

- Mise en œuvre algorithmique ; utilisation d'un outil de résolution
- Analyse de la robustesse, pertinence des résultats.

II.5.3 Etape d'interprétation

- Interpréter les résultats dans le monde réel.
- Présenter aux acteurs.

II.5.4 Etape de mise en œuvre

- Mise en œuvre opérationnelle.
- Suivi des impacts, action correctives.

II.6 Formulation d'un problème d'optimisation mono-objective

Un problème d'optimisation mono-objectif est un problème comportant un seul objectif, il est présenté sous la forme suivante :

$$\begin{cases} \text{Opt } f(x) \\ g(x) = 0 \text{ et } h(x) \geq 0 \end{cases} \quad \text{avec } \text{Opt} = \begin{cases} \text{Min} \\ \text{ou} \\ \text{Max} \end{cases}$$

Tel que $f(x)$ est la fonction d'objective à optimiser. Et $g(x)$, $h(x)$ représentent respectivement l'ensemble des contraintes d'égalité et d'inégalité.

II.6.1 Minimum global

On a la fonction $f : \Omega \in \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, tel que $\Omega \neq \emptyset$. pour $x^* \in \Omega$, On dit que x^* est un minimum global si et seulement si : $\forall x \in \Omega : f(x^*) \leq f(x)$ [22].

Tel que :

- x^* : Le minimum global.
- Ω : la région faisable ($\Omega \in S$),
- S : l'espace de recherche global.

II.6.2 Minimum local

On dit que x^* est un minimum local de la fonction f si et seulement si :
 $\forall x \in V$ et $x^* \neq x, f(x^*) < f(x)$, D'où $V(x^*)$ définit un voisinage de x^* [22].

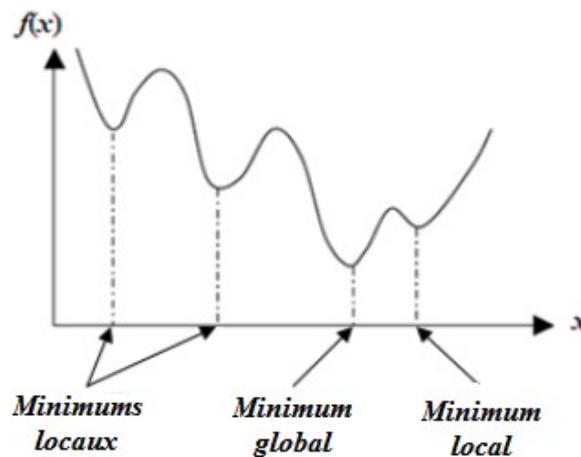


FIGURE II.2 – Illustration des différents minima d'une fonction objective.

II.7 Formulation d'un problème d'optimisation multi-objectifs (PMO)

Parfois, il n'est pas possible d'extraire une fonction objectif unique du cahier des charges mais plusieurs objectifs qu'il faut satisfaire simultanément, l'optimisation à objectifs multiples a pour but la résolution du problème à partir des variables de conception. Ces problèmes entrent dans la catégorie des problèmes vectoriels. Ils peuvent être définis comme suit :

$$(MOP) = \text{Optimiser } f(x) = (f_1(x), \dots, f_n(x)) \text{ avec } x \in X$$

Où, l'optimisation peut être une minimisation ou maximisation selon le problème à considérer, n est le nombre d'objectifs tel que : $n \geq 2$, le vecteur $X(x_1, \dots, x_q)$ représente les q variables de décisions qui représente l'ensemble des solutions réalisables dans l'espace d'état [21].

II.7.1 Approches de résolution des problèmes (PMO)

Les approches utilisées pour la résolution des problèmes PMO peuvent être classées en trois catégories :

II.7.1.1 Approches agrégées

Ces approches sont basées sur la transformation du problème multi-objectifs en un problème mono-objectif, et ce en regroupant les critères à optimiser dans une unique fonction objectif [21]. Les approches les plus simples utilisent une fonction de mise à l'échelle de chaque critère afin de pouvoir les additionner (modèle additif) ou bien les multiplier (modèle multiplicatif) [23], parmi ces approches, on trouve : programmation par but, le Min-Max, les e-contraintes ou alternation des objectifs, etc.

II.7.1.2 Les approches fondées sur dominance de Pareto

Elles sont fondées sur la notion de dominance au sens de Pareto qui privilégie une recherche satisfaisant au mieux tous les objectifs. Elles traitent les problèmes d'optimisation multi-objectifs en prenant en compte tous les objectifs à optimiser simultanément. Ces méthodes ne font subir aucune transformation et aucune préférence n'a été donnée à aucun des objectifs. A l'inverse d'une optimisation mono-objectif où il existe une relation d'ordre total entre les solutions réalisables, en raison de la nature conflictuelle des objectifs dans un problème d'optimisation multi-objectifs, il n'existe pas souvent une solution unique qui optimise simultanément tous les objectifs. Par conséquent, la dominance de Pareto ; qui impose une relation d'ordre partiel ; peut être utilisée comme mesure de qualité pour caractériser l'optimalité, ainsi les solutions optimales sont celles qui ne sont pas dominées au sens de Pareto [21].

De nombreux algorithmes ont été développés pour résoudre ce type de problème. Parmi lesquels on cite : l'algorithme Multi Objective Genetic Algorithm (MOGA), l'algorithme Niche Pareto Genetic Algorithm (NPGA), utilisant une sélection par tournoi, basée principalement sur la dominance de Pareto, l'algorithme Non Dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA), etc.

II.7.1.3 Les approches non agrégées et non Pareto

Ces méthodes utilisent des processus de recherche qui traitent séparément les différents objectifs, alors que l'agrégation ou l'utilisation de la dominance de Pareto traitent les objectifs simultanément [19].

II.8 Méthodes d'optimisation

Pour faire face aux problèmes d'optimisation des techniques de recherche opérationnelle sont utilisées. En présence d'un problème d'optimisation, le choix d'une méthode efficace capable de produire une solution optimale en un temps de calcul raisonnable, est une difficulté à laquelle tout décideur est confronté.

De nombreuses méthodes de résolution ont été développées dans ce sens et peuvent être classées en trois catégories : les méthodes exactes qui garantissent la complétude de la résolution, les méthodes approchées qui perdent la complétude pour gagner en efficacité et enfin les méthodes hybrides dont on distingue deux types d'hybridations à savoir : hybridation méta-exacte et Meta-Meta.

Cette classification est illustrée ci-après dans la figure II.3

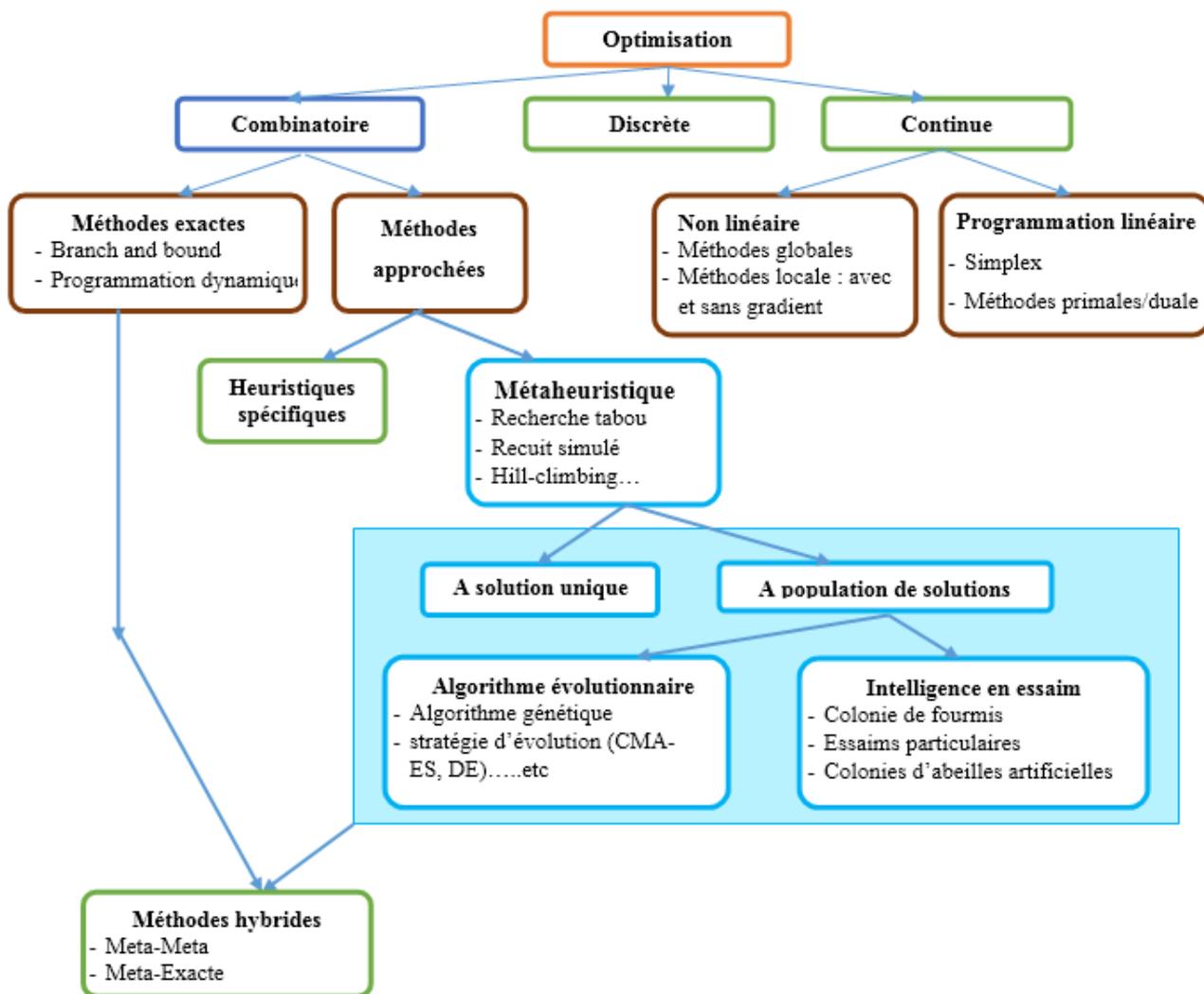


FIGURE II.3 – Classification des méthodes d’optimisation[32].

II.8.1 Les méthodes exactes

Ce type de méthodes fournit au moins une solution optimale pour un problème d’optimisation [24]. Elles sont exigeantes en ressources, et elles requièrent des temps d’exécutions conséquents. En effet, une manière intuitive de résoudre les problèmes d’optimisation discrets consiste à énumérer une partie ou toutes les solutions admissibles. Néanmoins, pour un grand nombre de problèmes, cette énumération s’avère impossible à cause des temps de calcul prohibitifs entraînés par l’énumération.

Ces méthodes sont conseillées pour les problèmes de petite taille [23], quand il s’agit des problèmes de grande taille, les chercheurs adoptent les méthodes exactes avec simplification ou élimination de certaines contraintes pour obtenir des bornes inférieures ou supérieures, elles servent à évaluer la qualité des différentes méthodes proposées pour la recherche de solutions admissibles. Parmi les algorithmes exacts on cite les algorithmes de séparation et évaluation, programmation dynamique... etc [25].

II.8.1.1 La méthode de Branch And Bound

Cette méthode (procédure par évaluation et séparation progressive) consiste à énumérer les solutions d'une manière intelligente d'une manière à utiliser certaines propriétés du problème en question, cette technique arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'on recherche i.e permet de restreindre progressivement l'ensemble des solutions réalisables, et ce en alternant une étape dite de séparation et une étape d'évaluation jusqu'à obtention de la preuve de l'optimalité d'une solution. C'est la raison pour laquelle elles sont aussi appelées méthodes d'énumération implicite. De ce fait, on arrive souvent à obtenir la solution recherchée en des temps raisonnables. Bien entendu, dans le pire cas, on retombe toujours sur l'élimination explicite de toutes les solutions du problème.

Pour ce faire, cette méthode se dote d'une fonction qui permet de mettre une borne sur certaines solutions pour soit les exclure soit les maintenir comme des solutions potentielles. La performance d'une méthode de Branch and Bound dépend de la qualité de cette fonction (de sa capacité d'exclure des solutions partielles).

II.8.1.2 Programmation dynamique

La programmation dynamique a été appelée comme cela depuis 1940 par Richard Bellman et permet d'appréhender un problème de façon différente de celle que l'on pourrait imaginer au premier abord. Le concept de base est simple : une solution optimale est la somme de sous-problèmes résolus de façon optimale. Il faut donc diviser un problème donné en sous-problèmes et les résoudre un par un [26].

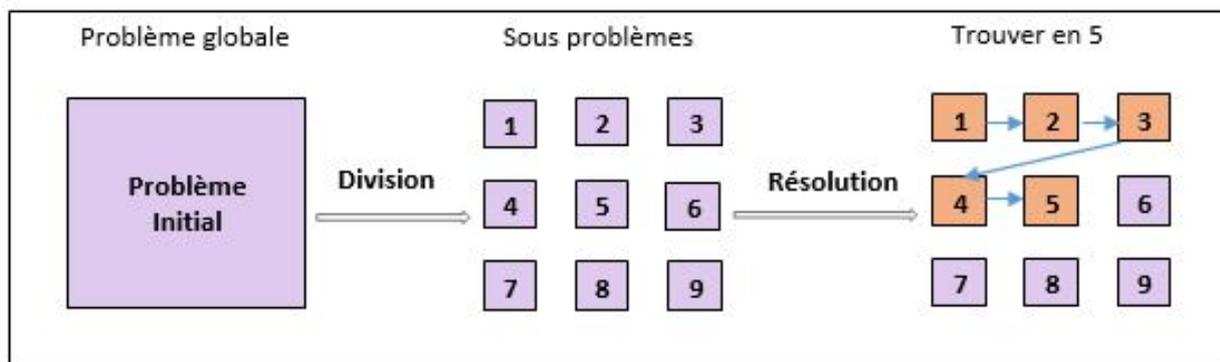


FIGURE II.4 – Schéma représente la programmation dynamique.

II.8.2 Les méthodes approchées

L'espace de recherche de problème d'optimisation de taille critique est énorme et multidimensionnel menant à un processus de recherche laborieux. Plusieurs chercheurs se sont orientés vers l'utilisation de méthodes de résolution approchées, dont on s'intéresse dans cette partie à un groupe de méthodes dénommées heuristique et métaheuristique qui forment une famille d'algorithmes visant à résoudre des problèmes d'optimisation difficile, pour lesquels on ne connaît pas de méthodes classiques plus efficaces. Elles sont utilisées comme des méthodes génériques pouvant optimiser une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé.

A l'inverse d'un algorithme exact permettant de garantir l'optimalité de la solution obtenue, un algorithme approché tente de s'en approcher le plus possible. Ce type de méthodes fournit des solutions de bonnes qualités en un temps de calcul raisonnable pour des problèmes de taille importante [23].

L'avantage principale de ces méthodes est qu'elles peuvent s'appliquer à n'importe quelle classe de problèmes, car elles ont une grande capacité à trouver l'optimum global, généralement s'appuient sur des mécanismes de transition probabilistes et aléatoires [27]. De même, les algorithmes approchés ont démontré leurs robustesses et efficacités face à plusieurs problèmes d'optimisation combinatoires [28].

Les méthodes approchées englobent deux classes : les heuristiques, et les métaheuristiques.

II.8.2.1 Les heuristiques

Ce sont des méthodes rapides, très simples à mettre en œuvre et qui dépendent du domaine d'utilisation, elles ont été conçues spécifiquement pour un problème donné. Leur capacité à optimiser un problème avec un minimum d'informations est contre balancée par le fait qu'elle n'offre aucune garantie quant à l'optimalité de la meilleure solution trouvée. Du point de vue de la recherche opérationnelle, ce défaut n'est pas toujours un problème, tout spécialement quand seule une approximation de la solution optimale est recherchée.

Le principe de base de ce type de méthodes est de construire progressivement, en intégrant des stratégies de décision, une solution proche de celle optimale tout en cherchant à avoir un temps de calcul raisonnable [29].

Les stratégies de décision sont souvent des critères d'optimisation locaux menant à des solutions admissibles (réalisable) de qualité relativement bonne.

II.8.2.2 Les Métaheuristiques

Contrairement aux heuristiques, les métaheuristiques sont des méthodes de recherche générale « génériques » indépendantes du problème étudié, dédiées à la résolution d'une large gamme de problème d'optimisation sans changements majeurs dans l'algorithme [30].

Le mot métaheuristique se compose de deux mots grecs :

- Heuristique venant du verbe heuriskein et signifie « trouver » ;
- Meta signifiant « au-delà », et indiquant un passage d'un niveau à un niveau supérieur pour étudier ou manipuler des informations de niveau inférieur.

Même si les métaheuristiques sont applicables sur n'importe quel type de problème, il convient toujours d'analyser les caractéristiques du problème, à traiter pour évaluer quelle est la meilleure méthode à utiliser i.e : consiste à explorer l'espace de solution possible afin de trouver une solution satisfaisante dans un temps de calcul raisonnable. Ces méthodes suscitent un intérêt croissant, de nombreuses métaheuristiques ont été conçues pour la résolution des problèmes de plus en plus complexes dits NP-difficile tel que les problèmes d'ordonnancement [31].

Les métaheuristiques sont des méthodes inspirées de la nature, elles sont considérées comme des heuristiques modernes dédiées à la résolution des problèmes et plus particulièrement aux problèmes d'optimisation, qui visent d'atteindre un optimum global généralement enfoui au milieu de nombreux optima locaux. Les métaheuristiques se subdivisent en deux sous-classes [25] :

- Les méthodes de voisinage (à base de solution unique)
- les méthodes évolutives (à base de population de solutions)

Dans ce qui suit, Nous présentons quelques métaheuristiques des deux classes citées précédemment :

1. Les métaheuristiques à solution unique

Ces méthodes (aussi appelées méthodes de trajectoire) partent d'une solution initiale obtenue de façon exacte, ou par tirage aléatoire et s'en éloignent progressivement (basé sur la notion de voisinage, pour réaliser une trajectoire) [32], en exploitant le voisinage de la solution actuelle afin d'améliorer sa qualité au cours des différentes itérations, Le voisinage de la solution englobe l'ensemble des modifications qui peuvent être effectuées sur la solution elle-même. La qualité de la solution finale dépend particulièrement des modifications effectuées par les opérateurs de voisinages. Dans cette catégorie, se rangent plusieurs méthodes à savoir :

- Monté Carlo.
- Le recuit simulé.
- La méthode Tabou.

Le terme de recherche locale est le plus utilisée pour qualifier ces méthodes.

- Monte carlo

Cette méthode consiste à tirer une solution au hasard à chaque itération. La fonction objectif est évaluée en ce point. Si elle est meilleure que l'optimum courant; cette valeur est enregistrée, ainsi que la solution correspondante et le processus continue jusqu'à ce que les conditions d'arrêt soient vérifiées, elle est utilisée pour avoir en premier lieu des renseignements utiles sur la forme de la fonction, elle permet de choisir le point de départ d'un algorithme de recherche locale[27].

- Le recuit simulé (RS)

Le RS est une généralisation de la méthode Monte-Carlo; inspirée d'un processus utilisé en métallurgie, son but est de trouver une solution optimale pour un problème donné. Elle a été mise au point par trois chercheurs de la société IBM : S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt et M.P. Vecchi en 1983, et indépendamment par V. Cerny en 1985 à partir de l'algorithme de Metropolis; qui permet de décrire l'évolution d'un système thermodynamique.

L'idée principale du recuit simulé tel qu'il a été proposé par Metropolis en 1953 est de simuler le comportement de la matière dans le processus du recuit très largement utilisé dans la métallurgie. Le but est d'atteindre un état d'équilibre thermodynamique, cet état d'équilibre représente - dans la méthode du recuit simulé - la solution optimale d'un problème; L'énergie du système sera calculé par une fonction objectif. La méthode va donc essayer de trouver la solution optimale en optimisant une fonction objectif, pour cela, un paramètre fictif de température

a été ajouté par Kirkpatrick, Gelatt et Vecchi. En gros le principe consiste à générer successivement des configurations à partir d'une solution initiale S_0 et d'une température initiale T_0 qui diminuera tout au long du processus jusqu'à atteindre une température finale ou un état d'équilibre (optimum global).

- Recherche Tabou (T.S Tabu Search)

La méthode de recherche tabou, a été formalisée en 1986 par F. Glover [33]. Sa principale particularité tient dans la mise en œuvre des mécanismes inspirés de la mémoire humaine. L'idée consiste à garder la trace du cheminement passé dans une mémoire et de s'y référer pour guider la recherche, À chaque itération, l'algorithme tabou permet de se déplacer de la solution courante vers son meilleur voisin, même si celui-ci dégrade la fonction de coût (le voisin n'ayant pas forcément une qualité meilleure que la solution courante). Cette méthode utilise une liste tabou qui sert à mémoriser les configurations ou régions visitées et à introduire des mécanismes permettant d'interdire à la recherche de retourner trop rapidement vers ces configurations. Chaque nouvelle solution considérée enlève de cette liste la solution la plus anciennement visitée [34].

2. Les métaheuristiques à population de solutions

Aussi appelées méthodes évolutives, contrairement aux algorithmes partant d'une solution singulière, les métaheuristiques à population de solutions améliorent, au fur et à mesure des itérations, une population de solutions. On distingue dans cette catégorie, les algorithmes évolutionnaires, qui sont une famille d'algorithmes issus de la théorie de l'évolution par la sélection naturelle, énoncée par Charles Darwin et les algorithmes d'intelligence en essaim inspirés de biologie ou de l'éthologie [35].

L'intérêt de ces méthodes est d'explorer un très vaste espace de recherche et d'utiliser la population comme facteur ; de plus elles sont très adaptées et très largement utilisées pour l'optimisation multi objectifs.

- Algorithmes génétiques (G.A : Genetic Algorithms)

Ce sont des algorithmes stochastiques, appartenant à la famille des algorithmes évolutionnaires en se basant sur les mécanismes d'évolution naturelle et de la génétique. Le fonctionnement d'un algorithme génétique commence par le choix, généralement aléatoire, d'une population de solutions potentielles (chromosomes) initiales. La performance relative de chaque individu est évaluée par une fonction de fitness qui permet de déterminer sa qualité. La génération d'une nouvelle population, des solutions potentielles, se base sur les opérateurs évolutionnaires : la sélection, le croisement et la mutation. Ce cycle évolutionnaire se répète jusqu'à la condition d'arrêt qui peut être un nombre d'itération [36].

- Optimisation par colonies de fourmis(ACO : Ant Colony Optimization)

ACO a été conçu par Dorigo, il s'inspire comme son nom l'indique du comportement des fourmis lorsque celles-ci cherchent de la nourriture et optimisent le chemin entre leur nid et la nourriture trouvée. En effet, les fourmis utilisent leur environnement pour communiquer entre elles, il s'agit d'un mécanisme dit stigmergique grâce auquel elles déposent des phéromones sur le sol pour signifier aux autres fourmis le chemin qu'elles ont parcouru pour atteindre la nourriture. Ainsi, les autres pourront suivre la piste de phéromones pour retrouver la source de nourriture. Or, il se trouve

que les phéromones s'évaporent avec le temps, par conséquent ce sont les chemins les plus courts qui conserveront une concentration de phéromones plus importante. C'est comme cela que les fourmis trouvent naturellement le plus court chemin à leur nourriture depuis leurs abris. Le ACO reprend la notion de système multi-agents dans lequel chaque agent est représenté par une fourmi. Cela peut être par exemple utilisé pour parcourir un graphe : une fourmi parcourt le graphe de manière aléatoire, mais avec une probabilité plus importante de suivre une arête du graphe, en fonction de la quantité de phéromones déposée dessus. Lorsque le graphe est entièrement parcouru, elle laisse sur le chemin qu'elle a pris une quantité de phéromones proportionnelle à la longueur de ce chemin [35].

- Optimisation par essais particuliers (PSO : Particle Swarm Optimization)

PSO Est une métaheuristique non spécifique, au même titre que, par exemple, les algorithmes évolutionnaires ou les colonies de fourmis. Elle est inspiré du comportement collectif et l'intelligence émergente qui existe dans la société à populations organisées.

Au départ, un essaim est réparti au hasard dans l'espace de recherche, chaque particule ayant une vitesse aléatoire. Ensuite, à chaque pas de temps chaque particule est capable d'évaluer la qualité de sa position et de garder en mémoire sa meilleure position qu'elle a atteinte jusqu'ici que l'on note **PBesti**. La particule sera dirigée après par l'attraction vers la meilleure position qu'elle trouve jusqu'à présent, et par l'attraction vers la meilleure position trouvée par les autres particules notée **GBest** [37].

La stratégie de déplacement d'une particule est illustrée dans la figure II.5

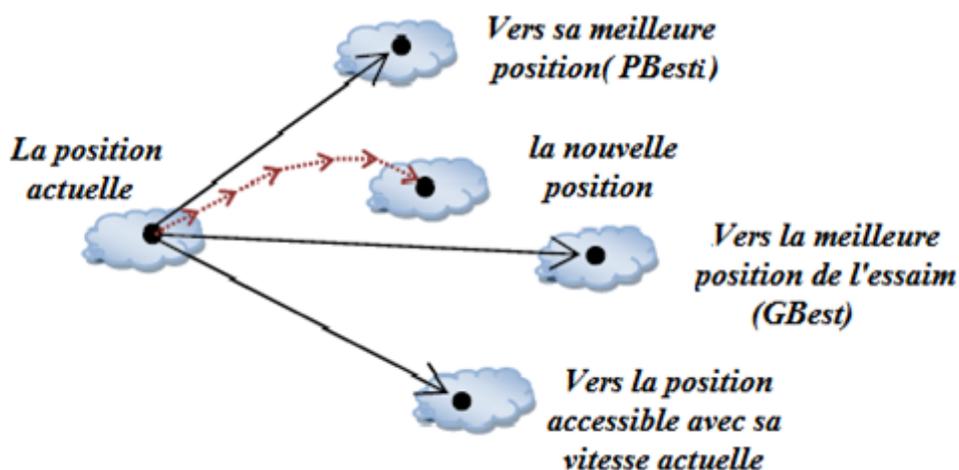


FIGURE II.5 – Stratégie de déplacement PSO [21].

Le comportement de la particule peut être décrit en se basant sur trois règles :

- la particule tend à suivre sa direction courante de déplacement (vitesse actuelle);
- Chaque particule est dotée de mémoire qui lui permet de mémoriser le meilleur point par lequel elle est déjà passée et elle a tendance à retourner vers ce point ;
- Chaque particule tend à se fier à l'expérience des autres particules de l'essaim, elle est ainsi informée du meilleur point connu au sein de son voisinage et elle va tendre à se diriger vers ce point.

II.8.3 Les méthodes hybrides

L'hybridation est une tendance observée dans de nombreux travaux réalisés sur les méthodes d'optimisation ces dernières années, elle fusionne les points forts et élimine les faiblesses des différents concepts de résolution de chaque méthode (exacte et approchée). Il existe plusieurs manières pour faire cette hybridation (coopération) :

II.8.3.1 Hybridation méta/méta

Ce type d'hybridation était à l'origine essentiellement réalisé entre différentes métaheuristiques. Une combinaison de plusieurs types d'approches a été proposée pour ce type de coopération, ce qui fait que les métaheuristiques hybrides sont devenues maintenant assez classiques dans le domaine de l'optimisation [21].

II.8.3.2 Hybridation méta/exacte

Les méthodes exactes permettaient de résoudre des petits problèmes tandis que les métaheuristiques sont capables de résoudre de grands problèmes sans pouvoir donner la solution optimale ou prouver que la solution fournie est optimale. Cependant les méthodes exactes peuvent néanmoins être utiles lorsque le problème global peut être décomposé en sous-problèmes. La résolution s'effectue alors en hybridant la résolution exacte des sous-problèmes et la résolution heuristique du problème complet [21].

Ces méthodes constituent le point de départ d'une approche hybride, assez originale dans le contexte des problèmes d'optimisation combinatoire. Elles visent à combiner les résolutions exactes et métaheuristiques permettant de conserver au mieux les avantages de chacune des approches.

II.8.4 Comparaison entre les méthodes exactes et approchées

1. Les méthodes exactes :

- Elles trouvent la solution optimale.
- Elles peuvent prendre un nombre exponentiel d'itérations.

2. Les méthodes approchées :

- Elles produisent une solution sous-optimale.
- Elles ne produisent pas de mesure de qualité de la solution.
- En général, elles ne prennent pas un nombre exponentiel d'itérations.

Conclusion

Nous avons exposé au cours de ce chapitre une vue globale de l'optimisation, dont on a abordé ces différentes notions de base, ces domaines d'application, les étapes fondamentales d'un processus d'optimisation, ensuite on a présenté les techniques et les méthodes d'optimisations, ainsi les différents critères nécessaires pour le choix d'une méthode adéquate à la résolution des différentes classes de problème à savoir les méthodes : exactes, approchées et hybrides.

Dans le chapitre suivant nous allons aborder l'un des plus importants domaines d'application des métaheuristiques en vue de résoudre les problèmes d'ordonnancement des équipements dans les maisons intelligentes.

Chapitre III

Ordonnancement d'équipements et état de l'art sur l'optimisation du Coût d'électricité dans les Smart Home

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'étude des problèmes d'optimisation issus de l'ordonnancement d'un ensemble d'équipements dans une maison intelligente où on cherche à minimiser le coût d'énergie totale consommée par ces machines tout en préservant une qualité de service acceptable.

Ce chapitre est divisé en trois parties indépendantes. La première partie s'étend sur les points essentiels concernant l'ordonnancement à savoir : les tâches, les ressources, contraintes ainsi les critères d'évaluation de la qualité d'ordonnancement, ensuite dans la deuxième partie on a mis l'accent sur la ressource la plus importante dans une maison intelligente « l'électricité » qui est l'objet de notre travail. Dans la troisième partie une description de la problématique en faisant un tour d'horizon sur les différentes études lié à ce domaine.

III.1 L'ordonnancement

III.1.1 Définition :

Au cours des dernières années, les problèmes d'ordonnancement ont fait l'objet de nombreuses études de recherche. En effet les champs d'application de la théorie d'ordonnancement sont diverses, notamment dans les systèmes informatiques, la gestion des projets, l'organisation des activités de services, l'administration ainsi dans les systèmes industriels et de production.

En informatique le processeur exécute les tâches selon un ordre bien déterminé sous le pilotage de l'ordonnanceur. En gestion de projet, l'ordonnancement consiste à organiser dans le temps et à déterminer les dates d'exécution des activités constituant le projet. Comme il sert à gérer dans les systèmes industriels et de production ; l'allocation de ressources au cours du temps, en déterminant les séquences des tâches en fixant leurs dates de début ainsi leurs durées d'exécution.

L'ordonnancement est la programmation dans le temps de l'exécution d'une série d'activités ou d'opérations sur un ensemble de ressources (machines, énergie...) dans le but d'optimiser certains objectifs à savoir : le coût, délais d'exécution, qualité de service... etc tout en respectant certains contraintes [29].

Il précise principalement trois importantes caractéristiques :

- Affectation des tâches aux ressources nécessaires.
- Le séquençement indiquant l'ordre de passage des tâches sur les ressources.
- Le datage, qui précise les temps de début et de fin d'exécution de chaque tâche sur les ressources.

III.1.2 Concepts fondamentaux d'ordonnancement

Quel que soit le contexte d'ordonnancement, la résolution nécessite la détermination des tâches, des ressources, des contraintes et des critères pris en considération lors du processus d'optimisation :

III.1.2.1 Les tâches

Une tâche est une entité de travail qui fait référence à une opération caractérisée par une date de début et de fin et dont sa réalisation nécessite une durée opératoire préalablement définie, ainsi une ou plusieurs ressources, dont on distingue deux types de tâches préemptives et non préemptives. Nous citons quelques tâches qu'on peut planifier dans une maison intelligente tel que ; fermeture et ouverture des volets en fonction du soleil, programmation du chauffage et de la climatisation selon la température extérieure, fermeture automatique des lumières si la pièce est vide, détection de fumée et de chaleur pour prévenir un feu, etc.

III.1.2.2 Les ressources

Une ressource est un moyen technique ou humain destiné pour la réalisation d'une tâche spécifique ou de plusieurs tâches. Il existe deux familles de ressources :

- A) - **Les ressources renouvelables** : Ce sont des ressources réutilisables, elles redeviennent disponibles après leur utilisation dans l'exécution d'une telle opération, comme les machines, les outils de production, etc, dans cette famille on distingue deux types : les ressources disjonctives qui ne peuvent exécuter qu'une seule tâche et les ressources cumulatives qui sont utilisées par plusieurs tâches simultanément.
- B) - **Les ressources consommables** : Comme leur nom l'indique, ce sont des ressources qui ne seront plus disponibles après avoir été allouées à une tâche, c'est le cas de la matière première, l'énergie, etc.

III.1.2.3 Les contraintes

Une contrainte exprime des restrictions sur les valeurs que peuvent prendre simultanément les variables de décision représentant les relations reliant les tâches et les ressources. On distingue deux types de contraintes, les contraintes temporelles et les contraintes de ressources.

- A) - **Les contraintes temporelles** : Les contraintes temporelles concernent les délais d'exécution des tâches imposés. Ces contraintes peuvent être :
 - *Des contraintes de dates butoirs*, certaines tâches doivent être achevées avant une date préalablement fixée.
 - *Des contraintes de précedence*, appelées aussi contraintes de succession, qui lie le début d'une tâche à la fin d'une autre. Certaines tâches doivent être achevées avant une date préalablement fixée.

- **Des contraintes de dates de fin**, liées à l'indisponibilité de certains facteurs nécessaires pour commencer l'exécution des tâches.

B) - **Les contraintes de ressources** : Ces contraintes concernent la limitation de la quantité de ressources de chaque type. Dans ce cadre, deux types de contraintes de ressources sont distinguées :

- **Les contraintes disjonctives** : induisant une contrainte de réalisation des tâches sur des intervalles temporels disjoints pour une même ressource.
- **Les contraintes cumulatives** : impliquant la limitation du nombre de tâches à réaliser en parallèle.

III.1.2.4 Les critères d'optimisation

Les critères qu'un ordonnancement doit satisfaire sont variés. Chaque critère est souvent représenté par une fonction objectif qui évalue la qualité d'ordonnancement, parmi ces critères on cite :

- Les critères liés au temps : on trouve par exemple la minimisation du temps total d'exécution des équipements dans une maison intelligente.
- Les critères liés aux ressources : tel que la maximisation de la charge d'une ressource ou minimisation du nombre de ressources nécessaires pour réaliser un ensemble de tâches, ainsi l'utilisation des équipements les moins gourmands en énergie.
- Les objectifs liés au coût : parmi lesquels on cite la minimisation du coût de consommation d'énergie durant la journée [30].

III.2 Concepts liés à l'énergie électrique

III.2.1 L'importance d'électricité

Aujourd'hui, l'électricité joue un rôle essentiel dans le développement économique et social d'un pays et dans l'amélioration de la qualité de vie des citoyens. De point de vue économique l'électricité est le pilier de réseau de l'énergie, elle fait tourner notre économie puisqu'elle est indispensable à la réalisation de tout processus de production, de l'exploitation minière, de même pour les industries de l'ensemble du pays. Donc elle constitue une puissante influence sur le système économique et social d'un pays car toute réduction de l'offre en matière d'énergie électrique et bien souvent synonyme non seulement de ralentissement de la machine économique d'un pays mais aussi d'inquiétude de tension et de crise.

Comme elle rend de nombreux services à l'humanité, elle contribue à la satisfaction des besoins primaire (tel que l'éclairage, la cuisson, le chauffage, la climatisation, ..), elle peut être utilisée comme biens de consommation finale ou bien comme facteur de production ou comme un bien de consommation intermédiaire.

Une grande partie de l'énergie mondiale est toutefois produite et consommée d'une manière qui ne serait pas viable à long terme si la technologie n'évoluait pas et si les quantités totales devaient augmenter considérablement.

Le secteur le plus consommateur d'électricité, est le secteur résidentiel. La hausse de la consommation électrique dans les bâtiments est principalement due à l'accroissement et la multiplication du nombre d'appareils électroménagers présents dans chaque foyer. En considérant l'importance de la consommation de ce secteur, on constate qu'il est nécessaire

de favoriser la réduction et la maîtrise de la consommation énergétique dans les maisons afin de préserver la stabilité du réseau électrique en garantissant l'équilibre entre la demande et l'offre disponible, le tout sans trop nuire au confort des occupants. Il devient aussi possible d'intégrer certaines stratégies dans des systèmes de gestion énergétique qui permettent de surveiller et de planifier la demande énergétique. Selon les importances relatives données au coût et au confort, le gestionnaire énergétique permet de faire des économies substantielles en évitant les consommations durant les pics de prix et évitant les dépassements de souscription par effacement, par modulation du fonctionnement des systèmes de chauffage et par décalage de fonctionnement des services temporaires dans les périodes plus intéressante énergétiquement[38].

III.2.2 Economie d'énergie électrique

Les points clés pour obtenir une maison à basse consommation d'énergie sont :

1. Réduire les besoins et la consommation, en adoptant dans l'habitat les techniques performantes en termes d'efficacité énergétique :
 - L'orientation de la maison afin de capter au mieux l'énergie solaire.
 - Inertie thermique (capacité à stocker de la chaleur dans les murs, le plancher...).
 - Une bonne isolation des murs et des fenêtres ainsi assurer une bonne ventilation.
 - Eclairage naturels équipements économes.
2. Il s'agit également pour tous les citoyens d'adopter durablement des comportements et des automatismes économes en énergie :
 - Eteindre les lumières et l'utilisation des ampoules basses consommation.
 - Ne pas laisser les appareils électriques en veille .
 - Baisser le chauffage et limiter la climatisation.
 - Acheter des appareils électriques peu gourmands en énergie .
3. Adopter les techniques de gestion et d'optimisation permettant de réduire la facture énergétique.

III.2.3 Architecture générale du système de gestion d'énergie dans une maison intelligente

La figure III.1 présente l'architecture générale d'un système de gestion d'énergie dans une maison intelligente (HEMS :Home Energy Management System) qui comprend les composants suivants :

1. Les compteurs intelligents (SM : Smart Meter) : ils facilitent la communication bidirectionnelle entre HEMS et le fournisseur d'énergie (SONELGAZ en Algerie).
2. Les appareils intelligents.
3. Dispositif d'affichage à domicile (IHD & control : In-Home Display) : agit comme une fenêtre permettant aux résidents de contrôler la consommation d'énergie de tous les appareils de la maison, le processus de planification peut être contrôlé par un dispositif IHD ou par une télécommande telle qu'un smartphone ou ordinateur portable, via internet.
4. Des passerelles(HG :hub-Gateway) capables de transmettre le signal de commande aux appareils afin de piloter leurs exécutions via un réseau domestique.

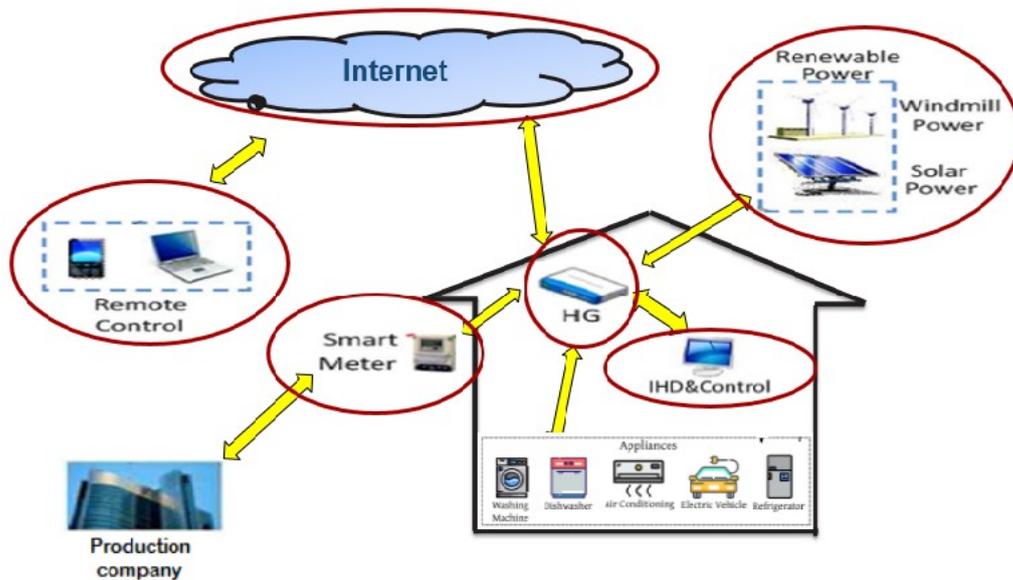


FIGURE III.1 – Schéma général d'un HEMS

III.3 Etat de l'art

III.3.1 Description du problème

La gestion de l'énergie peut être formulée comme un problème d'ordonnancement où l'énergie est considérée comme une ressource partagée par les appareils ménagers, et les périodes de consommation d'énergie sont considérées comme des tâches [46].

Durant ces dernières années, de nombreux travaux de recherche ont été menés avec, pour objectif la gestion et la maîtrise de la demande énergétique avec une attention particulière portée à l'énergie électrique qui se résume en quelques points principaux tel que : la minimisation du coût d'électricité, la réduction des pics de consommation, la maximisation du confort de l'utilisateur, l'intégration des sources d'énergie renouvelables, la réduction du PAR (Peak Adjusting Rate) et la gestion optimale de la charge [39].

Récemment, de nombreux algorithmes d'optimisation ont été proposés pour traiter le problème de gestion d'énergie dans les maisons intelligentes. Certains chercheurs s'intéressent à la réduction de la facture d'électricité et à la réduction du PAR, tandis que d'autres se concentrent sur la maximisation du confort des utilisateurs et la gestion optimale de la charge. Mais le plus important est de savoir comment réduire les factures d'électricité sans compromettre le confort des utilisateurs et réduire la valeur PAR.

III.3.2 Les travaux liés

Cette partie est consacrée à la présentation de quelques travaux réalisés dans ce domaine de recherche qui traitent le problème d'optimisation dans les smart homes via des algorithmes approchés et exactes. Parmi lesquelles on cite :

- **I.Ullah et S. Hussain**, Dans [40], les auteurs ont proposé un nouveau algorithme d'optimisation métaheuristique nommé Time constrained Genetic - Moth Flame Optimization (TG-MFO), et l'ont appliqué pour une optimisation énergétique efficace dans les maisons et les bâtiments intelligent. Ils ont également analysé cinq algorithmes bio-inspiré pour le problème d'optimisation énergétique à savoir les algorithmes ACO, GA, Cuckoo search Algorithm(CSA), Firefly Algorithm (FA) et MFO, pour l'analyse et la validation de l'algorithme proposé, il ont appliqué ces algorithmes dans différents scénarios de consommation, tel qu'un seul logement pour une journée, un seul logement pour trente jours, trente logements de différente taille pour une journée ainsi trente logements pour trente jours. Dont ils ont divisé l'heure en deux tranche de 30 min c'est-à-dire 48 créneaux dans une journée, dans chaque intervalle de temps le contrôleur EMC vérifie la disponibilité de ressources énergétiques par rapport à la demande de puissance des appareils selon leurs état (On/Off), si la ressource est disponible l'appareil sera allumé, dans le cas contraire l'algorithme proposé vérifiera la période pendant laquelle un utilisateur n'a aucun problème avec la planification de l'appareil avec le prix le plus bas. Les résultats de simulation montrent que l'algorithme proposé a réduit l'inconfort de l'utilisateur final en termes de temps d'attente de l'appareil presque égal à zéro par rapport aux algorithmes cités précédemment, comme il garantit la minimisation du coût énergétique total et un minimum de PAR.

TG-MFO est basé sur l'hybridation de GA et MFO avec des contraintes de temps. Initialement MFO est appliqué sur des données générées aléatoirement pour le problème d'optimisation afin d'obtenir les meilleures positions locales pour les appareils ménagers. Ensuite GA est appliqué pour comparer la meilleure solution locale de MFO avec les nouvelles données aléatoires, afin de trouver la meilleure solution globale à chaque itération. Les fonctions de fitness sont mise à jour en conséquence. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que le critère de terminaison soit atteint.

- **I. Hussain, M. Ullah et A. Bibi**, Dans [41] les auteurs ont proposé une technique d'optimisation métaheuristique appelé algorithme de libellule (DA : Dragonfly Algorithm), ce dernier se rapporte à un problème réel de maison intelligentes simple et multiples, dans le modèle de système proposé deux classe d'appareils sont considérées ; appareils mobiles et immobiles.

Les appareils mobiles jouent un rôle important dans la gestion de la charge coté demande, car ils peuvent être programmés en fonction du signal de tarification en temps réel (RTP : Real Time Price) du service public, tandis que les appareils non mobiles ne sont pas très importants pour la gestion de la charge, car ces appareils sont fixes et ne peuvent pas être programmés selon le RTP. Lors la simulation des résultats, l'algorithme DA proposé a atteint un coût d'électricité minimum avec un temps d'attente tolérable. Il y'a un compromis entre le coût de l'électricité et le temps d'attente car avec une baisse du coût de l'électricité, le temps d'attente augmente et vice versa. Ce compromis est également obtenu par l'algorithme DA. La stabilité de la grille est maintenue car elle dépend du rapport pic/ moyenne (PAR) tandis que le PAR est réduit de l'algorithme « DA » par rapport à un cas non planifié.

- **Veras, J., et al.** dans [42] ont proposé une architecture générale d'un système de gestion de l'énergie domestique qui vise à déterminer l'ordonnancement optimal et à planifier l'utilisation de chaque appareil électroménager en tenant compte des prix en temps réel (RTP :real time price) ainsi que des différentes catégories d'appareils. Le modèle d'optimisation multi-objectifs a été formulé comme un problème soumis à un ensemble de contraintes et a été résolu en utilisant l'algorithme génétique trié non do-

miné (NSGAI). L'objectif de cette approche est de minimiser le coût de l'électricité et maximiser le confort de l'utilisateur (multi-objectifs). Trois (03) scénarios d'expérience différents de consommation d'électricité ont été utilisés pour les simulations (scénario 1 - deux adultes sans enfants; scénario 2 - deux adultes avec trois enfants et scénario 3 - un adulte sans enfants).

Ces profils ont été fournis à 15 familles brésiliennes qui vivent dans cinq (05) villes. De plus, le scénario prévoyait un nombre différent d'appareils ménagers : scénario 1 (29 appareils), scénario 2 (33 appareils) et scénario 3 (23 appareils), pour un total de 425 appareils d'analyse. L'intervalle horaire total dans cette étude est donné comme $T = 24$ h. Chaque intervalle de temps t signifie une heure (1 slot = 1h). Les paramètres de l'algorithme (NSGA-II) pris en compte dans l'étude sont comme suit : la taille de la population est de 500 et le nombre maximum d'itérations est 1000. Les résultats de l'étude ont montré qu'il y a une réduction significative du coût total associé à la consommation d'énergie électrique pour les trois scénarios analysés. De plus, lorsque le système de gestion énergétique des maisons (HEMS : home energy management system) a appliqué la technique NSGA-II, ce dernier a obtenu les meilleurs résultats par rapport à l'algorithme de recherche aléatoire [42].

- **Zahoor Ali Khan et al**, Dans [43], ils ont proposé un système (HEM home energy management) basée sur l'hybridation de la métaheuristique (HSA : harmony search algorithm) avec l'incorporation de l'évolution différentielle améliorée (EDE). La technique proposée (HEDE : Harmony EDE) a pour objectif d'optimiser la consommation d'énergie ainsi de réduire le coût d'électricité et du PAR, la performance de HEDE est évaluée via des simulations dans MATLAB effectuées pour une et plusieurs maisons dans une zone résidentielle, chaque maison équipée de 12 appareils électroménagers similaires, EMC(energy management controller) et SM qui se communiquent entre eux via un réseau sans fil.

L'intervalle de temps d'ordonnancement est de 12 min au lieu de 1 h, ils divisent une journée en 120 créneaux, vu que le temps d'exécution de certains appareils est inférieur à une heure, cet intervalle réduit le coût d'électricité et rend le système plus robuste, ainsi que les appareils sont planifiés selon la nature de leur modèle de consommation d'énergie.

Les résultats de la simulation montrent que la technique proposée est efficace en terme de réduction de coût et de PAR, par rapport à EDE et HSA.

- **A. Bouakkaz et S. Haddad**, Dans [45], l'algorithme d'optimisation PSO est proposé pour programmer les appareils électroménagers dans le système d'énergie hybride dans une période où la production est élevée, dans le but d'économiser de l'énergie et de réduire le coût de la consommation d'énergie. En maximisant l'utilisation de la puissance des sources d'énergie renouvelables et en minimisant l'utilisation de la puissance des batteries; car ces systèmes utilisent une grande capacité de batteries pour stocker l'énergie et de la réutiliser en cas d'absence ou d'insuffisance d'alimentation électrique et ce afin de garantir l'équilibre énergétique.

L'algorithme de la planification PSO est basé sur les prévisions de données d'un jour d'avance sur les énergies renouvelables et le profil de consommation électrique de la charge quotidienne, une étude de cas de données météorologiques dans le sud de l'Espagne est sélectionnée et testée pour la simulation. Deux scénarios de stratégies d'ordonnancement sont présentés et comparés aux scénarios sans ordonnancement des appareils. Les résultats de la simulation montrent que l'optimisation des coûts

atteint 50% avec 0.472 Kwh d'énergie économisée dans la programmation avec les préférences de l'utilisateur et peut être atteinte jusqu'à 64% avec 0.81 kwh d'énergie économisée en cas d'utilisation de la technique d'optimisation PSO.

- **M-U. Khalid**, N. Javaid, Dans [44], ont présenté deux techniques d'optimisations hybrides métaheuristiques pour programmer l'horaire des appareils électroménagers. La première technique est un algorithme hybride de la recherche tabou (TS), et de l'algorithme de recherche de nourriture bactérienne (BFA), cet hybridation nommé (HBT) (Hybrid Bacterienne Tabu Search), la deuxième est l'hybride de l'algorithme TS et chauve-souris (BA) nommé (HBAT). L'objectif de ces deux hybridations est de réduire les dépenses du consommateur tout en préservant le confort de l'utilisateur en termes de temps d'attente en fonction du signal de prix variable. Les auteurs de cet article proposent deux types d'ordonnancement : le premier ordonnancement d'appareil utilisant des techniques d'optimisation métaheuristique et le second ré-ordonnancement d'appareil utilisant la programmation dynamique (DP). Les techniques d'optimisation métaheuristique font passer l'appareil d'un pic de prix élevé a un pic de prix bas, minimisant ainsi la facture énergétique du consommateur et le ratio pic/moyenne(PAR). DP gèrait les interruptions utilisateurs en temps réel pour allumer n'importe quel appareil. Reprogrammation d'appareils formulée comme un problème de sac à dos, qui divise un problème en sous-problème pour obtenir une solution optimal. Les résultats de la simulation ont validé l'efficacité des techniques hybrides proposées.
- **Zhao, Z.et al.** dans [39] ont présenté un système de gestion d'énergie dans un réseau domestique (HAN) et ont présenté une approche qui consiste à trouver une méthode efficace pour ordonnancer l'usage de l'énergie dans un Smart Home en combinant RTP (Real Time Pricing) et IBR (Inclined Block Rate) selon les préférences de l'utilisateur, l'objectif de leur approche est de réduire le coût de l'électricité (mono-objectif) en utilisant l'algorithme génétique.

La première étape consiste à établir les paramètres de chaque équipement en incluant le temps de l'opération (ils ont divisé chaque heure en 5 slot de 12 minutes chacun répartis en 24 heures). Les resultats de la simulation montrent que le système de gestion d'énergie proposé par les auteurs en combinant RTP et IBR et plus efficace que RTP seul.

Conclusion

L'avènement des métaheuristiques a permis de résoudre plusieurs problèmes pour lesquels il n'existe pas de méthodes spécifiques, dans notre état de l'art nous avons regroupé les travaux les plus récents qui traitent l'adaptation des métaheuristiques les plus connues pour résoudre les problèmes d'ordonnancement qui consiste à optimiser le coût d'électricité sans apporter de détails sur leurs caractéristiques, leurs classifications, leurs algorithmes de base, etc.

Nous avons donc choisi d'utiliser l'une des métaheuristiques nommée « EHO : Elephants Herding Optimization » pour résoudre le problème d'ordonnancement qui constitue un moyen parmi d'autres pour tenter de maîtriser la consommation d'énergie ainsi de réduire la facture d'électricité dans une maison intelligente.

Afin de pouvoir réaliser cela, nous consacrons le chapitre suivant à la présentation détaillée de cette solution.

Chapitre IV

Proposition et évaluation des résultats

Introduction

Dans une maison intelligente, la plupart des équipements fonctionnent automatiquement, il est alors possible de les faire fonctionner pendant le temps où le prix de l'électricité est plus bas.

Dans ce chapitre, nous proposons un système de gestion de l'énergie en utilisant un ordonnancement de tâches avec technique d'optimisation métaheuristique : « algorithme EHO : Elephant Herding Optimization ». L'objectif et l'optimisation recherchée dans ce travail se place dans le cadre de gestion de l'énergie électrique dans une maison intelligente afin de minimiser le coût de consommation électrique des différents équipements d'une maison tenant compte des particularités des équipements, le temps et la durée de l'usage. Les résultats de notre simulation montrent que la solution proposée permet une bonne gestion de l'énergie et une réduction du coût d'électricité par rapport à un ordonnancement non planifié.

IV.1 Enoncé du problème

Le prix unitaire de consommation de l'énergie électrique diffère d'une heure à l'autre dans le cas d'une tarification horaire. L'exécution aléatoire des équipements pendant la journée peut tomber sur des horaires où le prix est élevé.

Le but de notre travail est de minimiser le coût de consommation énergétique lors de l'ordonnancement des exécutions des équipements électroménagers pendant 24 heures. Comme le temps d'exécution de certains appareils est inférieur à 60 minutes, nous divisons une journée en créneaux horaires égaux avec un intervalle de temps défini préalablement.

Un créneau représente la plus petite durée d'exécution d'un équipement donné.

IV.2 Modélisation et formulation du Problème

IV.2.1 Le codage de la solution

Une solution S de notre problème est codifiée comme un vecteur de ' N ' cases où ' N ' est le nombre d'équipements, la case ' i ' représente le numéro du créneau de début d'exécution de l'équipement ' i ' durant la journée. Tel qu'il est illustré dans la figure suivante :

S :

Les équipements	Equip 1	Equip 2	Equip i	Equip N
Numéro du slot	13	09	83	46

TABLE IV.1 – Le numéro du créneau de début d'exécution de chaque équipement

IV.2.2 La Fonction d'évaluation

La fonction d'évaluation est une fonction scalaire que l'on cherche à minimiser. Elle sert à évaluer la qualité des solutions au cours de la recherche.

Minimize Cost(S)

Cost(S) : représente le prix de la consommation journalière qui est une somme des prix de consommation pour chaque équipement. Il est calculé comme suit :

$$\text{Cost(S)} = \sum_{i=1}^N (\text{Nbcrequip}[i] * \text{Pr}(S[i]) / \text{Nbcrrh} * \text{Puissance}[i]) \text{ avec } i \in [1, N].$$

- **Pr** : vecteur qui représente les prix de consommation a chaque heure.
- **Nbcrequip** : vecteur qui représente le nombre de créneaux que prend chaque équipement.
- **Puissance** : vecteur qui représente la puissance de chaque équipement.
- **S[i]** : représente le numéro de slot d'exécution de l'équipement « i ».
- **Nbcrrh** : nombre de créneaux par heure

IV.3 Implémentation et développement

IV.3.1 Description de l'algorithme

IV.3.1.1 Généralités et principe de fonctionnement

Nous nous proposons à présent de donner une description de l'algorithme proposé nommé « **EHO : Elephant Herding Optimization** » pour résoudre d'une façon optimale le problème de minimisation du coût d'électricité consommée par les appareils électroménagers dans une maison.

L'optimisation à base de groupement d'éléphants (EHO) est une métaheuristique développée par Wang et al. en 2016 [47] [48] qui est une technique d'optimisation basée sur une population de solutions.

EHO est une métaheuristique qui s'inspire du comportement d'élevage des éléphants évoluant en groupe. Dans un environnement naturel, les éléphants sont de nature sociale et un troupeau d'éléphants est composé de certains clans d'individus d'éléphants sous la direction d'une matriarche. Dans un groupe, les éléphantesses femelles ont l'intention de rester avec le groupe familial mais les éléphants mâles resteront solitaires et quittent leur groupe familial dès qu'ils sont suffisamment mûrs.

Le comportement de groupement des éléphants peut résoudre un problème d'optimisation globale selon les règles suivantes :

- La population des éléphants est composée d'un ensemble de clans ; Chaque clan a un nombre fixe d'éléphants.

- Un nombre fixe d'éléphants mâles quittera leur groupe familial et vivra solitairement loin du groupe à chaque génération (opérateur de séparation).
- Les éléphants de chaque clan vivent ensemble sous la direction d'une matriarche.

Le comportement de groupement peut être modélisé par deux opérateurs spéciaux qui sont utilisés pour créer une meilleure technique d'optimisation globale : l'opérateur de mise à jour et l'opérateur de séparation des clans.

Dans EHO, chaque éléphant implémente l'opérateur de mise à jour du clan pour changer sa position $X_{new,i,j}$ en fonction de sa position actuelle $X_{i,j}$, selon l'équation (1), et de la position de la matriarche $X_{best,i}$ dans le clan correspondant selon l'équation (2).

Par la suite, le pire éléphant avec sa position $X_{worst,i}$ est remplacé par un opérateur de séparation selon l'équation (4), avec X_{min} et X_{max} qui représentent la borne supérieure et inférieure d'une position d'un éléphant. $\mathbf{rand}()$, α, β et \mathbf{r} sont des valeurs aléatoires entre 0 et 1, et n le nombre d'éléphants dans chaque clan.

L'opérateur de mise à jour des clans :

$$X_{new,i,j} = X_{i,j} + \alpha * (X_{best,i} - X_{i,j}) * \mathbf{r} \dots\dots\dots(1)$$

$$X_{best,i} = \beta * X_{center,i} \dots\dots\dots(2)$$

$$X_{center,i,d} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^N (X_{i,j,d}) \dots\dots\dots(3)$$

L'opérateur de séparation des clans :

$$X_{worst,i} = X_{min} + (X_{max} - X_{min}) * \mathbf{rand}() \dots\dots\dots(4)$$

En se basant sur la description de l'opérateur de mise à jour ainsi celui de séparation, le pseudo-code de l'algorithme « EHO » peut être décrit selon l'organigramme illustré dans la figure ci-après :

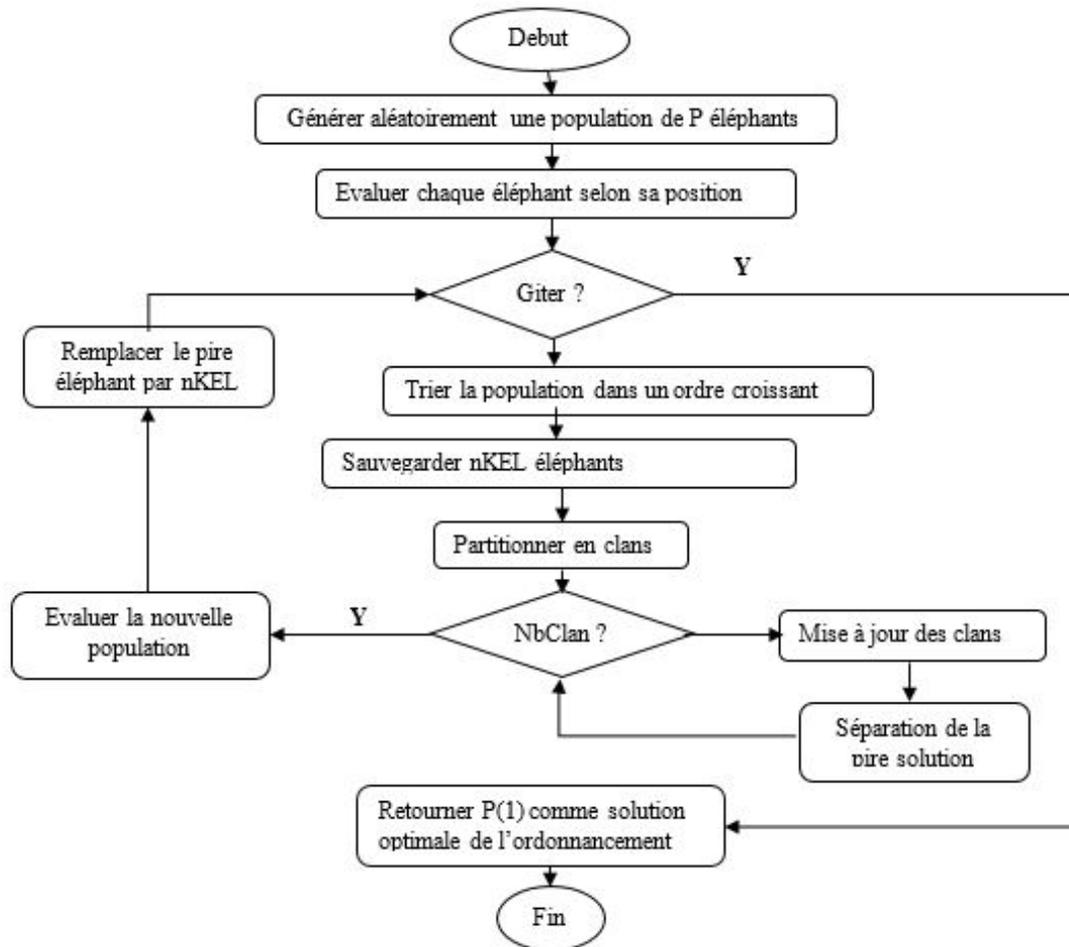


FIGURE IV.1 – Diagramme EHO.

IV.3.1.2 Etapes procédurale de l'algorithme EHO [21]

a) - Etape d'initialisation

Initialement, nous générons une population initiale de p individus aléatoirement avec une distribution uniforme dans l'espace de recherche, ensuite chaque individu est évalué en fonction de sa position.

L'idée de cet algorithme consiste à trier tous les éléphants en fonction de leur valeur de la fonction d'évaluation; ensuite les $nKEL$ meilleurs éléphants sont sauvegardés (stratégie d'élitisme).

b) - Etape de partitionnement

L'ensemble de la population est divisé en sous populations (clans) de sorte que chaque clan C_i contenant n solutions.

c) - Etape d'évolution locale

Pour chaque clan la procédure de mise à jour sera implémentée selon les équations (1), (2) et (3).

Pour chaque clan, l'opération de séparation sera implémentée pour remplacer les pires éléments selon l'équation (4).

d) - **Etape de mélange et réorganisation**

Après l'évolution locale de chaque clan, toutes les sous populations seront recombiniées à nouveau pour former une seule population globale qui sera évaluée en fonction des nouvelles positions mises à jour ensuite cette dernière sera triée dans un ordre croissant conformément à la valeur de la fonction objectif. Les pires individus sont remplacés par les nKEL meilleures positions sauvegardées (stratégie d'élitisme).

e) - **Etape finale**

Ces étapes se répètent jusqu'à ce que le nombre de génération « Giter » soit atteint, à ce stade le premier individu sera renvoyé comme solution optimale du problème.

IV.3.2 Application de l'algorithme

a) - **Initialisation des paramètres**

L'initialisation des paramètres de l'algorithme est illustrée dans le tableau IV.2

Paramètres de l'algorithme EHO	
Taille de la population	50
Nombre de clan	10
nKEL	02
Taille de la solution (nombre des appareils)	08
Model de tarification	51.M
Créneaux horaires	96 [1-96]
Nombre d'itération	30

TABLE IV.2 – Paramètre l'algorithme EHO

b) - **Caractéristiques des appareils**

Equipements	Energies (kWh)	Nombre de créneaux
Four micro-onde	1.18	1
Fer à repasser	1.5	1
Machine à café	0.8	1
Climatiseur	1.18	3
Four micro-onde	1.44	1
Chauffe-eau	4.45	2
Machine à laver	0.78	5
Sèche-linge	4.40	2
Lave-vaisselle	3.6	3

TABLE IV.3 – Caractéristiques des équipements

IV.3.3 Développement de l'application

IV.3.3.1 Spécification des besoins

Pour l'étude de spécifications des besoins on a utilisé la méthode UML, pour la réalisation de notre application.

Il faut décrire l'ensemble des cas d'utilisation du système et les diagrammes séquences. Cette partie a donné une première vision sur les fonctionnalités de l'application.

a) - La navigation dans l'application

La figure ci-après, décrit la navigation dans l'application

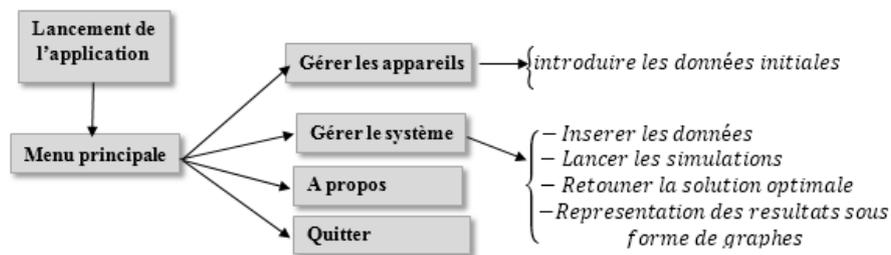


FIGURE IV.2 – La navigation dans l'application.

b) - Diagramme général de cas d'utilisations

Les diagrammes de cas d'utilisation sont des diagrammes UML utilisés pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Ils sont utiles pour des présentations auprès de la direction ou des acteurs d'un projet. Un cas d'utilisation représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur (humain ou machine) et un système. Dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs, ils interagissent avec les cas d'utilisation. Pour notre système, le diagramme de cas d'utilisation global est représenté dans la figure IV.3.

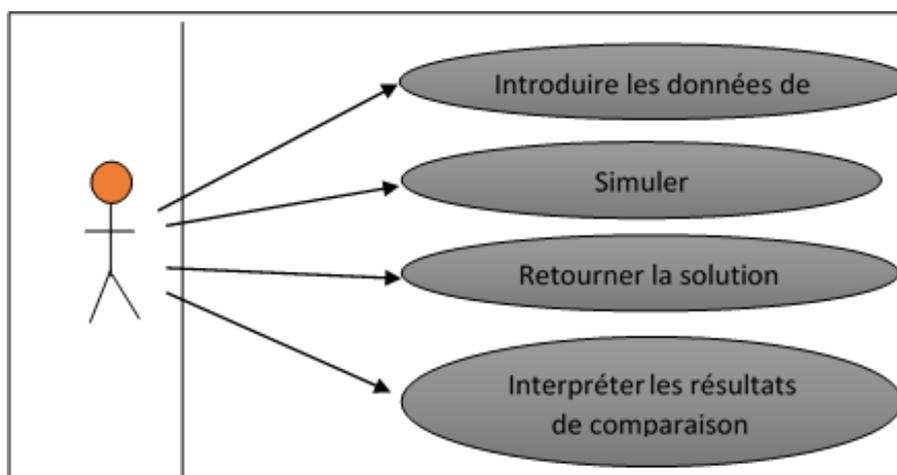


FIGURE IV.3 – Diagramme des cas d'utilisation du système.

c) - Modélisation des diagrammes de séquence :

Un diagramme de séquences est un diagramme d'interaction qui expose en détail la façon dont les opérations sont effectuées, avec une représentation graphique des interactions entre les acteurs et le système selon un ordre chronologique dans la formulation UML.

La figure IV.4 illustre le processus de simulation d'un environnement donné ou un système modelé proposé.

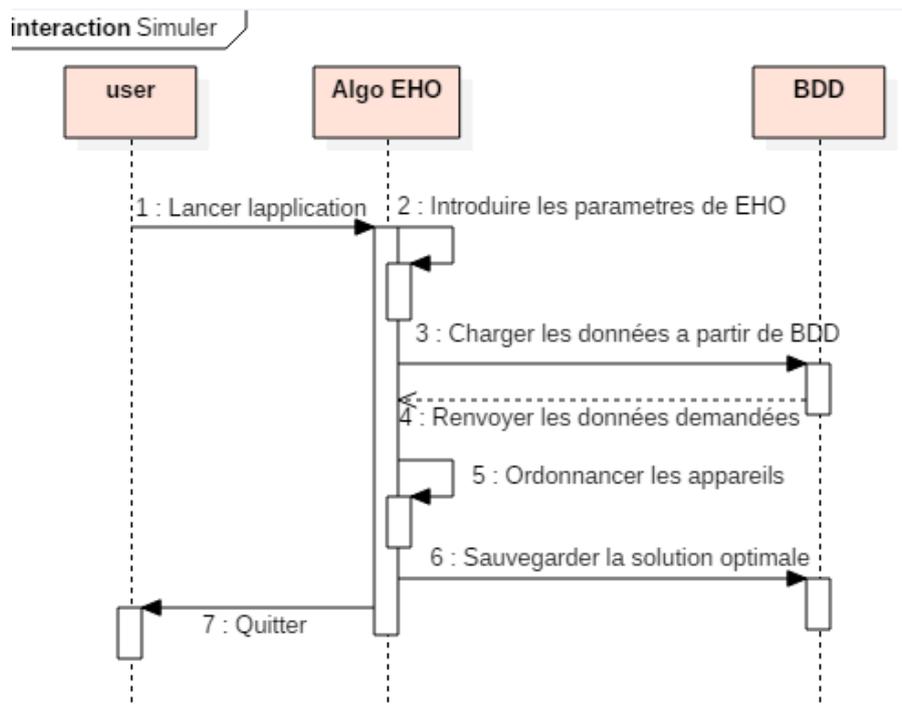
c.1)- Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Simuler »

FIGURE IV.4 – Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Simuler ».

c.2)- Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Interpréter les résultats de comparaison »

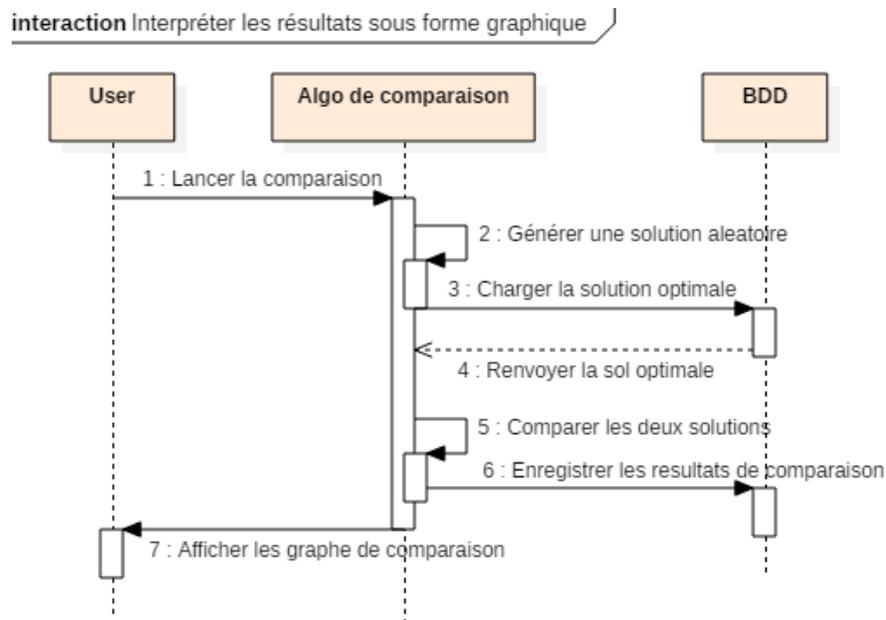


FIGURE IV.5 – Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Interpréter les résultats de comparaison ».

IV.3.3.2 Mise en œuvre de l'algorithme

Cette partie a pour but la description de la phase de mise en œuvre de la solution qui présente le détail de la réalisation de l'application.

Outils de développement : L'application de cette algorithme a été menée sur un PC condor avec un processeur Intel® pentium® 2.20 GHz-2.20 GHz et 4 Go de RAM, fonctionnant sous Windows 7. Le prototype est développé avec MATLAB et StartUML3 pour la Modélisation.

IV.4 Evaluation des résultats

Dans cette section, les résultats de la simulation sont présentés et discutés en détail, à l'aide de simulations sur MATLAB, pour montrer les performances de l'approche proposée pour la minimisation du tarif de consommation de l'énergie électrique dans une maison.

L'optimisation du coût de l'électricité résidentielle est réalisée à l'aide de la métaheuristique EHO. La méthode d'optimisation est implémentée pour planifier le temps d'utilisation de 08 équipements différents.

IV.4.1 Modèle de tarification de l'énergie

De nombreux tarifs d'électricité sont disponibles pour définir le prix de l'énergie pendant une journée. Les tarifs de l'électricité de la société SONALGAZ sont Fixés par la Commission de régulation de l'électricité et de gaz par décision CREG N° D/22-15/CD du 29 décembre 2015 portant fixation des tarifs de l'électricité à compter du 1er janvier 2016, la figure IV.6 représente les trois option de tarification existantes.

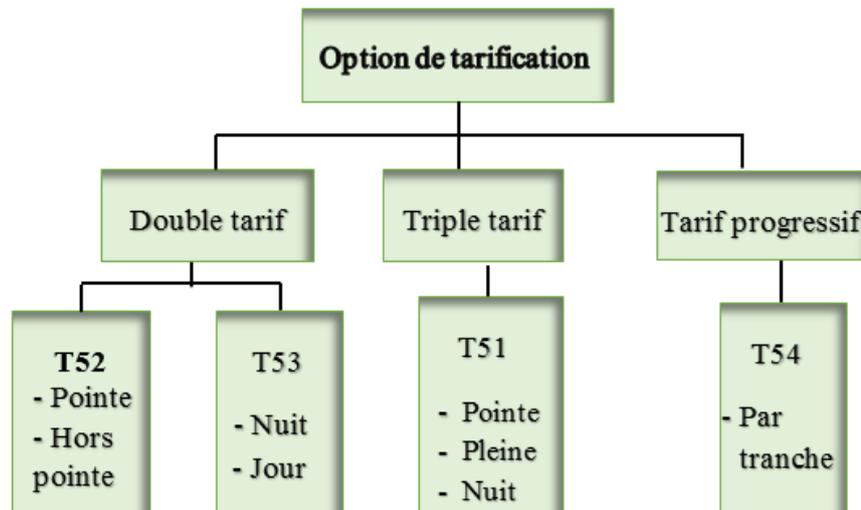


FIGURE IV.6 – Options tarifaires de SONELGAZ [49].

Le Tableau IV.4 décrit en détails les différents tarifs appliqués pour chaque option de tarification.

Tarif de l'énergie pour les clients ménages par kWh :			
Tarif 51 M	Point	Pleines	Nuit
	17h à 21h 811.47 cDA	6h à 17h et 21h à 22h30 216.45 cDA	22h30 à 6h 120.50 cDA
Tarif 52 M	Point	Hors pointe	
	17h à 21h 811.47 cDA	21h à 17h 178.07 cDA	
Tarif 53 M	Nuit	Jour	
	22h30 à 6h 120.50 cDA	6h à 22h30 486.98 cDA	
Tarif 54 M	Pour une consommation par trimestre (Par tranche)		
	Tranche1 : de 0 à 125 kWh : 177.87 cDA		
	Tranche2 : supérieure à 125 jusqu'à 250 kWh : 417.89 cDA		
	Tranche3 : supérieure à 250 jusqu'à 1000 kWh : 481.20 cDA		
Tranche4 : supérieure à 1000 kWh : 547.96 cDA			

TABLE IV.4 – Tarifs de SONELGAZ [49].

Dans notre simulation, nous utilisons la tarification T-51M qui décompose la journée en trois périodes horaire : horaires de pointe, les horaires pleines et les horaires de nuit décrites en détails dans le tableau précédent.

Dans ce travail, nous avons choisis de travailler avec des intervalles de temps de 15 minutes. En d'autre terme, chaque heure est divisée en quatre(04) créneaux horaires et une journée est constituée de 96 créneaux. Chaque équipement est fonctionnaire pendant un intervalle de temps multiple de 15 minutes.

Cependant, il doit y avoir des erreurs dans les résultats finaux. Ces erreurs sont de l'ordre de quelques minutes et sont suffisamment petites pour être ignorées.

La figure IV.7 illustre la tarification horaire T51 M pendant une journée.

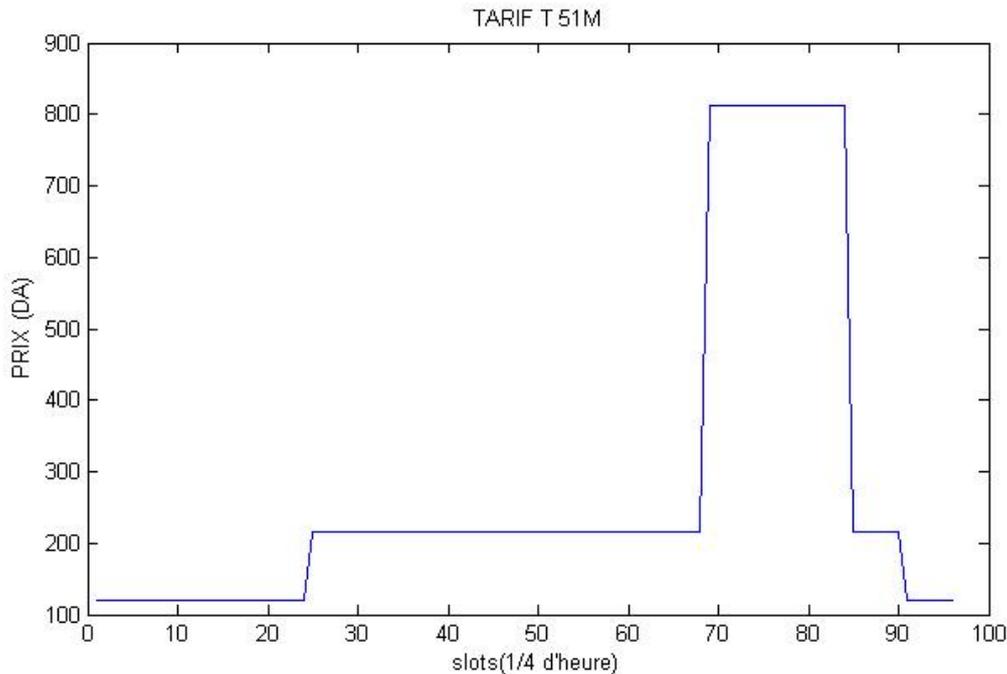


FIGURE IV.7 – Graphe du modèle Triple Tarif (T 51M).

IV.4.2 Résultats et discussion

Les résultats de simulation représentent une comparaison en termes de la gestion de consommation d'énergie et le coût de consommation entre une solution aléatoire et une solution obtenue après un ordonnancement avec EHO.

IV.4.2.1 Prix en fonction des itérations

La figure IV.8 illustre le prix de consommation d'électricité dans une maison intelligente équipée de 08 appareils, en fonction des itérations qui sont fixées à 30.

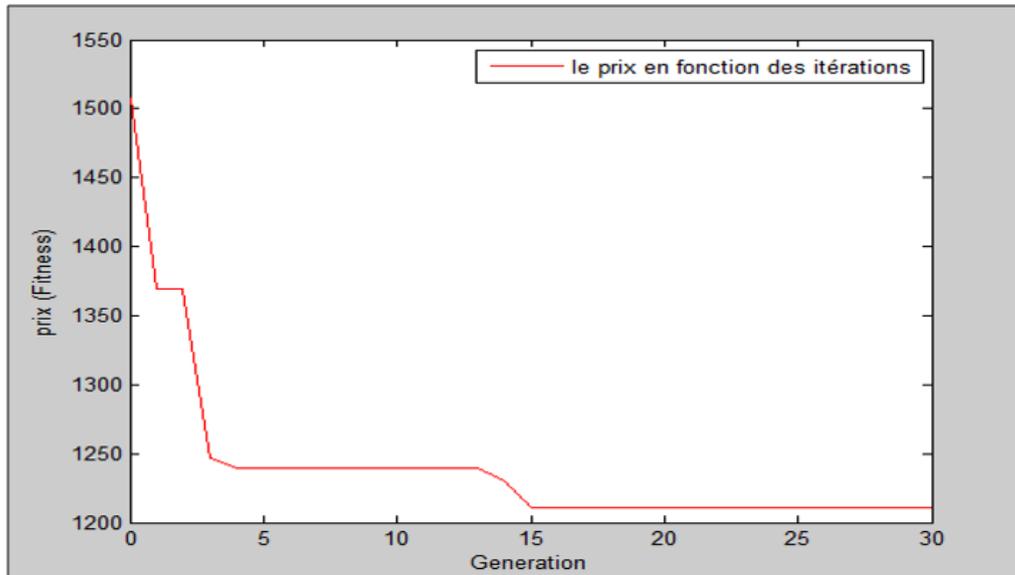


FIGURE IV.8 – Graphe du prix en fonction des itérations

Cette figure montre la performance de l'algorithme EHO en terme de coût tout on augmentant le nombre d'itérations. Il ressort clairement de la figure que la fonction objectif est considérablement réduite avant quelle sera constante a la valeur 1211cDA approximativement à partir de 15^{eme} itération.

IV.4.2.2 Consommation journalière

Cette section illustre la consommation énergétique journalière avec ordonnancement (métaheuristique EHO) et sans ordonnancement (solution non planifiée) dans une maison intelligente.

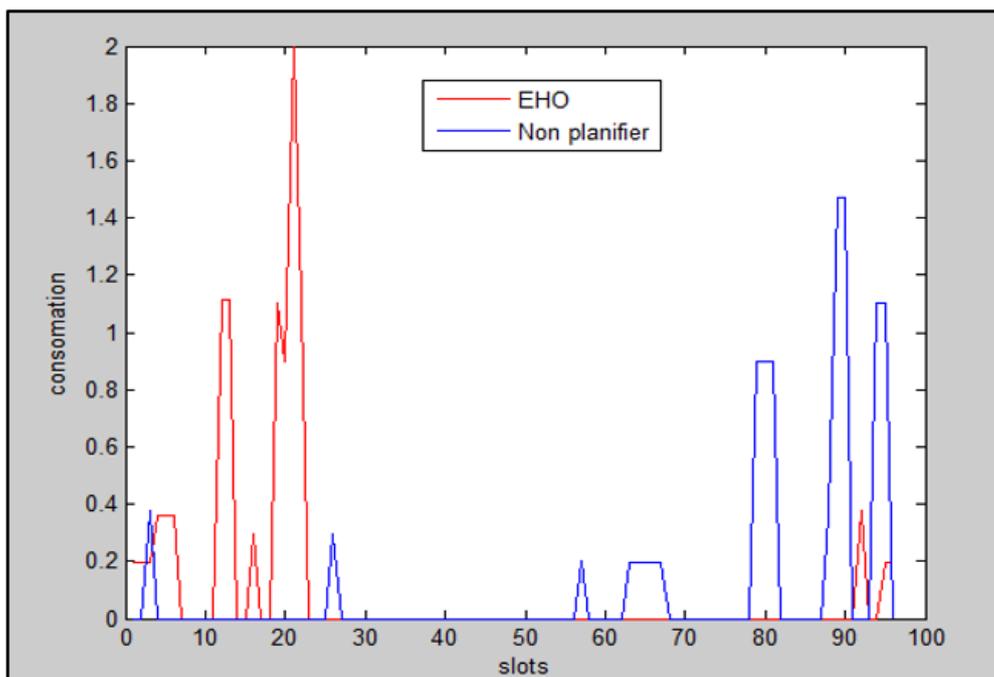


FIGURE IV.9 – Graphe de la consommation journalière.

La figure IV.9 représente une consommation d'énergie pour 24 heures (96 créneaux). On constate, que pour le cas d'une solution aléatoire, un niveau d'activité élevé des utilisateurs pendant les heures de pointe, ce qui entraîne des coûts élevés en électricité. Alors que les activités des utilisateurs sont faibles pendant les heures creuses où le coût de l'électricité est faible.

Pour le cas de la technique d'optimisation EHO adopté dans notre travail, la consommation d'énergie maximale pendant les heures de pointe est décalée vers les heures creuses. Ce déplacement de charge a aidé à réduire significativement le coût. Nous concluons que l'utilisation d'une technique d'ordonnancement a réduit la charge de pointe.

IV.4.2.3 Tarif de consommation journalière

Les résultats de la simulation montrent que la technique EHO a donné des meilleurs résultats que le cas non planifié en termes de coût total, dont elle réduit efficacement les coûts financiers en électricité en contrôlant la consommation d'énergie.

Aux heures de pointe, de 17h00 à 21h00, une consommation élevée d'énergie entraîne un coût élevé de l'électricité. L'objectif principal est de réduire les coûts et de modifier la consommation en énergie pendant les heures creuses en utilisant une technique d'optimisation pour ordonnancer l'exécution des équipements en adoptant une métaheuristique EHO.

La figure IV.10 illustre le coût en électricité des équipements ménagers ordonnancés et ceux exécutés à des moments aléatoires.

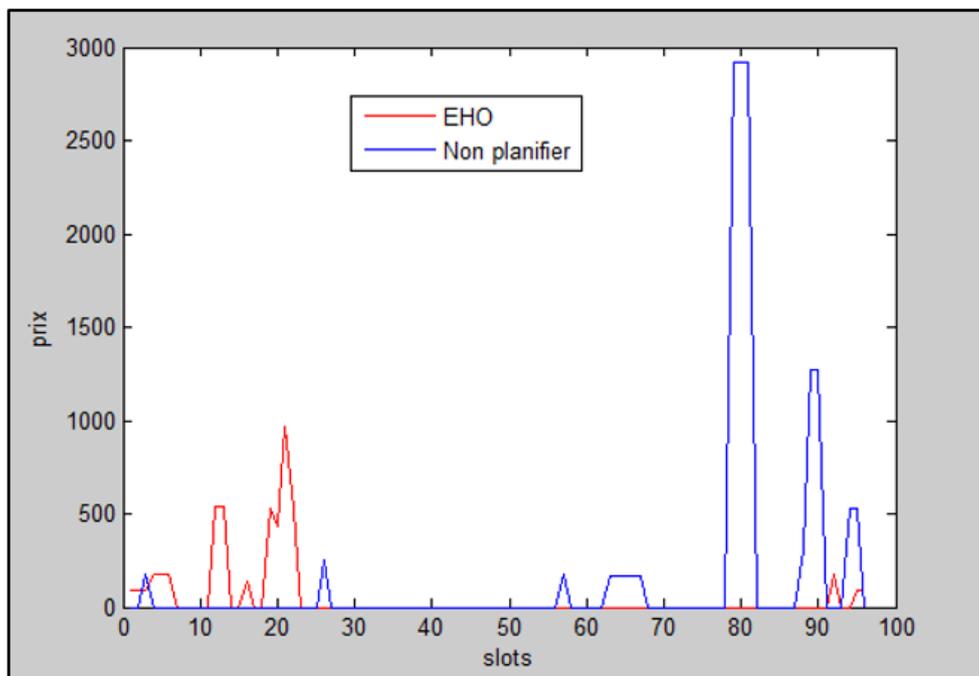


FIGURE IV.10 – Tarif de consommation journalière d'électricité

Dans cette figure, le coût de consommation relatif au cas non planifié est de 3534.8052 cDA tandis que le coût après ordonnancement est réduit à 1211.025 cDA. Il est à noter que l'utilisation de EHO minimise près de 61% des coûts de consommation d'énergie imprévue.

Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation ainsi l'implémentation de la technique d'optimisation EHO utilisée pour la minimisation du cout de consommation de l'énergie électrique lors de l'ordonnancement des équipements électroménagers dans une maison intelligente.

À partir de l'évaluation de la performance de la techniques EHO dans les résultats de la simulation de chaque 15 minute, pour une maison de huit (08) appareils, nous concluons que la technique EHO donne de meilleurs résultats avec un taux de réduction des couts qui est relativement élevé.

Conclusion Générale et Perspectives

Parmi toutes les formes d'énergie, l'énergie électrique est une source très précieuse, possède un grand impact sur l'amélioration de la qualité de vie des habitants. C'est pourquoi la gestion de l'énergie électrique, dont il est impératif de se préoccuper est l'une des composantes d'une maîtrise totale de l'énergie. Le développement récent des moyens informatiques et des automatismes programmables apporte des solutions très performantes qui permettent d'appréhender la maîtrise de cette énergie.

La facture énergétique représente une part prépondérante sur laquelle nous devons faire porter notre effort. Cependant pour réduire le coût de consommation électrique d'une maison, il faut d'abord identifier les différents appareils électroménagers responsables de la consommation, comme il est nécessaire de connaître ces caractéristiques : puissance en marche, puissance de veille, consommation sur 24 h, etc, pour pouvoir évaluer les potentiels d'économies d'électricité.

L'objectif de ce travail, est l'implémentation d'une technique d'optimisation pour la gestion de la consommation d'électricité des équipements dans une maison intelligente. Qui consiste à définir les heures de leurs débuts d'exécution dans le but de réduire les tarifs journaliers de consommation. Ce problème a été formulé comme un problème d'ordonnement et d'optimisation du critère de tarification en adoptant la Métaheuristique EHO. Pour réaliser ce travail nous sommes passés par les étapes suivantes :

Dans un premier lieu, nous nous sommes basés sur l'évolution des espaces de la domotique ses qualités et inconvénients, son rôle, voire son extension et sa diversification dans les différents volets de la vie quotidienne on passant en revue par les maisons intelligentes comme un cas de ses domaines d'application. Le deuxième point soulevé est la description des techniques et les méthodes d'optimisations ainsi que leur classification. Ensuite un autre tour d'horizon est effectué sur les méthodes d'ordonnement et plus précisément un état de l'art est effectué sur les méthodes d'optimisation utilisées pour la résolution du problème d'ordonnement des appareils dans les smart houses.

Par la suite, notre intérêt s'est focalisé sur l'adaptation de la métaheuristique EHO pour résoudre le problème cité auparavant. La simulation de cet algorithme a été réalisée sur une maison intelligente de 08 appareils électroménagers. Les résultats de simulation montrent que par rapport à un ordonnancement non planifié, l'approche proposée a réduit considérablement le tarif de consommation journalier, cela est dû à la bonne gestion de la consommation énergétique qui a été décalé vers les heures creuses pour éviter les heures de pointes ou le tarif est élevé.

Les perspectives possibles à la suite du présent travail sont multiples et couvrent plusieurs aspects, tels que :

- Faire une hybridation en combinant l'algorithme EHO avec une autre technique d'optimisation.

- Comparer l'algorithme EHO avec d'autres algorithmes.
- Augmenter le nombre d'équipements.
- Prendre en compte les contraintes de l'utilisateur et l'intégration des autres objectifs à optimiser.

Bibliographie

- [1] H. Hamouchi, « Conception et réalisation d'une centrale embarquée de la domotique «Smart Home », Mémoire Master, Université Mohammed V de Rabat, Rabat, 2015.
- [2] S. Bonhomme, « Méthodologie Et Outils Pour La Conception D'un Habitat Intelligent », thèse de doctorat Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS et au laboratoire des Renardières de EDF RD, et d'Ecole Doctorale Systèmes De L'institut National Polytechnique De Toulouse,2008.
- [3] S. Darrieumerlou, « Le guide de la maison et des objets connectés.», Editions Eyrolles, 2016.
- [4] Delta Dore, disponible sur : https://www.deltadore.fr/fichier/Presentation_Groupe_Delta,2017-2018.pdf/
- [5] Site officiel de control4 : www.control4.com.
- [6] Y. Abidi, « NodeMCU vs Arduino vs raspberry Pi » ,(article candid technology) disponible sur <https://candid.technology/nodemcu-vs-arduino-vs-raspberry-pi/>.
- [7] Jean- Noël,, livret Arduino en français « Initiation à la mise en œuvre matérielle et logicielle de l'arduino », nov 2006 , centre de ressources art sensitif.
- [8] <http://www cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-domotiquemaison-connectee>.
- [9] «electriciteguide», <https://www.electriciteguide.com/actualites/le-delesteur.htm>]- /.
- [10] P.Chahuara Quispe, « Contrôle intelligente de la domotique à partir d'informations temporelles multi sources imprécises et incertaines », thèse de doctorat Laboratoire d'informatique de Grenoble (LIG) et d'Ecole Doctorale Mathématiques, Sciences et Technologies de l'information, Informatique, 2003.
- [11] M. Zouai ; « Une approche cloud computing basée IoT pour le smart House », thèse de doctorat LMD en Informatique Spécialité : Intelligence Artificielle Université Mohamed Khider – Biskra, 2019-2020.
- [12] M. Gallissot ; « Modéliser le concept de confort dans l'habitat intelligent : du multi sensoriel au comportement », thèse de doctorat Laboratoire d'informatique de Grenoble (LIG) et d'Ecole Doctorale Mathématiques, Sciences et Technologies de l'information, 26 avril 2012.

-
- [13] M. Zerkouk, « Modèles de contrôle d'accès dynamiques », thèse de doctorat à l'université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf Faculté des Mathématiques et Informatique ,2015/2016.
- [14] M. Tachon, P. Barbel, « Contribution à un état de l'art de la domotique orienté action publique », Etude réalisée pour Aquitaine Europe Communication (AEC) V1, Université de Rennes 1 Institut d'Électronique et des Télécommunications de Rennes, 2009.
- [15] Boudellal, M. Smart home-Habitat connecté, 361 installations domotiques et multimédia. Editions Dunod, 2014.
- [16] CEA ,L.d.(s.d.), « La domotique ou la maison connectée ». Récupéré sur cea : <http://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-domotiquemaison-connectee.aspx>.
- [17] Arthur Gential. « Domotique Et Confort : Un Etat Des Lieux », Séminaire m5-s1, Ecole d'architecture de Lyon, France, 2000.
- [18] Y. Colletto et P. Siarry, « Optimisation Multi-objectif », EYROLLES, Nov. 2002.
- [19] A. Berro, « Optimisation multi-objectifs et stratégies d'évolution en environnement dynamique », Thèse Doctorat en Sciences, Université des Sciences Sociales Toulouse 1,France, 2001.
- [20] A. Laifa. « Evaluation de la Stabilité de Tension d'un Réseau d'énergie électrique Développement et Application Des Indices De Stabilité ». Thèse de Magister. Ecole Nationale polytechnique, 1995.
- [21] S. Sadouki Née Chibani, « Métaheuristiques bio-inspirées pour la sélection basée sur la QoS dans une composition de service web », Thèse Doctorat en Sciences, laboratoire d'Informatique Médicale, Université A.MIRA-Bejaia, 2017/2018.
- [22] KH. Akka, « Développement d'un contrôleur flou optimal pour des systèmes non linéaires », Thèse de magister en Automatique, Université de Setif 1, 2014.
- [23] Boisson, Jean-Charles. « Modélisation et réalisation par métaheuristiques coopératives de l'atome à la séquence protéique », Thèse de doctorat. Université Lille 1, France, 2008.
- [24] M. Palpant, « Recherche exacte et approchée en optimisation combinatoire : schémas d'intégration et applications », Thèse de Doctorat, Université d'Avignon, 2005.
- [25] S. Jquin, « Hybridation des métaheuristiques et de la programmation dynamique pour les problèmes d'optimisation mono et multi objectif : application à la production de l'énergie ». Thèse de doctorat, Université Lille1, France, 2015.
- [26] G. Ananth, K. Vipin, G. Anshul, and G. Karypis. « Introduction to parallel computing ». Pearson Education, 2003.

-
- [27] O.S. Hadji , « Contribution au développement de méthodes d'optimisation Stochastiques application à la conception des dispositifs électrotechniques », Thèse de Doctorat, Université De Lille France 2003.
- [28] C. Reeves, « Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems. Advances topics in computer science ». Mc Graw-Hill, 1995.
- [29] M. Nouri, « Implémentation d'une méta-heuristique embarquée pour résoudre le problème d'ordonnancement dans un atelier flexible de production », Thèse de Doctorat a École Polytechnique de Université de Carthage Tunisie, 2017.
- [30] M. Souier, « Métaheuristiques pour la manipulation de routages alternatifs en temps réel dans un Job Shop », Thèse de Magister en Automatique, Productique et Informatique, Université Abou Bakr Belkaid.
- [31] M. Mitchell, J.H. Holland, and S. Forrest. « When will a genetic algorithm Out perform hill climbing », 1994.
- [32] I. Boussaïd, « Perfectionnement De Métaheuristiques Pour L'optimisation Continue » , Thèse De Doctorat Univ Paris-Est Créteil ,Ecole Doctorale (Ed 532) Mathématiques Et Sciences Et Technologies De L'information Et De La Communication (Mstic) Avec L'université Des Sciences Et De La Technologie Houari Boumediene,2013.
- [33] S. Lambert veller, D. lechevalier, T. quirico «Problème de ramassage dans une ville virtuelle - Algorithme Tabu Search », Universite De Bourgogne 2010-2011.
- [34] M.E Marmion. « Recherche locale et optimisation combinatoire : de l'analyse structurée d'un problème à la conception d'algorithmes efficaces ». PHD thesis, Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I, 2011.
- [35] A. Ghomari, « Métaheuristiques adaptatives d'optimisation continue basées sur des méthodes d'apprentissage », thèse de doctorat université paris est, école doctorale de mathématiques et STIC (MSTIC, ED 532), laboratoire images, signaux et systèmes intelligents (LISSI, EA-3956), 2018.
- [36] R. Zaghdoud. « Hybridation d'algorithme génétique pour les problèmes de véhicules intelligents autonomes : application aux infrastructures portuaires de moyen taille ». Thèse de doctorat, Ecole centrale de Lille, France, 2015.
- [37] A. Aroui, « Ordonnancement multi-objectifs d'application intensives sur architectures régulières embarquées », Thèse de Magister en informatique à l'université d'Oran Es-sania, 2012.
- [38] R. M. Badreddine, « Gestion Énergétique optimisée pour un bâtiment intelligent multi-sources multi-charges : différents principes de validations », Thèse de Doctorat à l'école Doctorale Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement de Signal' EEATS. Laboratoire de Génie Électrique de Grenoble, Juillet 2012.

- [39] Zhao, Zhuang, Lee, Won Cheol, Shin, Yoan, et al. « An optimal power scheduling method for demand response in home energy management system ». *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(3) : 1391-1400, 2013.
- [40] I. Ullah and S. Hussain, « Time-Constrained Nature-Inspired Optimization Algorithms for an Efficient Energy Management System in Smart Homes and Buildings », *Applied Sciences*, Vol. 9 (4), 792, 2019.
- [41] I. Hussain, M. Ullah, I. Ullah, A. Bibi, M. Naeem, M. Singh, and D. Singh, « Optimizing Energy Consumption in the Home Energy Management System via a Bio-Inspired Dragonfly Algorithm and the Genetic Algorithm », *Electronics*, Vol. 9 (3), 406, 2020. Published : 28 February 2020.
- [42] Veras, Jaclason, Silva, Igor, Pinheiro, Plácido, et al. A multi-objective demand response optimization model for scheduling loads in a home energy management system. *Sensors*, 18(10) : 3207, 2018.
- [43] Z. A. Khan, A. Zafar, S. Javaid « Hybrid metaheuristic optimization based home energy management system in smart grid » *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* • (2019). <https://doi.org/10.1007/s12652-018-01169-y>.
- [44] M. U. Khalid, N. Javaid «An Optimal Scheduling of Smart Home using heuristic techniques with real-time coordination » 2018 1st international conference on power, energy and smart grid (ICPESG) 1-6,2018.
- [45] A. Bouakkaz, S. Haddad, J. A. Martín- García, A. J. Gil-Mena, R. Jiménez- Castañeda « Optimal Scheduling of Household Appliances in Off-Grid Hybrid Energy System using PSO Algorithm for Energy Saving » *International Journal Of Renewable Energy Research* Bouakkaz A. et al. , Vol.9, No.1, March, 2019, Received : 06.12.2018 Accepted :14.01.2019.
- [46] S. Sadouki, F. Boudries, A. Tari, N. Moussous, Z. Atmani. « Une Métaheuristique Bio-Inspirée pour la Gestion de la Charge Electrique et la Minimisation du Tarif d'Electricité dans une Maison Intelligente », in *Proceedings of the 7th International Symposium ISKO-Maghreb 2018 Knowledge Organization in the perspective of Digital Humanities : Research and Application*, November 2018, Bejaia (Algeria).
- [47] Wang, G. G., Deb, S., & Coelho, L. D. S. (2015). Elephant herding optimization. In *IEEE 3rd International Symposium on Computational and Business Intelligence (ISCBI)*, pp. 1-5.
- [48] Wang, G. G., Deb, S., Gao, X. Z., & Coelho, L. D. S. (2016). A new metaheuristic optimisation algorithm motivated by elephant herding behaviour. *International Journal of Bio-Inspired Computation*, 8(6), pp. 394-409.
- [49] Commission de régulation de l'électricité et du gaz, décision D/22- 15/CD portant la fixation des tarifs de l'électricité et du gaz, <http://www.energy.gov.dz/francais/>, Algérie, 2015.

Résumé

Le travail réalisé dans ce présent mémoire s'articule autour du concept d'ordonnancement et d'optimisation du coût de consommation d'électricité dans les smart houses.

Vue la complexité du processus d'ordonnancement dans le cas d'une maison qui dispose d'un nombre important d'appareils, le problème devient NP-difficile car il nécessite un temps d'exécution prohibitif, dans ce cas les méthodes approchées et plus précisément les métaheuristiques, sont les plus qualifiées pour résoudre des problèmes de grandes tailles avec des temps de résolution et des résultats acceptables.

Suite à notre étude, nous avons présenté une solution s'appuyant sur l'adaptation de la métaheuristique « EHO » qui est inspirée du comportement d'élevage d'éléphant, cette métaheuristique nous a permis de mieux maîtriser la consommation d'électricité dans l'habitat de sorte à décaler l'exécution des appareils vers les heures creuses et éviter les heures de pointe où le tarif est élevé pour réduire le coût d'électricité. Les résultats des simulations obtenus confirment l'efficacité de notre approche. Le coût de consommation en électricité journalière dans le cas où les équipements sont ordonnancés avec notre algorithme est beaucoup moins cher par rapport au cas où les équipements sont ordonnancés de manière aléatoire.

Mots clés : Smart House, problème d'ordonnancement, optimisation, métaheuristique EHO.

Abstract

The work done in this memoir, revolves around concept scheduling and optimization of the cost of electrical energy consumption in a smart houses.

Considering the complexity of the scheduling process in the case of a house with a large number of devices, the problem becomes NP-hard because it requires a prohibitive execution time, in this case the approximate methods and more precisely the metaheuristics, are the most qualified to solve problems of large size with acceptable resolution time and results.

Following our study, we presented a solution based on the adaptation of the "EHO" metaheuristic which is inspired by elephant herding behavior, This metaheuristic allowed us to better control the consumption of electricity in the home so as to shift the execution of appliances to off-peak hours and avoid peak hours where the rate is high to reduce the cost of electricity. The results of the simulations confirm the effectiveness of our approach. The cost of a daily electricity in the case of the scheduled appliances with our algorithm is much cheaper compared to the case where the appliances are randomly scheduled.

Keywords : Smart House, scheduling problem, optimization, EHO metaheuristic.