

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de la Recherche Scientifique
Université Kasdi Merbah Ouargla



Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication
Département D'Informatique et Technologie de l'Information

Thèse

Pour l'obtention du diplôme de
Doctorat LMD en Informatique

Modélisation Sémantique à base d'Agents pour la Gestion d'Energie dans un Système Multi Sources à Energie Renouvelable

Par

Saba Djamel

Soutenue le : 19/06/ 2017

Devant le jury

Pr Sellami Mokhtar	Professeur à l'université de Badji Mokhtar- Annaba	Président
Pr Kazar Okba	Professeur à l'université de Mohamed Khider - Biskra	Examineur
Dr Kherfi Mohamed Lamine	Professeur à l'université de Kasdi Merbah – Ouargla	Examineur
Dr Laallam Fatima Zohra	Professeur à l'université de Kasdi Merbah - Ouargla	Rapporteur
Dr Belmili Hocine	Maitre de recherche "A" de UDES-EPST CDER-Alger	Co-Encadreur

Résumé

La production d'électricité sur la base des sources d'énergies renouvelables offre une grande sûreté d'approvisionnement surtout dans les régions éloignées. La conception de ce type de systèmes appelés systèmes à Energies Hybrides (SEH) est une étape importante, du fait qu'un système surdimensionné interprétera des surcoûts, tandis qu'un système mal optimisé serait moins fiable. Dans le domaine de l'optimisation des SEH's, il existe plusieurs techniques de dimensionnement. Pour toute utilisation, l'utilisateur doit avoir des connaissances sur ces techniques qui sont complexes. Cela surcharge l'utilisateur qui doit connaître les sources appropriées à sa région, les conditions climatiques de sa région ainsi que la technique correspondante. Pour faciliter l'utilisation de ces techniques et décharger l'utilisateur de toute connaissance, nous proposons dans cette thèse, une solution d'optimisation basée sur une ontologie. La solution proposée est ensuite améliorée en profitant de la technologie d'agents.

Mot clés : Systèmes à énergie hybride, Optimisation des systèmes hybrides, Techniques d'optimisation, Ontologie, Systèmes multi agents.

Abstract

Electricity generation based on renewable energy sources allows to give a sure supply in energy especially in remote areas. The design of such systems called Hybrid Energies systems (HES) is an important step. Oversized system will interpret additional costs, while a poorly optimized system would be less reliable. In the field of HES optimization, there are several techniques for sizing. For any use, the user must have knowledge about these techniques which are complex. This overloads the user who must know the sources appropriate to its region, the climatic conditions of its region and the corresponding technique. To facilitate the use of these techniques and to relieve the user of any knowledge, we propose in this thesis, an optimization solution based on ontology. The proposed solution is then improved by taking advantage of the agent technology.

Keywords: Hybrid energy systems, Optimization of hybrid systems, Optimization techniques, Ontology, Multi agent systems.

ملخص

توليد الكهرباء باستعمال مصادر الطاقة المتجددة يضمن التزويد بالطاقة خاصة في المناطق النائية. تصميم هذا النوع من الأنظمة هو خطوة مهمة، لأن سوء التصميم ينتج عنه إما تكاليف إضافية أو إنتاج لا يرقى إلى تلبية حاجيات المستهلك.

في مجال الاستغلال الأمثل لهذه الأنظمة التي تسمى أنظمة الطاقة الهجينة، هناك العديد من تقنيات التحسين. للحصول على أي استخدام، يجب أن يكون لدى المستخدم معرفة بهذه التقنيات التي هي معقدة. هذا يستوجب على المستخدم معرفة مصادر الطاقة المناسبة في المنطقة التي يرغب فيها تثبيت نظام التزويد بالطاقة، بالإضافة لمعرفة الظروف المناخية للمنطقة والتقنية المناسبة تبعاً لذلك. لتسهيل استخدام هذه التقنيات وعدم تحميل المستخدم عبء معرفة التقنيات أو أية معلومات حول مناخ منطقتهم، نقترح في هذه الأطروحة، حلاً من أجل تصميم أمثل على أساس الانطولوجيا. ثم تحسين الحل المقترح من خلال الاستفادة من تكنولوجيا الوكلاء.

الكلمات الدلالية: أنظمة الطاقة الهجينة، أمثلية أنظمة الطاقة الهجينة، تقنيات التحسين، الانطولوجيا، الأنظمة المتعددة الوكلاء.

***Merci mon Dieu de m'avoir donné la force, la patience
et la volonté d'arriver au terme de travail.***

A mes parents "Varhamouhoum Allah"

A toute ma famille

A ma femme

A mon fils Ayoub "Vahfadouhou Allah"

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude envers ma directrice de thèse, Madame le Docteur **Fatima Zohra Laallam**, pour la qualité de ses conseils, sa disponibilité ainsi que le degré de responsabilisation de son encadrement qui m'a permis de progresser dans ce travail. Je la remercie d'avoir consacré beaucoup de son temps pour les nombreuses relectures de mon document et de l'article publié.

Je remercie Monsieur le Docteur **Hocine Belmili**, pour les efforts effectués au cours de la réalisation de mon travail.

Mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger mon travail et dont les remarques et les suggestions auront le plus grand impact pour l'amélioration et le raffinement de ce travail. Je remercie spécialement Monsieur le Professeur **Mokhtar Sellami** directeur de la DDTI, d'avoir accepté de présider ce travail malgré toutes ses occupations et surtout durant le mois sacré de ramadan.

Il m'est agréable d'adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont apporté de près ou de loin, aide et conseils lors de l'élaboration de cette thèse de doctorat. Je voudrais remercier en particulier:

Monsieur le Professeur **Ahmed Boutarfaia** (l'ancien recteur de l'université) et Monsieur le Professeur **Mohamed Tahar Halilete** (le recteur actuel de l'université Kasdi Merbah, Ouargla), pour toutes les facilités offertes pour l'accomplissement de mon travail.

Monsieur le Professeur **Hafid Aourag** (le directeur général de la recherche scientifique et de développement technologique au MESRS)

pour tous les efforts effectués pour améliorer la recherche et la qualification des chercheurs permanents en Algérie;

Monsieur le Professeur **Fonbeyin Henry Abanda** (Lecturer of Real Estate & Construction Informatics, Oxford Brookes University) pour son aide dans la rédaction de mon article;

Messieurs **Youcef Sahli**, **Ahmed Bouraiou**, **Salah Lachtar**, **Abdelkader Hadidi** (attachés de recherche à l'URERMS - Adrar) pour les conseils judicieux apportés tout au long de la rédaction de l'article;

Je remercie également tous les personnels chercheurs et administratifs de l'EPST-CDER et tous les enseignants de l'université de Ouargla.
Enfin, je remercie les membres de ma famille, mes amis et mes collègues pour leur soutien et leur compréhension.

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Etat de l'art sur les énergies renouvelables et les systèmes hybrides	1
I.1. Introduction	2
I.2. Familles d'énergies	3
I.2.1. Energies non renouvelables	3
a. Energie fossile	3
b. Energie nucléaire	4
I.2.2. Energies renouvelables	4
a. Énergie hydroélectrique	5
b. Énergie éolienne	5
c. Energie de biomasse	7
d. Energie solaire	7
e. La géothermie	9
f. Energie marine	10
g. L'aérothermie	10
1.3. La production d'électricité en Algérie sur la base des énergies renouvelables	11
1.3.1. L'état d'avancement de l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie	11
1.3.2. Les SEH's et la production de l'électricité dans l'avenir de l'Algérie	13

1.4.	Les systèmes à énergie hybride (SEH's)	14
I.4.1.	Présentation générale	14
I.4.2.	Définition	15
I.4.3.	Structure d'un SEH	16
I.4.4.	Configurations des SEH's	17
a.	Architecture à bus CC	17
b.	Architecture mixte à bus CC/CA	17
1.5.	Conclusion	18

Chapitre II : Etat de l'art sur l'optimisation, les ontologies et les systèmes multi agents **20**

II.1.	Introduction	21
II.2.	L'optimisation des systèmes à énergies hybrides (SEH's)	21
II.3.	Les ontologies	24
II.3.1.	Les types d'ontologies	25
a.	Ontologies de représentation des connaissances	25
b.	Ontologies de haut niveau / supérieure	25
c.	Ontologies générique	25
d.	Ontologies du domaine	25
e.	Ontologies de tâches	25
f.	Ontologies d'application	25
II.3.2.	Composantes d'une ontologie	26
II.3.3.	Les formalismes de représentation des ontologies	26
a.	Les formalismes logiques	26
b.	Les réseaux sémantiques	27
c.	Les primitives	27
d.	Les schémas	27
e.	Les scripts	27
II.3.4.	Les outils de construction d'ontologies	28
a.	Les outils dépendants des formalismes de représentation	28
b.	Les outils indépendants de formalisme de représentation	28

II.4.	Les systèmes informatiques	30
II.4.1.	Environnement d'un système informatique	30
II.4.2.	Les systèmes informatiques ouverts	31
II.5.	Agents et systèmes multi-agents	32
II.5.1.	Les agents	32
II.5.1.1.	Caractéristiques d'un agent	32
II.5.1.2.	Typologie des agents	33
II.5.1.3.	Architecture abstraite d'un agent	34
II.5.1.4.	Fonctionnement d'un agent	36
II.5.2.	Les systèmes multi agents (SMA's)	38
II.5.2.1.	Architecture de SMA	39
II.5.2.2.	La négociation dans les systèmes multi agents	39
II.5.2.3.	Organisation des systèmes multi-agents	39
II.5.3.	Les agents mobiles	40
II.5.3.1.	Attributs d'un agent mobile	40
II.5.3.2.	Caractéristiques d'un agent mobile	41
II.5.3.3.	Types d'agents mobiles	41
II.5.4.	La simulation multi-agents	42
II.5.5.	L'implémentation des SMA's	42
II.6.	Conclusion	44
 Chapitre III : Optimisation d'un système à énergie hybride à base d'une ontologie		45
III.1.	Introduction	46
III.2.	Travaux connexes	46
III.3.	L'approche proposée	49
III.4.	Méthodologie de construction de notre ontologie	56
III.5.	Vers une implémentation de la solution	61
III.5.1.	Choix de l'éditeur d'ontologies	61
III.5.2.	Choix de l'outil pour le raisonnement	61
III.5.3.	Le langage SWRL (Semantic Web Rule Language)	61

III.5.4.	L'édition de notre ontologie	61
III.5.5.	L'implémentation des règles de notre système	61
III.5.6.	Un exemple de sélection d'une technique d'optimisation	64
III.6.	Discussion	67
III.7.	Conclusion	67
Chapitre IV : Optimisation d'un système à énergie hybride à base d'un système multi agents		69
IV.1.	Introduction	70
IV.2.	Etat de l'art sur l'intervention des SMA's dans la gestion d'énergie	70
IV.3.	La conception de la solution proposée	75
IV.3.1.	Objectifs du système	75
IV.3.2.	Architecture générale du système	75
a.	Couche recherche d'information	76
b.	Couche d'acquisition des données	76
c.	Couche des calculs d'optimisation	76
IV.3.3.	Spécification des agents	78
a.	User_Agent	78
b.	Server_Mobile_Agent	78
c.	Data_Collecting_Agent	79
d.	Selecting_Source_Agent	80
e.	Sizing_Technical_Agent	81
f.	Technical_Agent	81
g.	Visualisation_Agent	82
IV.4.	Vers une implémentation de la solution	82
IV.5.	Conclusion	84
Conclusion générale		86
Production scientifique		90

Liste des figures

Fig. 1.	Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire	5
Fig. 2.	Les éoliennes à axe vertical	6
Fig. 3.	Les principaux composants d'une éolienne.	6
Fig. 4.	Exemple de cycle de transformation de la biomasse	7
Fig. 5.	La production de l'eau chaude à base du solaire thermique	8
Fig. 6.	L'alimentation d'une résidence à base du système photovoltaïque	9
Fig. 7.	La production de l'eau chaude à base de la géothermie	10
Fig. 8.	Classification des SEH's	16
Fig. 9.	Configuration d'un SEH à bus CC	17
Fig. 10.	Architecture mixte à bus CC/CA d'un système hybride.	18
Fig. 11.	Structure d'un agent	35
Fig. 12.	Fonctionnement d'un agent	36
Fig. 13.	L'organigramme de la solution proposée	50
Fig. 14.	Le choix du site pour le système à énergie hybride	51
Fig. 15.	Le raisonnement pour la sélection des sources d'énergies	51
Fig. 16.	Le raisonnement pour la sélection de la technique d'optimisation	55
Fig. 17.	Les éléments de l'ontologie dans Protégé-OWL 3.4.4	62
Fig. 18.	Les règles d'inférences dans Protégé-OWL	63

Fig. 19.	Architecture globale du système	77
Fig. 20.	L'agent " User_Agent " et ses tâches internes	78
Fig. 21.	L'agent "Server_Mobile_i_Agent" et ses tâches internes	79
Fig. 22.	L'agent "Server Data_Collecting_Agent " et ses tâches internes	80
Fig. 23.	L'agent " Selecting_Source_Agent " et ses tâches internes	80
Fig. 24.	L'agent " Sizing_Technical_Agent " et ses tâches internes	81
Fig. 25.	L'agent " Technicali_Agent" et ses tâches internes	82
Fig. 26.	L'agent "Visualisaion_Agent" et ses tâches internes	82
Fig. 27.	La société d'agents de notre solution dans JADE	83
Fig. 28.	L'interface de l'agent "User_Agent"	83
Fig. 29.	Interface de l'agent "Visualization_Agent"	84

Liste des tableaux

Table 1.	Capacités des centrales entrées en service en 2015	12
Table 2.	Capacités des centrales entrées en service en 2016	12
Table 3.	Capacités des centrales à mettre en service avant fin 2016	13
Table 4.	Comparaison entre les algorithmes (techniques) de dimensionnement	23
Table 5.	Comparaison entre les agents cognitifs et réactifs	34
Table 6.	Comparaison entre les plates formes multi-agents	43
Table 7.	Un extrait de la base des faits	51
Table 8.	Un extrait des classes du système	58
Table 9.	Un extrait des attributs des classes	58
Table 10.	Des exemples pour les types des attributs	59
Table 11.	Un extrait des relations de l'ontologie	60
Table 12.	Exemples d'instances	60
Table 13.	Un extrait des règles SWRL éditées dans Protégé	63
Table 14.	Exemple des données de la base des connaissances	64

Liste des symboles

$P_{WT}(k)$	La puissance du générateur éolien
v_{\min}	La vitesse minimale du générateur éolien
v_{\max}	La vitesse maximale du générateur éolien
$A_{pv}(m^2)$	La surface du générateur photovoltaïque
$G(t)(W/m^2)$	La radiation dans un site
P_{pv}^{\max}	La puissance maximale d'un générateur photovoltaïque
$SOC(t)$	L'état de charge de la batterie à l'instant " t "
SOC_{\min}	La limite minimale de la capacité de stockage
SOC_{\max}	La limite maximale de la capacité de la batterie
CA (AC)	Courant alternatif
CC (DC)	Courant continu
MUMT	La technique du mois le plus défavorable (The most unfavourable month technique)
YMOST	La technique de la moyenne mensuelle et annuelle (The yearly monthly overage sizing technique)
LPSP	La méthode de probabilité de pertes de puissance (Loss of Power Supply Probability)

Introduction générale

Les années 70 ont démontré les risques d'exploitation des ressources fossiles, suite aux chocs pétroliers successifs, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. La pollution atmosphérique, les changements climatiques, le réchauffement de la planète, le risque du nucléaire et les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement durable prévenant de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire. Encore, une grande partie des régions éloignées et peu peuplées ne seront jamais raccordées aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse, ou difficiles d'accès et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'éloignement (à ce jour deux milliards et demi d'habitants, principalement dans les zones rurales des pays en développement ne consomment qu'une très faible quantité d'électricité).

Les énergies renouvelables présentent une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : elles n'émettent pas de gaz à effet de serre, illimitées, permettent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux.

La production d'électricité sur la base des sources d'énergies renouvelables offre une grande sûreté d'approvisionnement des clients tout en respectant l'environnement. Cependant, la spécificité aléatoire des sources imposent des règles particulières d'optimisation et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie.

L'hybridation entre les différentes sources d'énergies renouvelables comme l'éolienne, le solaire thermique et photovoltaïque ainsi que les centrales hydroélectriques forment une complémentarité de production d'énergie propre et devenant une alternative aux générateurs conventionnels utilisés généralement pour la production d'électricité surtout dans les régions éloignées.

L'utilisation de l'énergie hybride (Exemple : solaire-éolien) est de plus en plus utilisée dans différentes applications en sites isolés comme l'éclairage, la télécommunication, la réfrigération, le pompage...etc.

Pour un développement durable, l'exploitation de l'énergie renouvelable est devenue indispensable, connaissant les problèmes exposés pour le transport de l'électricité dans les zones éloignées, le coût de réalisation qui est très élevé ainsi le caractère aléatoire dans la production électrique de ce type d'énergie, il serait plus judicieux d'envisager

l'utilisation des Systèmes à Energies Hybrides (SEH's) surtout si les gisements de ses énergies sont importants.

La conception de ce type du système est une étape importante, du fait qu'un système surdimensionné générera des surcoûts, tandis qu'un système mal optimisé serait moins fiable.

Afin d'améliorer la fiabilité de tels systèmes SEH's, il est nécessaire d'apporter des nouvelles solutions et s'intéresser surtout au problème de dimensionnement et d'optimisation des SEH's : c'est-à-dire que la conception du système doit passer par une phase d'optimisation qui permet de répondre aux contraintes imposées par l'utilisateur, tout en garantissant un coût minimum d'énergie.

Dans le domaine de l'optimisation des SEH's il existe plusieurs techniques de dimensionnement, entre autres : la technique de la moyenne mensuelle annuelle, la technique du mois le plus défavorable et la technique de probabilité des pertes de puissance. Seulement ces méthodes sont très spécifiques. Chacune de ces techniques est appropriée à un modèle de calcul figé, non généralisé. Ce qui surcharge l'utilisateur qui doit connaître les sources appropriées à sa région et doit choisir la méthode correspondante.

Dans cette thèse, nous proposons une solution qui facilite l'utilisation de ces techniques et décharge l'utilisateur de toute connaissance sur ces techniques et les sources appropriées à sa région ainsi que les données climatiques correspondantes. L'utilisateur uniquement choisit le site d'installation et c'est à la solution adoptée qui se charge de proposer les sources appropriées ainsi que la technique la plus fiable pour calculer la configuration optimale du système à installer. La solution proposée est basée sur une ontologie. Cette solution est ensuite améliorée en profitant de la technologie d'agents. Les avantages principaux de notre solution sont:

- Permettre la mise à jour des connaissances sans mettre en cause le système;
- Décharger l'utilisateur de toutes connaissances sur les sources d'énergie à prendre en compte pour une région donnée;
- Décharger l'utilisateur de toutes connaissances sur les techniques de dimensionnement ;
- Décharger l'utilisateur de toute connaissances sur les données climatiques liées à une région données;
- Décharger l'utilisateur du choix de la méthode de dimensionnement.

La thèse est structurée autour de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre nous commençons par une présentation sur le contexte général du travail, en introduisant les différents concepts de base des énergies renouvelables. Ensuite, nous allons présenter la production d'électricité à base d'énergies renouvelables et non renouvelables en Algérie. Nous concluons ce chapitre par une présentation sur les SEH's à base d'énergies renouvelables.

Le deuxième chapitre est réservé pour présenter les éléments essentiels de la thèse, nous commençons par l'optimisation qui est liée directement avec la thématique de la thèse et nous détaillons les outils les plus populaires comme Hybrid, Hybrid2, Homer et Hoga. Ensuite, nous présentons les points importants de l'ontologie informatique comme les composantes d'une ontologie, les formalismes de représentation des ontologies et enfin les outils de construction d'ontologie. Nous terminons ce chapitre par une présentation sur les systèmes informatiques d'une manière générale et les systèmes multi agents d'une manière spécifique. Autour de ces points nous détaillons sur le fonctionnement et l'architecture abstraite d'un agent mobile et nous terminons par la simulation et l'implémentation des systèmes multi agents.

Le troisième chapitre sera consacré pour présenter notre contribution. Nous commençons par les travaux récents dans le domaine d'optimisation et la gestion des systèmes énergétiques. Nous commencerons par une introduction sur les ontologies informatiques. Ensuite, nous passerons à présenter en détails notre solution pour l'optimisation des SEH's. Nous terminerons, par l'implémentation de la solution proposée et nous donnerons un exemple avec des données réelles, pour tester et valider cette solution.

Le dernier chapitre sera réservé à l'amélioration de la solution proposée dans le chapitre précédent. Nous commençons par un état de l'art sur des travaux récents qui concernent l'intervention de SMA sur l'optimisation, le contrôle et la gestion de l'énergie. Nous finalisons ce chapitre par une conception pour le futur SMA. Nous présentons l'architecture et les missions des agents et nous finalisons par une tendance vers l'implémentation de la solution future.

Finalement, cette thèse sera terminée par une présentation sur la production scientifique associée à ma thèse de doctorat et une conclusion générale qui donne une synthèse sur les travaux réalisés et propose quelques perspectives pour les travaux futur.

Chapitre I :
Etat de l'art sur les énergies
renouvelables et les systèmes hybrides.

I.1. Introduction

L'énergie concerne tout ce qui permet d'effectuer un travail, de produire de la chaleur, de la lumière ou d'engendrer un mouvement. Elle utilise pour produire une autre énergie de nature différente et peut se présenter sous plusieurs formes : énergie musculaire, énergie électrique, énergie thermique, énergie mécanique.

Elle est exprimée aussi par un phénomène physique ou chimique dont il est possible d'exploiter des fins industrielles ou autres.

Dans le domaine de la production électrique, une source d'énergie est dite principale (ou primaire) si elle est issue d'un phénomène naturel et n'a pas été transformée, elle est dite complémentaire (ou secondaire) si elle est le résultat d'une transformation volontaire. Elle peut également être renouvelable si ses stocks ne s'épuisent pas de façon significative dans l'échelle de temps de son exploitation. Autres sources sont aussi appelées énergies propres dans le contexte écologique [1].

Dans les années antécédentes, l'énergie utilisée dans le monde provient d'une manière majoritaire de gisement de combustible fossile, engendrés au fil des âges et de l'évolution géologique. Mais les limites de ces réserves et l'accroissement de la demande d'électricité dans tous les pays du monde ont conduit les pays développés à chercher des nouvelles sources d'approvisionnement comme le nucléaire, mais son choix peut amener des conséquences graves, surtout sur l'environnement.

Parmi les sources d'énergie, le solaire par l'effet photovoltaïque. La transformation de la lumière en électricité (conversion de l'énergie des photons en électricité) se produit dans des matériaux semi-conducteurs [2]. Le solaire photovoltaïque peut jouer un rôle très important dans la transition vers un système d'approvisionnement énergétique durable pour le 21^{ème} siècle et il est susceptible de couvrir une partie importante des besoins en électricité de plusieurs pays.

L'Algérie avec sa disposition géographique, occupe un emplacement privilégiée dans l'exploitation d'énergie solaire avec une durée d'éclairement qui varie de 2500 heures /an dans le nord à 3600 heures/an dans le sud, l'une des plus élevées au monde [3].

Dans ces dernières années, la production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque augmente mondialement d'une façon importante. Cependant, le rendement de cette conversion reste faible par rapport aux autres sources énergies renouvelables, tels que l'énergie éolienne, la biomasse et le solaire thermique (conversion de la chaleur en électricité) [4].

Le principal obstacle à la pénétration du marché du solaire photovoltaïque est le coût élevé de cette technologie, qui rend l'électricité produite trop chère pour des nombreuses applications.

Dans ce chapitre nous allons présenter un état de l'art sur différentes sources d'énergies fossiles et renouvelables, le taux de production d'électricité en Algérie. Nous terminons le chapitre par la présentation des concepts d'hybridation de plusieurs sources d'énergies.

I.2. Familles d'énergies

Nous distinguons deux familles d'énergie, renouvelables et non renouvelables :

I.2.1. Energies non renouvelables

Une énergie non renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle moins vite qu'on ne la consomme et de manière négligeable à l'échelle humaine, ou même qui ne renouvelle pas du tout, par opposition aux énergies renouvelables. Les principales sources d'énergies non renouvelables proviennent des hydrocarbures, comme le pétrole et le gaz naturel. Elles sont classées en deux grandes classes :

a. Énergie fossile

On peut indiquer notamment :

- **Le charbon**

Le charbon est un matériau dur qui résulte de la dégradation de matières organiques végétales. La combustion du charbon est clairement plus polluante que pour les autres combustibles fossiles. Mis à part le CO₂, il y a émission d'oxydes d'azote et de soufre. Ces dernières sont responsables du noircissement des endroits et monuments pendant la fin du 19^{ème} siècle. L'extraction du charbon est dommageable pour l'environnement [5].

- **Le gaz naturel**

Il est composé essentiellement de méthane (CH₄). Il est souvent présent dans les gisements de pétrole, où il peut être exploité (méthaniers ou gazoducs). Sa combustion est libératrice de CO₂, mais il émet nettement moins de polluants que le pétrole. Le méthane est un puissant gaz à effet de serre, 20 fois plus que le CO₂. Dans certains cas

(gaz de schiste), les procédés d'extraction actuelle font craindre un impact environnemental sur le lieu d'extraction [6].

- **Le pétrole**

Est un liquide qui arrive de la décomposition de matière organique dans certaines couches géologiques. Elle est très utilisée mondialement, à but énergétique (combustion) ou en chimie (matières plastiques, ...). La combustion des produits dérivés du pétrole engendrent du CO₂ (gaz à effet de serre) et certains polluants. Le pétrole a d'autres inconvénients, comme son extraction, quelque fois nocive pour l'environnement (sables bitumineux), ou des accidents lors de son transfert [7].

b. Énergie nucléaire

Elle se trouve dans le noyau d'un atome qui accepte l'union continue des neutrons et des protons. L'énergie nucléaire peut être utilisée pour produire de l'électricité. Cette énergie peut être obtenue de deux façons : la fusion ou la fission nucléaire. Dans la fusion, l'énergie se libère quand les atomes se combinent ou se fusionnent entre eux pour former un atome plus grand. En ce qui concerne la fission nucléaire, les atomes se divisent pour former des atomes plus petits, libérant ainsi de l'énergie (les centrales nucléaires exploitent la fission pour produire de l'électricité). En 1905 Albert Einstein il a proposé, comme partie de la théorie de la relativité étroite, l'équation célèbre : $E = mc^2$ qui exprime l'équivalence parmi masse et énergie. Il associe à chaque m de masse une quantité d'énergie c'est égal au produit de la masse pour le carré de la vitesse du c léger. Bien que la production d'énergie électrique soit l'utilité la plus fréquente donnée il y a de nombreuses autres applications de l'énergie nucléaire dans d'autres secteurs tels que la santé, l'environnement, industrielles ou des applications militaires (bombe atomique) [8].

I.2.2. Énergies renouvelables

Sont capables de se renouveler assez rapidement et des énergies primaires inépuisables, car sont originaires directement de phénomènes naturels, normaux ou constants, liés à l'énergie du soleil, de la terre ou de la gravitation [9]. Sont pareillement plus propres (moins d'émissions de CO₂, moins de pollution) que les énergies sorties de sources fossiles. Les principales énergies de type renouvelables sont :

a. L'énergie hydroélectrique

L'énergie hydroélectrique (hydroélectricité), est une source énergie renouvelable obtenue par conversion de l'énergie hydraulique. L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique, ensuite en énergie électrique par un alternateur [9]. Le principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire est montré dans la figure 1.

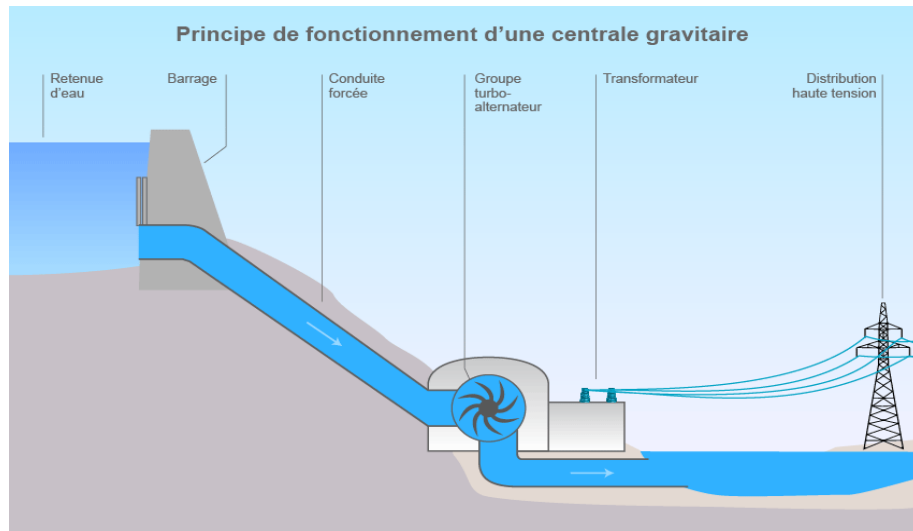


Fig. 1. Principe de fonctionnement d'une centrale gravitaire [10]

b. L'énergie éolienne

Elle dépend directement du vent. Le soleil chauffe inégalement la terre, ce qui crée des zones de températures et de pression atmosphérique distinctes tout autour du globe. De ces différences de pression naissent des mouvements d'air, appelés vent. Elle permet de produire de l'électricité, appelée aussi aérogénérateur, grâce à la force du vent. Il existe deux familles des éoliennes, à axe horizontal et à axe vertical tels que Darrius et Savonius. La figure 2, montre les différentes formes des pales des éoliennes à axe vertical.

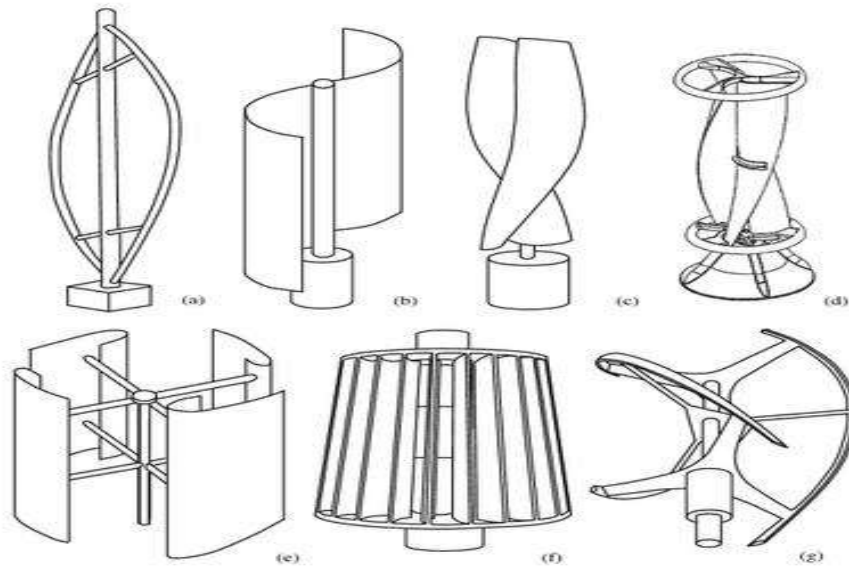


Fig. 2. Les éoliennes à axe vertical [11]

Une éolienne à axe horizontal, ce compose d'un mât, des hélices et une nacelle qui contient l'alternateur et les lignes électriques qui transportent l'énergie électrique (voir la figure 3). La figure suivante montre les principaux composants d'une éolienne a axe horizontal.

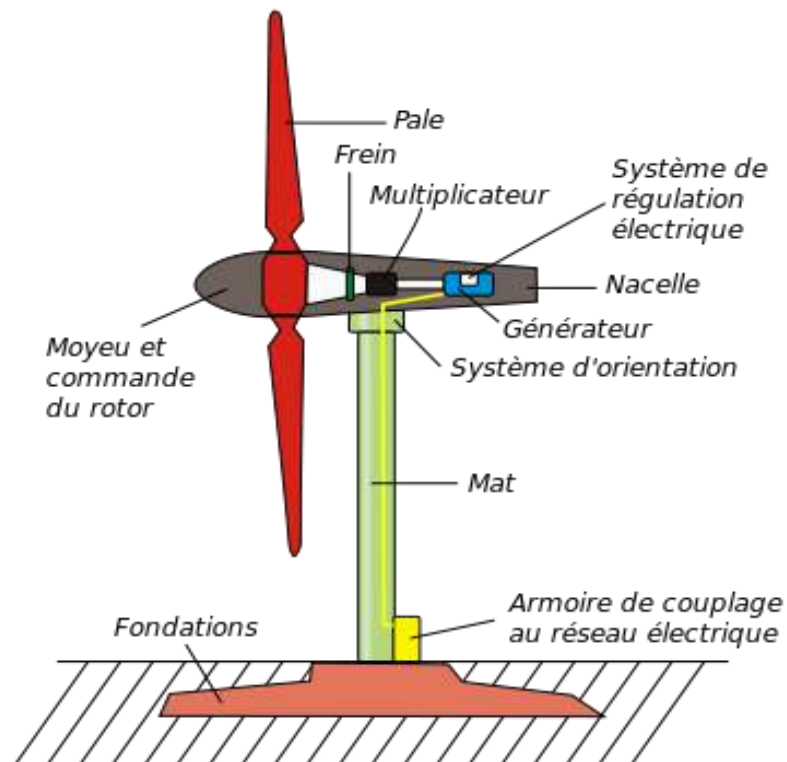


Fig. 3. Les principaux composants d'une éolienne [12]

c. L'énergie de biomasse

Elle désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique qui peuvent devenir source d'énergie par combustion, après méthanisation (nouvelles transformations chimiques) [13]. La biomasse est utilisée par l'homme depuis des siècles (maîtrise le feu). Elle reste la principale énergie renouvelable utilisée dans le monde, pour le chauffage et la cuisson, mais particulièrement dans les pays peu industrialisés. Le profit de l'énergie de la biomasse est directement fait par combustion, ou transformation qui peuvent être mises à profit plus tard comme combustibles, un exemple de cycle de transformation de la biomasse est montré dans la figure 4.

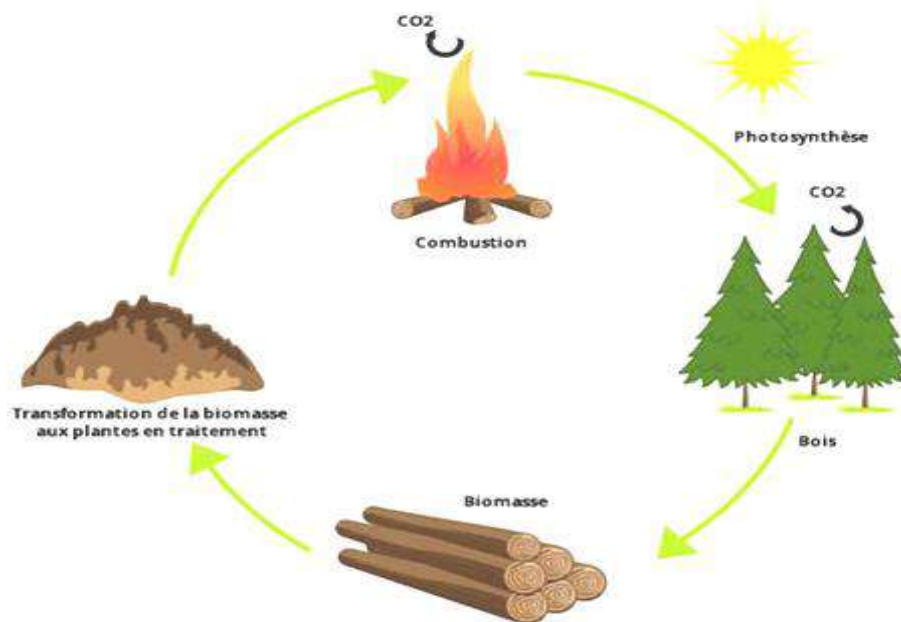


Fig. 4. Exemple de cycle de transformation de la biomasse [14]

d. Energie solaire

Le soleil est la source d'énergie gratuite et la plus puissante. La technologie de cette énergie est répartie entre active et passive [15]. Les technologies actives transforment l'énergie solaire vers une forme électrique ou thermique utilisable directement, le cas des cellules photovoltaïques qui transforment la lumière du soleil directement en électricité, par contre l'énergie solaire passive s'intéresse à l'augmentation du confort de l'occupant d'une résidence, donc cette énergie est liée avec la conception de la construction des bâtiments. Nous distinguons deux types de l'énergie solaire:

- **Energie solaire thermique**

Consiste à utiliser des capteurs solaires pour capter l'énergie du rayonnement solaire à l'intérieur d'un liquide, parfois de l'air mais, le plus souvent dans de l'eau [16]. Grâce à cela, nous pouvons utiliser l'énergie récupérée dans la production de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS), le chauffage des piscines et l'habitation ainsi que le séchage de céréales, le principe de fonctionnement de la production de l'eau chaude à base du solaire thermique est montré dans la figure 5.

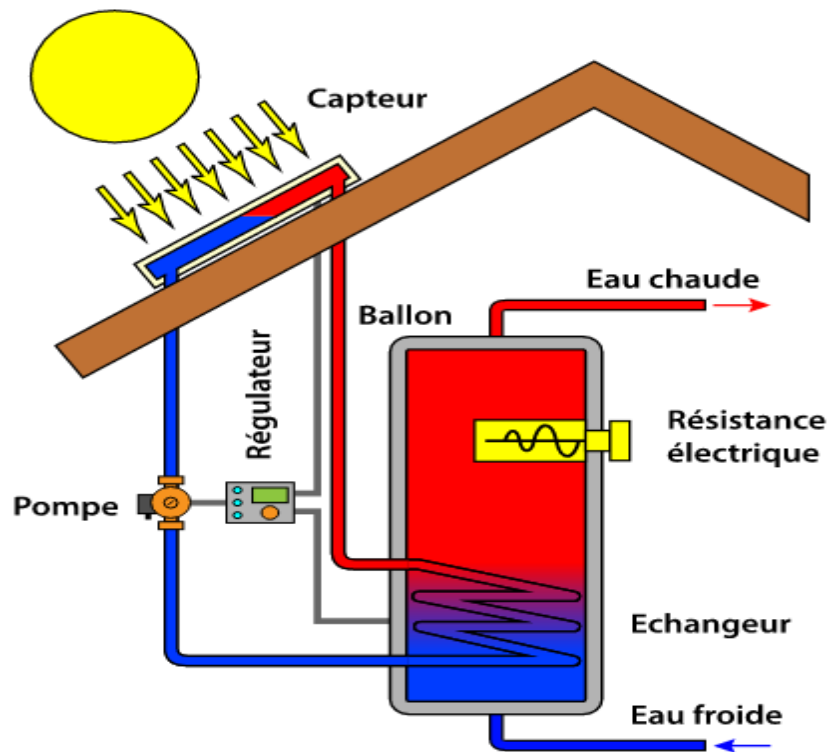


Fig. 5. La production de l'eau chaude à base du solaire thermique [17]

Un capteur solaire thermique est composé d'un corps sombre, d'un système de refroidissement, d'un isolant thermique et d'une couverture transparente [18]. Il existe deux types de capteurs solaires thermiques, un capteur qui utilise un liquide (eau ou antigel) et qui utilise l'air comme fluide caloporteur.

- **Energie solaire photovoltaïque**

C'est une forme d'énergie renouvelable qui produit de l'énergie électrique par la transformation du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont jointes entre elles pour construire un module photovoltaïque [19], le

principe de fonctionnement de l'alimentation d'une résidence à base du système photovoltaïque est montré dans la figure 6.

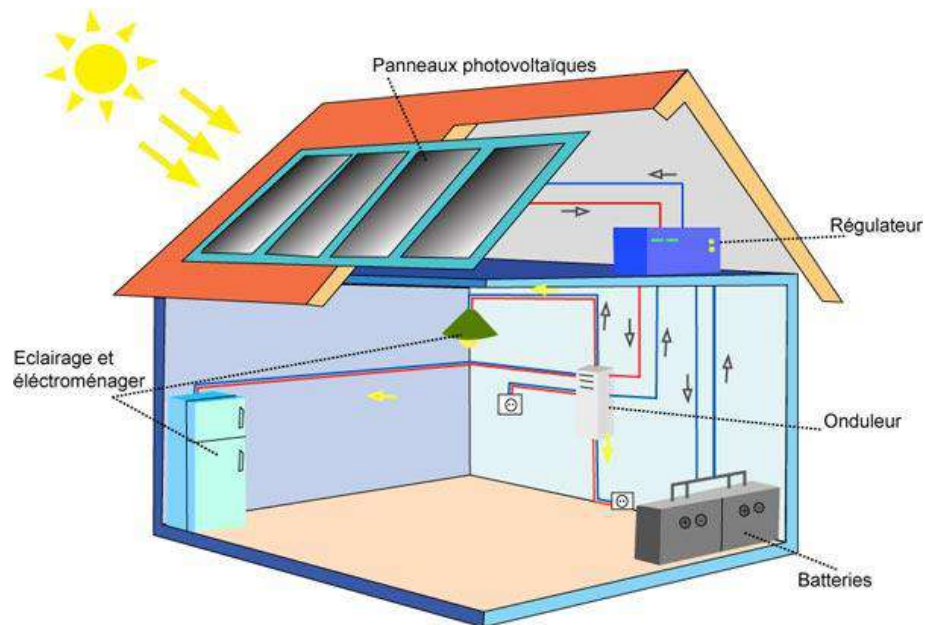


Fig. 6. L'alimentation d'une résidence à base du système photovoltaïque [20]

Commercialement nous distinguons les types de modules suivants :

- **Les modules solaires monocristallins** : ils possèdent un meilleur rendement (12% - 16%), sont particulièrement utilisés lorsque les espaces sont restreints.
- **Les modules solaires polycristallins** : sont les plus utilisés côté qualité prix. Ils ont un bon rendement (10% - 13%) et une durée de vie intéressante (plus de 35ans).
- **Les modules solaires amorphes** : d'une manière générale sont utilisées sur les calculatrices, les montres. Sont caractérisés par une faible consommation (elle fonctionne même en éclairage faible), aussi ce type de panneau solaire n'a pas un rendement très élevé, entre 5 et 7% seulement.
- **Les modules à matériaux composites** : cette solution est conçue pour remplacer la technologie existante, donc l'idée était de remplacer le métal pour construire un dispositif à la fois plus petit et plus léger mais tout aussi performant.

e. La géothermie

C'est l'énergie thermique de la terre [21]. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans (des geysers), mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans

une source d'eau chaude. La géothermie peut soutenir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir, elle est extraite de stocks souterrains enfouis très profondément et accessibles sur la base de forage, ou de réservoirs plus proches de la surface (voir la figure.7). Ce type d'énergie peut également être utilisé dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur.

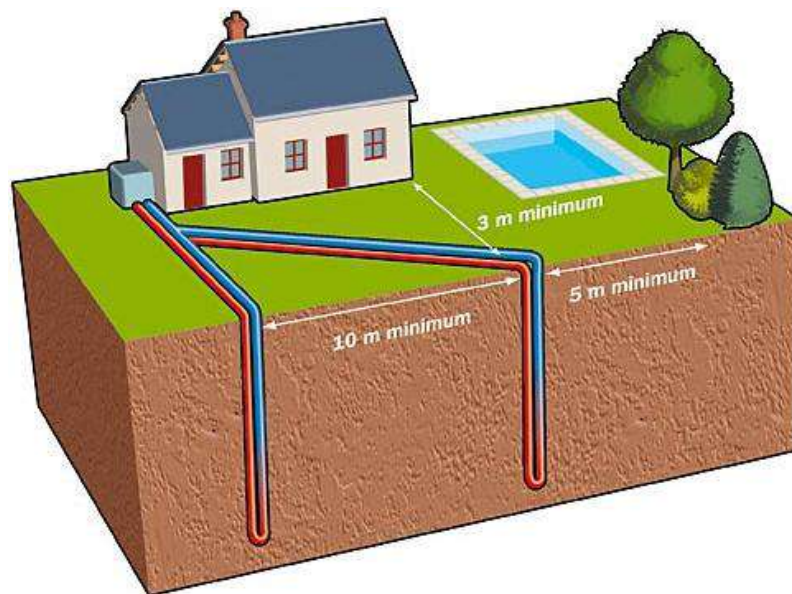


Fig. 7. La production de l'eau chaude à base de la géothermie [22]

f. Energie marine

Elle désigne l'énergie produite par les vagues et les marées, ainsi que l'énergie thermique de l'océan chauffé par les rayons solaires. Les océans, qui couvrent presque 70% de la surface du globe, pourraient former la source d'énergie renouvelable du futur [23].

g. L'aérothermie

L'air environnant est une source d'énergie renouvelable inépuisable [24]. Les pompes à chaleur peuvent s'installer dans des maisons neuves ou anciennes que dans des appartements. Elle est caractérisée par une double fonctionnalité :

- **En hiver** : la pompe à chaleur emporte la chaleur de l'air extérieur et l'amène à un degré de température associable pour chauffer le logement.

- **En été :** il est possible de rafraîchir la résidence ou le coin de travail en convertissant le sens de fonctionnement. La chaleur indésirable est absorbée à l'intérieur du logement pour être jetée à l'extérieur.

I.3. La production d'électricité en Algérie sur la base des énergies renouvelables

Suite à la fluctuation des prix du pétrole, l'État Algérien a insisté sur la nécessité de diversification des sources de financement pour être à l'abri de tout risque en cas de chute des prix du pétrole et d'adoption d'une autre stratégie énergétique basée sur les énergies renouvelables comme supplément aux énergies fossiles. Aussi, l'Algérie ne pouvait plus continuer à avoir une électricité reposée uniquement sur le gaz et le diesel. D'où la nécessité de diversifier son mix énergétique en exploitant l'important gisement solaire qui caractérise le pays.

L'Algérie dispose de toutes les fortunes pour une bonne exploitation des énergies renouvelables, notamment avec ses ressources naturelles, à titre d'exemple, la moyenne annuelle d'ensoleillement de tout le territoire est estimé annuellement à plus de 2500 heures et dépasserait les 3600 heures dans les Hauts Plateaux, qui à permet à l'État Algérien de mettre l'accent sur l'activation du programme national (2015-2030) des énergies renouvelables, pour réaliser un surplus en énergie et contribuer au développement économique [25]. Ce programme prévoit une production d'électricité basée sur les sources renouvelables de 22 GW d'ici 2030 destinées au marché intérieur et 10 GW supplémentaires pour exporter [25]. Cet objectif permettra une réduction de plus de 9% de la consommation d'énergie fossile et réaliser un gain financier de 42 milliards de dollars à l'horizon 2030 [25].

I.3.1. L'état d'avancement de l'utilisation des énergies renouvelables en Algérie

Dans ces deux dernières années, plusieurs projets pour la production de l'électricité sur la base des sources d'énergies renouvelables sont réalisés dans le territoire Algérien. En 2015, 14 centrales électriques photovoltaïques totalisant une capacité installée de 268 mégawatts (MW) ont été mises en service dans les Hauts Plateaux et le sud du pays, pour un coût global de 70 milliards de DA [25].

Actuellement, 16 centrales d'une capacité de 195 MW sont déjà fonctionnelles et injectent de l'énergie d'origine renouvelable dans le réseau, tandis que six (6) autres le seront avant fin 2016 [25].

Avant la fin 2016, l'Algérie comptera une capacité de 343 MW réparties à travers 14 wilayas du pays (voir : le tableau 1, le tableau 2 et le tableau 3).

Centrale (Wilaya)	Capacité en (MW)
Djanet (Illizi)	3
Adrar (Adrar)	20
Kaberten (Adrar)	3
Tamanrasset (Tamanrasset)	13
Tindouf (Tindouf)	9
TOTAL 1	48

TABLE 1. Capacités des centrales entrées en service en 2015 [25]

Centrale (Wilaya)	Capacité en (MW)
Aoulef (Adrar)	5
Z.Kounta (Adrar)	6
Timimoune (Adrar)	9
Reggane (Adrar)	5
In Salah (Tamanrasset)	5
Ain Albel (Djelfa)	20
Telagh (Sidi-Bel-Abbes)	12
Sedrate Leghzel (Naama)	20
Ain Skhoua (Saïda)	30
El Khnag (Laghouat)	20
Oued El Kebrit (Souk Ahras)	15
TOTAL 2	147

TABLE 2. Capacités des centrales entrées en service en 2016 [25]

Centrale (Wilaya)	Capacité en (MW)
Aïn Al Bel (Djelfa)	33
Laghouat (Laghouat)	40
Oued El Ma (Batna)	2
Labiodh Sidi Chikh (El Bayadh)	23
Aïn El Melh (M'sila)	20
El Hedjira (Ouargla)	30
TOTAL 3	148
TOTAL GENERAL (TOTAL 1 + TOTAL 2 + TOTAL 3)	343

TABLE 3. Capacités des centrales à mettre en service avant fin 2016 [25]

I.3.2. Les SEH's et la production de l'électricité dans l'avenir de l'Algérie

Les données climatiques et naturel de l'Algérie offre des possibilités pour installer des centrales hybrides basés sur plusieurs sources d'énergies comme le solaire, l'éolien. Cependant, les priorités du programme national de développement des énergies renouvelables adopté par le conseil des ministres en mai 2015 vise à atteindre en 2020 une production de 4.500 Mégawatts d'électricité générées à partir des centrales à énergie hybride (solaire, éolienne) [25].

I.4. Les systèmes à énergie hybride (SEH's)

I.4.1. Présentation générale

Le principal inconvénient des sources d'énergie de type renouvelable pour une utilisation autonome est l'intermittence. Pour palier momentanément à ce problème, il faut utiliser une hybridation entre plusieurs sources d'énergie et si le problème persiste nous intégrons des solutions de stockage ou bien un générateur d'énergie électrique conventionnel, ou les deux à la fois.

Lors des périodes critiques, lorsque les sources ne produisent pas suffisamment d'énergie pour recharger correctement les batteries et assurer une alimentation permanente de la charge, un système aussi simple n'est pas forcément idéal. En effet, il devra être surdimensionné de manière à répondre à la période critique. C'est pourquoi une hybridation entre plusieurs sources d'énergies est nécessaire. Cependant, le choix des sources d'énergies (renouvelables ou non renouvelable) d'un système qui satisfait la charge basée principalement sur la disponibilité des informations sur les conditions climatiques du site d'installation.

Les systèmes hybrides peuvent être intéressants pour alimenter en électricité des communautés situées dans des zones isolées ou difficile d'accès (montagnes, îles, déserts, etc.). La construction des lignes électriques admettant la connexion au réseau entraîne un surcoût très important en fonction de l'éloignement du réseau électrique. Le coût de construction d'une ligne électrique est en moyenne de 50 k EUR/km [26], auquel il faut également ajouter les coûts de maintenance. De plus, si la distance est importante, la perte d'énergie engendrée par la ligne de transmission électrique n'est pas négligeable 2% selon le Réseau de Transport d'Electricité (RTE) [26]. Enfin, dans le cas d'une ligne de transmission aérienne, 10 fois moins coûteuses que des lignes enfouies, le problème d'impact sur le paysage peut se poser, même si cela reste un critère subjectif. Pour ces différentes raisons, une alimentation électrique autonome stationnaire est de plus en plus considérée.

I.4.2. Définition

Un système à énergie hybride (SEH) est un système de production d'énergie électrique contenant au moins deux sources d'énergies distinctes. Les SEH's associent en général deux technologies complémentaires, une ou plusieurs sources d'énergies non renouvelables avec au moins une source d'énergie renouvelable [27]. Cette dernière comme l'éolienne ou le photovoltaïque ne délivre pas une puissance stable. Leur union avec des sources non renouvelables permettent une production électrique non interrompue [27].

La plupart des SEH's comportent les batteries de stockage [28]. L'utilisation de l'hydrogène permet d'avoir une autonomie beaucoup plus importante, Mais reste toujours l'inconvénient de la capacité de stockage qui est limité, ainsi que leurs coûts élevés. Pour cela on cherche à minimiser le coût du système par un recours au stockage et c'est l'un des objectifs des SEH's [28].

En général il y a trois aspects principaux à étudier pour un SEH [28].

- La configuration du SEH qui résulte d'un dimensionnement en fonction des ressources disponibles, ainsi que les contraintes d'utilisations;
- La maximisation de l'utilisation des ressources renouvelables;
- La qualité de l'énergie électrique fournie à l'utilisateur.

La puissance délivrée par le SEH peut varier de certains Watts pour des applications domestiques jusqu'à quelques Mégawatts pour des systèmes destinés à l'électrification des îles. Plusieurs classifications du système hybride sont réalisées selon le critère choisi (voir la figure.8).

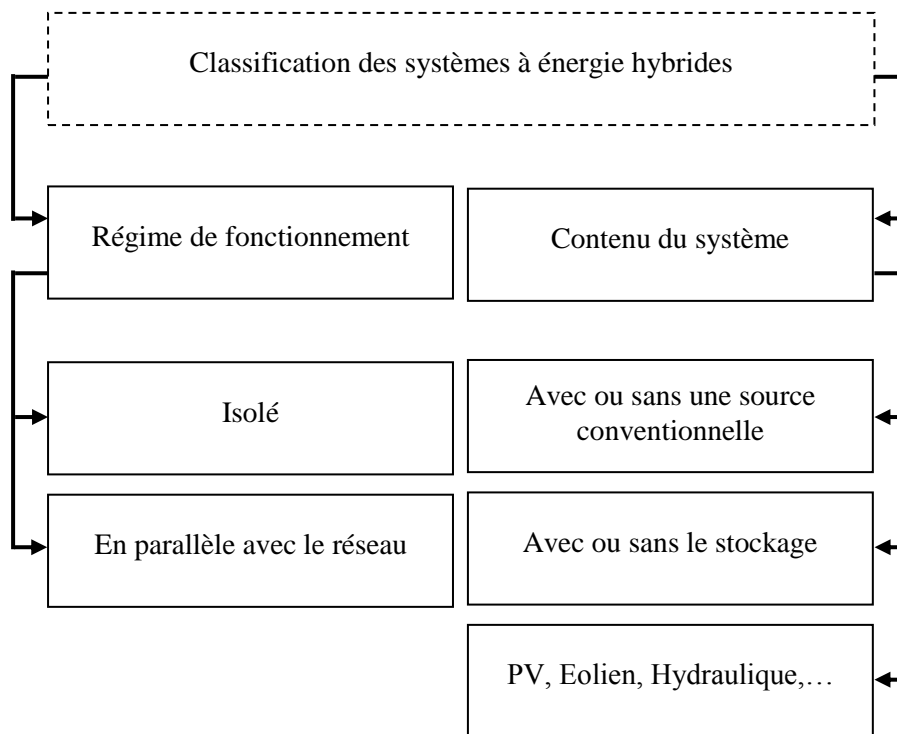


Fig. 8. Classification des SEH's [29]

Le but d'un SEH est d'assurer la fourniture de l'énergie demandée par la charge et de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable. Les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie sont influencés en partie par sa conception (dimensionnement des composants, types des composants, architecture du système) et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement.

I.4.3. Structure d'un SEH

Pour structurer un SEH, trois critères peuvent être pris en compte :

- La présence ou non des sources d'énergies non renouvelable (groupe électrogène, une micro turbine à gaz, etc.);
- La présence ou non de dispositifs de stockage qui permet de satisfaire la demande des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une source d'énergie (batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoir d'hydrogène, etc.) ;
- La structure du système peut contenir des modules photovoltaïques, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison de ces sources. Le critère important pour la sélection des sources énergétiques est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du SEH. Un autre facteur à déterminant est le profil de consommation de la charge électrique. Son

importance détermine le besoin d'une source supplémentaire d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle.

I.4.4. Configurations des SEH's

Pour le système d'énergie hybride (photovoltaïque-éolienne) il y a deux principales configurations: architecteur à bus CC (courant continue) et architecture mixte à bus CC-CA (courant continue-courant alternative) [30].

a. Architecture à bus CC

Dans ce cas, la puissance fournie par chaque source est centralisée sur un bus CC (voir la figure 9). Ainsi les systèmes de production à CA utilisent des redresseurs [31]. Le système de commande est relativement simple. Il constitue un grand avantage pour une telle architecture. Les désavantages sont principalement le rendement faible à cause de la batterie et des pertes dans les convertisseurs :

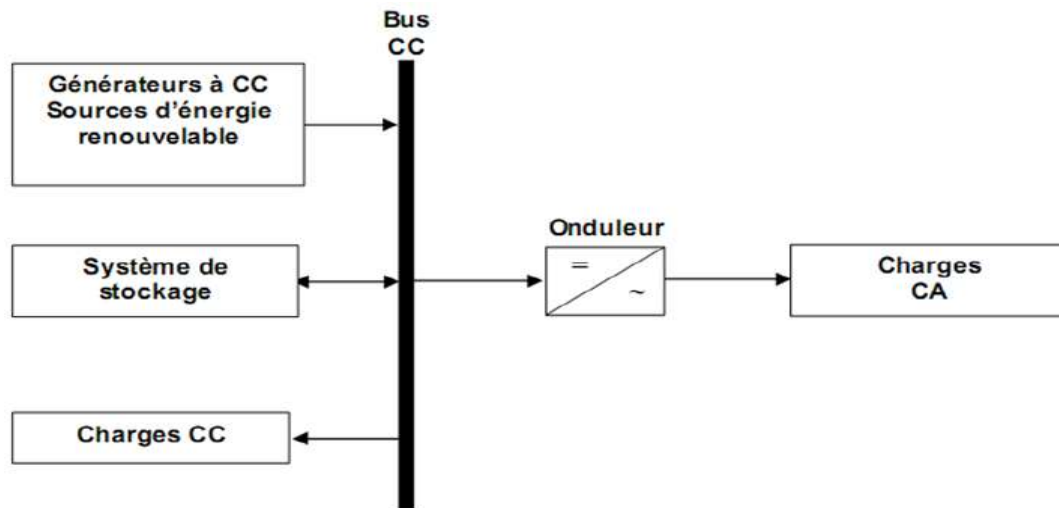


Fig. 9. Configuration d'un SEH à bus CC [32].

b. Architecture mixte à bus CC/CA

Il a des performances supérieures par rapport à la configuration à bus CC [30]. En effet dans ce cas l'éolienne peut alimenter directement la charge CA ce qui permet d'augmenter le rendement du système. Quant il y a un surplus d'énergie, les batteries se chargent (voir la figure 10). Pour les convertisseurs, on peut avoir un seul bidirectionnel entre les deux bus CC/CA qui remplace les deux autres convertisseurs unidirectionnel.

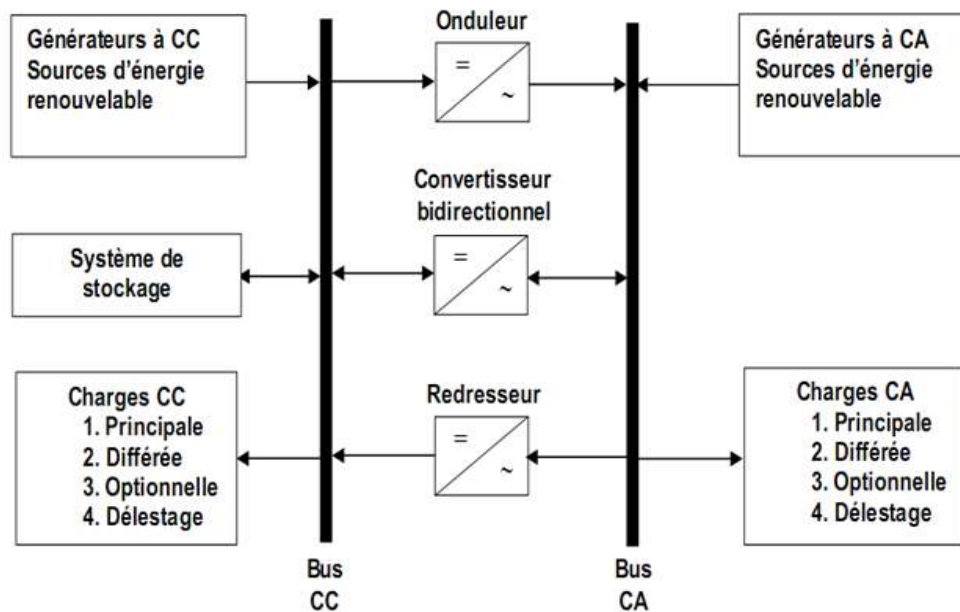


Fig. 10. Architecture mixte à bus CC/CA d'un système hybride [30].

I.5. Conclusion

Le principal inconvénient des sources à énergie renouvelables pour une utilisation autonome est l'intermittence. Pour palier à ce problème, nous avons proposé l'hybridation entre plusieurs sources d'énergie dans le même système et l'intégration des moyens de stockage de l'énergie telle que des batteries ou l'association avec autre générateur électrique de type non renouvelable. Toutes ces propositions c'est pour assurer une alimentation permanente de la charge. Dans le cadre de notre thèse, nous sommes intéressés par un système hybride qui comprend des sources d'énergie purement renouvelables (exemple : photovoltaïque, éolien). Notre proposition pouvons être intéressante pour alimenter en électricité des communautés situées dans des zones isolées ou difficile d'accès où la construction des lignes électriques s'avère très coûteuse. Dans ce chapitre, nous avons décrit le contexte de notre travail dans le but de bien comprendre les principaux éléments du système à énergie hybride. Nous avons présenté les concepts de base des énergies renouvelables, les systèmes à énergie hybride, qui sont les éléments principaux de notre travail. Cependant, la spécificité aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles d'optimisation et d'utilisation de ces systèmes pour les tenir au mieux. Pour cette raison, parmi les objectifs de notre thèse est de proposer des solutions pour fournir une configuration optimale pour les systèmes à énergie hybrides. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter en détails

l'aspect optimisation et proposer une solution efficace à base d'un raisonnement ontologique pour la conception et le dimensionnement des SEH's.

Chapitre II :
**Etat de l'art sur l'optimisation, les
ontologies et les systèmes multi agents.**

II.1. Introduction

Ce chapitre est réservé pour présenter les éléments essentiels de la thèse. Nous commençons par le concept optimisation qui est liée avec la thématique de la thèse. Ensuite, nous présentons l'ontologie informatique. Nous terminons par les systèmes multi agents. Ces deux derniers concepts sont les éléments de base des solutions proposées.

II.2. L'optimisation des systèmes à énergies hybrides (SEH's)

L'optimisation est une branche mathématique et informatique en tant que discipline, cherchant à modéliser, analyser et résoudre analytiquement ou numériquement des problèmes qui consistent à déterminer la solution qui satisfait un but quantitatif tout en respectant d'éventuelles contraintes [32]. Elle joue un rôle important dans plusieurs domaines tels que la recherche opérationnelle, la mathématique appliquée, l'analyse numérique...etc.

Aujourd'hui, tous les systèmes difficiles d'être décrits par un modèle mathématique sont optimisés. La qualité des résultats et des prédictions dépendent de la pertinence du modèle, de l'efficacité de l'algorithme et des moyens pour le traitement numérique [33].

Dans un SEH, nous associons les sources d'énergie et les moyens de stockage de manière à satisfaire deux objectifs [28]:

- Assurer une production suffisante pour couvrir la demande de la charge ;
- Garantir le coût minimal de l'énergie consommée.

Cette phase de la conception s'appelle l'optimisation (autrement dite optimiser la conception et le dimensionnement des SEH's). Il s'agit notamment de déterminer la puissance des éléments du SEH pour satisfaire la demande. Cependant, à cause de la nature d'intermittence des sources renouvelables, l'optimisation du SEH s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre des caractéristiques météorologiques du site tout en intégrant le profil de la charge [28]. En effet, comment dimensionner chacun des éléments en termes de puissance et de capacité afin d'assurer une alimentation ininterrompue de la charge, tout en obtenant une énergie au moindre coût ? Répondre à ce problème d'optimisation est précisément l'objectif de notre travail. Il s'agit de fournir au concepteur une solution adéquate permettant de dimensionner ce type de système d'une manière optimale.

Divers outils (algorithmes, logiciels,...) ont été rapportés dans la littérature visant à déterminer la configuration optimale du SEH. Cependant, chaque technique est basée sur une ou métissage d'approches (probabilité, programmation linéaire, logique floue, réseaux de neurones ...) [34]. Ainsi, plusieurs logiciels sont disponibles pour le dimensionnement des

systèmes énergétiques hybrides. Nous citons les plus populaires: Hybrid, Hybrid2, Homer et Hoga.

- **Hybride** : a été développé dans le laboratoire national des énergies renouvelables à l'université du Massachusetts [35]. Il est basé sur Microsoft Excel pour dimensionner les systèmes hybrides. Dans son fonctionnement, il nécessite les valeurs moyennes journalières sur la charge et les données environnementales estimées pour chaque mois de l'année.
- **Hybrid2** : est un logiciel pour la simulation des systèmes hybrides. a été développé par le Laboratoire de Recherche de l'Energie Renouvelable (RERL) de l'université du Massachusetts [36]. Il est caractérisé par la précision (intervalles de temps de dix minutes à une heure).
- **Homer (Hybrid Optimization Model for Renewable Electric)**: développé par le laboratoire national des énergies renouvelables [37]. Cet outil de simulation utilise la valeur de la charge et les données environnementales pour l'évaluation des systèmes à énergies renouvelables. Il dispose d'une bibliothèque riche qui comprend des générateurs photovoltaïques, des éoliennes, des turbines à eau, des piles à combustible, des réservoirs d'hydrogène, des convertisseurs bidirectionnels et des chaudières. Les charges peuvent être en Courant Alternatif (CA) ou en Courant Continu (CC) et l'utilisateur doit sélectionner les composants de modèle pour représenter l'architecture de son réseau.
- **Hoga (Optimisation hybride par Algorithmes Génétiques)**: est un logiciel d'optimisation des SEH's développé par le département de génie électrique de l'université de Saragosse (Espagne) [37]. Basé sur le concept des algorithmes génétiques [38].
- **RAPSIM** : a été développé par MUERI (Institut Murdoch University Energy Research, Australie) [39]. Il est conçu pour simuler des systèmes d'énergie tels que les générateurs photovoltaïque, éolien et diesel.

En général, les logiciels de dimensionnement sont basés dans leurs fonctionnements sur les facteurs suivants:

- Les conditions météorologiques du site (vitesse du vent, rayonnement, température);
- Le profil de la charge;
- Les préférences des clients;
- Les ressources financières;
- La disponibilité de la technologie et le support technique.

Nous distinguons plusieurs algorithmes de dimensionnement du SEH dont les plus populaires sont: algorithme du mois le plus défavorable (Most Unfavourable Month Technique :MUMT), algorithme de la moyenne mensuelle et annuelle (Yearly Monthly Overage Sizing Technique : YMOST), l'algorithme de probabilité de pertes de puissance (Loss of Power Supply Probability : LPSP), ainsi que des algorithmes de conception basée sur l'intelligence artificielle [40].

Le tableau 4, montre une comparaison entre les différents algorithmes cités auparavant.

Algorithme (Technique)	Avantages	Inconvénients
Technique du mois le plus défavorable (MUMT)	Lorsque qu'il n'existe aucune station météo dans un endroit isolé	Le coût élevé, car le système est surdimensionné
Technique de la moyenne mensuelle et annuelle (YMOST)	Minimise le coût total du système	Cette méthode nécessite des connaissances météorologiques mensuelles et annuelles dans le site d'installation
Technique de probabilité de pertes de puissance (LPSP)	Minimise le coût total du système	Le stockage est un élément essentiel
Techniques de dimensionnement basées sur les approches de l'intelligence artificielle.	Donne des solutions sur les systèmes complexes	Difficulté d'application des concepts (réseaux de neurones, algorithmes génétiques, ...)
Outils logiciel	Donne de bons résultats	Difficulté d'incorporer de nouveaux éléments dans le système

Table 4. Comparaison entre les algorithmes (techniques) de dimensionnement

II.3. Les ontologies

L'ontologie est une branche de la métaphysique qui s'attache à l'étude ou à la théorie de l'être dans son essence, indépendamment des phénomènes de son existence [41].

Dans le cadre de l'intelligence artificielle, Neeches et ses collègues [42], furent les premiers à présenter la définition suivante : "une ontologie définit les termes et les relations de base du vocabulaire d'un domaine et les règles qui exposent comment aménager les termes et les relations dans le but de bien présenter les concepts".

Gruber [43], présente la définition suivante : "spécification explicite d'une conceptualisation".

Borst [44] présente une autre définition: "spécification formelle d'une conceptualisation partagée".

Ensuite Studer regroupera les dernières définitions comme [45]: "Spécification formelle et explicite pour une conceptualisation partagée".

- **Formelle** : l'ontologie clair par une machine, ce qui exclut le langage naturel.
- **Explicite** : la définition explicite des concepts et des contraintes.
- **Conceptualisation** : le modèle abstrait d'un phénomène du monde réel.
- **Partagée** : l'ontologie représente un consensus agréé par une communauté d'utilisateurs.

Pour Guarino & Giaretta [46], "une ontologie est une spécification exprimant partiellement compte d'une conceptualisation".

Swartout et ses collègues [47], la définissent comme suit: " une ontologie est une composition des termes structurés de façon hiérarchique, conçue afin de raconter un domaine et qui peut aider de charpente à une base de connaissances ".

La même notion est également présenté par Gomez [48] comme: " une ontologie offre les moyens de décrire de façon explicite la conceptualisation des informations représentées dans une base de connaissance ".

Gruber [49], définit l'ontologie comme suit: "Une ontologie définit un ensemble de primitives de représentation permettant de modéliser un domaine de connaissance. Les primitives de représentation sont généralement des classes (ou concepts), des attributs (ou des propriétés) et des relations entre les classes".

II.3.1. Les types d'ontologies

On distingue six types d'ontologie:

a. Ontologies de représentation des connaissances

Modélise les représentations primitives usagées pour la formalisation des connaissances sous un paradigme donné [50].

b. Ontologies de haut niveau / supérieure

Elle exprime des conceptualisations valables dans différents domaines. Elle décrit des concepts très généraux [51]. Ces concepts ne dépendent pas d'un problème ou d'un domaine particulier, et doivent être, du moins en théorie, consensuels à des supérieures groupes d'utilisateurs.

c. Ontologies générique

Appelée noyau ontologique [50], modélise la connaissance moins abstraite que celle véhiculée par l'ontologie de haut niveau mais assez ordinaires néanmoins pour être réutilisées à travers différents domaines.

d. Ontologies du domaine

Cette ontologie exprime des conceptualisations spécifiques à un domaine. Elle est pour plusieurs applications [52]. Elle fournit les concepts et les relations permettant de couvrir les vocabulaires, les activités et les théories de ces domaines.

e. Ontologies de tâches

Elle fournit un vocabulaire systématisé des termes employés pour résoudre des problèmes liés aux tâches qui peuvent être ou non du même domaine [52]. Elle fournit un ensemble de termes au moyen desquelles nous pouvons raconter généralement comment résoudre un type de problème.

f. Ontologies d'application

C'est l'ontologie la plus spécifique, elle comprend des concepts dépendants d'un domaine et d'une tâche particulière, elle est spécifique et non réutilisable [53]. Ces concepts correspondent souvent aux rôles joués par les entités du domaine quand de l'exécution d'une

activité. Il s'agit de mettre en relation les concepts liés à une tâche quelconque de manière à en montrer l'exécution.

II.3.2. Composantes d'une ontologie

La connaissance dans les ontologies est particulièrement formalisée en utilisant les cinq types de composants à savoir [50] : concepts (classes), relations (propriétés), fonctions, axiomes (règles) et instances (individus).

- **Les concepts** : aussi nommés termes ou classe de l'ontologie, conviennent aux abstractions pertinentes d'une section de la réalité (le domaine du problème) retenus en fonction des buts qu'on se donne et de l'application envisagée pour l'ontologie;
- **Les relations** : expliquent les associations (pertinentes) entre les concepts présents dans la section analysée de la réalité.

Ces relations incluent les associations suivantes :

- Sous classes de (généralisation-spécialisation) ;
- Partie de (agrégation ou composition) ;
- Associe à ;
- Instance de, etc.

Les relations permettent de découvrir la structuration et l'interrelation des classes, les uns par rapport aux autres.

- **Les fonctions** : comprennent des cas particuliers des relations, quand un élément de la relation, (le $N^{\text{ème}}$) est défini en fonction des (N-1) éléments antérieurs ;
- **Les axiomes** : forment des assertions, admises comme vraies ;
- **Les instances** : composant la définition extensionnelle de l'ontologie, ces objets véhiculent les informations (statiques, factuelles) à propos du domaine du problème.

II.3.3. Les formalismes de représentation des ontologies

De nombreux formalismes ont été développés pour représenter les connaissances, de la logique des prédicats jusqu'aux langages sophistiqués basés sur des structures de données appelées schémas [54]. Nous distinguons :

a. Les formalismes logiques

Dans une représentation logique, la base de connaissances consiste en un ensemble d'axiomes décrivant une situation, un état des choses, sur lesquels des règles d'inférence opèrent et fournissent de nouvelles formules que l'on peut considérer comme valides.

Celles-ci constituent alors de nouveaux états des choses dans la base. Le langage de programmation "Prolog " est fondé directement sur ces principes.

b. Les réseaux sémantiques

Un réseau sémantique est un modèle de représentation du contenu sémantique des concepts sous forme de graphe. Ce dernier formé de nœuds, représentant les concepts, reliés par des arcs décrivant les relations entre eux.

c. Les primitives

Elle propose un modèle de représentation conceptuelle fondé sur l'organisation de la mémoire et insiste sur l'universalité des primitives qui reflètent la pensée plutôt que la langue. Étant universelles, les primitives sont définies d'une façon très générale et en petit nombre, ce qui pose un problème pour la définition des domaines spécifiques.

d. Les schémas

Un schéma est une structure de données qui regroupe un ensemble d'informations concernant un concept particulier. Les concepts sont généralement organisés en treillis suivant la relation sorte-de. Pour chaque nœud nous associons un schéma qui décrit les propriétés du concept dont héritent les concepts descendants.

e. Les scripts

La notion de scripts ou scénarios a été introduite par Schank et Abel en 1977 [53], sur le modèle des frames pour le traitement du langage naturel. Les frames servent alors à représenter des séquences d'actions stéréotypées appelées scénarios/scripts. Un scénario consiste en un ensemble d'actions élémentaires, ou de références à d'autres scénarios, ordonnées selon leur déroulement dans le temps.

II.3.4. Les outils de construction d'ontologies

Nous distinguons deux familles d'outils :

a. Les outils dépendants des formalismes de représentation

- **Ontolingua** : est un serveur d'édition d'ontologies. Il utilise des classes, des relations, des fonctions, des instances et des axiomes pour décrire une ontologie [56]. Une relation peut contenir des propriétés nécessaires qui définissent la relation. En plus le « serveur Ontolingua » offre la possibilité d'intégrer les ontologies Ontolingua, ce qui permet une construction modulaire des ontologies.
- **OntoSaurus** : OntoSaurus de l'Information Science Institute (ISI) de l'université de Southern California, se compose de deux modules [57] : un serveur utilisant LOOM comme langage de représentation des connaissances et un serveur de navigation créant dynamiquement des pages HTML (HyperText Markup Language) qui affichent la hiérarchie de l'ontologie.
- **WebOnto** : est une application Web pour naviguer et développer les ontologies [57]. Il supporte la navigation collaborative, la création et l'édition d'ontologies sur le Web. Les ontologies WebOnto sont implémentées dans le langage OCML. WebOnto distingue quatre types d'ontologies : ontologie de domaine, ontologie de tâche, ontologie de méthode et ontologie d'application.
- **OilEd (Oil Editor)**: est un éditeur d'ontologies utilisant le formalisme OIL (Ontology Inference Layer) [58]. destiné à supporter le développement d'ontologies de petites et moyennes tailles, basées sur le formalisme standard OIL, un des précurseurs de OWL. OilEd n'offre pas des fonctionnalités supportant le cycle complet de conceptualisation et d'opérationnalisation, mais il offre des mécanismes de tests de cohérence grâce à son moteur d'inférence, FaCT, lui-même bâti sur OIL.

b. Les outils indépendants de formalisme de représentation

- **Protégé 2000** : est une interface modulaire permettant l'édition, la visualisation, le contrôle d'ontologie, l'extraction d'ontologies à partir de sources textuelles, et la fusion semi-automatique d'ontologies [57]. Le modèle de connaissances sous-jacent à protégé 2000 est issu du modèle des frames et contient des classes, des slots et des facets, ainsi que des instances des classes et des propriétés. Il autorise la définition de méta-classes, dont

les instances sont des classes, ce qui permet de créer son propre modèle de connaissances avant de bâtir une ontologie.

- **ODE (Ontology Design Environnement):** permet de construire des ontologies au niveau des connaissances, comme le préconise la méthodologie Methontology [59]. L'utilisateur construit son ontologie dans un modèle de type frame, en spécifiant les concepts du domaine, les termes associés, les attributs avec leurs valeurs, les relations de subsomption.
- **OntoEdit (Ontology Editor):** est également un environnement de construction d'ontologies indépendant de tout formalisme [57]. Il permet l'édition des hiérarchies de classes et des relations entre les classes et l'expression d'axiomes algébriques portant sur les relations, et de propriétés telles que la généralité d'un concept. Des outils graphiques dédiés à la visualisation d'ontologies sont inclus dans son environnement.

OntoEdit intègre un serveur destiné à l'édition d'une ontologie par plusieurs utilisateurs et un contrôle de la cohérence de l'ontologie est assuré à travers la gestion des ordres d'édition.

II.4. Les systèmes informatiques

Un système est un ensemble d'éléments. Ces éléments sont appelés constituants, composants, objets ou agents. Un composant peut être, lui aussi un système. Dans ce cas, on parlera de la caractéristique hiérarchique [60]. Cet ensemble d'éléments est doté d'une structure qui précise la nature des liens (relations, interfaces etc.). Ils sont en interaction entre eux, ils peuvent s'échanger des informations, de la matière et de l'énergie. Ils sont aussi en interaction avec l'environnement, car les systèmes dans leur aspect physique ne sont jamais isolés. Ainsi un système peut être revendiqué par son environnement et y répondre. Il peut donc :

- Réaliser des fonctions et assurer un ensemble d'activités ;
- Transforme de l'information, de la matière ou de l'énergie;
- Il évolue dans le temps ;
- Il possède des objectifs ;
- Chacun des constituants du système exécute un ensemble de tâches en fonction d'interactions avec les autres constituants ;
- Il fournit des résultats.

Cette notion détermine le caractère réactif de tels systèmes, on parle alors d'intelligence collective distribuée [61]. A l'inverse, on parlera aussi de systèmes cognitifs qui sont caractérisés par un nombre plus réduits de constituants où chacun dispose de capacités de raisonnement et d'exécution assez complexes.

II.4.1. Environnement d'un système informatique

Un environnement peut être vu comme étant ce qui entoure quelque chose. L'environnement d'un système informatique est définie par Dekkers et Rob [62] comme tout autre système sur lequel le mécanisme de décision du système n'ont pas de contrôle. Nous pouvons traiter un environnement d'un système comme étant tout ce qui est en dehors de celui-ci et n'est pas sous son contrôle. Les interactions entre un système informatique et son environnement sont principalement les échanges d'informations à traitées. Les influences réciproques entre un système et son environnement sont regroupés en deux catégories [63]. La première concerne les données échangées, la deuxième intéresse aux modifications des frontières du système. Les données échangées entre un système et son environnement incluent les données introduites dans le système par les éléments de l'environnement et celles que le système génère à destination de son environnement. Les modifications des frontières du

système peuvent être des extensions de frontières suite à l'intégration de certains éléments de son environnement, ou des restrictions de frontière par abandon de certains de ses éléments.

II.4.2. Les systèmes informatiques ouverts

L'ouverture d'un système repose sur la notion de l'environnement. A l'opposé d'un système ouvert par contre un système fermé n'a pas d'environnement. En conséquence, il n'a pas d'échanges avec des environnements (ou systèmes extérieurs) et son état n'est influencé que par ses propriétés et ses conditions initiales [64]. L'étude de l'ouverture dans les systèmes consiste donc à définir les moyens d'établir et gérer les interactions que peut avoir un système avec les autres systèmes de son environnement. Il s'agit de déterminer la nature des échanges : échanges de messages (communication), les données échangées, les interfaces ou les supports d'échanges et flux d'échanges sans oublier les impacts des échanges (stabilité, adaptation, fiabilité).

Un système ouvert peut être défini comme un système situé dans un environnement et qui interagit, communique et faisant des interactions avec autres systèmes de son environnement. En d'autres termes, un système ouvert est celui qui fournit des avantages en interopérabilité, portabilité et standards ouverts de logiciels ; ou configuré pour permettre des accès non restreints par des utilisateurs et/ou des ordinateurs [65].

II.5. Agents et systèmes multi-agents

II.5.1. Les agents

La définition de l'agent a été présentée par plusieurs chercheurs et avec différentes manières, quoi que toutes les définitions de l'agent aient quelques points en commun. La communauté scientifique a accepté des définitions parmi lesquelles nous citons la définition de Ferber, considéré l'une des premières définitions où « Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui peut communiquer dans un univers multi-agents, avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents » [66]. Jennings propose la définition suivante : « Un agent est un système informatique située dans un certain environnement et qui est capable d'effectuer de manière autonome une action afin de répondre aux objectifs pour lesquels il a été conçu » [67].

II.5.1.1. Caractéristiques d'un agent

Jennings [67] présente pour les agents les caractéristiques suivantes :

- **Situation** : l'agent est une entité située qui est capable d'agir sur son environnement à partir des perceptions qu'il reçoit de son environnement ;
- **Autonomie** : l'agent est capable d'agir sans l'intervention d'un autre agent ou la personne et contrôle ses propres actions ainsi que son état interne ;
- **Apprentissage** : un agent est capable d'évoluer en fonction de cet apprentissage, il est aussi capable de changer le comportement en fonction de l'historique des expériences passées ;
- **Mobilité** : la capacité d'un agent de se déplacer d'une machine à une autre à travers un réseau local ou sur le web ;
- **Flexibilité** : cette caractéristique résume les propriétés suivantes : réactivité, pro-activité, sociabilité, activité et communication.
- **Intentionnalité** : agent intentionnel c'est un agent qui est guidé par ses buts. une intention est la déclaration explicite des buts et des moyens pour y parvenir. Elle exprime donc la volonté d'un agent d'atteindre un but ou d'effectuer une action.
- **Rationalité** : un agent rationnel est un agent qui suit le principe suivant : 'Si un agent sait qu'une de ses actions lui permet d'atteindre un de ses buts, il la sélectionne'.

Les agents rationnels disposent de critères d'évaluation de leurs actions et sélectionnent selon ces critères les meilleures actions qui leur permettent d'atteindre le but. La notion de rationalité se rapporte au comportement cognitif de l'agent.

- **Engagement** : la notion d'engagement est l'une des caractéristiques essentielles des agents coopératifs. Un agent coopératif planifie ses actions par la coordination et la négociation avec les autres agents. En construisant un plan pour atteindre un but, l'agent se donne les moyens d'y parvenir et donc s'engage à accomplir les actions qui satisfont ce but.
- **Adaptativité** : un agent adaptatif est un agent capable de contrôler ses aptitudes (communicationnelles, comportementales, etc.) selon l'agent avec qui il interagit. C'est un agent d'un haut niveau de flexibilité.
- **Intelligence** : est un agent cognitif rationnel, intentionnel et adaptatif.

II.5.1.2. Typologie des agents

D'une manière générale un agent peut être classé en deux catégories à savoir l'agent cognitif et l'agent réactif. Les agents réactifs traitent le niveau le plus bas système, ils ne disposent que d'un protocole et d'un langage de communication réduits, ils n'ont pas une représentation générale de leurs environnement et ne sont pas capables de tenir compte de leur historique des actions, leurs capacités répondent uniquement à la loi stimulus/ action. Par contre, les agents cognitifs, possèdent une représentation explicite de leur environnement et des autres agents ; Ils tiennent compte de leurs historique et disposent d'un but explicite; ils possèdent une base de connaissances qui incluent toutes les informations sur leurs fonctionnements et leurs environnements. Ils sont dotés de capacités de raisonnement sur leurs bases de connaissances et ils peuvent avoir un monde social d'organisation.

D'une manière générale, les agents cognitifs se trouvent en un nombre réduit, ainsi la granularité dans les systèmes composés de ces derniers est faible [68]. Les agents BDI (Belief, Desire, Intension) sont un bon représentant de ce type d'agents qui peuvent être des agents intelligents, des agents collaborant, des agents interfaces ...etc. Il en résulte de la combinaison des deux manières de pensée des architectures d'agents composées d'un ensemble de modules organisés dans une hiérarchie, chaque module étant soit une composante cognitive, soit une composante réactive. Le comportement proactif de l'agent, dirigé par les buts, est combiné avec un comportement réactif afin d'obtenir les avantages des architectures hybrides (cognitives et réactives), tout en éliminant leurs limitations.

Le tableau 5, Présente une comparaison entre les systèmes d'agents cognitifs et les systèmes d'agents réactifs.

Systèmes d'agents cognitifs	Systèmes d'agents réactifs
Représentation explicite de l'environnement	Pas de représentation explicite
Peut tenir compte de son passé	Pas de mémoire de son historique
Agents complexes	Fonctionnement stimulus/réponse
Petit nombre d'agents	Grand nombre d'agents

Table 5. Comparaison entre les agents cognitifs et réactifs [68]

II.5.1.3. Architecture abstraite d'un agent

Nous allons présenter d'une manière formelle l'architecture interne d'un agent "intelligent" comme suit :

Soit : $S = \{s_1, s_2, \dots\}$ l'ensemble des états de l'environnement.

Les compétences des agents sont représentées par l'ensemble "A" des actions qu'il peut réaliser : $A = \{a_1, a_2, \dots\}$

Un agent peut être vu comme une fonction

agir : $S^* \rightarrow A$, qui fait correspondre une séquence d'état de l'environnement avec des actions.

Intuitivement l'agent choisit l'action suivante en analysant l'historique des actions précédentes associées aux différents états de l'environnement. Il intègre le passé dans son comportement.

La figure 11, présente l'architecture générale d'un agent cognitif. On distingue : le savoir-faire, les croyances, la connaissance de contrôle, l'expertise de l'agent et la connaissance de communication.

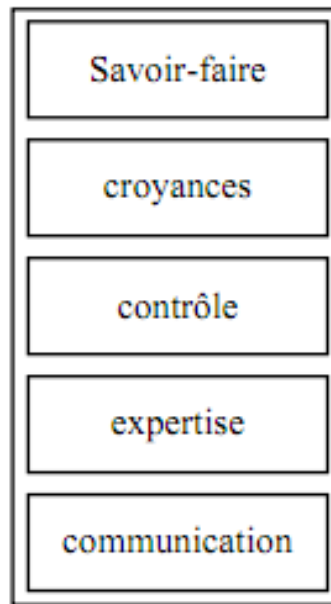


Fig. 11. Structure d'un agent [69]

- **Savoir-faire** : le savoir-faire est une interface permettant la déclaration des connaissances et des compétences de l'agent vis-à-vis des autres agents. Il permet la sélection des agents à solliciter pour une tâche donnée. Il n'est pas nécessaire, mais il est très utile pour améliorer les performances du système, quel que soit le mode de la coopération utilisée.
- **Croyances** : chaque agent possède des connaissances sur lui-même et sur les autres. Ces connaissances ne sont pas nécessairement objectives, on parle alors de croyances d'un agent. La représentation de ces connaissances ou croyances est à la base de la conception de tout système multi-agents, puisque c'est elle qui détermine en grande partie le comportement intelligent de chacun des agents.
- **Contrôle** : la connaissance de contrôle dans un agent est représentée par les buts, les intentions, les plans et les tâches qu'il possède.
- **Expertise** : c'est la connaissance sur la résolution de problème. Par exemple, cette connaissance correspond à la base de règles pour un système expert utilisant le formalisme de règle.
- **Communication** : l'agent doit posséder un protocole de communication lui permettant d'interagir avec les autres agents pour une bonne coopération et une bonne coordination d'actions [69]. Un acte de communication est défini en tant qu'action modifiant l'état du monde, en l'occurrence de l'état interne des autres agents. D'autres connaissances de communication peuvent être disponibles, par exemple les

connaissances sur les réseaux de communication (tous les agents ne sont pas forcément en liaison directe).

A ces différents types de connaissances, on peut ajouter la connaissance liée au mode de la coopération : fonctionnement en mode appel d'offre, en mode compétition ou en mode commande.

II.5.1.4. Fonctionnement d'un agent

La structure fonctionnelle d'un agent est défini autour de trois fonctions principales: percevoir, décider et agir, dans lequel et avec lequel ils interagissent. Parmi les sous-fonctions importantes d'un agent on peut citer : la détection de conflits, la révision des croyances, la coopération (négociation, coordination), l'apprentissage, etc. (voir figure 12).

Un agent à la possibilité d'acquérir des connaissances sur l'environnement externe (perception). Il a aussi des capacités d'interaction avec les autres agents (communication, négociation). En fonction des connaissances et croyances dont il dispose et des buts qu'il se fixe suite à une perception ou à une interaction avec le monde extérieur, l'agent doit élaborer un plan d'action. Pour cela, il doit décider quel serait le but à retenir et à satisfaire en premier, ensuite planifier en fonction de ce but et passer à l'exécution.

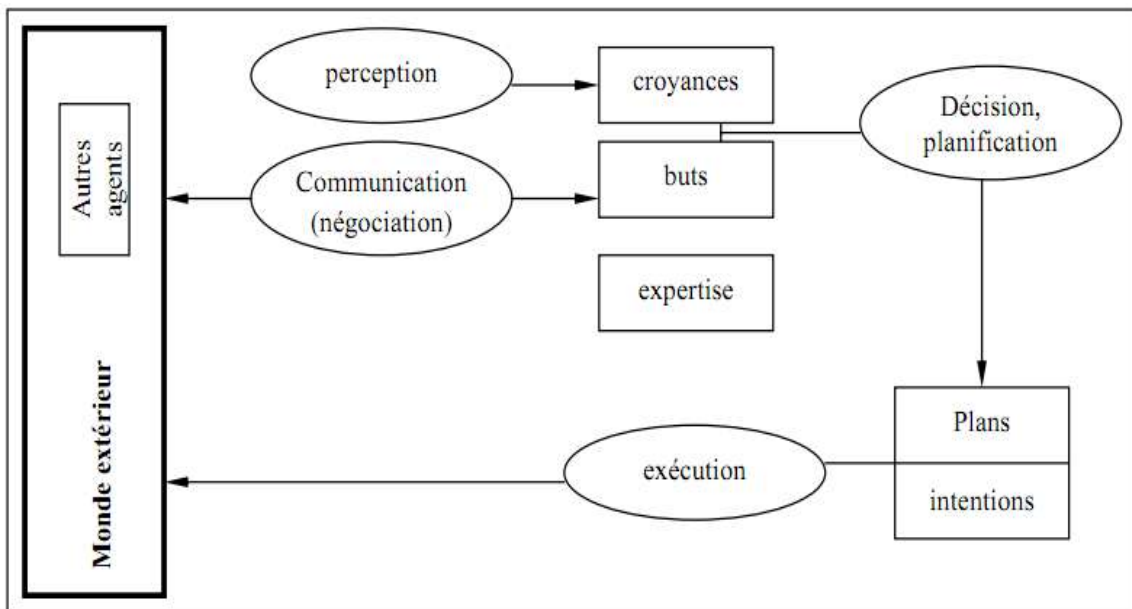


Fig. 12. Fonctionnement d'un agent [68]

a. Perception

Nous distinguons plusieurs sources d'informations pour les agents, nous citons :

- Le savoir initial de l'agent ;
- La perception de soi (perception proprioceptive) et du monde (perception extéroceptive) ;
- La communication avec les autres agents.

Les informations issues de la perception et de savoir initial de l'agent sont considérées comme des connaissances certaines puisqu'elles n'ont subi aucune mise à jour, alors que les connaissances provenant des autres agents sont considérés incertaines puisqu'elles évoluent sans que l'agent en soit forcément informé. On peut pour cela associer à chaque connaissance son origine afin d'en évaluer la crédibilité et d'en permettre la vérification.

b. Prise de décision

La prise de décision est l'une des caractéristiques des agents rationnels, l'agent tient compte de ses croyances pour faire son choix.

Durant son exécution, un agent se fixe un certain nombre de buts, suite à ses observations et ses interactions avec le monde (perception, communication, négociation). Il doit donc sélectionner le but à satisfaire en premier et pour chaque but, l'action qui permet de l'atteindre. Face à telles situations, l'agent analyse les différentes alternatives en termes d'utilité et d'incertitude (quel intérêt et quelle chance possède l'action pour être effectuée ?). Parmi les techniques utilisées pour le choix des actions, on peut citer l'utilisation de la notion de carte cognitive [70].

c. Planification

La planification dans les systèmes multi-agents est distribuée c'est-à-dire il n'existe pas d'un plan global, en revanche, chaque agent construit son propre plan en coordonnant avec les autres (cas d'agents coopératifs). Cette opération se traduit par des actions et de tâches à entreprendre vers des buts particuliers où il sera capable de :

- Choisir des buts, d'ordonner dynamiquement leur priorité, de les modifier ou de les abandonner ;
- Déterminer par quelles actions et dans quel ordre un ou plusieurs buts peut être atteints ;
- D'affiner/modifier les prédictions, voir remettre en cause les buts choisis, en fonction d'un retour sensoriel sur les effets réels des actions ou sur des événements imprévus.

II.5.2. Les systèmes multi agents (SMA's)

Il est très intéressant de la mise en place d'un ensemble d'agents qui travaille en commun pour qu'un agent puisse être bénéficié de la compétence globale des agents, s'avère mieux que la manipulation d'un agent tant qu'entités individuelles formant ainsi ce qui s'appelle un système multi agents [71]. Par définition un système multi agent est une branche de l'intelligence artificielle distribué, il est composé d'un ensemble d'agents, qui interagissent entre eux, selon des modes de coopération, de concurrence ou de coexistence.

D'une manière générale les systèmes multi agents sont caractérisés par :

- Chaque agent à des informations ou des capacités de résolution de problèmes limitées ;
- Chaque agent est caractérisé par sa point de vue partiel;
- Il n'y a aucun contrôle global du système multi-agents;
- Les données sont décentralisées;
- Le calcul est asynchrone.

L'approche des SMA's représente un outil très intéressant pour l'analyse, la conception et l'implantation des systèmes informatiques complexes, elle offre un puissant groupe d'outils, des techniques et des métaphores qui y ont le potentiel d'améliorer considérablement les systèmes logiciels.

Les SMA's sont présentés comme solution privilégiée pour analyser concevoir et construire les systèmes logiciels complexes [72] puisqu'en partitionnant le système en un nombre d'agents sa complexité et la configuration résultante se trouve plus facile à développer, à tester et à maintenir.

Les SMA's s'adaptent bien à la réalité dans la mesure où de nombreux problèmes sont de nature distribuée. L'utilisation de nombreux agents résous le problème de façons différentes et produit généralement des meilleures solutions en termes de compétence, complétude et de précision.

Enfin nous distinguons quatre types de SMA's, le premier type sont :

a. Les SMA's ouverts : d'une manière générale un est un système auquel on peut ajouter ou enlever de nouvelles fonctionnalités en cours d'exécution. Dans un système multi-agents (SMA), les fonctionnalités sont assurées par les agents. L'ajout d'un nouveau service au SMA peut être effectué de deux manières :

- Créer un nouvel agent encapsulant ce nouveau service, en ajoutant l'agent à la société existante, dans ce cas on parle d'un SMA évolutif.

- Ajouter ce service à un ou plusieurs agents déjà présents dans le système, on parle dans ce cas des agents évolutifs.
- b. Les SMA's fermés :** dans le cas où l'ensemble d'agents restent le même ;
- c. Les SMA's homogènes :** où tous les agents sont construits sur le même modèle ;
- d. Les SMA's hétérogènes :** où les agents sont construits sur des modèles différents.

II.5.2.1. Architecture de SMA

Nous distinguons deux types d'architectures la première centralisée où un agent connaît tous les autres agents. Ainsi lorsque l'on a besoin d'une compétence particulière ou d'un agent particulier on s'en réfère à cet agent pour connaître le/les agents concernés. La deuxième architecture est celle qui est libre (ou non centralisée), elle présente l'avantage d'être plus "distribuée" que la méthode centralisée. En cas de défaillance d'une partie du système, le reste peut continuer à fonctionner.

II.5.2.2. La négociation dans les systèmes multi agents

Parmi les processus d'interaction entre les agents, la négociation, qui permettant aux agents de converger vers une décision commune. Nous distinguons plusieurs types de négociation, tels que la négociation heuristique, la négociation par argumentation et la négociation pour l'allocation de tâches.

II.5.2.3. Organisation des systèmes multi-agents

L'organisation définit l'aspect fonctionnel du SMA en termes de processus de coordination qui déterminent l'allocation des tâches aux agents ainsi que leurs décompositions en sous-tâches, elle se trouve sous la forme d'un modèle permettant aux agents de coordonner leurs actions pour accomplir une ou plusieurs tâches. Elle comprend un ensemble des rôles à jouer par les agents, les communications entre les rôles c'est-à-dire entre les agents jouant tel ou tel rôle.

La connaissance représente un point crucial pour la définition de l'organisation, qui peut exister que dans la connaissance des agents, donc la spécification de l'organisation revient à la spécification des agents eux-mêmes. La spécification dans ce cas est indépendante des agents et de leurs architectures ou leurs choix d'implémentations.

II.5.3. Les agents mobiles

La mobilité est une caractéristique primordiale pour les agents permettant à un agent de parcourir un réseau pour la recherche d'informations. Plusieurs définitions ont été proposées pour déterminer les éléments entrant dans la formulation du concept d'agent mobile. Les agents mobiles sont définis comme étant : « Des entités logicielles autonomes qui peuvent suspendre leurs exécutions sur une machine et migrer avec leurs codes, variables et états vers une autre machine où ils reprennent leurs exécutions » [73]. Dans [74] une autre définition est proposée : « Un agent mobile peut se déplacer à travers un réseau hétérogène sous son propre contrôle, migrant d'un site à un autre et durant sa migration, l'agent mobile peut interagir avec d'autres agents ou d'autres ressources et revient généralement sur son site initial une fois sa tâche accomplie ».

II.5.3.1. Attributs d'un agent mobile

L'agent mobile regroupe cinq composants qui sont : un état, une implémentation (code), une interface, un identifiant et une autorité [73], ces attributs sont transportés par l'agent en se déplaçant à travers le réseau.

- **L'état** : permet à l'agent de reprendre son exécution quand il arrive à la destination après le déplacement. L'état d'un agent peut être considéré comme une image instantanée de son exécution.
- **L'implémentation** : l'agent mobile a besoin d'un code pour pouvoir s'exécuter. Quand il se déplace à travers le réseau, l'agent peut soit emporter son code soit qu'il se déplace à destination puis voir le code qui est disponible sur la machine distante et récupère le code manquant à partir du réseau. L'implémentation d'un agent doit être à la fois exécutable et sans risque pour l'hôte de destination.
- **L'interface** : un agent fournit une interface qui permet aux autres agents et aux autres systèmes d'interagir avec lui.
- **L'identifiant** : chaque agent possède un identifiant unique durant son cycle de vie. Cette information permet aux agents d'être identifiés et localisés. Puisque l'identifiant est unique, il peut être utilisé comme clé dans les opérations qui exigent un moyen pour référencer une instance particulière d'agents.
- **L'autorité** : une autorité est une entité dont l'identité peut être authentifiée par n'importe quel système auquel elle essaye d'accéder. Une autorité peut être soit une

personne privée, soit une organisation. L'identité est constituée d'un nom et d'autres attributs.

II.5.3.2. Caractéristiques d'un agent mobile

Les agents mobiles sont caractérisés par : la mobilité, la communication, la gestion des ressources, la tolérance aux pannes et la sécurité [75]:

- **La mobilité** : c'est le mécanisme utilisé pour transporter l'agent entre les sites. Cette opération est contrôlée par la fonction de migration faible (transfert du code et de données) ou forte (transfert du code, de données et de l'état de l'exécution).
- **La communication** : nous distinguons deux types de communications pour les agents mobiles, locale sur le même site ou distance qui est entre différents sites.
- **La gestion des ressources** : pour optimiser la performance de ressources associées à l'agent mobile, cet agent procéde aux opérations de contrôle sur ses propres outils et ressources.
- **La tolérance aux pannes** : comme un agent mobile s'exécute sur un site distant, il est de forte probabilités qu'il aura lieu des pannes (déconnexion, défaillance...), qui exige la présence des mécanismes de récupération pour relancer l'agent à nouveau, une certaine redondance est nécessaire.
- **La sécurité** : concerne la protection sur le code et les données pour s'assurer que ces deux objets seront non modifiables par le système qui contrôle l'hôte dans lequel l'agent est présent.

II.5.3.3. Types d'agents mobiles

Nous distinguons plusieurs types d'agents, chacun est chargé pour effectuer une ou plusieurs tâches. Il s'agit de :

- **Agent statique** : il est chargé pour une seule migration depuis la station de départ vers un nœud défini au lancement. A l'arrivée sur ce nœud de destination, l'agent ne migre plus et se contente d'exécuter la tâche prédéfinie.
- **Agent visiteur** : c'est celui qui visite successivement les différents nœuds de la plateforme afin d'y appliquer la même fonction d'administration du réseau.
- **Agent collecteur** : ce type d'agents déplace d'un serveur à un autre pour collecter l'information recherchée. Les données collectées ne doivent pas dépasser un seuil de capacité pour ne pas surcharger l'agent mobile.

- **Agent fusion** : ce type d'agents sont chargent de la fusion des différentes données collectées afin de construire les réponses espérées.
- **Agent ordonnanceur** : son rôle consiste à l'affectation des tâches aux serveurs en minimisant le coût et en respectant la date de fin au plus tard d'une même requête.
- **Agent identificateur** : ces agents décomposent les requêtes reçues en sous-requêtes composées chacune de tâches élémentaires et indépendantes.

II.5.4. La simulation multi-agents

Les principaux atouts de la simulation multi-agents résident dans sa modularité et son incrémentalité. La modularité permet un ajout ou un retrait aisé d'un ou plusieurs agents. L'incrémentalité signifie qu'on peut facilement améliorer et affiner les agents qui composent le système.

Dans une approche multi-agents, le comportement de chaque agent est décrit par un algorithme. Par conséquent, le système est plus précis et mieux détaillé qu'une description plus globale incluant toute une population.

L'utilisation des SMA's varie d'un domaine à un autre, mais elle tourne généralement autour de trois axes fondamentaux:

- **Un SMA intelligent** : dédié à résoudre un certain nombre de problèmes d'une manière distribuée ;
- **Un SMA physique** : consacré à réaliser un ensemble de tâches et d'actions réel représentant le but du système ;
- **Un SMA pour la simulation** : c'est un système constitué des agents virtuels (agents logiciels) qui simulent des actions physiques, biologiques ou sociales.

II.5.5. L'implémentation des SMA's

Il existe plusieurs plateformes pour l'implémentation des systèmes multi agents, ces dernières constituent des puissants outils logiciels pour le développement de ce genre de système.

La table 6, présente une comparaison entre les plateformes les plus utilisés. Dans cette comparaison, chaque plateforme est notée comme suit:

- 4 : le cas où l'outil répond très bien au critère ;
- 3 : le cas où l'outil répond bien au critère ;
- 2 : le cas où l'outil répond moyennement au critère ;

- 1 : le cas où l'outil répond peu au critère ;
- 0 : le cas où l'outil ne répond pas du tout au critère.

Plate forme								
Critères	JADE	DECAF	AgentBuilder	Zeus	JAFMAS/JIVE	Jack	AgentTool	Madkit
Méthodologie	0	0	4	4	3	0	3	3
Facilité d'apprentissage	0	3	1	1	1	0	3	2
Transition entre les étapes	0	0	3	2	2	0	3	2
Souplesse de l'outil	3	0	1	1	2	3	0	3
Communication inter-agents	4	2	4	4	2	3	2	3
Outil de « débogage »	3	2	4	4	1	0	2	4
Support de développement	0	2	4	4	2	1	4	2
Support d'implémentation	0	0	4	4	2	1	2	1
Gestion du SMA	4	0	3	3	0	0	1	4
Effort et simplicité	2	3	2	2	1	2	3	1
Base de données	0	0	1	2	0	3	0	0
Génération de code	0	0	1	3	1	0	1	0
Extensibilité du code	4	1	1	2	1	4	0	3

Déploiement	4	1	2	2	1	2	1	3
Disponibilité de la documentation	3	1	4	4	1	3	1	3
Total (sur 60)	27	15	39	42	20	22	26	34

Table 6. Comparaison entre les plates formes multi-agents [76]

II.6. Conclusion

Le présent chapitre est une description générale pour les outils et les concepts de base de notre travail. Et ce, pour faciliter la compréhension des nos contributions présentés dans les deux derniers chapitres.

Nous avons commencé par une présentation sur l'optimisation qui considère la problématique principale de notre thèse. Ensuite, nous avons présenté en détails l'ontologie et ses applications et nous avons terminé par les systèmes multi agents.

Le prochain chapitre concerne notre première contribution qui concerne une solution d'optimisation à base d'ontologie.

Chapitre III :
**Optimisation d'un système à énergie
hybride à base d'une ontologie.**

III.1. Introduction

Dans le domaine des énergies et la production de l'électricité, l'optimisation c'est de chercher à développer des systèmes énergétiques qui assurent une satisfaction de la charge avec un faible coût. Cependant le grand volume informationnel et l'évolution rapide de ces systèmes exige l'intégration des approches qui améliorent la qualité des résultats d'optimisation [77].

Pour calculer la configuration optimale d'un système à énergie hybride (SEH), de nombreuses techniques d'optimisation ont été développés d'une manière indépendante [28]. Ces techniques nécessitent une bonne maîtrise pour leurs utilisations. De plus, il n'y a pas de partage de données entre elles. Dans ce contexte nous proposons notre contribution qui consiste à développer une solution générique d'optimisation basée sur les approches de l'intelligence artificielle, qui comprend trois types: descendante, ascendante et combinée.

Dans ce chapitre nous citons les travaux de recherches récentes en lien direct avec notre problématique. Après, nous présentons notre contribution qui est basée sur une ontologie de domaine.

III.2. Travaux connexes

L'analyse et la classification des méthodes d'optimisation peuvent grandement faciliter la tâche des concepteurs dans la sélection de l'outil ou l'approche la plus appropriée pour la conception du SEH.

Au cours des dernières années, plusieurs études sur les méthodologies d'optimisation ont été réalisées, Cano et al [78], présentent une étude comparative entre quatre méthodes d'optimisation pour un SEH autonome, ce dernier comprend deux source d'énergie (photovoltaïque, éolienne), les batteries de stockage et les piles à combustibles. La première méthode est basée sur des équations mathématiques, la seconde utilise le programme SDO (Simulink Design Optimization), la troisième utilise le logiciel d'optimisation Homer et la dernière utilise les algorithmes génétiques basés sur le logiciel HOGA (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms). Les résultats montrent que le SEH conçu par chaque méthode garantit la fiabilité dans l'alimentation électrique. Le SEH avec la première méthode est similaire avec celle de la troisième méthode mais avec une grande capacité de stockage des batteries et une quantité réduite de panneau photovoltaïque. Dans la seconde, le système hybride est plus économique avec une capacité minimum de stockage d'hydrogène. La troisième méthode est caractérisée par une plus grande quantité de panneaux solaires avec

une capacité de stockage d'hydrogène inférieure à celle de la deuxième méthode. La quatrième méthode présente le système le plus coûteux, avec un plus grand stockage d'hydrogène. Le résultat final de cette étude montre que la meilleure configuration trouvée est celle déterminé par la deuxième méthode qui est SDO.

Dans le même axe de recherche, Upadhyay et Sharma, [30], proposent une étude sur les critères de choix pour les méthodes d'optimisations, le contrôle et la gestion d'énergie pour un SEH autonome ou connecté au réseau. Elle est basée dans son étude sur les critères techniques, économiques, sociopolitiques et environnementaux. Les méthodes de dimensionnement ont été classés en six classes qui comprennent les méthodes graphiques de construction, les méthodes probabilistes, les méthodes analytiques, les méthodes itératives, les méthodes de l'intelligence artificielle et les méthodes hybrides. Cette étude à été finalisé par une description détaillée qui comprend les paramètres d'entrées, les sources d'énergies et les limites de chaque méthode. Dans la fonction de contrôle supposent que chaque source d'énergie à son propre contrôleur (local) qui peut assumer le fonctionnement optimal. Autres chercheurs exploitent les approches de l'intelligence artificielles, Maleki et Askarzadeh, [79], proposent quatre algorithmes heuristiques, PSO (Particle Swarm Optimization), TS (Tabu Search), SA (Simulated Annealing) et HS (Harmony Search), sur un SEH autonome (photovoltaïque, éolienne, pile à combustible). Pour la validation des résultats, une autre configuration qui inclut l'énergie photovoltaïque, l'énergie éolienne et les batteries de stockages ont été employés. Cette étude montre que le SEH avec les batteries de stockage d'énergie est le meilleur choix dans l'aspect économique et le PSO est la technique d'optimisation la plus fiable. Dans le même contexte, Aydin et al. [80], s'intéressent au développement d'une méthodologie basée sur les informations d'un système géographique GIS (Geographic Information System) pour identifier les sites préférés pour un SEH basé sur l'éolien et le photovoltaïque. Cette étude basée sur le principe de la logique floue et l'approche MCDM (Multi-Criteria Decision-Making) pour connaître la faisabilité économique de l'énergie éolienne et solaire. Enfin les cartes associées sont superposées pour obtenir les endroits les plus faisables pour un SEH. La méthodologie proposée peut aider les décideurs et les investisseurs et peut facilement adapter avec autres types de ressources énergétiques.

Luna-Rubio et al. [28], donnent un aperçu sur une liste des méthodes. Cette étude commence par une présentation sur les différentes architectures des SEH's autonome ou connecté au réseau. Une description de différents critères et techniques pour mesurer la performance du SEH. Ce travail à été finalisé par quelques propositions, nous citons :

- Un SEH qui comprend les sources d'énergie solaire et éolienne, nécessite l'ajout d'éléments de stockage ou l'intégration dans le réseau électrique ;
- Parmi les méthodes proposées (les méthodes probabilistes, les méthodes analytiques, les méthodes itératives et les méthodes hybrides), les méthodes hybrides sont les plus puissantes pour le dimensionnement du SEH.

Une étude comparative entre dix-neuf logiciels pour l'optimisation du SEH à été traité par Sinha et Chandel [81]. Cette étude est basée sur les critères suivants : les capacités, les limites, la disponibilité et le site d'installation des différents logiciels. Des études de cas sur un système (photovoltaïque, batterie) et (photovoltaïque, éolien, batterie) sont réalisés pour montrer les performances de chaque outil. Les résultats obtenus sont les suivants:

- Parmi les dix-neuf logiciels, Homer est l'outil le plus utilisé suite à la richesse de sa base de données et aussi la souplesse dans son utilisation et la rapidité dans l'obtention des résultats ;
- Les logiciels : HySim, HySys, Simes, Solstor, Hybrids, Rapsim, Ares, IpSys, Insel, pourrait être plus indispensable pour l'optimisation du SEH, si les bases de données de ces logiciels sont à jour.

Suite à une analyse sur les travaux décrits précédemment, nous remarquons qu'il n'existe pas des travaux qui s'intéressent à la facilité du choix des sources d'énergie, des techniques et d'outils d'optimisations. En outre, la majorité des études ne donnent pas une grande importance à l'aspect dynamique du système. De plus, il n'y a pas un partage de données entre les techniques et les outils d'optimisation. Sans oublier la difficulté et les efforts effectués pour la maîtrise des outils logiciels pour assurer une utilisation correcte.

Par conséquent, nous proposons notre contribution qui :

- Prend en considération la nature des SEH's qui est toujours en interactions avec son environnement ;
- Décharge l'utilisateur de toute connaissance sur les techniques d'optimisations ;
- Décharge l'utilisateur de toute connaissance sur les sources d'énergies appropriées pour sa région ;
- Permet un partage des connaissances ;
- Décharge l'utilisateur de toute maîtrise d'outils d'optimisations.

...

Tous ces objectifs peuvent être assurés par l'utilisation des approches de l'intelligence artificielles comme les ontologies informatiques et les systèmes multi agents.

Nous présentons dans ce qui suit notre contribution basée sur une ontologie, pour atteindre nos objectifs.

III.3. L'approche proposée

L'objectif principal de la solution proposée est de trouver la configuration optimale d'un SEH.

Elle repose sur une base de connaissance qui permet de mettre à jour les connaissances du domaine sans mettre en cause la conception du système. Il comprend les étapes suivantes (voir la figure 13):

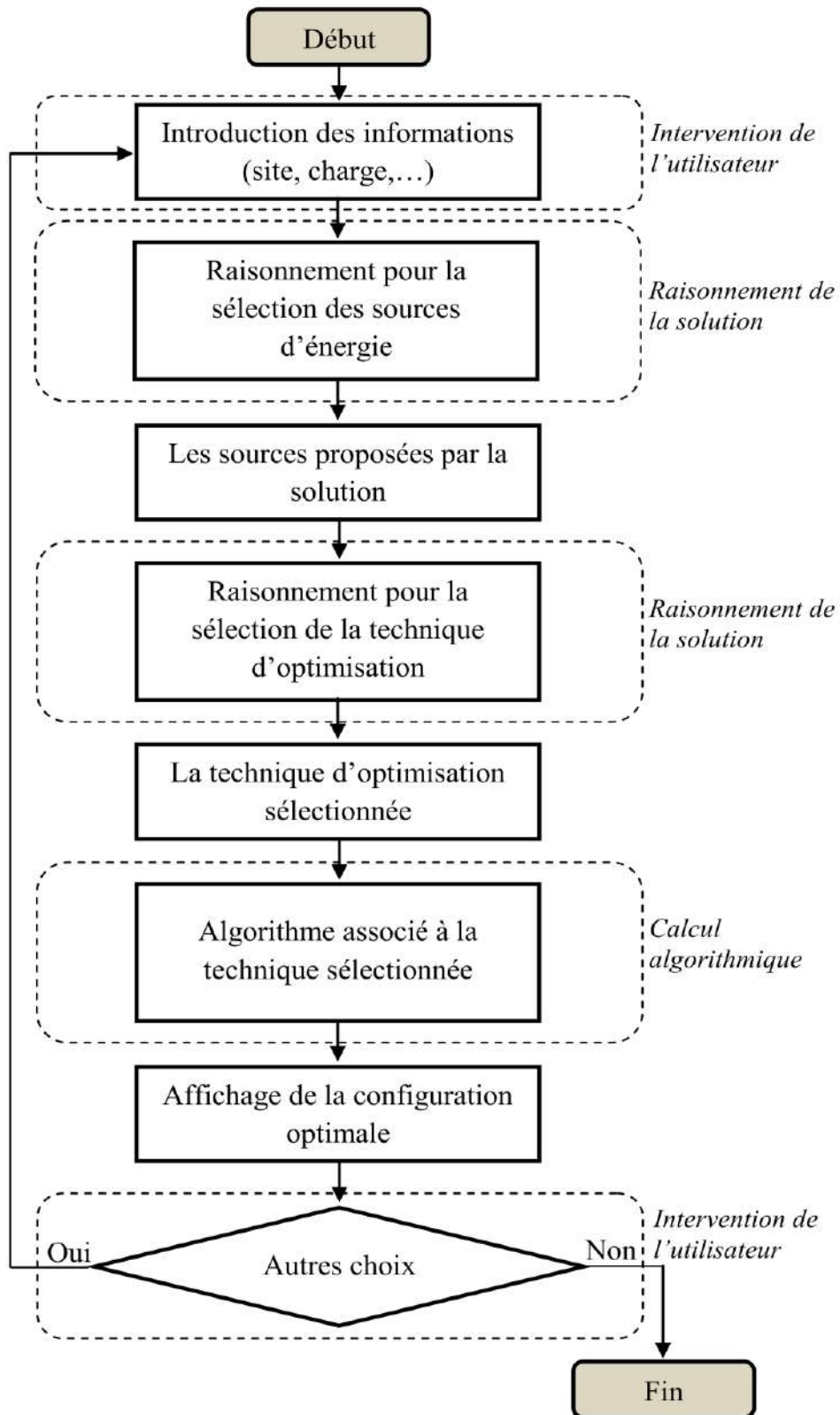


Fig. 13. L'organigramme de la solution proposée

Étape 1 : Introduction des informations

Dans la première étape, l'utilisateur sélectionne le site d'installation (voir la figure 14) et saisit les besoins en énergie électrique.

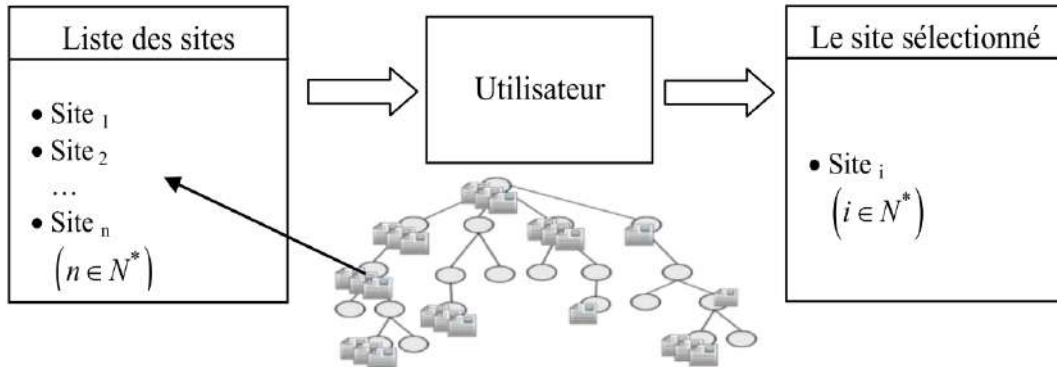


Fig. 14. Le choix du site pour le système à énergie hybride

Étape 2 : Sélection des sources

Suite à l'introduction des données relatives aux besoins en énergie et à la sélection du site, la solution propose les sources d'énergie les plus appropriées pour le site sélectionné (voir la figure 15). Cette opération est basée sur un raisonnement intelligent. Ce dernier utilise une base des faits sur des données climatiques du site sélectionné (voir la table 7).

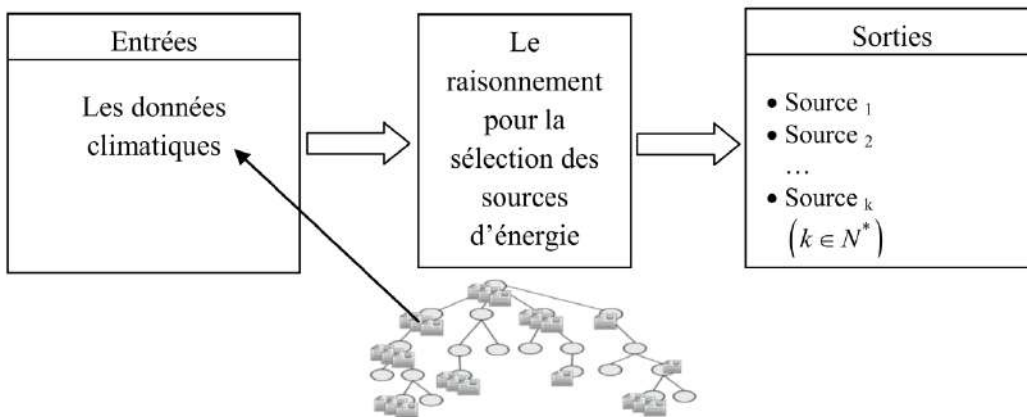


Fig. 15. Le raisonnement pour la sélection des sources d'énergies

Fait	Description
Source (Photovoltaic)	Le photovoltaïque est une source d'énergie
Source (Wind)	L'éolien est une source d'énergie
Source (Geothermal)	Le géothermique est une source d'énergie

Source (Hydraulics)	L'hydraulique est une source d'énergie
Source (Marine)	Le marine est une source d'énergie
Site (Adrar)	Le site de la ville d'Adrar
Site (Alger)	Le site de la ville d'Alger
Site (Ouargla)	Le site de la ville d'Ouargla
...	...
Radiation (Adrar, 3378)	L'irradiation annuelle dans la ville d'Adrar est égale 3378 (Wh/m ²)
Radiation (Ouargla, 3350)	L'irradiation annuelle dans la ville de Ouargla est égale 3350 (Wh/m ²)
Radiation (Alger, 2550)	L'irradiation annuelle dans la ville d'Alger est égale 2550 (Wh/m ²)
Radiation (Oran, 2550)	L'irradiation annuelle dans la ville d'Oran est égale 2550 (Wh/m ²)
Radiation (Annaba, 2550)	L'irradiation annuelle dans la ville de Annaba est égale 2550 (Wh/m ²)
Radiation (Constantine, 2650)	L'irradiation annuelle dans la ville de Constantine est égale 2650 (Wh/m ²)
Radiation (Tlemcen, 2650)	L'irradiation annuelle dans la ville de Tlemcen est égale 2650 (Wh/m ²)
Radiation (Tébessa, 2750)	L'irradiation annuelle dans la ville de Tébessa est égale 2750 (Wh/m ²)
Radiation (Biskra, 2850)	L'irradiation annuelle dans la ville de Biskra est égale 2850 (Wh/m ²)
Radiation (Ghardaïa, 3050)	L'irradiation annuelle dans la ville de Ghardaïa est égale 3050 (Wh/m ²)
Radiation (Illizi, 3378)	L'irradiation annuelle dans la ville d'Illizi est égale 3378 (Wh/m ²)

WindSpeed (Adrar, 6)	La vitesse du vent dans la ville d'Adrar est égale 6 (m/s)
WindSpeed (Ouargla, 4.5)	La vitesse du vent dans la ville de Ouargla est égale 4.5 (m/s)
WindSpeed (Alger, 4)	La vitesse du vent dans la ville d'Alger est égale 4 (m/s)
SoilTemperature (Adrar, 65)	La température du sol dans la ville d'Adrar est égale 65 (°c)
SoilTemperature (Alger, 25)	La température du sol dans la ville d'Alger est égale 25 (°c)
SoilTemperature (Ouargla, 45)	La température du sol dans la ville de Ouargla est égale 45 (°c)
SoilTemperature (Guelma, 150)	La température du sol dans la ville de Guelma est égale 150 (°C)
SoilTemperature (Mascara, 120)	La température du sol dans la ville Mascara est égale 120 (°C)
SoilTemperature (Sétif, 110)	La température du sol dans la ville de Sétif est égale 110 (°C)
Technique (LPSP)	La technique d'optimisation "LPSP"
Technique (MUMT)	La technique d'optimisation "MUMT"
Technique (YMOST)	La technique d'optimisation "YMOST"
Storage (Battery)	Les batteries de stockage d'énergie
Load (Load Annual)	La charge moyenne annuelle
Load (Load Monthly)	La charge moyenne mensuelle
Load (Load Daily)	La charge moyenne journalière
Photovoltaic (Power)	La puissance produite par le générateur photovoltaïque
Wind (Power)	La puissance produite par la source éolienne
Battery (Number)	Le nombre des batteries

Table 7. Un extrait de la base des faits

En utilisant la logique des prédicats, nous construisons la base des règles de notre solution. Ces règles prennent la forme générale suivante :

Site (x) \wedge [ClimateData (x, y1) \wedge ... \wedge ClimateData (x, yn)] \Rightarrow Source (sk) avec, k $\in \mathbb{N}^*$

Nous citons un extrait des règles pour la sélection des sources d'énergie :

Site (x) \wedge Radiation (x, y) \wedge \geq (y, 2550) \Rightarrow Source (PhotovoltaicSource) (R1)

Description de la règle (R1):

Si le rayonnement (y) dans le site (x) est supérieure ou égale à 2550 Wh/m², la source proposée pour le système hybride est " le photovoltaïque ".

Site (x) \wedge WindSpeed (x, y) \wedge \geq (y, 5) \Rightarrow Source (WindSource) (R2)

Description de la règle (R2):

Si la vitesse du vent (y) dans le site (x) est supérieure ou égale à 5 m/s, le résultat du raisonnement est " la source de vent" pour le système hybride.

Site (x) \wedge SoilTemperature (x, y) \wedge \geq (y, 110) \Rightarrow Source (GeothermalSource) (R3)

Description de la règle (R3):

Si la température du sol (y) dans le site (x) est supérieure ou égale à 110 ° C, le résultat du raisonnement est " la source géothermique " pour le système hybride.

Site (x) \wedge Source (PhotovoltaicSource) \wedge Source (WindSource) \Rightarrow Storage (Battery) (R4)

Description de la règle (R4):

Si les sources d'énergie (photovoltaïque, éolien) sont proposées pour le site (x), le système propose des batteries de stockage pour le système hybride.

Etape 3 : Sélection de la technique d'optimisation

Cette opération repose sur un raisonnement intelligent. Les entrées de ce raisonnement sont des données climatiques et la charge (voir la figure 16).

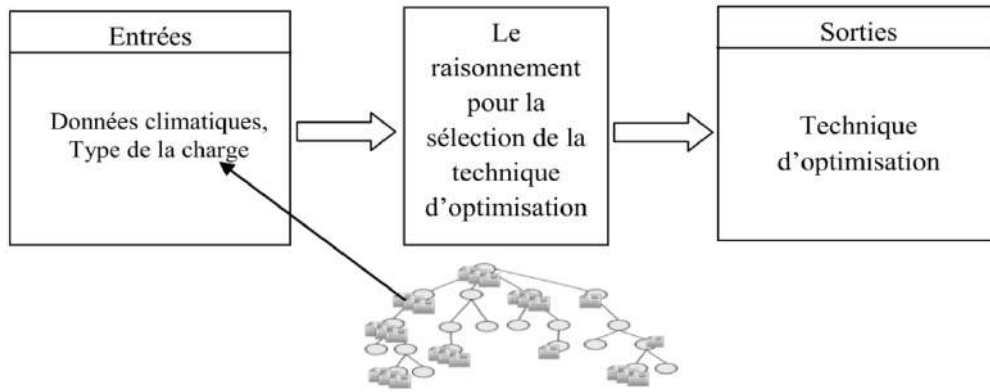


Fig. 16. Le raisonnement pour la sélection de la technique d'optimisation

La forme générale des règles de la logique de prédicat pour la sélection de la technique d'optimisation prennent la forme suivante ;

$$\text{Site } (x) \wedge [\text{ClimateData } (x, y_1) \wedge \dots \wedge \text{ClimateData } (x, y_n)] \wedge \text{Load } (z) \Rightarrow$$

$$\text{Technique } (t) \text{ avec } n \in \mathbb{N}^*$$

Nous citons quelques règles:

$$\text{Site } (x) \wedge \text{Radiation } (x, y) \wedge \geq (y, 2550) \wedge \text{WindSpeed } (x, z) \wedge \geq (z, 5) \wedge \text{Load} \\ (\text{LoadDaily}) \Rightarrow \text{Technique } (\text{LPSP}) \quad (\text{R5})$$

Description de la règle (R5):

Si un site (x) est caractérisé par un rayonnement supérieur ou égal à 2550 Wh/m² et une vitesse du vent supérieure ou égale à 5 m/s et la charge est de type journalière, alors le raisonnement propose la technique d'optimisation (LPSP).

$$\text{Site } (x) \wedge \text{Radiation } (x, y) \wedge \geq (y, 2550) \wedge \text{WindSpeed } (x, z) \wedge \geq (z, 5) \wedge \text{Load} \\ (\text{LoadMonthly}) \Rightarrow \text{Technique } (\text{MUMT}) \quad (\text{R6})$$

Description de la règle (R6):

Si un site (x), caractérisé par un rayonnement supérieur ou égal à 2550 W/m² et une vitesse du vent supérieure ou égale à 5 m/s, et la charge est de type mensuelle, alors le raisonnement propose la technique d'optimisation (MUMT).

$$\text{Site } (x) \wedge \text{Radiation } (x, y) \wedge \geq (y, 2550) \wedge \text{WindSpeed } (x, z) \wedge \text{WindSpeed } (x, z) \wedge \\ \text{Load } (\text{LoadAnnual}) \Rightarrow \text{Technique } (\text{YMOST}) \quad (\text{R7})$$

Description de la règle (R7):

Si un site (x) est caractérisé par un rayonnement supérieur ou égal à 2550 W/m² et une vitesse du vent supérieure ou égale à 5 m/s, et la charge est de type annuelle, alors le raisonnement propose la technique d'optimisation (YMOST).

III.4. Méthodologie de construction de notre ontologie

Lors de la construction d'une ontologie, plusieurs points doivent être pris en charge :

- Il n'y a pas qu'une seule manière pour modéliser un domaine, il y a toujours des alternatives viables. La meilleure solution dépend de l'application que nous voulons mettre en place et des améliorations que nous anticipons.
- Le développement d'une ontologie est nécessairement un processus itératif.
- Les concepts dans une ontologie doivent être très adjacents des objets et des relations dans le domaine d'intérêt. Fort probablement ils comprennent des noms (objets) ou verbes (relations) dans les phrases qui décrivent le domaine.
- La définition du but d'exploitation de l'ontologie et de son ordre de finesse (détaillée ou générale), guideront la majorité des décisions de modélisation.
- ...

Parmi les choix viables, nous aurons besoin de déterminer la plus ajustée à la tâche que nous nous sommes immobilisée, la plus inspirée, la plus extensible et la plus adaptable en termes de maintenance.

Le processus de conception d'une ontologie est un processus itératif qui poursuivra réellement tout au long du cycle de vie de l'ontologie.

Le processus de modélisation se compose de plusieurs étapes que nous citons [82]:

Étape 1 : Déterminer le domaine et l'étendue de l'ontologie

Dans la première étape nous allons définir l'objet de l'ontologie. Cette étape contient une compréhension complète du sujet et les informations qui seront contenues dans l'ontologie. À cet effet, on définit dès le début que l'ontologie pour ce système porterait sur la gestion de l'énergie. En outre, nous devrions considérer les raisons pour lesquelles cette ontologie est nécessaire afin de modéliser l'optimisation des SEH's. Lorsque l'information concernant le sujet est clarifiée, nous pouvons passer à l'étape suivante.

Etape 2 : Percevoir une incertaine réutilisation des ontologies existantes

Il est toujours utile de prendre en considération ce que d'autres personnes ont fait et d'étudier si nous pouvons élargir des sources existantes et les affiner pour répondre aux exigences de notre domaine ou de notre travail particulier. Réutiliser des ontologies existantes peut même former une nécessité si notre système a besoin d'interagir avec d'autres applications qui utilisent déjà des ontologies spécifiques ou des vocabulaires contrôlés.

Nous avons fait une recherche approfondie pour trouver des ontologies liées à notre sujet. Malheureusement, aucune d'entre elles n'était exactement ce qu'il nous fallait. Pour cette raison, nous commençons à créer notre ontologie d'une manière complète.

Etape 3 : Enumérer les termes intéressants dans l'ontologie

Il est utile de noter sous forme de liste tous les termes couvrant le domaine d'intérêt. Sur quels termes souhaiterions-nous discuter ? Quels sont les propriétés de ces termes ? Que veut-on dire sur ces termes ?

Comme exemple, les concepts les plus importants de notre ontologie sont: sources (photovoltaïque, éolien, ...), techniques d'optimisation (LPSP, MUMT,...), charge, données climatiques (température, vitesse du vent ...).

Etape 4 : Expliquer les classes et la hiérarchie des classes

Les classes de l'ontologie sont similaires à des classes dans un programme orienté objet. Ainsi, les classes de l'ontologie forment également une hiérarchie [83].

Il existe un certain nombre d'approches possibles pour développer une hiérarchie de classes [54] :

- Une manière de développement de haut en bas débute par une définition des concepts les plus généraux du domaine et se poursuit par la spécialisation des concepts.
- Un procédé de développement de bas en haut commence par l'explication des classes les plus particuliers (les feuilles d'une hiérarchie) et se poursuit avec le regroupement de ces classes en concepts plus généraux.
- Un procédé combiné de développement est une combinaison des deux approches, de haut en bas et de bas en haut. Au tout préliminaire, les concepts les plus saillants sont définis, ensuite ils sont généralisés ou spécialisés, suivant le cas.

Dans notre travail, nous allons choisir la première (top-down), le tableau 8, montre quelques exemples de classes de l'ontologie.

Classe	Description
Source	La source d'énergie
OptimizationTechnique	La technique d'optimisation
Load	La charge
ClimateData	Les données climatiques
Site	Le site d'installation du système hybride
PhotovoltaicSource	La source d'énergie photovoltaïque
WindSource	La source d'énergie éolienne
HydropowerSource	La source d'énergie hydrocarbure
GeothermalSource	La source d'énergie géothermique
BiomassSource	La source d'énergie biomasse
Radiation	L'irradiation du site d'installation
WindSpeed	La vitesse du vent qui caractérise le site

Table 8. Un extrait des classes du système

Étape 5 : Expliquer les propriétés des classes (attributs)

Les classes seules ne fourniront pas assez d'information pour répondre aux demandes de compétence de l'étape 1. Après avoir défini quelques classes, nous devons décrire la structure intérieure des concepts. Nous avons déjà choisi des classes à partir de la liste des termes que nous avons créés pendant l'étape 3. Tout en attachant des propriétés à des classes, il est logique de fournir immédiatement des déclarations sur le domaine et de ces propriétés [83].

Le tableau 9, présente des exemples pour les propriétés de classes.

Attribut	Description
SiteName	Le nom de site d'installation
HasWindSpeed	La vitesse du vent qui caractérise le site
HasRadiation	L'irradiation qui caractérise le site
SocBat	Le niveau de chargement de batterie

SocBatMin	Le niveau minimal de chargement de la batterie
SocBatMax	Le niveau maximal de chargement de la batterie
EfficiencyCharg	Le rendement de chargement de la batterie
EfficiencyDisch	Le rendement de déchargement de la batterie
OptimizationTechniqueName	Le nom de la technique d'optimisation
HasSoilTemperature	La température du sol pour le site
LoadType	Le type de la charge

Table 9. Un extrait des attributs des classes

Étape 6 : Expliquer les facettes des attributs

La facette type de valeur décrit les types de valeurs pouvant être affectés à l'attribut.

Attribut	Type	Classe
SiteName	Alphabétique	Site
HasWindSpeed	Numérique	WindSpeed
HasRadiation	Numérique	Radiation
SocBat	Numérique	Battery
SocBatMin	Numérique	Battery
SocBatMax	Numérique	Battery
EfficiencyCharg	Numérique	Battery
EfficiencyDisch	Numérique	Battery
optimizationTechniqueName	Alphanumérique	OptimizationTechnique
hasSoilTemperature	Numérique	SoilTemperature
LoadType	Alphabétique	Load

Table 10. Des exemples pour les types des attributs

Étape 7 : Concevoir les instances et les relations

La dernière étape consiste à créer des instances et relations pour la solution proposée.

La table 11, montre un extrait des relations de notre système.

Relation	Classe source	Classe de destination	Description
FeedSourceLoad	Source	Load	Alimentation de la charge par source d'énergie
FeedStorageLoad	Storage	Load	Alimentation de la charge par l'énergie stockée
LoadSourceStorage	Source	Storage	La source d'énergie charger les batteries
InfluenceClimDataSource	ClimateData	Source	L'influence des données climatiques sur les sources d'énergie
SiteCharacterizedByClimData	Site	ClimateData	Le site d'installation est caractérisé par les données climatiques
MonthCharacterizedByClimData	Month	ClimateData	Le mois est caractérisé par des données climatiques

Table 11. Un extrait des relations de l'ontologie

La table 12, montre quelques exemples des instances de l'ontologie.

Classes	Instances
Site	Alger, Adrar, Annaba, Oran, Ouargla, Tamanrasset
Month	January, February, March, April
Radiation	3378, 3350, 2550, 2650
WindSpeed	4, 4.5, 6
SoilTemperature	45, 65, 150

Table 12. Exemples d'instances

III.5. Vers une implémentation de la solution

III.5.1. Choix de l'éditeur d'ontologies

Pour l'édition de notre ontologie, le logiciel Protégé OWL 3.4.4 a été choisi en raison des avantages suivants:

- Compatible avec des langages standards;
- Dispose d'une interface modulaire, ce qui permet son enrichissement par des modules additionnels (plugins) ;
- Il fournit un éditeur d'expression confortable.
- Il fournit une interface de programmation d'application (API) (ou GUI : Graphical User Interface) qui permet la manipulation de l'ontologie créée par l'éditeur « Protégé » dans le code java. Il fournit aussi une (API Java) permettant aux développeurs d'intégrer dans leurs applications OWL Protégé, d'importer ou d'exporter l'ontologie dans des langages différents et de mise en œuvre de l'ontologie.

III.5.2. Choix de l'outil pour le raisonnement

La plupart des moteurs d'inférence sont capables de traiter les règles ajoutées à une ontologie. Il est possible d'utiliser des moteurs spécifiquement dédiés aux règles, tel que le moteur Jess [84]. Ce dernier possède un langage pour l'expression des connaissances sous forme de règles. Il peut être utilisé depuis Protégé (ou Protégé-OWL API) grâce à l'existence d'un pont qui permet de traduire un modèle d'ontologie dans le langage de Jess, d'exécuter les règles dans Jess et de récupérer le résultat dans Protégé.

III.5.3. Le langage SWRL (Semantic Web Rule Language)

Est un langage de règles pour le web sémantique combinant le langage OWL-DL (Web Ontology Language - Language Description) et le langage RuleML (Rule Markup Language) [84].

SWRL permet d'enrichir la sémantique d'une ontologie définie en OWL et de manipuler des instances par des variables (?x, ?y, ?z).

Enfin, SWRL ne permet pas de générer des concepts ni des relations. Il permet simplement d'ajouter des relations suivant les valeurs des variables et la satisfaction de la règle.

III.5.4. L'édition de notre ontologie

La figure 17, montre l'ensemble des éléments de l'ontologie édités dans Protégé.

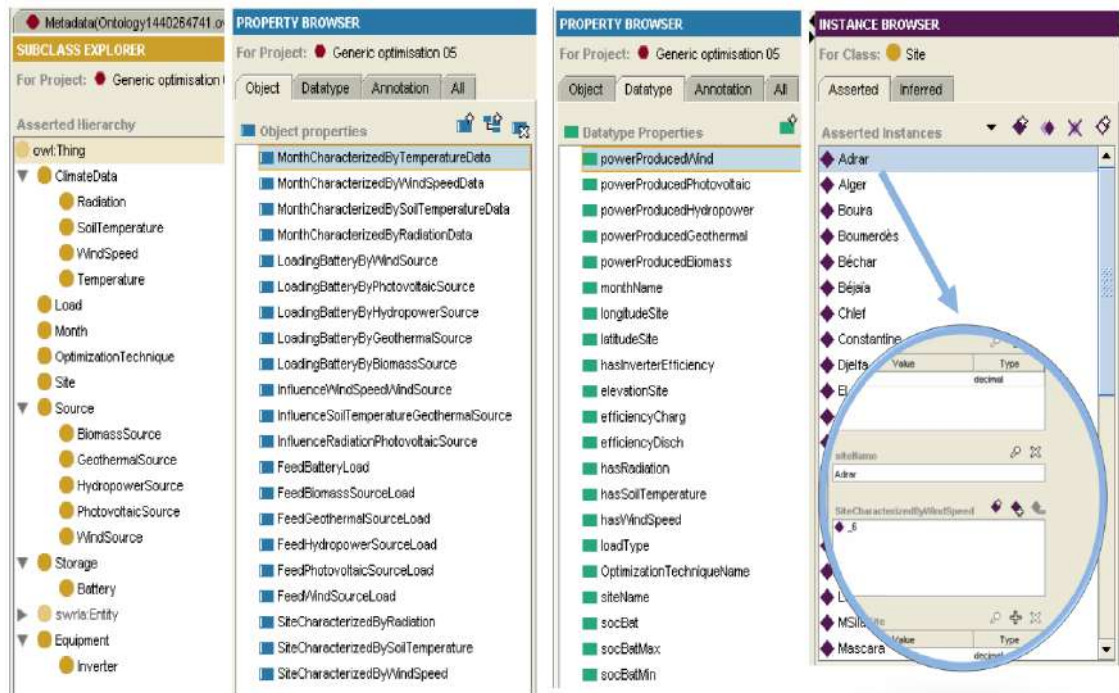


Fig. 17. Les éléments de l'ontologie dans Protégé-OWL 3.4.4

III.5.5. L'implémentation des règles de notre système

Un des avantages de Protégé est de pouvoir attacher un nombre important de plugins venant notamment enrichir la représentation de l'ontologie et permettant sa validation. L'éditeur de règles SWRL opère dans Protégé OWL [37]. Il fournit une interface très interactive pour l'édition des règles (prenant en charge l'ensemble des fonctionnalités du langage SWRL). Les moteurs de règles tels que Jess peuvent être intégrés avec cet éditeur qui permet de fournir un raisonnement à base de règles plus riche.

La figure 18 et la table 13 montrent un extrait des règles SWRL édités dans Protégé.

Enabled	Name	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-1	$\rightarrow \text{Site}(?x) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x)$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-10	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{FeedPhotovoltaicSourceLoad}(\text{PhotovoltaicSource}, \text{Load}) \wedge \text{FeedWindSourceLoad}(\text{WindSource}, \text{Load}) \rightarrow \text{FeedBatteryLoad}(\text{Battery}, \text{Load})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-11	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadDaily}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-12	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadDaily}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{LPSP})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-13	$\rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP}) \rightarrow \text{sqwrl:select}(\text{LPSP})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-14	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadAnnual}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{YMOST}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{YMOST})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-15	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadAnnual}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{YMOST})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-16	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadMonthly}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{MUMT})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-17	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadMonthly}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{MUMT}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{MUMT})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-2	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 2550) \rightarrow \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-3	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 2550) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{PhotovoltaicSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-4	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasWindSpeed}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 5) \rightarrow \text{Source}(\text{WindSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-5	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasWindSpeed}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 5) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{WindSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-6	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasSoilTemperature}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 110) \rightarrow \text{Source}(\text{GeothermalSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-7	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{hasSoilTemperature}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 110) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{GeothermalSource})$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-8	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{SiteCharacterizedByRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{SiteCharacterizedBySoilTemperature}(?x, ?z) \wedge \text{SiteCharacterizedByWindSpeed}(?x, ?a) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, ?y, ?z, ?a)$
<input checked="" type="checkbox"/>	Rule-9	$\rightarrow \text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \rightarrow \text{Storage}(\text{Battery})$

Fig. 18. Les règles d'inférences dans Protégé-OWL

N°	Requêtes et règles
01	$\text{Site}(?x) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x)$
02	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 2550) \rightarrow \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource})$
03	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 2550) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{PhotovoltaicSource})$
04	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasWindSpeed}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 5) \rightarrow \text{Source}(\text{WindSource})$
05	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasWindSpeed}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 5) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{WindSource})$
06	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasSoilTemperature}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 110) \rightarrow \text{Source}(\text{GeothermalSource})$
07	$\text{Site}(?x) \wedge \text{hasSoilTemperature}(?x, ?y) \wedge \text{swrlb:greaterThan}(?y, 110) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, \text{GeothermalSource})$
08	$\text{Site}(?x) \wedge \text{SiteCharacterizedByRadiation}(?x, ?y) \wedge \text{SiteCharacterizedBySoilTemperature}(?x, ?z) \wedge \text{SiteCharacterizedByWindSpeed}(?x, ?a) \rightarrow \text{sqwrl:select}(?x, ?y, ?z, ?a)$

09	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \rightarrow \text{Storage}(\text{Battery})$
10	$\text{Site}(?x) \wedge \text{FeedPhotovoltaicSourceLoad}(\text{PhotovoltaicSource}, \text{Load}) \wedge \text{FeedWindSourceLoad}(\text{WindSource}, \text{Load}) \rightarrow \text{FeedBatteryLoad}(\text{Battery}, \text{Load})$
11	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadDaily}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP})$
12	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadDaily}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{LPSP})$
13	$\text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP}) \rightarrow \text{sqwrl:select}(\text{LPSP})$
14	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadAnnual}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{YMOST}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{YMOST})$
15	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadAnnual}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{YMOST})$
16	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{loadType}(\text{Load}, ?y) \wedge \text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadMonthly}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{MUMT})$
17	$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{Load}(\text{LoadMonthly}) \rightarrow \text{OptimizationTechnique}(\text{MUMT}) \wedge \text{sqwrl:select}(?x, \text{MUMT})$

Table 13. Un extrait des règles SWRL éditées dans Protégé

III.5.6. Un exemple de sélection d'une technique d'optimisation

A partir de la table des faits présentée dans les sections précédentes, un exemple de données de la base de connaissances est présenté dans la table 14.

Site	Radiation (Wh/m ²)	Vitesse du vent (m/s)	Température du sol (°C)	Type de la charge
Adrar	3378	6	65	LoadDaily
Alger	2550	4	65	LoadAnnual
Ouargla	3350	4.5	45	LoadMonthly

Table 14. Exemple des données de la base des connaissances

Nous présentons notre solution comme suit:

Étape 1: sélection du site

Sur la base de la règle suivante:

Règle 1:

Site(?x) \rightarrow sqwrl:select(?x)

Nous choisissons le site d'Adrar ($x = \text{Adrar}$)

Étape 2: le raisonnement pour le choix de la source d'énergie

Sur la base des règles suivantes:

Règle 1:

Site(?x) \wedge hasRadiation(?x, ?y) \wedge swrlb:greaterThan(?y, 2550)

\rightarrow sqwrl:select(?x, PhotovoltaicSource)

Règle 2:

Site(?x) \wedge hasWindSpeed(?x, ?y) \wedge swrlb:greaterThan(?y, 5)

\rightarrow sqwrl:select(?x, WindSource)

Règle 3:

Site(?x) \wedge hasSoilTemperature(?x, ?y) \wedge swrlb:greaterThan(?y, 110)

\rightarrow sqwrl:select(?x, GeothermalSource)

Règle 4:

Site (x) \wedge Source (PhotovoltaicSource) \wedge Source (WindSource) \rightarrow Storage (Battery)

- Nous remplaçons la variable $x = \text{Adrar}$, $y = 3378$ dans la règle 1, nous voyons que "y" est supérieure à 2550, ce qui signifie que le site d'Adrar est caractérisé par un potentiel solaire très important. Le raisonnement de la solution propose la première source d'énergie qui est le solaire-photovoltaïque.

- Nous remplaçons les variables ($x = \text{Adrar}$, $y = 6$) dans la règle 2, nous voyons que "y" est supérieur à 5, ce qui signifie que Adrar est caractérisé par un potentiel éolien intéressant. Le raisonnement de la solution propose la deuxième source d'énergie qui est l'éolienne.
- Nous remplaçons les variables $x = \text{Adrar}$, $y = 65$ dans la règle 3, nous voyons que "y" est inférieur à 110 ce qui signifie que la source géothermique est n'est pas intéressante pour la production d'électricité sur le site de l'Adrar.
- Sur la base des résultats précédents ainsi que la règle 4, le raisonnement de la solution de la solution propose les batteries de stockage d'énergie comme un élément essentiel pour assurer une bonne fiabilité du système (SEH).

Etape 3: Le raisonnement pour le choix de la technique d'optimisation.

Sur la base des règles suivantes:

Règle 5:

$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{LoadType}(\text{Load}, ?y) \wedge$
 $\text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadDaily})$

→ $\text{OptimizationTechnique}(\text{LPSP})$

Règle 6:

$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{LoadType}(\text{Load}, ?y) \wedge$
 $\text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadMonthly})$

→ $\text{OptimizationTechnique}(\text{MUMT})$

Règle 7:

$\text{Site}(?x) \wedge \text{Source}(\text{PhotovoltaicSource}) \wedge \text{Source}(\text{WindSource}) \wedge \text{LoadType}(\text{Load}, ?y) \wedge$
 $\text{swrlb:equal}(?y, \text{LoadAnnual})$

→ $\text{OptimizationTechnique}(\text{YMOST})$

En remplaçant la variable "y = DailyLoad " dans les trois règles (5, 6, 7). La technique "LPSP", est proposé par le raisonnement de la solution.

III.6. Discussion

Suite à la complexité de l'utilisation et la maîtrise des logiciels et d'outils d'optimisation des systèmes à énergie hybrides nous avons pensé à proposer notre solution.

L'idée de la solution proposée est originale et permet de sélectionner l'outil approprié pour calculer la configuration optimale. Cette sélection est faite d'une manière simple, facile et permet de décharger l'utilisateur de toute connaissance sur les sources d'énergies ou techniques d'optimisation.

L'utilisation des autres méthodes exige la connaissance de plusieurs aspects (les sites, les techniques, les sources d'énergie), par contre avec notre solution, l'utilisateur uniquement fait le choix sur le site concerné par l'installation, le reste des étapes sont assurées par la solution.

Nous avons bien traité l'aspect dynamique du système par l'intégration de l'ontologie dans la solution, cette approche facilite l'adaptation avec les changements dans le système ou son environnement (le principe des systèmes ouverts).

La solution proposée à besoins toujours d'améliorations comme la vérification de toutes les règles de raisonnement par des tests et l'enrichissement de la solution avec d'autres règles d'inférences relatives à d'autres sites, sources et techniques.

III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons proposé une solution liée au problème d'optimisation des SEH's.

Nous avons commencé par un état de l'art sur les récents travaux de recherche qui sont liés avec notre problématique, finalisé par lister les faiblesses caractérisant ces travaux. Cela nous a permis de proposer une idée originale permettant de profiter des avantages des ontologies de l'intelligence artificielle. Pour avoir une solution optimale de dimensionnement, l'utilisateur n'aura qu'à introduire les données liées à son site et à la charge demandée, pour atteindre son but. Il n'est pas obligé d'avoir une connaissance sur les sources ou les techniques à utiliser.

A travers la solution proposée qui est basée sur un raisonnement intelligent, nous pouvons, en premier lieu, choisir les sources les plus appropriés pour le site concerné. Ce choix est influencé par les données climatiques de la région. En

deuxième lieu, la solution permet de sélectionner la technique d'optimisation la plus performante. Malgré tous ces avantages, cette solution a besoin d'améliorations surtout dans l'actualisation des informations du système. Dans ce contexte nous allons proposer notre deuxième contribution par l'intégration de l'approche des systèmes multi agents (SMA) et nous bénéficions de ses avantages comme la coopération entre les agents et la recherche de l'information à base des agents mobiles.

Chapitre IV :
Optimisation d'un système à énergie
hybride à base d'un système multi
agents.

IV.1. Introduction

Ce chapitre fait l'objet d'une solution générique d'optimisation des systèmes hybrides à énergie renouvelables. Cette solution est basée sur deux approches de l'intelligence artificielle. Il s'agit de l'approche agent et des ontologies informatiques. La combinaison entre ces deux approches permet d'améliorer la solution proposée dans le chapitre précédent.

Au lieu d'avoir toutes les connaissances climatiques de tous les sites dans la base des connaissances, on peut profiter des agents mobiles, pour aller directement sur des serveurs dispersés géographiquement et chercher les informations voulues. De plus, vu la complexité des SEH's, la technologie d'agent permet d'avoir un système plus flexible, ouverts, plus fiable et robuste.

Suite à toutes ces caractéristiques, nous proposons notre contribution qui concerne une solution générique d'optimisation pour les systèmes à énergie hybrides basée sur la coordination entre différents types d'agents (réactifs, cognitifs et mobiles).

De nombreux travaux ont été élaborés introduisant la technologie d'agents mobiles et les concepts liés à cette dernière pour la recherche d'information dans des environnements dynamiques. Le concept d'agent mobile apparaît dans ce contexte comme une solution facilitant la mise en œuvre d'applications réparties.

Le présent chapitre commence par une brève présentation sur des travaux de recherche les plus récents qui s'intéressent aux interventions des systèmes multi agents sur le domaine des énergies. En deuxième lieu, nous décrivons notre architecture à base d'agents, nous détaillons les missions et l'architecture interne de chacun des agents et nous finalisons par des captures d'écrans de notre application.

IV.2. Etat de l'art sur l'intervention des SMA's dans la gestion d'énergie

La technologie du système multi agents est largement utilisée dans différents aspects de l'exploitation de l'énergie, dont l'objectif est d'optimiser et rationaliser l'utilisation des systèmes énergétiques. Nous présentons ici quelques travaux connexes.

Dans le domaine de l'automatisation de la gestion des micro-réseaux [85] proposent une solution intelligente à base d'agents pour optimiser le fonctionnement du système. Autres travaux [86] sont destinés pour minimiser le coût, maximiser l'utilisation des énergies renouvelables et simplifier l'intégration des autres éléments dans le réseau. Pour les mêmes objectifs, [87] présentent une méthode intelligente de la gestion et de

supervision intelligente de l'énergie. Cette gestion est basée sur le système multi-agents (SMA). Ce concept permet aux différentes unités de génération de collaborer afin de parvenir à la stratégie optimale. Le but de SMA est de contrôler la puissance livrée ou prélevée sur le réseau principal afin de réduire le coût et maximiser le bénéfice. Pour atteindre l'objectif mentionné, ils ont utilisé le réseau neuronal et la logique floue pour prendre une décision raisonnable sur le stockage ou la vente de l'électricité.

Sur le même type de réseau électrique [88] étudient la performance de la stratégie de contrôle proposée par une vérification sur un micro-réseau qui comprend des batteries de stockage et un générateur photovoltaïque. Cette étude permet de connaître les avantages qui caractérisent la gestion distribuée par rapport la gestion centralisée. La performance de la stratégie de contrôle proposée a été vérifiée à l'aide d'un simulateur numérique en temps réel, montrant l'interaction correcte entre l'implémentation et les contrôleurs de convertisseur de bas niveau. Pour améliorer le cadre actuel de SMA, en tenant compte de plus de fonctionnalités telles que les capacités de tolérance aux pannes et d'incertitude, [89] proposent un système de contrôle multi-agent piloté par une ontologie pour optimiser en temps réel un micro réseau. Le problème d'expédition optimal formulé sous la forme d'un problème de programmation non linéaire à nombre entier est résolu. Plusieurs simulations informatiques sont également présentées pour montrer l'efficacité de l'approche proposée par rapport aux méthodes conventionnelles. Pour assurer une grande continuité dans l'alimentation électrique et assurer un bon contrôle pour un système énergétique qui comprend une variété des sources d'énergie de type renouvelable et non renouvelable, [90] développent un système multi-agent (SMA) pour la gestion avancée de l'énergie distribuée d'un micro-réseau interconnecté solaire-vent, contient également deux systèmes photovoltaïques (PV), deux turbines éoliennes contenant chacune un consommateur local, une unité de batterie et une centrale diesel. Cette solution offre au consommateur la possibilité de sélectionner les actions optimales de gestion de l'énergie pour accroître l'efficacité opérationnelle dans un environnement dynamique et distribué.

Une étude adaptée au climat de l'ouest africain a été présentée par [91]. Cette solution est basée sur l'approche des systèmes multi agents. Elle est capable de trouver dynamiquement une politique de consommation d'énergie tout en prenant en compte les contraintes posées par l'utilisateur, la charge demandée et les caractéristiques des sources d'énergie. La stratégie proposée est basée sur la flexibilité des sources de consommation. Elle a permis de réduire sensiblement l'énergie perdue qui représente un

gain significatif d'un point de vue économique. Il améliore l'utilisation de l'énergie produite en modifiant le profil de charge. La stratégie de contrôle mise au point a été appliquée sur un système électrique hybride solaire, éolien accompagné des batteries de stockage et trois profils de charge ont été pris en compte dans les simulations. La stratégie de contrôle a également permis de réduire la demande de batterie de 3% pour le profil 1, 5% pour le profil 2 et 6% pour le profil 3. Elle a permis en un jour (24 h) d'obtenir environ 35 kWh pour le profil 1, 20 kWh pour le profil 3. D'un point de vue économique, la stratégie appliquée au profil 1 a permis des gains supérieurs à 6 € par jour, soit plus de € 2322 par an ou plus de € 46 442 sur une période de 20 ans, le temps retenu comme une durée de vie du projet.

Une architecture hiérarchique d'un système multi agents a été proposée par [92], pour garantir une bonne gestion d'un système à énergie hybrides. Les auteurs proposent deux types d'agents. Un agent de niveau inférieur qui est responsable de gérer le contrôle de commutation interne et la régulation dynamique distribuée pour les unités de son système. L'agent de niveau supérieur met en œuvre un contrôle de commutation coordonné, pour garantir l'alimentation du système global avec une sécurité élevée. Les contrôles hybrides basés sur le MAS proposés ne reposent que sur un réseau de communication restreint. Malgré que le niveau supérieur doit connaître les modes de fonctionnement de tous les systèmes d'unités, l'information peut être obtenue à la fois par des interactions directes et indirectes entre agents.

Comme la demande de la charge et les énergies renouvelables sont incertaines tout au long de la journée, un système de gestion de l'énergie est essentiel pour assurer la stabilité du réseau et réduire les coûts d'exploitation et les émissions de CO₂ [93]. Les principaux objectifs de l'algorithme proposé sont de maintenir l'équilibre de puissance dans le système et d'assurer une longue durée de vie des unités de stockage, en contrôlant leur SOC (état de charge). La solution proposée est testée et validée sur un système de test pratique qui reproduit un micro-réseau avec une variété de sources distribuées, de dispositifs de stockage, de charges, de convertisseurs électroniques de puissance et de système SCADA (contrôle de supervision et acquisition de données). L'algorithme contribue également à réduire l'empreinte de carbone en maximisant l'utilisation d'énergie propre comme le solaire et le vent. Le "SMA" développé est extensible et adaptable et peut donc être élargi pour contrôler et représenter des systèmes plus grands en incorporant un agent supplémentaire. Comme résultats de ce

travail, l'algorithme minimise les coûts d'exploitation du système et maximise les revenus générés par l'utilisation optimale des dispositifs de stockage d'énergie.

Dans le domaine de la gestion d'énergie des infrastructures, plusieurs travaux de recherche sont réalisés, nous citons les plus intéressants et les plus récents. Une solution a été présentée par [94], pour résoudre la complexité des systèmes énergétiques des bâtiments commerciaux à grande taille. Ce travail comprend une méthodologie générale de contrôle basé sur les systèmes multi-agent qui peut être appliquée de manière «plug-and-play». Un cadre multi-agent est développé pour automatiser le processus de conception du contrôleur et réduire les efforts d'ingénierie propres au bâtiment. L'approche proposée se compose de deux éléments principaux: un cadre de contrôle multi-agents et des algorithmes de prise de décision. Ces derniers peuvent être utilisés pour contrôler et coordonner de manière optimale différents composants afin de réduire la consommation globale d'énergie dans un système d'énergie de bâtiment. Les résultats d'essais montrent que le contrôle multi-agent a été en mesure de trouver des solutions de contrôle presque optimales dans différentes conditions d'exploitation et des économies d'énergie significatives par rapport aux stratégies de contrôle. Bien que, le cadre développé devrait traiter une large gamme de systèmes d'énergie de bâtiment, l'algorithme de contrôle multi-agent a certaines limites et pourrait ne pas être directement applicable à certains types d'équipement. Mais le principal inconvénient est la mise en œuvre d'un algorithme qui est basé sur un consensus. Cependant, la plupart des itérations intermédiaires sont non-consensus et non faisables. Cela présente un risque potentiel sur le temps de décision.

Beaucoup d'efforts sont réalisés visant à améliorer la durabilité de l'approvisionnement énergétique et à réduire les émissions de gaz à effet de serre et l'utilisation accrue des énergies renouvelables dans les bâtiments. L'accent est mis sur la nécessité d'améliorer le contrôle et son interaction avec le réseau intelligent. [95] et [96] ont démontrés que l'application de SMA dans l'exploitation des bâtiments améliore non seulement la gestion des processus de construction, mais également l'efficacité énergétique et le confort des résidents. Selon les études de cas et les résultats de simulation, le système multi-agent proposé est capable de contrôler efficacement l'environnement du bâtiment pour satisfaire la demande des occupants et réduire la consommation d'énergie. En outre, il fournit une architecture ouverte dans laquelle les agents peuvent être facilement configurés et de nouveaux agents peuvent être ajoutés sans interférer avec les opérations normales de l'ensemble du système. Dans le même

contexte, [97] proposent une solution à base de SMA pour améliorer l'efficacité et optimiser l'utilisation d'énergie des maisons intelligentes. Les appareils intelligents dans une maison intelligente sont modélisés comme des agents et des algorithmes d'optimisation sont utilisés dans la prise de décision des agents. Ces agents travaillent ensemble pour réduire la consommation d'énergie tout en trouvant un équilibre entre le confort des consommateurs, le coût de l'énergie et les économies d'énergie de pointe dans le réseau de distribution. De cette façon, un système de gestion de l'énergie domestique a été conçu et développé à l'aide de SMA. Cette recherche permet aux maisons intelligentes de communiquer, d'interagir et de négocier avec les sources d'énergie et les dispositifs dans les maisons intelligentes qui permettent d'atteindre une efficacité énergétique maximale et une facture d'électricité minimum. Du point de vue de réseau intelligent, cette recherche fournit un système décentralisé de contrôle et de gestion du réseau électrique qui est la principale caractéristique du réseau intelligent. La question d'optimisation de l'énergie a été traitée aussi par [98] pour améliorer la fiabilité d'un système de production de ciment. Cette solution est basée sur la coordination entre les agents d'un SMA. Le résultat de l'évaluation montre que l'utilisation du système offre une économie énergétique significative. En outre, les travailleurs du service de planification de la cimenterie ont économisé environ 75% de leur temps de travail. La charge de travail totale des employés (y compris tous les ministères) a diminué à la moitié.

D'après une analyse sur les travaux présentés précédemment, nous remarquons qu'il n'y a pas de travaux qui offrent la possibilité de sélectionner à la fois les sources d'énergies et les techniques d'optimisation pour les systèmes à énergie hybrides.

Suite à la nature du système à énergie hybride qui est en interaction permanente avec l'environnement externe, nous proposons notre contribution qui concerne une amélioration sur la solution d'optimisation qui a été présenté dans le chapitre précédent.

Dans cette nouvelle contribution nous intégrons la technique des systèmes multi agents et nous essayons de bénéficier de ces avantages comme le partage des tâches entre les membres de la société d'agents et la capacité de rechercher une information qui est distribuée dans différents serveurs, grâce à la mobilité des agents.

IV.3. La conception de la solution proposée

Dans cette section, nous présentons les objectifs du système proposé, son architecture générale en mettant en évidence ses architectures internes, son fonctionnement général et enfin quelques détails sur la futur implémentation.

IV.3.1. Objectifs du système

Trouver la meilleure technique (outil) pour optimiser un système énergétique hybride est une tâche difficile, surtout si l'environnement est distribué, ouvert et dynamique.

De nouvelles solutions sont devenues nécessaires pour manipuler l'information issue des ressources dynamiques et trouver une bonne solution de décision.

Le concept d'agent apparaît dans ce contexte comme une solution facilitant la mise en œuvre d'applications dynamiquement adaptables et il offre un cadre générique pour le développement des applications réparties. Dans ce modèle un "agent mobile" est un processus possédant un contexte d'exécution, incluant du code et des données, capable de chercher l'information d'une façon plus intelligente, par exemple en cherchant, selon des concepts.

Les agents peuvent créer leurs propres bases de connaissances qui sont mises à jour après chaque recherche. Si l'information change de site, les agents sont capables de la trouver et par la suite, s'adapter à ce changement. De plus, les agents sont capables de communiquer et de coopérer entre eux.

IV.3.2. Architecture générale du système

Un agent peut prendre à la fois un comportement réactif et proactif, une décomposition évidente implique la création de sous-systèmes séparés pour s'adapter à ces différents types de comportements. Cette idée nous mène vers une classe d'architectures dans lesquelles les sous-systèmes variés sont arrangés dans une hiérarchie de couches interagissantes. Typiquement, il y aura au moins deux couches afin d'englober les comportements réactifs et proactifs; mais il peut y en avoir plusieurs. Une typologie utile pour ces architectures se fait à travers les flux d'information et de contrôle. Nous identifions deux types de flux de contrôle dans les architectures à couches, décomposition en couches horizontales et en couches verticales, c'est le cas de notre système (voir la figure 19).

L'architecture générale de notre système, s'articule autour de trois principales couches en interaction. Cette architecture à contrôle en une passe où le contrôle passe séquentiellement à travers chaque couche jusqu'à la dernière qui génère l'objectif final en sortie.

a. Couche recherche d'information

Cette couche regroupe des agents mobiles pour la recherche de l'information dans un ensemble des serveurs qui sont distribués géographiquement. A ce niveau et pour chaque requête de l'agent " Data_Collecting_Agent " les agents chercheurs commencent la recherche sur l'information demandée.

b. Couche d'acquisition des données

Cette couche inclut un seul agent qui est chargé d'acquérir toutes les informations qui sont nécessaires pour le bon fonctionnement de la couche suivante.

c. Couche des calculs d'optimisation

Elle comprend les agents "Selecting_Source_Agent ", "Sizing_Technical_Agent", "Technical₁_Agent", "Technical₂_Agent", ..., "Technical_{n-1}_Agent", "Technical_n_Agent".

Ce regroupement d'agent est responsable de la sélection de la technique d'optimisation la plus appropriée. L'agent "Sizing_Technical_Agent" assure aussi la coordination entre les agents suivants : "Technical₁_Agent", "Technical₂_Agent", ..., "Technical_{n-1}_Agent", "Technical_n_Agent".

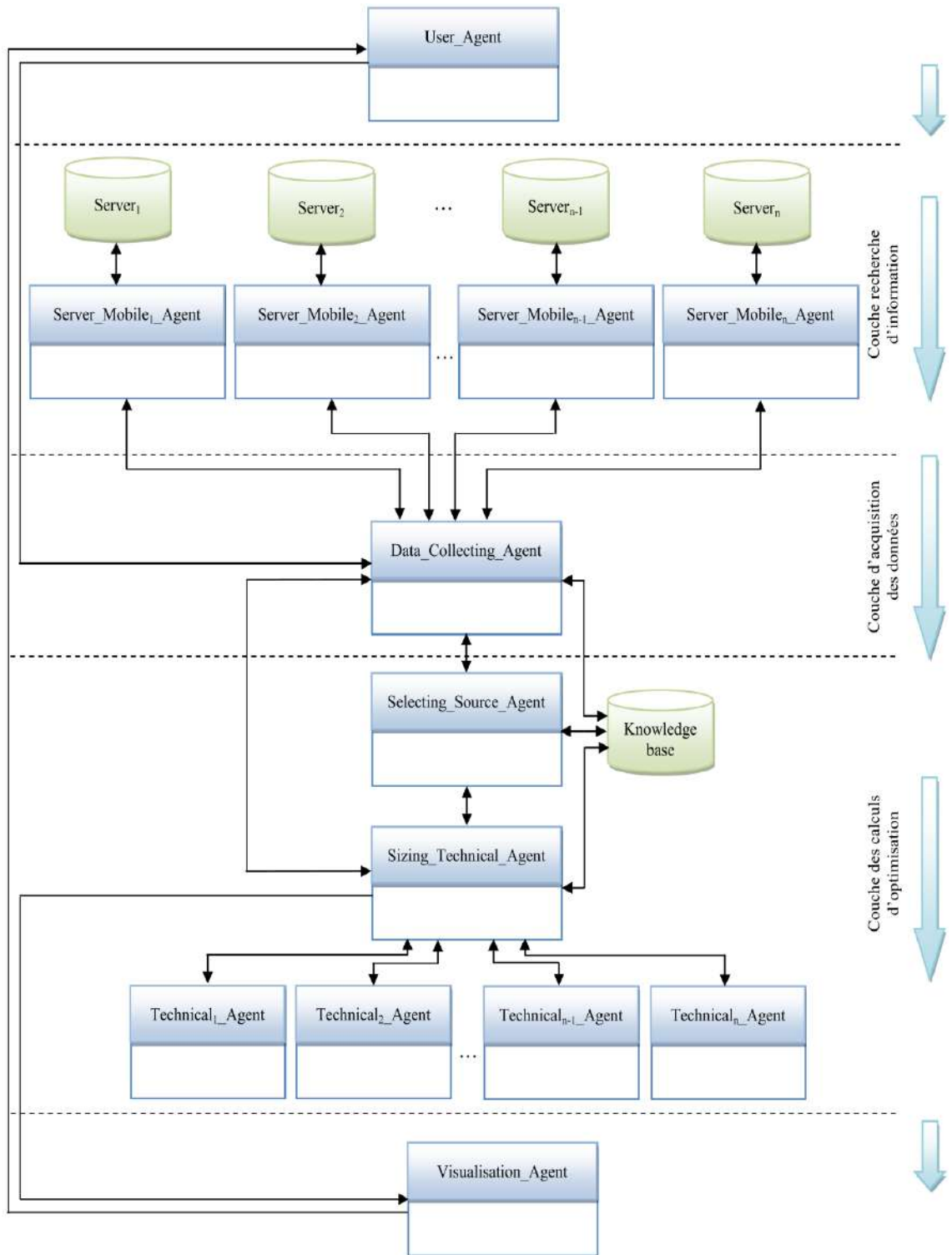


Fig. 19. Architecture globale du système

IV.3.3. Spécification des agents

L'architecture de la solution proposée comprend plusieurs agents qui sont en coordination. Chacun est chargé d'accomplir une ou plusieurs missions, pour atteindre l'objectif final qui est la configuration optimale d'un système à énergie hybride.

a. User_Agent

C'est un agent réactif. Il est purement informationnel. Suite aux données introduites, il agit. Il contient cinq composants. La figure 20 montre l'architecture interne de cet agent.

- **Acquérir les résultats** : permet de récupérer les résultats de la solution.
- **Autre choix ?** : pour procéder à un autre choix.
- **Saisir les données pour un nouveau choix** : permet de saisir les données nécessaires pour le fonctionnement de la solution proposée
- **Informier** : permet d'informer les agents concernés sur le lancement d'une nouvelle opération d'optimisation.
- **Communication** : c'est un module qui facilite la communication avec l'environnement externe.

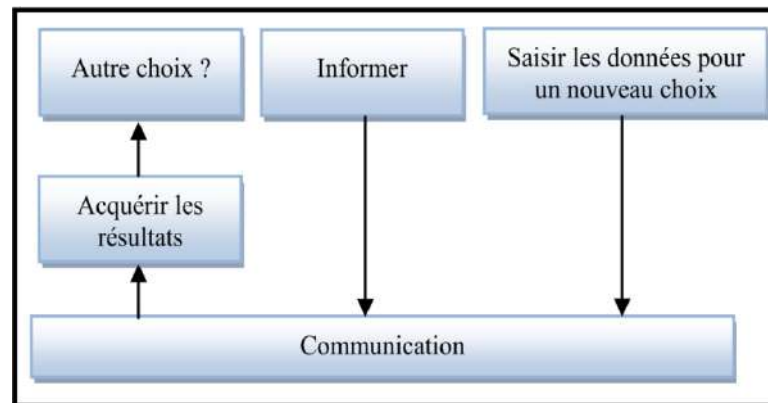


Fig. 20. L'agent " User_Agent " et ses tâches internes

b. Server_Mobile_Agent

Sont des agents réactifs sous la forme d'entités qui se déplacent dans le réseau afin de satisfaire les besoins de l'agent " Data_Collecting_Agent ". Il contient trois composants. L'architecture interne de cet agent est montrée dans la figure 21.

- **Acquérir les données recherchées** : permet de récupérer les données recherchées.

- **Recherche sur le réseau** : permet de parcourir le réseau pour trouver l'information recherchée.
- **Communication** : c'est un module qui facilite la communication avec l'environnement externe.

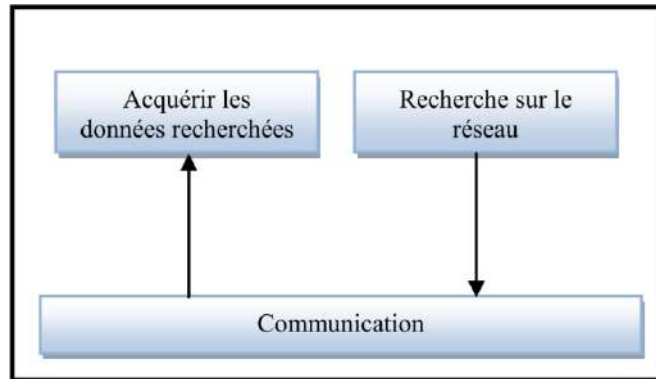


Fig. 21. L'agent "Server_Mobile_Agent" et ses tâches internes

c. Data_Collecting_Agent

C'est un agent réactif. Sa mission principale est de collecter les données émis des agents mobiles ("Server_Mobile1_Agent", "Server_Mobile2_Agent",..., "Server_Mobilen-1_Agent", "Server_Mobilen_Agent") et l'agent utilisateur "User_Agent". Ensuite, il transférera les données pour les agents "Selecting_Source_Agent" et " Sizing_Technical_Agent ". En parallèle, avec toutes ces tâches, il réalise des opérations de lecture et d'écriture dans la base de connaissances du système. La figure 22, montre les composants internes de cet agent.

- **Collecter des données** : permet d'arranger les données récupérées.
- **Lecture et écriture dans la base de connaissance** : pour les opérations de consultations et enregistrement dans la base de connaissances du système.
- **Communication** : c'est un module qui aide à faciliter la communication avec l'environnement externe.

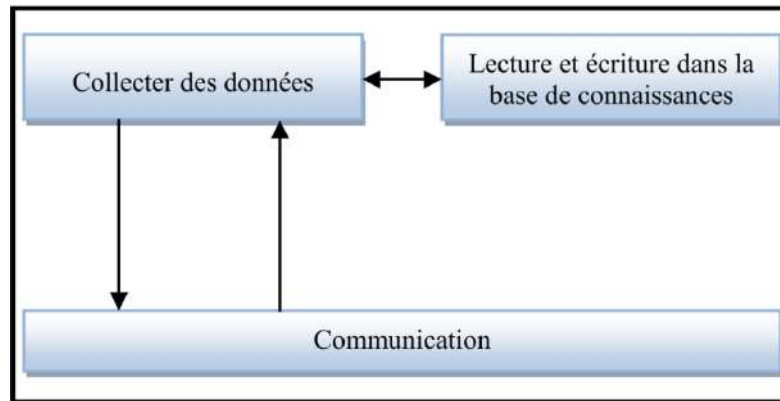


Fig. 22. L'agent "Server Data_Collecting_Agent" et ses tâches internes

d. Selecting_Source_Agent

C'est un agent cognitif. Son rôle principal est la sélection des sources d'énergies appropriées sur la base des informations récupérées de l'agent "Data_Collecting_Agent". Il comprend quatre composants qui sont présentés dans la figure 23.

- **Acquérir des données** : responsable de l'acquisition des données nécessaires pour l'opération de la sélection des sources d'énergie.
- **La sélection des sources d'énergies** : permet de choisir les sources d'énergies appropriées au site proposé.
- **Lecture et écriture dans la base de connaissances** : c'est un module qui est chargé des opérations de lecture / écriture dans la base de connaissance.
- **Communication** : c'est un module qui facilite la communication avec l'environnement externe de cet agent.

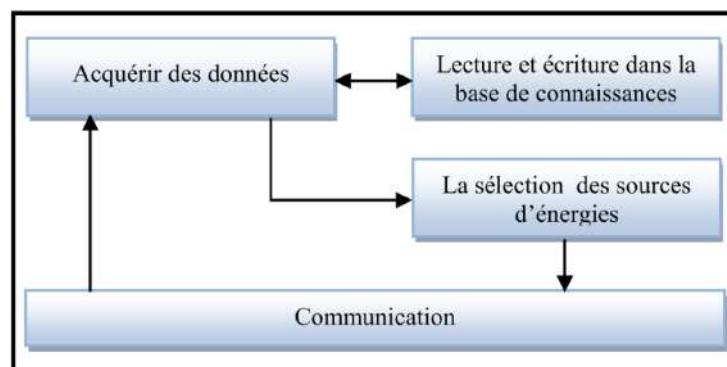


Fig. 23. L'agent " Selecting_Source_Agent" et ses tâches internes

e. Sizing_Technical_Agent

C'est un agent cognitif. Sa mission principale est de sélectionner la meilleure technique d'optimisation. Il est basé pour son fonctionnement sur les informations émis, ainsi que la coordination entre les agents associés aux techniques d'optimisation. Il regroupe quatre composants qui sont présentés dans la figure 24.

- **Acquérir des données** : permet de l'acquisition des données nécessaires pour la sélection de la meilleure technique d'optimisation.
- **La sélection des techniques d'optimisation** : permet de sélectionner la technique d'optimisation.
- **Lecture et écriture dans la base de connaissances** : pour récupérer ou saisir des informations dans la base de connaissances propre à la solution.
- **Communication** : c'est un module qui facilite l'échange d'informations entre cet agent et les autres agents.

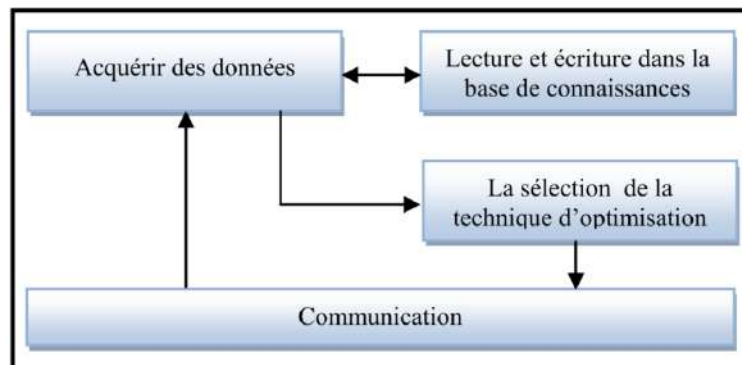


Fig. 24. L'agent " Sizing_Technical_Agent" et ses tâches internes

f. Technical_Agent

Sont des agents réactifs, chacun représente une technique d'optimisation à proposer à l'agent " Sizing_Technical_Agent". Elle regroupe trois composants qui sont montrés dans la figure 25.

- **Acquérir les données** : permet d'acquérir les données sur les sources d'énergies et sur la charge.
- **Propose offre** : chaque agent envoie les informations qui concernent sa propre technique.
- **Communication** : c'est un module qui facilite la communication avec l'environnement externe.

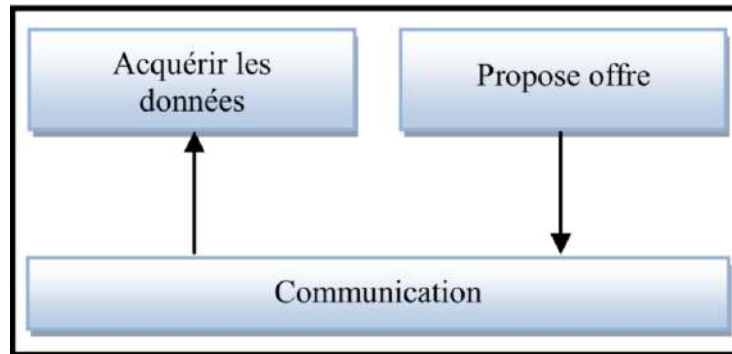


Fig. 25. L'agent " Technical_Agent" et ses tâches internes

g. Visualisation_Agent

C'est un agent réactif. Son rôle est l'affichage des résultats de la solution. Il comprend deux composants internes (voir la figure 26)

- **Affichage des résultats** : permet de visualiser les résultats de la solution.
- **Communication** : c'est un module qui facilite la communication avec l'environnement externe.

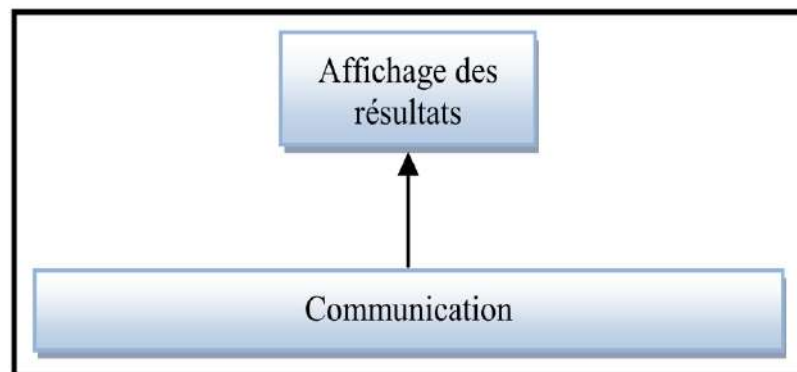


Fig. 26. L'agent "Visualisaion_Agent" et ses tâches internes

IV.4. Vers une implémentation de la solution

Pour mettre en œuvre l'implémentation multi-agents de la solution proposée. Dans un premier temps, nous envisagions la création de la société d'agents. Pour ce faire, nous avons choisi JADE (Java Agent DEvelopment Framework), cette plateforme a été développée en Java par CSELT (Groupe de recherche de Gruppo Telecom, Italie), qui a comme objectif la construction des systèmes multi-agents et la réalisation d'applications conformes à la norme FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) [99].

La figure 27, montre un extrait de nos agents qui sont créés dans cette plateforme.

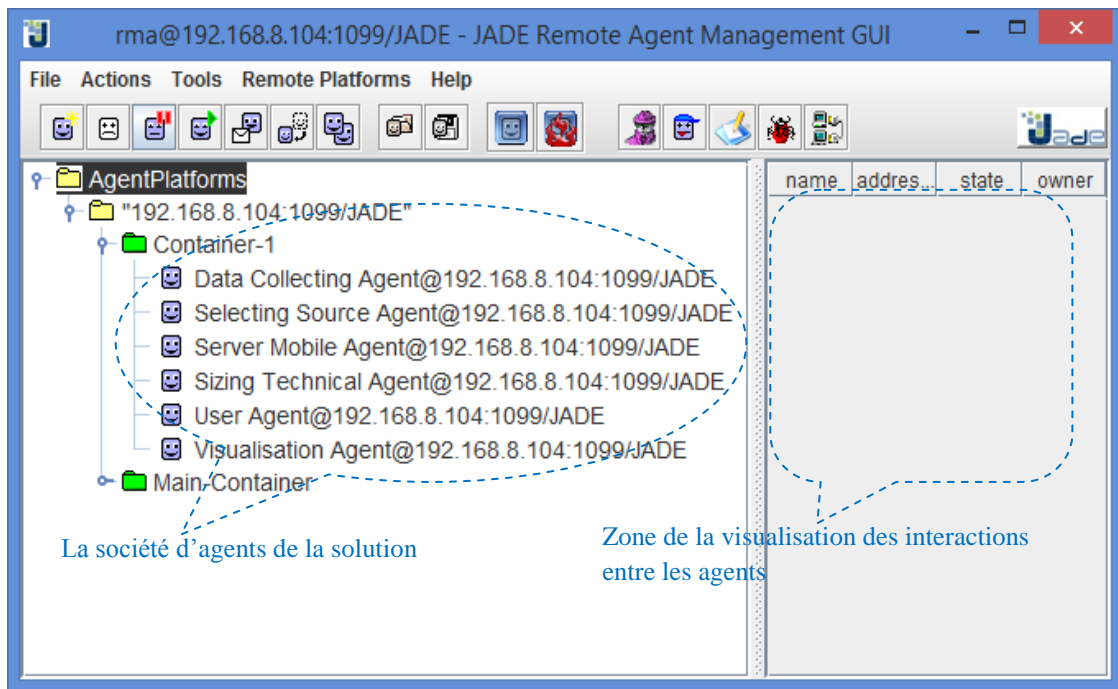


Fig. 27. La société d'agents de notre solution dans JADE

En deuxième lieu, nous développons les interfaces associées aux agents. Nous avons commencé par deux agents. Le premier est "User_Agent ". Dans son interface nous éditons le nom du site et la charge électrique (voir la figure 28).

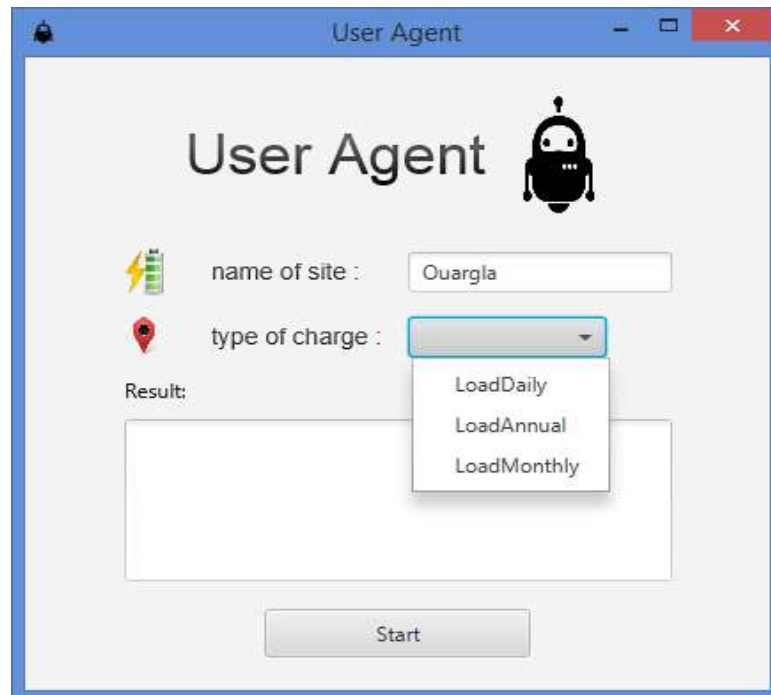


Fig. 28. L'interface de l'agent "User_Agent"

Par contre, l'agent "Visualization_agent " est responsable de l'affichage des résultats qui concernent la meilleure technique d'optimisation ainsi qu'un récapitulatif qui comprend toutes les données qui sont liées avec le site sélectionné (voir la figure 29).

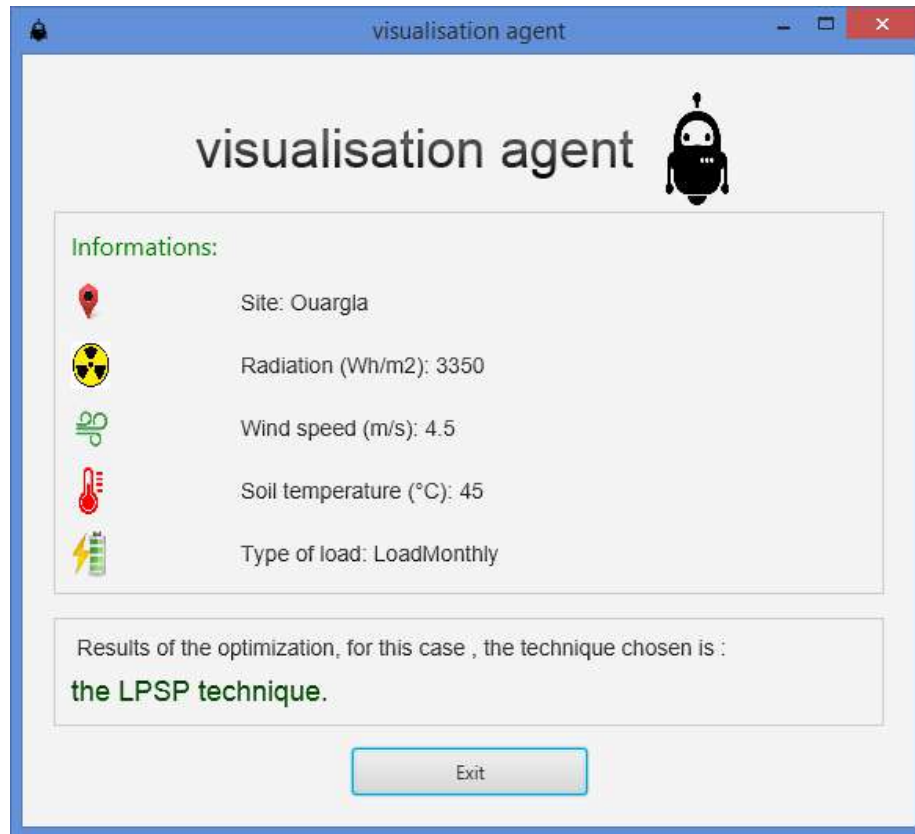


Fig. 29. Interface de l'agent "Visualization_Agent"

IV.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à proposer des améliorations sur la solution fournie précédemment qui concerne l'optimisation des systèmes à énergie hybrides. Pour aller à ce but, nous avons choisi la technologie d'agents mobiles et son utilisation pour la recherche d'information dans des environnements répartis. Le but de déplacement de ces agents est généralement pour accéder localement à des données initialement distantes, d'effectuer le traitement en local et de ne déplacer que les données utiles. C'est pourquoi nous proposons dans ce contexte, une nouvelle approche à base d'agents mobiles pour la recherche d'information dans des sources hétérogènes et réparties.

L'avantage de cette architecture est qu'elle utilise les agents mobiles comme une entité de communication et récupération d'informations. Il s'agit ici d'actualiser les

données nécessaires pour la solution proposée et assurer plus de précision sur les résultats obtenus ; dans ce cas l'agent se déplace vers la source d'informations et effectue des échanges locaux. Un autre point fort dans cette architecture vient de la décomposition des tâches et les responsabilités entre les membres de la société d'agents.

Ce travail est un début pour un long travail qui a besoin toujours d'enrichissement et des travaux de collaboration, soit pour améliorer la conception proposée ou pour implémenter cette solution.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette thèse, s'intéresse à la problématique de l'optimisation des systèmes à énergies hybrides (SEH). Pour ce faire, nous avons proposé une solution générique d'optimisation basée sur les ontologies informatiques. Ensuite, nous avons essayé de porter des améliorations sur cette solution par l'intégration de la technique des systèmes multi agents. Donc ce travail entre dans les nouvelles applications qui montrent le rôle que peut ajouter l'intelligence artificielle et les technologies de l'information lorsqu'elles sont mises au service du domaine des énergies renouvelables.

Les systèmes hybrides ce sont les systèmes qui combinent plusieurs sources d'énergies afin de répondre aux besoins en électricité. Ils permettent des améliorations en termes d'efficacité énergétique ainsi qu'une intégration croissante des énergies renouvelables. Le processus d'optimisation de ces systèmes est toutefois un problème relativement complexe, surtout avec la nature de ces systèmes qui sont complexes, distribués et en interactions permanentes avec l'environnement externe.

Dans un système à énergie hybride, nous associons les sources d'énergies et les moyens de stockage, de manière à satisfaire la demande de la charge en électricité et garantir un coût minimal de l'énergie consommée. Ces deux missions concernent les objectifs principaux de l'optimisation. Cependant, à cause de la nature d'intermittence des sources renouvelables, l'optimisation du SEH s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépend des caractéristiques météorologiques du site tout en intégrant le profil de la charge.

Répondre à ce problème d'optimisation est précisément l'objectif de notre travail. Il s'agit de fournir au concepteur une solution adéquate permettant de dimensionner ce type de système d'une manière optimale.

Divers outils (algorithmes, logiciels,...) ont été rapportés dans la littérature visant à déterminer la configuration optimale du SEH. chaque technique est basée sur une ou hybridation d'approches (probabilité, programmation linéaire, logique floue, réseaux de neurones ...). Ainsi plusieurs logiciels sont disponibles pour le dimensionnement des systèmes énergétiques hybrides comme : Hybrid, Hybrid2, Homer et Hoga. Cependant, le choix entre ces outils est considéré un vrai problème pour les utilisateurs. Pour résoudre cette problématique, nous avons présenté nos contributions.

Le travail de recherche associé à notre thèse est développé en deux grandes parties : état de l'art et contributions. Ces deux parties sont développées dans quatre chapitres, une introduction générale, une conclusion générale et une production scientifique associée à la thématique de la thèse.

L'introduction générale a été réservée pour expliciter le contexte, la problématique de travail et les objectifs à atteindre.

Dans le premier chapitre nous avons commencé par une présentation sur les énergies renouvelables et non renouvelables ainsi que les systèmes à énergie hybrides. Nous avons terminé ce chapitre par l'état d'exploitation des énergies renouvelables dans notre pays et nous avons ciblé la stratégie d'utilisation de cette technologie en Algérie comme une solution optimale pour la production de l'électricité dans l'avenir, spécifiquement le programme national des énergies renouvelables (2015-2030).

Le second chapitre avait pour objectif d'offrir une bonne compréhension sur les concepts essentiels de notre travail. Nous avons commencé par une présentation détaillée sur l'optimisation des systèmes énergétiques. La deuxième partie a été réservée pour présenter les points essentiels de l'ontologie informatique et les systèmes multi agents.

Dans le troisième chapitre nous avons commencé en premier lieu par une synthèse des travaux les plus récents et proches de la problématique à traiter. En deuxième lieu, nous avons présenté notre contribution qui concerne une solution générique d'optimisation pour les systèmes à énergies hybrides en s'appuyant sur les sources d'énergies purement renouvelables. Nous avons présenté notre contribution conceptuelle pour l'approche d'optimisation et l'organigramme de la solution proposée. Ce chapitre a été clôturé par l'aspect applicatif par l'exploitation des données réelles sur des sites Algériens. Les résultats obtenus indiquent l'importance de la solution proposée pour des utilisations réelles.

Le quatrième chapitre a été réservé pour une nouvelle contribution qui concerne la proposition des autres améliorations sur la première contribution afin de donner plus de fiabilité à la solution. Celle-ci repose sur le paradigme agent qui est caractérisé par plusieurs avantages parmi eux : l'autonomie décisionnelle, la coopération et le partage des tâches et des missions,. Chacun des agents est responsable d'une ou plusieurs tâches. Ils sont reliés entre eux d'une manière hiérarchique, où chacun a besoin de la contribution des autres pour atteindre un objectif bien précis. Suite à des données introduites par l'utilisateur, en vue d'obtention d'une solution optimale de dimensionnement, les agents collaborent entre eux pour atteindre cet objectif. Cette collaboration est basée sur des informations collectées par des agents mobiles qui se déplacent vers un ensemble de serveurs distribués

géographiquement. Il assure également un bon contrôle du SEH et une bonne gestion d'énergie. Ce chapitre contient aussi les aspects structurels et fonctionnels des agents du système proposé.

De nombreuses perspectives apparaissent comme prometteuses. Les solutions développées peuvent avoir besoin d'un travail collaboratif avec les experts du domaine, pour l'intégration des autres connaissances qui permettent d'élargir la solution proposée pour d'autres sources et techniques d'optimisation. Également, des tests approfondis doivent être effectués pour d'autres cas d'études afin de trouver les limites d'utilisation de cette solution.

Enfin, les travaux de recherche obtenus ouvrent de nouveaux verrous scientifiques à développer dans le cadre de poursuite la recherche.

Production scientifique

Production scientifique

Le travail de la thèse à donner l'occasion pour réaliser la production scientifique suivante :

- Une publication ;
- Quatre communications internationales ;
- Une communication nationale.

a. Publications

- [1] D. Saba, F. Zohra Laallam, H. Belmili, F. Henry Abanda, and A. Bouraiou, "Development of an ontology-based generic optimisation tool for the design of hybrid energy systemsDevelopment of an ontology-based generic optimisation tool for the design of hybrid energy systems," *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 55, no. 3, pp. 232–243, 2017.

b. Communications internationales

- [1] Djamel Saba, Fatima Zohra Laallam, Abd Elkader Hadidi, Brahim Berbaoui, "Optimization of a Multi-Source System with Renewable Energy Based on Ontology", *Proceedings of the International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15, Energy Procedia 74 (2015) 608 - 615, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.787*
- [2] Djamel Saba, Fatima Zohra Laallam, Abd Elkader Hadidi, Brahim Berbaoui, "Contribution to the Management of Energy in the Systems Multi Renewable Sources with Energy by the Application of the Multi Agents Systems "MAS" ", *Proceedings of the International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES15, Energy Procedia 74 (2015) 616 - 623, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.792*
- [3] Djamel Djamel, Fatima Zohra Laallam, Brahim Berbaoui and F.H. Abanda, "An Energy Management Approach in Hybrid Energy System Based on Agent's Coordination", *Proceedings of the International Conference on Advanced*

Intelligent Systems and Informatics 2016, Vol. 533, pp.299-209, ISBN: 978-3-319-48308-5, DOI: 10.1007/978-3-319-48308-5_29

- [4] Berbaoui Brahim, Saba Djamel, " Permanent Magnet Synchronous Generator Driven Wind Energy Conversion System Based on Series Active Power Filter ", Proceedings of the 18th International Conference on Energy, Power and Electrical Engineering (ICEPEE 2016), Barcelona, Spain, December 21-13, 2016.

c. Communications nationales

- [1] Djamel Saba, Fatima Zohra Laallam, Hocine Belmili, Brahim Berbaoui, "Contribution of renewable energy hybrid system control based of multi agent system coordination", Symposium on Complex Systems and Intelligent Computing (CompSIC), University of Souk Ahras - Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras, <http://www.univ-soukahras.dz/en/publication/article/411>

Bibliographie

Bibliographie

- [1] I. Blanc, “Comment calculer l’impact environnemental des énergies renouvelables ?,” *ParisTech Rev.*, vol. October, no. 21, p. 6, 2015.
- [2] J. Muller, “Électricité photovoltaïque - Principes,” *Tech. l’ingénieur*, vol. 33, no. 0, pp. 0–12, 2012.
- [3] A. B. Stambouli, “Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 2, pp. 1169–1181, 2011.
- [4] Observ’ER, “L’électricité renouvelable dans le monde,” 2016. [Online]. Available: http://www.energies-renouvelables.org/electricite_renouvelable.asp. [Accessed: 15-Dec-2016].
- [5] Grassroots Marketing; Brown Paper Bag Alliance, “Non-Renewable Energy,” *Grassroots Marketing Alliance*, 2015. [Online]. Available: http://www.solarschools.net/resources/stuff/non_renewable_energy.aspx.
- [6] V. W. W. Islam M.R, Zatzman Gray, “Handbook of Natural Gas Transmission and Processing,” *Handb. Nat. Gas Transm. Process.*, pp. 365–400, 2006.
- [7] A. H. Ghorashi and A. Rahimi, “Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 729–736, 2011.
- [8] R. L. Murray and K. E. Holbert, *Nuclear Energy*. 2015.
- [9] V. Nelson, *Introduction to renewable energy*, 1st ed. CRC Press, 2011.
- [10] Nicksy Jeremie, “http://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/cpar/Nicksy_Jeremie_sur_Prezi,” 2016. [Online]. Available: https://prezi.com/_01krbieuuvs/httpwwwconnaissancedesenergiesorgsitesdefaultfiles/. [Accessed: 15-Nov-2016].
- [11] W. (Electrical engineer) Tong, *Wind power generation and wind turbine design*. WIT Press, 2010.
- [12] L. E. M. Lignarolo, D. Ragni, C. Krishnaswami, Q. Chen, C. J. Simão Ferreira, and G. J. W. van Bussel, “Experimental analysis of the wake of a horizontal-axis wind-turbine model,” *Renew. Energy*, vol. 70, pp. 31–46, 2014.
- [13] H. Bichat and P. Mathis, *La biomasse, énergie d’avenir?* Quæ, 2013.
- [14] FRAPASA, “BIOMASSE,” 2016. [Online]. Available: <http://frapasa.com/fr/biomasse/>. [Accessed: 15-Nov-2016].
- [15] B. Viswanathan and B. Viswanathan, “Chapter 7 – Solar Energy: Fundamentals,” in *Energy Sources*, 2017, pp. 139–147.
- [16] G. Alva, L. Liu, X. Huang, and G. Fang, “Thermal energy storage materials and systems for solar energy applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 693–706, 2017.

- [17] W. Streicher, “2 – Solar thermal technologies for domestic hot water preparation and space heating,” in *Renewable Heating and Cooling*, 2016, pp. 9–39.
- [18] R. Liang, J. Zhang, L. Ma, and Y. Li, “Performance evaluation of new type hybrid photovoltaic/thermal solar collector by experimental study,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 75, pp. 487–492, 2015.
- [19] B. Parida, S. Iniyar, and R. Goic, “A review of solar photovoltaic technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 3, pp. 1625–1636, 2011.
- [20] Quentin, “helios-energies.fr,” 2013. [Online]. Available: <http://www.helios-energies.fr/>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [21] B. Goldstein *et al.*, “Geothermal Energy,” *IPCC Spec. Rep. Renew. Energy Sources Clim. Chang. Mitig.*, pp. 401–436, 2011.
- [22] Geo, “La géothermie,” 2013. [Online]. Available: <http://www.la-geothermie.net/>. [Accessed: 15-Nov-2016].
- [23] S. K. Henkel, R. M. Suryan, and B. A. Lagerquist, “Marine Renewable Energy and Environmental Interactions: Baseline Assessments of Seabirds, Marine Mammals, Sea Turtles and Benthic Communities on the Oregon Shelf,” 2014, pp. 93–110.
- [24] J. Bonin, *Heat pump planning handbook*, Kindle. Routledge , 2015.
- [25] aps.dz, “Algérie Presse Service - Economie,” 2016. [Online]. Available: <http://www.aps.dz/economie>. [Accessed: 16-Dec-2016].
- [26] J. Lagorce, “Modélisation, dimensionnement et optimisation des systèmes d’alimentation décentralisés à énergie renouvelable - application des systèmes multi-agents pour la gestion de l’énergie,” Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2009.
- [27] B. Guinot, Y. Bultel, F. Montignac, D. Riu, E. Pinton, and I. Noirot-Le Borgne, “Economic impact of performances degradation on the competitiveness of energy storage technologies – Part 1: Introduction to the simulation-optimization platform ODYSSEY and elements of validation on a PV-hydrogen hybrid system,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 38, no. 35, pp. 15219–15232, Nov. 2013.
- [28] R. Luna-Rubio, M. Trejo-Perea, D. Vargas-Vázquez, and G. J. Ríos-Moreno, “Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 4, pp. 1077–1088, 2012.
- [29] L. Stoyanov, “Etude de différentes structures des systèmes hybrides à sources d’énergie renouvelables,” 2011.
- [30] S. Upadhyay and M. P. Sharma, “A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38, pp. 47–63, 2014.
- [31] C. Wang, H. Nehrir, F. Lin, and J. Zhao, “From hybrid energy systems to microgrids: Hybridization techniques, configuration, and control,” in *IEEE PES General Meeting, PES 2010*, 2010.

-
- [32] T. Nowatzki, M. Ferris, K. Sankaralingam, C. Estan, N. Vaish, and D. Wood, "Optimization and Mathematical Modeling in Computer Architecture," *Synth. Lect. Comput. Archit.*, vol. 8, pp. 1–144, 2013.
- [33] W. L. Theo, J. S. Lim, W. S. Ho, H. Hashim, and C. T. Lee, "Review of distributed generation (DG) system planning and optimisation techniques: Comparison of numerical and mathematical modelling methods," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 531–573, 2017.
- [34] A. H. Fathima and K. Palanisamy, "Optimization in microgrids with hybrid energy systems – A review," 2015.
- [35] S. Wu, W. Wu, and B. Zhang, "A Validation Method for Power System Dynamic Simulation Software Based on Hybrid Simulation," in *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 2012, pp. 1–4.
- [36] A. Mills and S. Al-Hallaj, "Simulation of hydrogen-based hybrid systems using Hybrid2," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 29, no. 10, pp. 991–999, Aug. 2004.
- [37] M. Castaneda, L. M. Fernandez, H. Sanchez, A. Cano, and F. Jurado, "Sizing methods for stand-alone hybrid systems based on renewable energies and hydrogen," in *2012 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, 2012, pp. 832–835.
- [38] X.-S. Yang, "Chapter 5 – Genetic Algorithms," in *Nature-Inspired Optimization Algorithms*, 2014, pp. 77–87.
- [39] M. Pochacker, T. Khatib, and W. Elmenreich, "The microgrid simulation tool RAPSIm: Description and case study," in *2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, 2014, pp. 278–283.
- [40] D. Saba, F. Z. Laallam, H. Belmili, F. H. Abanda, and A. Bouraiou, "Development of an ontology-based generic optimisation tool for the design of hybrid energy systems," *Int. J. Comput. Appl. Technol. IJCAT*, vol. 55–56, no. 8, p. 12, 2017.
- [41] J.-P. Coujou and F. Suárez, *Suárez et la refondation de la métaphysique comme ontologie : étude et traduction de l'Index détaillé de la Métaphysique d'Aristote de F. Suárez*. Editions de l'Institut supérieur de philosophie, 1999.
- [42] R. Neches *et al.*, "Enabling technology for knowledge sharing," *AI Mag.*, vol. 12, no. 3, p. 36, 1991.
- [43] T. R. Gruber, "A translation approach to portable ontology specifications," *Knowl. Acquis.*, vol. 5, no. 2, pp. 199–220, 1993.
- [44] W. N. Borst, *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*, vol. PhD. 1997.
- [45] R. Studer, V. R. Benjamins, and D. Fensel, "Knowledge engineering: Principles and methods," *Data Knowl. Eng.*, vol. 25, no. 1–2, pp. 161–197, 1998.
- [46] N. Guarino and P. Giaretta, "Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification," *Towar. Very Large Knowl. Bases Knowl. Build.*

- Knowl. Shar.*, vol. 1, no. 9, pp. 25–32, 1995.
- [47] T. R. Bill Swartout, Ramesh Patil, Kevin Knight, “Toward Distributed Use of Large-Scale Ontologies,” in *Proceedings of the Tenth Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop*, 1996.
- [48] A. Gómez-Pérez, “Ontological Engineering: A State Of The Art,” *Expert Updat. Knowl. Based Syst. Appl. Artif. Intell.*, vol. 2, no. 3, pp. 33–43, 1999.
- [49] T. R. Gruber, “Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing,” *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 43, no. 5–6, pp. 907–928, 1995.
- [50] A. Gómez-Pérez, “Développement récents en matière de conception, de maintenance et d’utilisation des ontologies,” *Terminol. Nouv.*, vol. 19, pp. 9–20, 1999.
- [51] Laallam Fatima Zohra; Sellami Mokhtar, “Modélisation et gestion de la maintenance dans les systèmes de production,” BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY, 2007.
- [52] R. Mizoguchi and M. Ikeda, “Towards ontology engineering,” *Journal-Japanese Soc. Artif. Intell.*, pp. 1–10, 1998.
- [53] A. Maedche and S. Staab, *Ontology Learning for the Semantic Web*. 2002.
- [54] M. Uschold and M. Gruninger, “Ontologies: Principles, methods and applications,” *Knowl. Eng. Rev.*, vol. 11, no. 2, pp. 93–136, 1996.
- [55] R. C. Schank and R. P. Abelson, “Scripts,” in *Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures*, 1977, pp. 36–69.
- [56] T. R. Gruber and S. U. K. S. Laboratory, “Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies,” *Tech. Rep. KSL*, vol. 91, p. 66, 1992.
- [57] F. Z. Laallam and M. Sellami, “Gas Turbine Ontology for the Industrial Processes,” *J. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 113–118, Feb. 2007.
- [58] S. Bechhofer, I. Horrocks, C. Goble, and R. Stevens, “OilEd: a Reason-able Ontology Editor for the Semantic Web,” *Proc. KI2001, Jt. Ger. Conf. Artif. Intell.*, pp. 396–408, 2001.
- [59] W. Su, J. Wang, and F. H. Lochovsky, “ODE: Ontology-Assisted Data Extraction,” *ACM Trans. Database Syst.*, vol. 34, no. 2, pp. 1–35, 2009.
- [60] A. Bidram and A. Davoudi, “Hierarchical structure of microgrids control system,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 4, pp. 1963–1976, 2012.
- [61] T. Kocatürk and B. Medjdoub, *Distributed Intelligence in Design*. 2011.
- [62] Rob Dekkers, *Applied systems theory*, 1st ed. Springer International Publishing, 2015.
- [63] F. A. C. Polack, T. Hoverd, A. T. Sampson, S. Stepney, and J. Timmis, “Complex systems models: engineering simulations,” *Artif. Life*, vol. 11, pp. 482–489, 2008.

- [64] J. E. Holt and D. Schoorl, "The application of open and closed systems theory to change in agricultural institutions," *Agric. Syst.*, vol. 34, no. 2, pp. 123–132, Jan. 1990.
- [65] W. Jamroga, A. Męski, and M. Szreter, "Modularity and Openness in Modeling Multi-Agent Systems," *Electron. Proc. Theor. Comput. Sci.*, vol. 119, pp. 224–239, 2013.
- [66] Jacques Ferber, *Les Systèmes Multi Agents: vers une intelligence collective*. Jean-François Perrot, 1995.
- [67] N. R. Jennings, "On agent-based software engineering," *Artif. Intell.*, vol. 117, no. 2, pp. 277–296, 2000.
- [68] F. Louis and K. Okba, *Manuel d'intelligence artificielle*, 1st ed. PPUR Presses polytechniques, 2009.
- [69] P. G. Balaji and D. Srinivasan, "An introduction to multi-agent systems," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 310, pp. 1–27, 2010.
- [70] S. A. DeLoach, M. F. Wood, and C. H. Sparkman, "Multiagent Systems Engineering," *Int. J. Softw. Eng. Knowl. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 231–258, 2001.
- [71] J. Ferber, "Les systemes multi-agents : un aperçu general Les systèmes multi-agents :," *Tech. Sci. Informatiques*, vol. 16, no. 8, pp. 979–1012, 1997.
- [72] N. R. Jennings, "An agent-based approach for building complex software systems," *Commun. ACM*, vol. 44, no. 4, pp. 35–41, 2001.
- [73] F. a. Barika, N. El Kadhi, and K. Ghedira, "MA_IDS : Mobile Agents for Intrusion Detection System," *2009 IEEE Int. Adv. Comput. Conf.*, no. March, pp. 6–7, 2009.
- [74] R. A. Bermejo, "Reactive Operating System REactive Java Objects," *Electron. J. Networks Distrib. Process.*, no. 3, pp. 337–354, 2001.
- [75] K. Abid, L. H. Mouss, O. Kazar, and L. Kahloul, "A Novel Approach for Mobile Maintenance Using Mobile Agents Technology and Mobile Devices," *J. Adv. Manuf. Syst.*, vol. 14, no. 2, pp. 55–74, Jun. 2015.
- [76] Y. Gangat, "Architecture Agent pour la modélisation et simulation de systèmes complexes multidynamiques : une approche multi-comportementale basée sur le pattern "Agent MVC"," Université de la Réunion, 2013.
- [77] M. Mohammadi, S. H. Hosseinian, and G. B. Gharehpetian, "Optimization of hybrid solar energy sources/wind turbine systems integrated to utility grids as microgrid (MG) under pool/bilateral/hybrid electricity market using PSO," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 1, pp. 112–125, 2012.
- [78] A. Cano, F. Jurado, H. Sánchez, L. M. Fernández, and M. Castañeda, "Optimal sizing of stand-alone hybrid systems based on PV/WT/FC by using several methodologies," *J. Energy Inst.*, vol. 87, no. 4, pp. 330–340, Nov. 2014.
- [79] A. Maleki and A. Askarzadeh, "Comparative study of artificial intelligence

- techniques for sizing of a hydrogen-based stand-alone photovoltaic/wind hybrid system,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 19, pp. 9973–9984, Jun. 2014.
- [80] N. Y. Aydin, E. Kentel, and H. S. Duzgun, “GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 70, pp. 90–106, 2013.
- [81] S. Sinha and S. S. Chandel, “Review of software tools for hybrid renewable energy systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 192–205, 2014.
- [82] N. F. Noy and D. L. McGuinness, “Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology,” *Stanford Knowl. Syst. Lab.*, p. 25, 2001.
- [83] D. Saba, F. Z. Laallam, A. E. Hadidi, and B. Berbaoui, “Optimization of a Multi-source System with Renewable Energy Based on Ontology,” in *Energy Procedia*, 2015, vol. 74, pp. 608–615.
- [84] F. H. Abanda, J. H. M. Tah, and D. Duce, “PV-TONS: A photovoltaic technology ontology system for the design of PV-systems,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 26, no. 4, pp. 1399–1412, 2013.
- [85] D. Saba, F. Z. Laallam, H. Belmili, and A. Hadidi, “Contribution of renewable energy hybrid system control based of multi agent system coordination,” in *Symposium on Complex Systems and Intelligent Computing (CompSIC)*, 2015, pp. 1–8.
- [86] E. Amicarelli, T. Q. Tuan, and S. Bacha, “Multi-agent system for day-ahead energy management of microgrid,” *HAL Sci. l’ingénieur [physics] / Énergie électrique*, pp. 1–10, 2016.
- [87] D. O. Elamine, E. H. Nfaoui, and B. Jaouad, “Multi-agent system based on fuzzy control and prediction using NN for smart microgrid energy management,” in *2015 Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, 2015, pp. 1–6.
- [88] T. Morstyn, B. Hredzak, and V. Agelidis, “Network Topology Independent Multi-Agent Dynamic Optimal Power Flow for Microgrids with Distributed Energy Storage Systems,” *IEEE Trans. Smart Grid*, pp. 1–1, 2016.
- [89] M. S. M. Amjad Anvari-Moghaddam, Josep M Guerrero, Ashkan Rahimi-Kian, “Optimal real-time dispatch for integrated energy systems: An ontology-based multi-agent approach,” in *Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2016 IEEE 7th International Symposium on*, 2016, pp. 1–7.
- [90] L. Raju, I. Rajkumar, and K. Appaswamy, “Integrated energy management of micro-grid using multi agent system,” in *2016 International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science (ICETETS)*, 2016, pp. 1–8.
- [91] D. Saba, F. Z. Laallam, B. Berbaoui, and F. H. Abanda, *An energy management approach in hybrid energy system based on agent’s coordination*, vol. 533. 2017.
- [92] C.-X. Dou, D. Yue, and J. Guerrero, “Multi-Agent System based Event-Triggered Hybrid Controls for High-Security Hybrid Energy Generation Systems,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, pp. 1–1, 2016.

-
- [93] B. M. Radhakrishnan and D. Srinivasan, “A multi-agent based distributed energy management scheme for smart grid applications,” *Energy*, vol. 103, pp. 192–204, 2016.
- [94] J. Cai, D. Kim, R. Jaramillo, J. E. Braun, and J. Hu, “A general multi-agent control approach for building energy system optimization,” *Energy Build.*, vol. 127, pp. 337–351, 2016.
- [95] T. Labeodan, K. Aduda, G. Boxem, and W. Zeiler, “On the application of multi-agent systems in buildings for improved building operations, performance and smart grid interaction – A survey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 1405–1414, 2015.
- [96] R. Yang and L. Wang, “Development of multi-agent system for building energy and comfort management based on occupant behaviors,” *Energy Build.*, vol. 56, pp. 1–7, 2013.
- [97] W. Li, T. Logenthiran, and W. L. Woo, “Intelligent multi-agent system for smart home energy management,” *Smart Grid Technol. - Asia (ISGT ASIA), 2015 IEEE Innov.*, pp. 1–6, 2015.
- [98] O. Yildirim and G. Kardas, “A multi-agent system for minimizing energy costs in cement production,” *Comput. Ind.*, vol. 65, no. 7, pp. 1076–1084, 2014.
- [99] D. Saba, F. Z. Laallam, A. E. Hadidi, and B. Berbaoui, “Contribution to the Management of Energy in the Systems Multi Renewable Sources with Energy by the Application of the Multi Agents Systems ‘mAS,’” in *Energy Procedia*, 2015, vol. 74, pp. 616–623.