



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET**

# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ MATHÉMATIQUES ET INFORMATIQUE  
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

**MASTER**

Spécialité : Génie informatique  
Par :

**BELLEMDJAHED MohamedAbdelsamed**  
**BOUKHALOUA Belkacem**

Sur le thème

---

## **Vers l'informatisation de la ville : Une conception globale pour rationaliser automatiquement la consommation d'énergie dans un quartier résidentiel**

---

Soutenu publiquement le à Tiaret devant le jury composé de :

BELARBI Mostafa	Pr	Université Tiaret	Président
MAATOUG Abdelfettah	MCB	Université Tiaret	Encadreur
GOISMI Mohamed	MAA	Université Tiaret	Examinateur

2022-2023

# *Remerciements*

Tout d'abord, nous voudrions remercier « **ALLAH** » Tout-Puissant et Miséricordieux. Créateur de tout l'univers qui nous a donné la santé, la force, le courage et la volonté de mener à bien cet humble travail de recherche.

Nous voudrions remercier toutes les personnes ayant soutenu et encadré ce travail :

En premier lieu, nous remercions sincèrement et très chaleureusement, notre encadreur, Mr. **MAATOUG Abdel-Fettah**, Maitre de Conférences classe B à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour tout, que ce soit en raison de son disponibilité ou de son principale contribution à la direction des travaux de recherche et de ses idées originales et éclairantes qui ont influencé le contenu de ce mémoire de Master et ouvert la voie à son achèvement.

Nous remercions également Mr. **MAASKRI Mustapha** pour l'aide qu'il nous a apporté et les précieux conseils qui ont abouti à ce travail.

Nous tenons à remercier Mr. **BELARBI Mostafa**, Professeur à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour avoir accepté la présidence du jury,

Nous tenons également à remercier Mr. **GOISMI Mohamed**, Maitre Assistant classe A à l'université Ibn Khaldoun de Tiaret, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail en nous honorant par sa présence dans le jury.

Enfin, nos sincères remerciements vont à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail, de près ou de loin.

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents pour leur soutien leur patience leur encouragement durant mon parcours scolaire.

A mes sœurs et mes frères ainsi à toute ma famille.

A tous mes amis de promotion de la deuxième année master en génie informatique.

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

*Bellemdjahed Mohamed abdelamed*

## *Dédicace*

Je dédie cet humble travail, dans lequel Dieu m'a aidé, à ceux qui ont eu une grande générosité après Dieu pour m'amener à cette étape de la vie, mes parents.

A mes frères et mes sœurs.

A tous mes amis.

Et pour ne pas oublier, je le dédie aussi à tous mes professeurs à l'université.

*BOUKHALOUA Belkacem*

تتكون الأحياء السكنية غالباً من مجموعة من المباني التي ينبغي ان تكون ذكية حتى تحافظ على ديمومتها. المبني الذكي هو أكثر الوحدات استهلاكاً للطاقة على الإطلاق، وإذا تركت دون تحكم، فسيتم استهلاك الكثير من طاقة العالم بشكل غير مستدام. يمكن أن يحتل ظهور تقنيات إنترنت الأشياء مكاناً مهماً في عالم البناء الذكي، مما يحسن قدرته على تحويل كميات كبيرة من البيانات إلى معرفة مفيدة. اكتسبت المباني الذكية خصائص جديدة مثل: المبني الذكي التفاعلي مع المستخدم والذي يعتمد على تطبيقات الهاتف المحمول من أجل ترشيد استهلاك الطاقة للمبني حسب موقعه. في هذا السياق، نقترح بنية لتحسين استهلاك الطاقة لفي منطقة سكنية بناءً على موقع المستخدم. عادة ما يكون تمثيل الأنظمة المعقدة، مثل نظام إدارة الطاقة في المبني، صعب التنفيذ. للتغلب على هذه المشكلة، استخدمنا نهج النمذجة الهرمية لأنظمة الأحداث المنفصلة DEVS (مواصفات نظام الأحداث المنفصلة). في هذا العمل، تم تصميم النماذج الفرعية للأشياء المتصلة في المباني بدقة وبشكل مستقل لتقديم الأنظمة الفرعية المكونة، وبعد تثبيتها معاً، يمكننا بسهولة الحصول على نموذج يخضع للتصميم المقترح. تظهر نتائج المحاكاة أن نهج التحسين الجديد هذا يحسن بشكل كبير من كفاءة الطاقة في المناطق السكنية. يهدف هذا العمل إلى حوسبة مدينة بأكملها حتى نصل إلى ما يسمى بالمدينة الذكية.

**الكلمات المفتاحية:** المنطقة السكنية، المبني الذكي، استهلاك الطاقة، إنترنت الأشياء، موقع المستخدم.

## Résumé

Les quartiers résidentiels sont souvent constitués d'un ensemble de bâtiments qui doivent être intelligents afin de maintenir leur durabilité. Le bâtiment intelligent est l'unité la plus énergivore de toutes, et s'il n'est pas contrôlé, une grande partie de l'énergie mondiale sera consommée de manière non durable. L'avènement des technologies IdO (Internet des Objets) peut prendre une place importante dans le monde du bâtiment intelligent, améliorant sa capacité à transformer un grand nombre de données en connaissances utiles. Les bâtiments intelligents ont acquis de nouvelles caractéristiques telles que : le bâtiment intelligent interactif avec l'utilisateur qui s'appuie sur des applications mobiles afin de rationaliser la consommation énergétique du bâtiment en fonction de sa localisation. Dans ce contexte, nous proposons une architecture pour optimiser la consommation d'énergie dans un quartier résidentiel en fonction de la localisation des utilisateurs. Représenter des systèmes complexes, comme le système de gestion énergétique d'un bâtiment, est généralement difficile à mettre en œuvre. Pour surmonter ce problème, nous avons utilisé une approche de modélisation hiérarchique des systèmes à évènement discrets DEVS (Discrete Event System Specification) ; Dans ce travail, les sous-modèles des objets connectés dans le bâtiment sont conçus de manière précise et indépendante pour présenter les sous-systèmes composants, et après les avoir installés ensemble, nous obtenons facilement un modèle soumis à la conception proposée. Les résultats de simulation montrent que cette nouvelle approche d'optimisation améliore significativement l'efficacité énergétique des quartiers résidentiels. Ce travail vise à informatiser une ville entière jusqu'à ce que nous arrivions à la ville dite intelligente.

**Mots clés :** quartier résidentiel, smart building, consommation d'énergie, Internet des Objets, localisation des utilisateurs.

## Abstract

Residential area often consist of a collection of buildings that must be smart in order to remain sustainable. The smart building is the most energy-consuming unit of all, and if left unchecked, much of the world's energy will be consumed unsustainably. The advent of IoT (Internet of Things) technologies can take an important place in the world of smart building, improving its ability to transform large amounts of data into useful knowledge. Smart buildings have acquired new characteristics such as: the user-interactive smart building which relies on mobile applications in order to rationalize the energy consumption of the building according to its location. In this context, we propose an architecture to optimize energy consumption in a residential neighborhood based on user location. Representing complex systems, such as a building's energy management system, is usually difficult to implement. To overcome this problem, we used a hierarchical modeling approach for discrete event systems DEVS (Discrete Event System Specification); In this work, the sub-models of the connected objects in the building are precisely and independently designed to present the component subsystems, and after installing them together, we easily obtain a model subject to the proposed design. Simulation results show that this new optimization approach significantly improves the energy efficiency of residential areas. This work aims to computerize an entire city until we reach the so-called smart city.

**Keywords:** residential area, smart building, energy consumption, Internet of Things, user location.

# Liste des tableaux

<b>Tableau IV.1 Building N° 1 simulation data .....</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV.2 Building N° 2 simulation data .....</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV.3 Building N° 3 simulation data .....</b>	<b>73</b>
<b>Tableau IV.4 Building N° 4 simulation data .....</b>	<b>73</b>

# Liste des figures



Figure I.1smart building.....	22
Figure I.2Les objets connectées.....	23
Figure I.3Alexa comme un objet intelligent.....	24
Figure I.4Capteur solaire .....	24
Figure I.5Actionneur de vanne .....	25
Figure I.6Internet des objets.....	26
Figure I.7Principe de communication RFID avec une radio-étiquette passive.....	27
Figure I.8Wirless sensor network (wsn) .....	28
Figure I.9Protocole MQTT comme une solution pour M2M. ....	29
Figure II.1Structure M&S [Zeigler, 1976].....	32
Figure II.2Différents types de modèles [Giambiasi, 2001].....	34
Figure II.3Représentation graphique d'un modèle DEVS atomique.....	36
Figure II.4Modèle atomique en action.....	36
Figure II.5Trajectoires d'un modèle atomique.....	37
Figure II.6Exemple de modèle couplé.....	38
Figure II.7Hiérarchie de modélisation DEVS.....	39
Figure II.8Représentation graphique d'un modèle DEVS couplé .....	40
Figure II.9Hiérarchie de Classe d'un environnement DEVS [Vangheluwe, 2001].....	41
Figure II.10Arbre hiérarchique de simulation DEVS.....	41
Figure II.11Un modèle DEVS atomique.....	42
Figure II.12Un modèle DEVS couplé.....	43

Figure III.1 La conception proposée pour l'informatisation d'une zone résidentielle.....	51
Figure III.2 Le WSN du bâtiment.....	52
Figure III.3 La relation entre les bâtiments et les utilisateurs réels.....	54
Figure III.4 Un bâtiment avec deux utilisateurs.....	54
Figure III.5 Un bâtiment avec deux utilisateurs patchés.....	55
Figure III.6 Format général de la base de données.....	55
Figure III.7 Politique de localisation des utilisateurs à l'aide d'un serveur local.....	56
Figure III.8 Workflow d'économie d'énergie de notre approche.....	57
Figure III.9 Architecture du système.....	59
Figure IV.1 Notations graphiques d'une transition externe (a) et d'une transition interne (b).....	64
.....	
.....	64
Figure IV.2 Modèle atomique DEVS d'un équipement permanent.....	65
Figure IV.3 MF associé au modèle atomique 'Equipt_permanent' .....	66
Figure IV.4 Modèle atomique DEVS du Smartphone d'un utilisateur.....	67
Figure IV.5 Modèle atomique DEVS d'un régulateur.....	69
Figure IV.6 MF associé au modèle atomique "Régulateur" .....	70
Figure IV.7 Représentation du modèle global à l'aide de l'outil DEVSimPy.....	71
Figure IV.8 Représentation du modèle couplé Building EMS à l'aide de l'outil DEVSimPy....	72
Figure IV.9 la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 1.....	75
Figure IV.10 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 2.....	76
Figure IV.11 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 3.....	78
Figure IV.13 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 4.....	79
Figure IV.14 Consommation énergétique quotidienne de l'éclairage des bâtiments.....	81

Figure IV.15	Consommation d'énergie quotidienne des réfrigérateurs dans les quatre bâtiments.....	82
Figure IV.16	Gain énergétique journalier du pour les bâtiments (Toute la zone résidentielle).....	83
Figure IV.17	Gain énergétique hebdomadaire du pour les bâtiments.....	85

# Sommaire

Remerciement.....	2
Dédicace.....	3
Résumé.....	5
Liste de tableaux.....	6
Liste des figures.....	8
Sommaire.....	12
Introduction générale.....	16

## **Chapitre I :Smart Cities, quartiers résidentiels et bâtiments intelligents.**

I.1Introduction.....	21
I.2 un quartier résidentiel .....	21
I.3 Le smart building : la composante principale du quartier résidentiel.....	21
I.4Le contrôle intelligent.....	22
I.4.1 le contrôle dans les bâtiments intelligents.....	22
I.4.2 le contrôle de la consommation d'énergie.....	22
I.5Les objets connectés.....	23
I.5.1 Définition d'un objet intelligent .....	23
I.5.2 Caractéristiques d'un objet intelligent .....	24
I.5.3 Les objets connectés .....	24
I.5.3.1 Les capteurs .....	24
I.5.3.2 Les sources d'énergie .....	25
I.5.3.3 Les actionneurs .....	25
I.5.3.4 La connectivité .....	25
I.6L'Internet des Objets comme un espace d'objets intelligents .....	26
I.7Les technologies clés de l'IdO et le smart citie.....	26
I.7.1 RFID (Radio Frequency Identification) .....	26
I.7.2 WSN (Wireless Sensor Network) .....	27
I.7.3 M2M (Machine to Machine) .....	28
I.8 Conclusion .....	29

## Chapitre II : Le formalisme DEVS

II.1 Introduction.....	31
II.2 Les systèmes complexes.....	31
II.3 La modélisation et la simulation des systèmes complexes.....	32
II.3.1 Modèle comportemental.....	33
II.3.2 Modèle structurel.....	33
II.3.3 Les classes de modèles (formalismes).....	34
II.3.3.1 Classification temporelle.....	34
II.3.3.2 Classification spatiale.....	34
II.3.3.3 Formalismes de spécification.....	34
II.4 Le formalisme DEVS.....	35
II.4.1 La modélisation DEVS.....	35
II.4.1.1 Le modèle atomique.....	35
II.4.1.2 Le modèle couplé.....	38
II.4.2 La simulation DEVS.....	40
II.5 Description d'un modèle DEVS atomique et d'un modèle DEVS couplé .....	42
II.5.1 Avantages de l'utilisation de DEVS .....	43
II.6 Conclusion.....	44

## Chapitre III. Une conception basée sur la localisation de l'utilisateur pour optimiser la consommation d'énergie dans une zone résidentielle.

III. 1 Introduction.....	47
III.2 Revue de la littérature.....	48
III.3 Conception proposée.....	50
III.3.1 Conception générale.....	51
III.3.2 WSN en tant que système d'automatisation du bâtiment.....	53
III.3.3 Localisation des utilisateurs réels de chaque bâtiment.....	53
III.4 Une base de données locale pour les utilisateurs réels de chaque bâtiment.....	53
III.5 L'environnement applicatif.....	55
III.5.1 Description de la scène générale.....	55
III.5.2 Formulation du problème.....	56
III.6 Architecture des systèmes résultants.....	58
III.7 Conclusion.....	60

## Chapitre IV : Modélisation & Implémentation

<b>IV.1 Introduction.....</b>	<b>63</b>
<b>IV.2 Modélisation DEVS.....</b>	<b>63</b>
<b>IV.3 Simulation du modèle proposé à l'aide de l'environnement DEVSimPy.....</b>	<b>70</b>
<b>IV.4 Résultats et discussions.....</b>	<b>72</b>
<b>IV.4.1 Données de simulation.....</b>	<b>72</b>
<b>IV.4.2 Scène 1 : Consommation d'énergie des équipements temporaires.....</b>	<b>81</b>
<b>IV.4.3 Scène 2 : Consommation d'énergie des équipements permanents.....</b>	<b>82</b>
<b>IV.5 Résultats de la simulation pour 24 heures de consommation d'énergie pour l'ensemble de la zone résidentielle.....</b>	<b>83</b>
<b>IV.5.1 Résultats de simulation pour une semaine.....</b>	<b>84</b>
<b>IV.6 conclusions.....</b>	<b>85</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>87</b>
<b>Références.....</b>	<b>89</b>

# **Introduction générale**



## **Introduction générale**

Aujourd'hui, la ville est un environnement en constante évolution où la technologie joue un rôle de plus en plus important. L'informatisation de la ville consiste à utiliser les technologies de l'information pour améliorer la qualité de vie des habitants et rationaliser les systèmes urbains. L'un des aspects les plus importants de cette informatisation est la gestion de l'énergie. En effet, la consommation d'énergie dans les quartiers résidentiels est un enjeu majeur pour la durabilité de la ville. C'est pourquoi, il est nécessaire de concevoir une approche globale pour rationaliser automatiquement cette consommation d'énergie. Cela peut se faire grâce à l'utilisation de technologies telles que les réseaux intelligents, les systèmes de contrôle de l'éclairage et les systèmes de gestion de la température. Cette approche globale permettra non seulement d'optimiser la consommation d'énergie, mais aussi d'améliorer la qualité de vie des habitants en garantissant un environnement confortable et sûr.

Elle contribuera également à la protection de l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en améliorant l'efficacité énergétique. L'informatisation de la ville est un processus crucial pour améliorer la qualité de vie des habitants et pour atteindre une ville plus durable. La conception globale pour rationaliser automatiquement la consommation d'énergie dans un quartier résidentiel est un pas important pour atteindre cet objectif. Dans notre projet nous voulons contrôler automatiquement un quartier résidentiel qui se compose de quelques bâtiments intelligents.

la représentation de notre environnement sera faite avec Devs, qui est un formalisme qui représente la structure formelle d'un modèle. Dans le formalisme DEVS, des modèles mathématiques sont utilisés pour définir l'occurrence d'événements à différents moments. Il existe deux types de modèles dans le formalisme DEVS, le modèle atomique (comportemental) et le modèle couplé (structural). Nous allons donc le formaliser selon le formalisme DEVS, et de le préparer pour des simulations ultérieures. Signalons également que ces modèles les mêmes dans divers bâtiments car le système est le même dans tous ces bâtiments, mais la différence peut être dans les appareils électriques à l'intérieur de ces bâtiments.

Dans l'environnement de simulation, notre scénario d'application comprend quatre bâtiments et un certain nombre d'utilisateurs pour eux. Chaque utilisateur du bâtiment est accompagné de son smartphone. Dans notre conception, ce qui représente un bâtiment est le système de gestion de l'énergie, donc le modèle général incluait les modèles. Ces modèles couplés peuvent représenter différents types de bâtiments de même forme mais avec des dispositifs différents. En d'autres termes, la façon dont ces systèmes de sous-composants est modélisée en fonction de leur comportement similaire, mais la fonctionnalité peut différer.

Nous avons énuméré quatre chapitres dans notre mémoire. Tout d'abord, nous commencerons par le premier chapitre intitulé «Smart Cities, quartiers résidentiels et bâtiments intelligents». Ensuite, le deuxième chapitre, « Le formalisme DEVS », après le troisième chapitre «Une conception basée sur la localisation de l'utilisateur pour optimiser la consommation d'énergie dans une zone industrielle », et en fin dans le dernier chapitre « Modélisation & Implémentation».

# **Chapitre I.**

## Smart cities, quartiers résidentiels & bâtiments intelligents

# **Chapitre I. Smart cities, quartiers résidentiels & bâtiments intelligents**

## **I.1 Introduction**

Les villes qui deviennent des smart cities opèrent des changements à tous les niveaux sur leurs territoires. Un des points principaux concerne l'évolution des bâtiments. Les enjeux des collectivités sont de concevoir ou de rénover des habitations en utilisant des systèmes capables de s'adapter ou d'évoluer selon la réglementation thermique. Aujourd'hui, la construction d'immeubles s'inscrit dans la transition énergétique et se réalise de façon plus vaste à travers des aménagements de quartier plus respectueux de l'environnement. D'ailleurs, une smart city n'a de sens que si l'ensemble de ses installations, équipements et bâtiments offrent une réelle économie d'énergie. Et donc dans ce chapitre on va parler de tous ces points[Chan.M,2018]

## **I.2 un quartier résidentiel**

Un quartier résidentiel est un endroit où les gens vivent principalement dans des maisons ou des immeubles d'habitation. Il peut également comprendre des parcs, des espaces verts et des centres commerciaux pour les besoins de la vie quotidienne. Les rues sont souvent paisibles et sécuritaires, ce qui en fait un endroit idéal pour les familles avec enfants. Les maisons peuvent varier en taille et en style, mais elles sont généralement plus grandes que les logements dans les quartiers urbains densément peuplés. Les prix de l'immobilier dans les quartiers résidentiels peuvent être plus élevés, mais ils offrent une qualité de vie supérieure à ceux des quartiers plus bruyants et plus animés.[Chan.M,2018]

## **I.3 Le smart building : la composante principale du quartier résidentiel**

Le smart building, ou immeuble intelligent, est une composante essentielle du quartier résidentiel moderne. Il s'agit d'un bâtiment qui utilise les dernières technologies pour améliorer la qualité de vie de ses occupants, tout en réduisant les coûts énergétiques et en favorisant une gestion efficace de ses ressources. Les smart buildings intègrent des systèmes de contrôle automatisé de l'éclairage, de la climatisation, de la sécurité et de l'audiovisuel. Ils disposent également d'infrastructures de communication avancées qui permettent une gestion en temps réel des systèmes d'énergie, de l'eau et des déchets. Leur objectif est de maximiser le confort et la productivité des occupants, tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux. Les smart buildings permettent également de fournir un environnement de travail et de vie sain et sécurisé, grâce à l'utilisation de technologies avancées de surveillance et de gestion de la sécurité. En plus de leurs avantages pour les occupants, les smart buildings peuvent également être bénéfiques pour le quartier résidentiel dans son ensemble. Ils peuvent contribuer à améliorer la qualité de l'air et de l'eau, tout en offrant un environnement de vie plus agréable et plus durable.[Karvonen et Cugurullo,2019]



**Figure I.1** smart building

## **I.4 Le contrôle intelligent**

Est une méthode de gestion de la technologie qui utilise des algorithmes pour optimiser les performances et améliorer l'efficacité. Cela signifie que les systèmes informatiques sont en mesure de prendre des décisions basées sur des données en temps réel pour ajuster les paramètres en fonction des besoins. Par exemple, un système de climatisation intelligent pourrait utiliser des capteurs pour mesurer la température de la pièce et ajuster la température en conséquence. [Karvonen et Cugurullo, 2019]

### **I.4.1 le contrôle dans les bâtiments intelligents**

Les bâtiments intelligents utilisent des systèmes de contrôle pour gérer les différents systèmes de la structure. Cela peut inclure la gestion de l'éclairage, du chauffage, de la climatisation, de la sécurité, des énergies renouvelables et de l'eau. Ces systèmes de contrôle sont généralement connectés à une plateforme centralisée qui utilise des algorithmes pour surveiller et contrôler les différents systèmes en temps réel. Les utilisateurs peuvent accéder à cette plateforme depuis n'importe où dans le monde via une application mobile ou un ordinateur. Ces systèmes peuvent également collecter des données sur l'utilisation de l'énergie et les patterns de consommation pour permettre aux propriétaires de bâtiments de mieux comprendre leurs habitudes d'utilisation de l'énergie et de faire des ajustements pour améliorer l'efficacité énergétique. [Gubbi, J, Buyya, R, Marusic, S, 2013]

### **I.4.2 le contrôle de la consommation d'énergie**

Le contrôle de la consommation d'énergie dans un bâtiment intelligent peut se faire de différentes manières. Par exemple l'Automatisation des systèmes comme Les systèmes de climatisation, d'éclairage, d'électricité et d'eau peuvent être automatisés pour fonctionner de manière plus efficace en termes de consommation d'énergie. Par exemple les lumières peuvent s'éteindre automatiquement lorsqu'il n'y a personne dans la pièce, Monitoring en temps réel c'est à dire Les bâtiments intelligents peuvent utiliser des capteurs pour surveiller en temps réel la consommation d'énergie et envoyer des alertes lorsque des déviations apparaissent et en fin l'Optimisation de l'éclairage veut dire que Les systèmes d'éclairage peuvent être optimisés pour utiliser la lumière naturelle lorsque cela est possible,

ou pour s'adapter aux niveaux d'éclairage nécessaires en fonction des activités qui se déroulent dans le bâtiment.

## **I.5 Les objets connectés**

Sont des objets du quotidien qui ont été équipés de capteurs, de processeurs, de mémoire et de connexion internet. Cela permet de les intégrer à un réseau pour collecter et partager des informations, ainsi que d'interagir avec d'autres objets connectés et services en ligne. Les objets connectés incluent des appareils tels que des montres intelligentes, des thermostats, des enceintes intelligentes, des réfrigérateurs connectés, des caméras de surveillance, des lumières connectées, etc. Ils peuvent être utilisés pour surveiller l'environnement, contrôler les appareils domestiques à distance, suivre la santé et les activités, améliorer l'efficacité énergétique, etc. En utilisant des technologies telles que l'Internet des objets (IdO), le Bluetooth, le Wi-Fi. [Parry.A, Besley.KE, Rumens.CV, Ziai.MA, 2017]



**Figure I.2** Les objets connectés

### **I.5.1 Définition d'un objet intelligent**

Un objet intelligent est un objet physique qui est capable de collecter, traiter et utiliser des informations pour effectuer des actions en fonction de son environnement. Cela peut inclure la reconnaissance de la voix, la connexion à Internet, la capacité à communiquer avec d'autres objets intelligents, la prise de décisions basées sur les données et l'apprentissage automatique. Les objets intelligents peuvent améliorer la qualité de vie en permettant une interaction plus efficace et une automatisation de tâches complexes. [Gubbi.J, Buyya.R, Marusic.S, 2013]



**Figure I.3** Alexa comme un objet intelligent

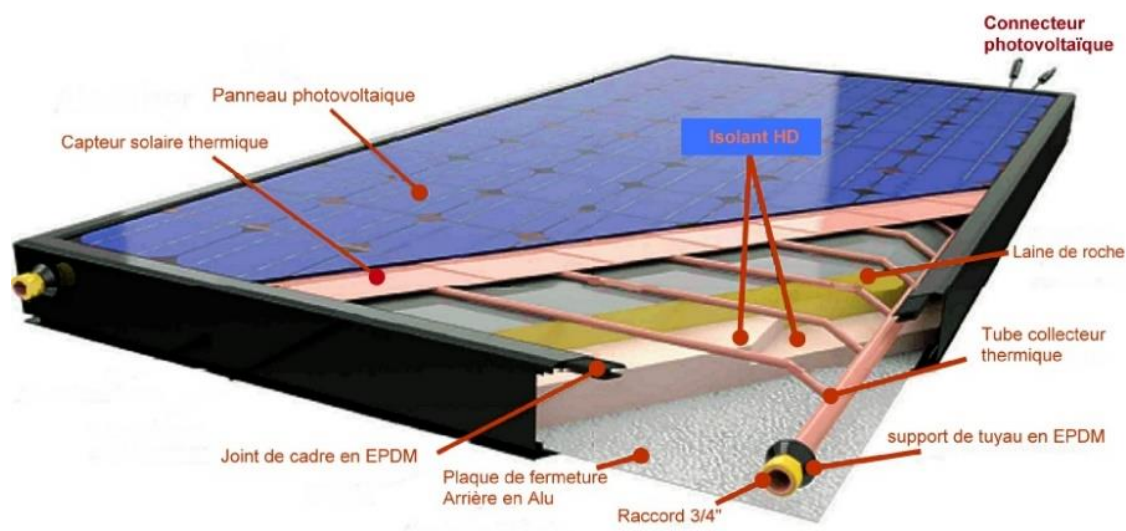
### **I.5.2 Caractéristiques d'un objet intelligent**

Un objet intelligent est caractérisé par ses capteurs, son microprocesseur, ses interfaces de communication et ses applications. L'objet permet l'analyse de son environnement grâce à de nombreux capteurs capables de mesurer les données nécessaires à l'utilisation de l'objet. Exemples : température, mouvement ou déplacement, vitesse, intensité lumineuse, humidité, etc. Les interfaces de communication sont généralement sans fil : réseau WiFi, Bluetooth, RFID... Elles permettent de transmettre les données à un serveur informatique dédié. [Gubbi.J,Buyya.R,Marusic.S,2013]

### **I.5.3 Les objets connectés**

#### **I.5.3.1 Les capteurs :**

Un capteur est un appareil qui convertit un paramètre physique en une sortie électrique. Un capteur est un type de transducteur. Les capteurs peuvent être divisés en capteurs analogiques et capteurs numériques. Les capteurs analogiques fournissent une sortie sous forme de tensions et de courants. Les microcontrôleurs auront besoin d'un ADC (analogue-to-digital converter) pour lire les données des capteurs analogiques. De nombreux capteurs plus récents sont des capteurs numériques, c'est-à-dire qu'ils fournissent une sortie au format numérique, en utilisant des protocoles tels qu'I2C (Inter-Integrated Circuit), SPI (Serial Peripheral Interface) et UART (universal asynchronous receiver/transmitter).[Toublanc.T,Guillet.S,Berruet.P,2017]



**FigureI.4** Capteur solaire

### I.5.3.2 Les sources d'énergie :

Les sources d'énergie liées à l'informatisation de la ville font référence aux différentes sources d'électricité nécessaires pour alimenter les systèmes informatiques et technologiques intégrés dans la gestion de la ville. Cela peut inclure l'utilisation de l'énergie solaire, éolienne, hydraulique ou géothermique, ainsi que les réseaux électriques traditionnels. Ces sources d'énergie sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement des équipements informatiques et technologiques utilisés pour optimiser la gestion de la ville et améliorer la qualité de vie de ses habitants.

### I.5.3.3 Les actionneurs :

Sont des dispositifs électromécaniques qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique pour effectuer un mouvement ou une action. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles et domestiques, notamment les systèmes de contrôle de moteurs, les robots, les systèmes de fermeture et d'ouverture de portes et fenêtres, les systèmes de verrouillage, les dispositifs de levage, les systèmes de vannes et de soupapes, les systèmes de contrôle de température, les systèmes de levage de charges lourdes, etc. Les différents types d'actionneurs incluent les moteurs électriques, les vérins pneumatiques et hydrauliques, les servomoteurs, les moteurs à courant continu, les moteurs à courant alternatif, les actionneurs linéaires, etc. [Toublanc.T,Guillet.S,Berruet.P,2017]



**FigureI.5**Actionneur de vanne

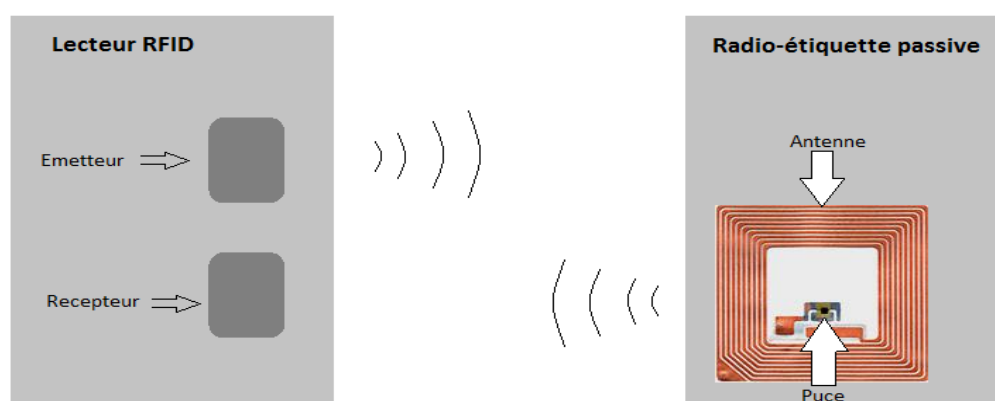




habitudes de consommation et les déplacements des gens, ce qui peut être utilisé pour améliorer la qualité de vie. L'analyse de données, qui est une autre technologie clé de l'IdO, utilise des algorithmes pour traiter les informations collectées et les transformer en informations utiles. Cela peut aider à optimiser les systèmes de transport, à améliorer l'efficacité énergétique, à surveiller les déchets et à surveiller la santé publique. [Mohammadi.M,Al-Fuqaha.A,Sorour.S,Guizani.M,2018]

### I.7.1 RFID (Radio Frequency Identification)

L'identification par radiofréquence, en anglais Radio-frequency identification (RFID) est une technologie qui peut identifier et suivre de manière unique les étiquettes attachées aux objets à l'aide d'ondes électromagnétiques radiofréquence. Un système RFID comprend généralement une étiquette, un lecteur et une antenne. Le lecteur envoie un signal d'interrogation à l'étiquette via l'antenne, et



**Figure I.7** Principe de communication RFID avec une radio-étiquette passive

l'étiquette répond avec ses informations uniques. Les étiquettes RFID peuvent être actives ou passives. Les étiquettes RFID actives ont leur source d'alimentation et peuvent donc être lues sur une longue portée (jusqu'à 100 mètres). Les étiquettes RFID passives n'ont pas leur source d'alimentation. Ils sont alimentés par l'énergie électromagnétique transmise par le lecteur RFID. Par conséquent, ils ne peuvent être lus que sur une courte distance (25mm). [Jones.P,Clarke-hill,2004]

### I.7.2 WSN (Wireless Sensor Network)

WSN est une combinaison de nombreux nœuds dotés de capteurs, de contrôleurs utilisés pour détecter et surveiller les données et l'interaction avec l'environnement. Cela aide à établir la connectivité entre les appareils informatiques, les individus et l'environnement. WSN est l'une des forces motrices derrière l'IdO (WSN conduira l'IdO). Le traitement du niveau réseau intermédiaire de l'architecture de l'IdO est basé sur WSN. La configuration matérielle d'un capteur comporte quatre parties : un module de gestion de l'alimentation, un émetteur-récepteur sans fil, un capteur et un microcontrôleur. Le déploiement de capteurs dans une topologie, leur détection, la connexion au réseau suivie du routage et la transmission d'informations sont quelques-unes des tâches importantes d'un WSN. Le choix d'une technologie de réseau d'accès telle que WLAN (réseau local sans fil), WMAN (réseau métropolitain sans fil), WPAN (réseau personnel sans fil) et WWAN (réseau étendu sans fil) dépend de la distance et de la vitesse d'accès. [Pramsten.E,Roberthson.D,2014]

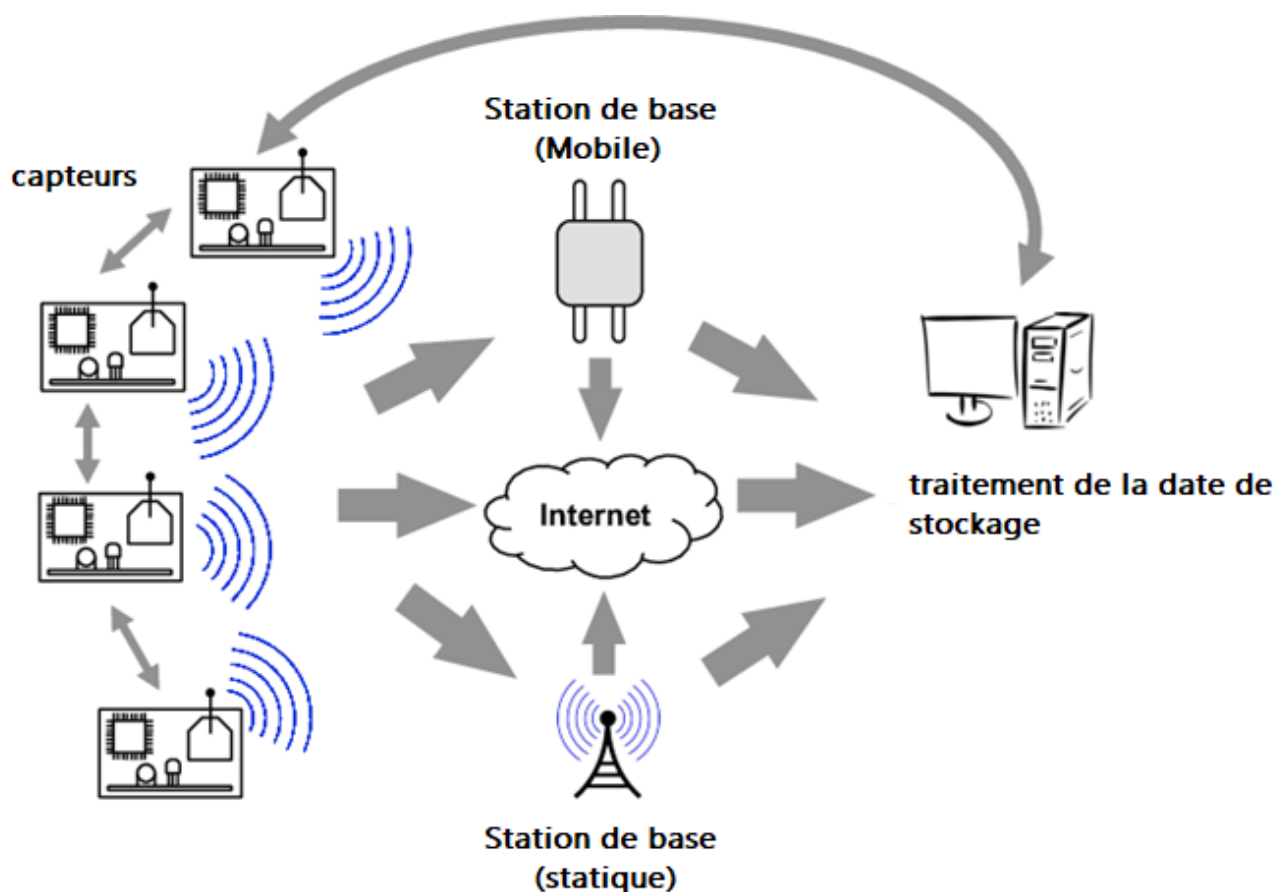
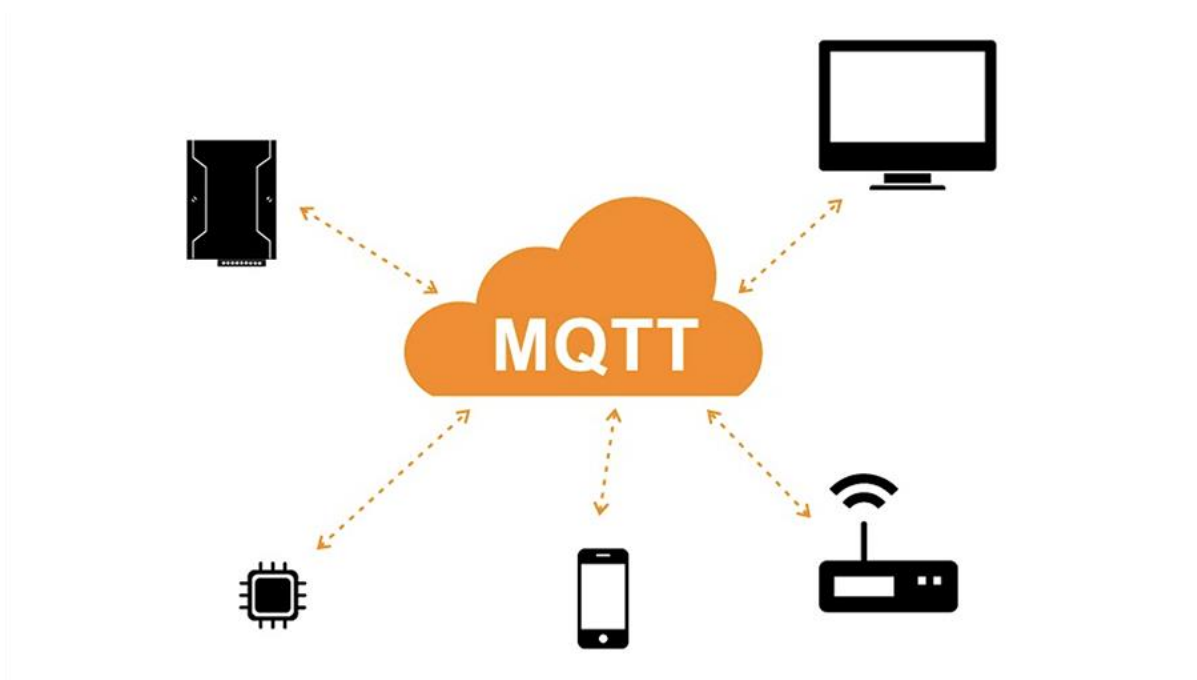


Figure I.8 wireless sensor network (wsn)

### I.7.3 M2M (Machine to Machine)

Est l'association des technologies de l'information et de la communication (abréviation TIC), avec des objets dits intelligents et communicants et cela dans le but de fournir à ces derniers les moyens d'interagir sans intervention humaine avec le système d'information. Ce dernier peut appartenir indifféremment à une organisation ou à une entreprise. Comme toutes les technologies qui émergent, sa définition continue d'évoluer mais elle se réfère généralement à la télémétrie ou à la télématique. Cette technologie fonctionne en utilisant des réseaux et plus particulièrement les réseaux mobiles publics (comme le GPRS ou l'UMTS), ou des liaisons sans fil à courte distance, comme le Wi-Fi, le bluetooth ou le RFID. ).[Jones.P,Clarke-hill,2004]



**Figure I.9** Protocole MQTT comme une solution pour M2M.

## I.8 Conclusion

En conclusion, les Smart Cities, les quartiers résidentiels et les bâtiments intelligents sont des concepts qui visent à améliorer la qualité de vie des citoyens en intégrant les technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les espaces urbains. Ces concepts permettent d'optimiser les services publics, de gérer de manière efficace les déchets, de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, de fournir des espaces verts, etc. Cependant, la mise en place de ces concepts peut également poser des défis, notamment en termes de coûts, de protection de la vie privée et de la sécurité des données. Il est donc important de veiller à ce que les technologies soient utilisées de manière responsable pour garantir le bien-être et la qualité de vie des citoyens. Enfin, les Smart Cities, les quartiers résidentiels et les bâtiments intelligents offrent une occasion unique de bâtir des villes plus durables, plus équitables et plus connectées pour les générations futures.

# **Chapitre II :**

## **Le formalisme DEVS**

## Chapitre II: Le formalisme DEVS

### II.1 Introduction

On ne résout pas un problème directement sur un système réel, mais toujours au travers d'un modèle que nous construisons de ce système. « Un modèle **M**d'un système **S** pour une expérimentation **E** est toute chose à laquelle on peut appliquer **E** pour répondre à des questions concernant **S** » [Minsky, 1956]. En agissant sur les modèles à partir de jeux de données et d'une base de temps, on définit une simulation.

Citons trois paradigmes<sup>1</sup> de modélisation : Systèmes Dynamiques (basés sur des équations différentielles), Automates Cellulaires et Systèmes Multi-Agents. Chacun de ces paradigmes s'appuie sur des soubassements mathématiques, tels que la dynamique des systèmes et l'analyse numérique pour la discrétisation des équations différentielles.

Ils existent des techniques informatiques qui permettent de gérer le temps dans le système et qui décomposent le système global en sous-systèmes pour faciliter la modélisation, comme DEVS (Discrete Event system Specification), qui est un formalisme de spécification des systèmes à événements discrets. C'est un outil d'expression des différents paradigmes de modélisation. Il nous permet d'utiliser pour chaque entité du système (sous-système) une technique différente. Les points de vue d'un même système ont aussi donné naissance à une multitude d'outils.

### II.2 Les systèmes complexes

L'être humain n'a de cesse de vouloir analyser et comprendre les phénomènes qui l'entourent. Lorsqu'il entreprend cette tâche, il tend naturellement vers la définition des acteurs, des données et de leurs interactions possibles au sein du phénomène évoluant dans un environnement donné. On dit qu'il définit **un système**.

Il existe plusieurs manières de qualifier un système [Capocchi, 2014]:

- qu'il réagisse ou non avec son environnement (*système ouvert/système fermé*) ;
- qu'il soit facilement compréhensible et prévisible (*système simple*) ;
- qu'il soit dirigé par un nombre fini de règles précises, simples mais imprévisibles (*système complexe*) ;
- qu'il soit incapable d'être régi par des règles compliquées tout en respectant des lois simples (*système chaotique*).

Les phénomènes naturels sont souvent représentés par des **systèmes complexes**. Par exemple, un banc de poissons évoluant dans la mer présente toutes les caractéristiques d'un système complexe. C'est un système qui réagit avec son environnement et notamment avec les autres espèces prédatrices susceptibles de les attaquer. Il est très difficile de prédire le mouvement du banc de poissons lors d'une attaque et il est également très compliqué de connaître l'évolution de sa population au cours du temps.

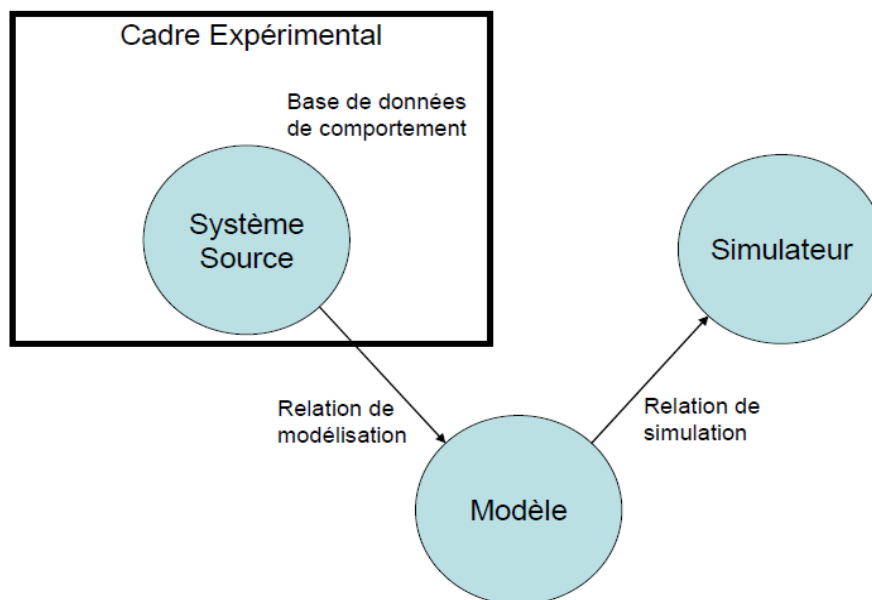
<sup>1</sup>Un paradigme est un ensemble de concepts, de lois et de moyens visant à définir une collection de modèles.

Cependant, comme tout système complexe, il est régi par un ensemble de règles finies comme celles que l'on pourrait définir pour une espèce particulière de poisson.

### II.3 La modélisation et la simulation des systèmes complexes

Lorsqu'on veut représenter un système complexe, on doit définir **un modèle**. Le modèle permet de formaliser le comportement d'un système en spécifiant un ensemble de règles le plus souvent à l'aide des mathématiques.

**La modélisation d'un système** conduit à le rendre manipulable par l'être humain car il possède alors un modèle qu'il pourra expérimenter à l'infini. L'avantage de posséder un modèle est qu'il peut être simulé. Ces simulations permettent de mettre en condition d'expérimentation le système afin d'observer son comportement. Lorsque la simulation d'un modèle reproduit parfaitement le comportement du système qu'il représente, on dit que ce modèle est valide.



**Figure II-1.**Structure M&S [Zeigler, 1976]

Le professeur Zeigler a proposé, dans [Zeigler, 1976] une architecture conceptuelle pour la modélisation et la simulation (M&S), des systèmes. Cette architecture présente trois principales entités (voir Figure III-1).

#### 1. Le système source

C'est le phénomène observé dans un environnement donné. L'environnement donne les spécifications des conditions dans lesquelles évolue le système et permet son expérimentation et sa validation.

Les données qui sont recueillies de l'observation ou en expérimentant le système sont appelées *base de données de comportement de système*. Un *cadre expérimental* est une spécification des conditions dans lesquelles le système est observé ou dans lesquelles on l'expérimente. Un cadre expérimental est la formulation opérationnelle des conditions dans lesquelles se déroule un projet de modélisation et de simulation.

## 2. Le modèle

C'est la représentation du système basée généralement sur la définition d'ensemble d'instructions, de règles, d'équations, de contraintes, permettant de générer un comportement après simulation.

Le modèle définit un comportement et une structure pour un système évoluant dans un environnement donné.

## 3. Le simulateur

C'est une entité qui est responsable de l'interprétation du modèle (exécuter ces instructions) pour générer son comportement.

Ces entités sont reliées par deux relations :

- **la relation de modélisation** : elle est composée des règles de construction et de validation du modèle ;
- **la relation de simulation** : elle est composée de règles d'exécution du modèle qui permettent au simulateur de générer correctement le comportement attendu du système.

La séparation explicite entre les entités permet de bénéficier de plusieurs avantages comme simuler un modèle avec différents types de simulateurs ou différents types d'environnements.

Le modèle représente un point de vue de l'entité modélisée. Ce point de vue est fonction du modélisateur, cependant, la théorie des systèmes distingue classiquement deux points de vue : comportemental et structurel [Zacharewicz, 2006].

### II.3.1 Modèle comportemental

Ce modèle est caractérisé par les variables, le temps et les fonctions qui expriment des relations entre les variables et le temps.

L'état du modèle est défini par un sous ensemble nécessaire des variables pour connaître le prochain état. Ce sous ensemble est nommé ensemble des variables d'état. Une variable d'états est une variable descriptive nécessaire à un instant  $t$  pour calculer la valeur future d'au moins une des variables descriptives du modèle [Giambiasi, 2001].

Le comportement du modèle est défini par des fonctions qui expriment le moyen de passer d'état en état. Le modèle comportemental contient donc les règles pour faire évoluer le modèle d'un état à un autre état, en d'autres termes sa dynamique.

### II.3.2 Modèle structurel

Ce modèle définit la structure du modèle, en d'autres termes, quels sont les sous-modèles interconnectés qui définissent le comportement global du modèle.

Un concept important est la décomposition, il définit comment le système peut être décomposé en sous-composants systèmes. Un autre concept est la composition qui précise comment des modèles peuvent être couplés pour former des modèles plus grands et plus complexes. Ces concepts reposent sur la propriété nommée « fermeture sous la composition » [Zeigler, 1999] issue de la théorie des systèmes, cette théorie repose sur la preuve mathématique de l'équivalence d'un modèle comportemental et structurel.



Les deux types de modèles peuvent être exprimés dans les mêmes termes de la théorie des systèmes. Il est ainsi possible d'obtenir un modèle ayant une construction hiérarchique composé de sous-modèles modulaires qui possèdent des portes d'entrée et de sortie interconnectées et qui communiquent afin de reproduire un comportement global.

En général, la modélisation d'un système nécessite l'utilisation d'un **formalisme de description**. Le choix du formalisme est conditionné par la représentation de l'espace, du temps et des états d'un système.

### II.3.3 Les classes de modèles (formalismes)

Les modèles peuvent être exprimés dans une variété de formalismes qui peuvent être compris comme des moyens pour spécifier les sous-classes de systèmes dynamiques. Ces formalismes sont choisis en fonction de l'objectif de l'étude à réaliser. Les modèles formels, reposant sur des concepts et propriétés mathématiques, possèdent deux dimensions: l'espace et le temps [Oren, 1987].

#### II.3.3.1 Classification temporelle

La représentation du temps peut être continue ou discrète :

- *Modèle à temps continu* : la variable qui représente le temps prend des valeurs réelles.
- *Modèle à temps discret* : le temps progresse par pas temporel, les valeurs prises de la variable temps sont des multiples du pas.

#### II.3.3.2 Classification spatiale

La deuxième dimension de classification des modèles est l'espace dont les variables descriptives peuvent prendre des valeurs dans un ensemble fini ou infini.

- *Modèle à variables continues* : les variables descriptives prennent des valeurs réelles.
- *Modèle à variables discrètes* : l'ensemble des valeurs des variables est fini.

#### II.3.3.3 Formalismes de spécification

Les différents formalismes pour représenter un système résultent de la combinaison des classifications de l'espace et du temps présentées. La Figure III-2, proposée dans [Giambiasi, 2001], présente ces formalismes.

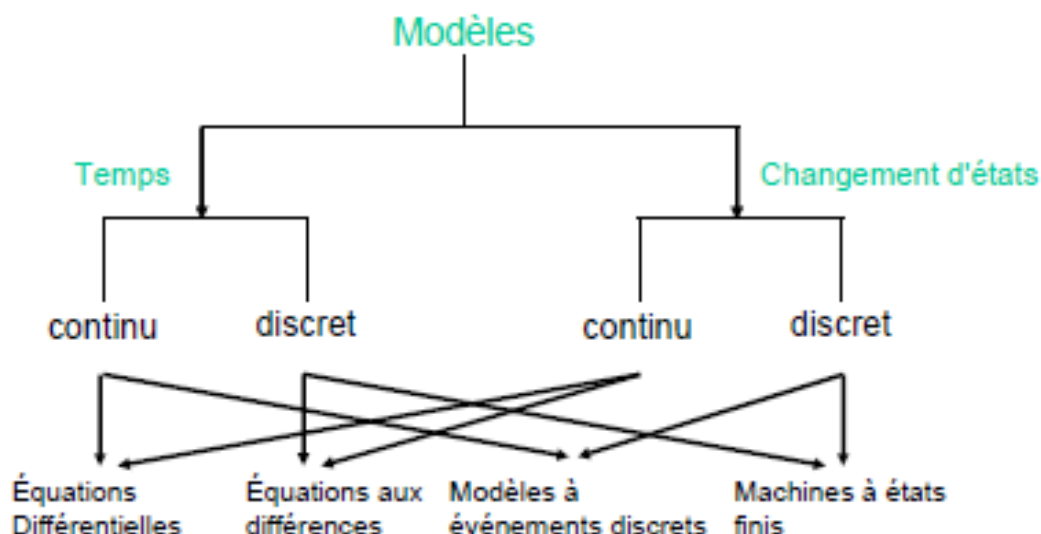


Figure II-2. Différents types de modèles [Giambiasi, 2001]

1. **Formalisme à équations différentielles** : Association d'une base de temps et de variables également continues, les équations définissent les changements d'états.
2. **Formalisme à temps discret** : Les variables sont ici continues, l'évolution est définie par pas temporels discrets. Ce formalisme est également nommé équation aux différences.
3. **Formalisme à événements discrets** : Association d'une base de temps continue et de changements d'états discrets. Les changements de valeurs des variables, appelés « **événements** », se produisent à des instants nommés « **date d'occurrence** » d'événements, ces dates sont des nombres réels non négatifs. L'évolution de l'état du modèle survient suite au traitement d'un événement à un instant quelconque.
4. **Formalisme à états discrets et temps discret** : Association d'une base de temps discrète et de variables d'état discrètes, également nommé machine à états finis synchrones.

Il faut savoir que la simulation sur ordinateur implique la discrétisation du temps, de l'espace ou des deux. Certains formalismes présentés ci-dessus possèdent déjà une composante discrète, dans le cas contraire, il faudra réaliser la discrétisation du temps ou de l'espace. Pour les modèles décrits par des équations différentielles, le temps est discrétisé dans les techniques d'intégrations numériques.

## II.4 Le formalisme DEVS

Le formalisme DEVS<sup>2</sup>, [Zeigler, 1976], a été introduit à la fin des années 70 par le Professeur B.P Zeigler qui avait pour objectif de donner un socle mathématique solide à la modélisation et la simulation (M&S) des systèmes à événement discrets.

Un système à événements discrets est un système pouvant être décrit à partir d'un ensemble d'états et de règles de transition entre ces états. Le formalisme DEVS permet la représentation d'un système comme un modèle ou un ensemble de modèles possédant des états et des transitions. De plus, il donne la possibilité de définir de manière distincte la structure d'un système.

### II.4.1 La modélisation DEVS

L'engouement pour la programmation orientée objets au début des années 80 a conduit le Professeur Zeigler à utiliser une approche « objet » pour définir son formalisme.

Il définit notamment deux types de modèles : les **modèles atomiques** pour l'aspect comportemental des systèmes et les **modèles couplés** pour l'aspect structurel.

Par définition, un modèle couplé peut contenir plusieurs modèles atomiques ou plusieurs modèles couplés. Par contre un modèle atomique est indissociable et tout modèle couplé peut être représenté par un modèle atomique unique.

Le modèle atomique est la pièce élémentaire de la modélisation DEVS et il est défini par un ensemble d'états et de fonctions de transition entre les états de l'automate [Capocchi, 2014].

---

<sup>2</sup>Discrete Event system Specification

### II.4.1.1 Le modèle atomique

Le formalisme de base DEVS dit “classique” considère un modèle atomique comme un concept mathématique basé sur le temps, un ensemble de valeur caractérisant tous les stimuli possibles en entrée et en sortie du système (voir Figure III-3) ainsi que deux fonctions permettant de déterminer la réponse comportementale à ces stimuli [Capocchi 2005].



Figure II-3.Représentation graphique d'un modèle DEVS atomique

#### a. Spécifications DEVS atomique

Dans le formalisme DEVS classique avec port, un modèle atomique MA est spécifié par la définition de sept entités :

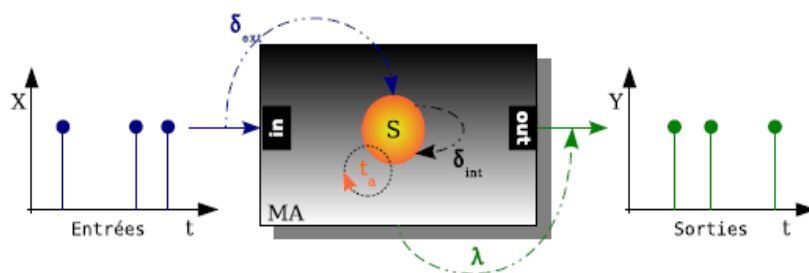
$$MA = \langle X, Y, S, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle \text{ Avec :}$$

1. **l'ensemble des entrées** :  $X = \{(p,v) | p \in P_e, v \in V_x\}$  où  $P_e$  et  $V_x$  sont deux ensembles finis représentant l'ensemble des ports d'entrées et des valeurs portées par les événements reçus en entrée ;
2. **l'ensemble des sorties** :  $Y = \{(p,v) | p \in P_s, v \in V_y\}$  où  $P_s$  et  $V_y$  sont deux ensembles finis représentant l'ensemble des ports de sorties et des valeurs portées par les événements générées en sortie ;
3. **l'ensemble des états** :  $S = \{s_i | i \in \mathbb{R}^+\}$  ;
4. **la fonction de transition interne** :  $\delta_{int} (S) \rightarrow S$  ;
5. **la fonction de transition externe** :  $\delta_{ext} (Q \times X) \rightarrow S$  ;
6. **la fonction de sortie** :  $\lambda (S) \rightarrow Y$  ;
7. **la fonction d'avancement du temps** :  $ta (S) \rightarrow \mathbb{R}^+$  (réels positifs de 0 à  $\infty$ ).

Les modèles réagissent à deux types d'événements : les événements externes et les événements internes. Les événements externes proviennent d'un autre modèle, déclenchent la fonction de transition externe et mettent à jour le temps de vie du composant. Les événements internes correspondent à des changements d'états du modèle, déclenchent les fonctions de transitions internes et de sorties, le modèle calcule ensuite grâce à la fonction  $ta$  la date du prochain événement interne.

#### b. Description comportementale

L'interprétation des ces éléments est illustré sur la Figure III-4. A chaque instant le système (modèle atomique) est dans un état  $s$ .



**Figure II-4.** Modèle atomique en action

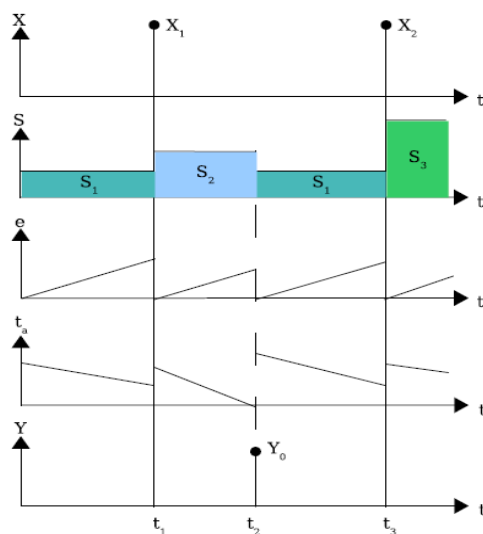
Si aucun événement externe n'intervient, le système restera dans cet état pendant un temps donné par la fonction  $ta(s)$ . Lorsque le temps de vie du modèle est expiré, c'est-à-dire lorsqu'il s'est écoulé  $e = ta(s)$ , le système active sa fonction de sortie  $\lambda(s)$  et change d'état grâce à l'exécution de la fonction de transition interne  $\delta_{int}(s)$ . Si un événement externe  $x \in X$  intervient avant que le temps ne soit expiré, i.e. quand le système est dans l'état total  $(s,e)$  avec  $e \leq ta(s)$ , le système change d'état grâce à l'exécution de la fonction de transition externe  $\delta_{ext}(s,e,x)$ . Dans les deux cas, le système est alors dans un nouvel état  $s'$  avec un nouveau temps restant  $ta(s')$  et ainsi de suite.

Le temps de vie du composant peut être égal à 0 ou à  $\infty$ . Dans le premier cas, la durée de l'état  $s$  est tellement courte qu'aucun événement externe ne peut intervenir avant l'arrivée du prochain changement d'état. Nous disons de  $s$  qu'il est dans un état transitoire. Dans le second cas, le système restera dans l'état  $s$  indéfiniment si aucun événement externe ne vient l'interrompre. Nous disons de  $s$  dans ce cas qu'il est dans un état passif.

### c. Trajectoire d'états

La trajectoire d'états permet de tracer les changements d'état en fonction des événements d'entrées.

Cependant, le comportement de DEVS est bien défini et peut être représenté comme sur la Figure III-5. Ici la trajectoire d'entrée  $X$  représente une série d'événements occurrents au temps  $t1$  et  $t3$ . Entre ces événements temporels peuvent intervenir des temps comme  $t2$  correspondant à des événements internes.



**Figure II-5.** Trajectoires d'un modèle atomique

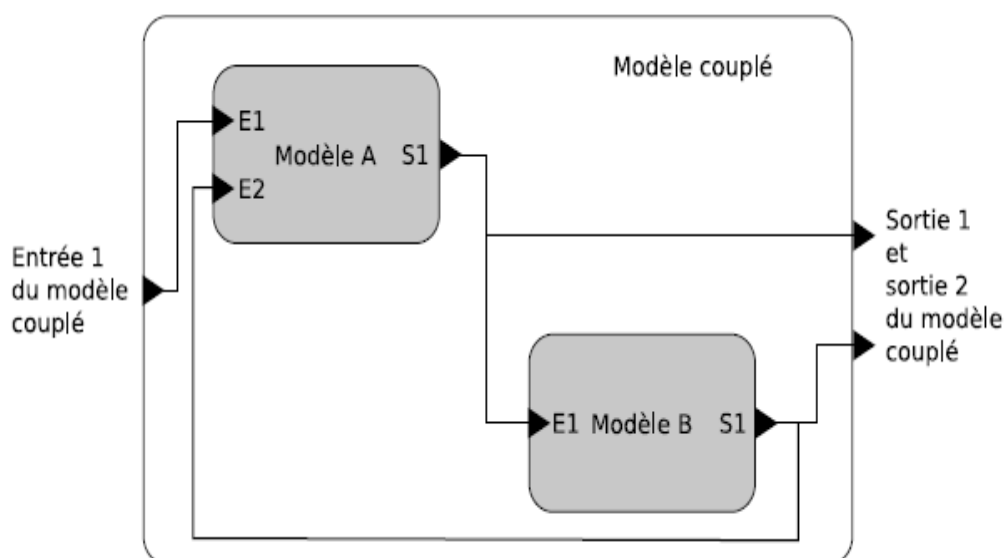
La courbe de la trajectoire d'état  $s$  montre le changement d'état lors de la venue d'événements internes et externes. La trajectoire du temps écoulé  $e$  est en dent de scie et montre l'écoulement du temps par un compteur qui est remis à zéro à chaque changement d'événement. Finalement, la trajectoire de sortie  $Y$  montre les événements de sortie qui sont produits par l'exécution de la fonction de sortie après avoir appliqué la fonction de transition interne.

Notons que dans DEVS classique avec ports, un port  $p$  reçoit une seule valeur  $v$  d'un événement externe. Avec le formalisme DEVS parallèle [Chow, 2003], un modèle DEVS peut recevoir sur un port d'entrée donné plusieurs valeurs simultanées. La gestion des événements simultanés est prise en compte au sein d'une fonction de conflit  $\delta_{con}$  dictant un ordre de priorité entre ces événements.

#### II.4.1.2 Le modèle couplé

Le formalisme DEVS utilise la notion de hiérarchie de description qui permet la construction de modèles dits « couplés » à partir d'un ensemble de sous-modèles et de trois relations de couplage avec ces sous-modèles [Capocchi, 2005].

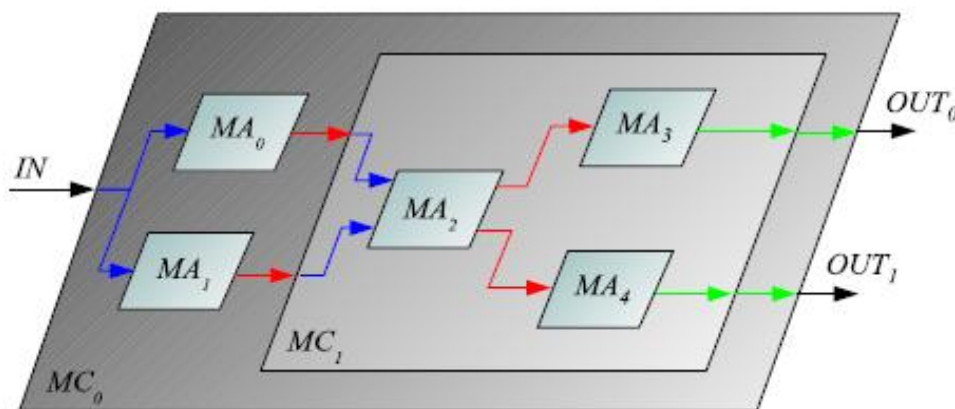
Un exemple graphique de modèle couplé est donné au niveau de la Figure III-6. On peut y remarquer la construction d'un modèle couplé à partir de deux modèles A et B qui peuvent être également des modèles atomiques ou couplés. L'essentiel de la définition consiste à diriger les événements entrants, sortants et internes aux bons endroits.



**Figure II-6.** Exemple de modèle couplé

Un modèle couplé possède les trois relations de couplage suivantes:

1. **une relation de couplage interne** pour le couplage entre les ports des sous-modèles qui composent le modèle couplé (en rouge sur la Figure III-7),
2. **une relation de couplage des entrées externes** pour le couplage entre les ports d'entrées du modèle couplé et les ports d'entrées des sous-modèles (en bleu sur la Figure III-7),
3. **une relation de couplage des sorties externes** pour le couplage entre les ports de sorties du modèle couplé et les ports de sorties des sous-modèles (en vert sur la Figure III-7).



**Figure II-7.** Hiérarchie de modélisation DEVS

La Figure III-7 montre un exemple de hiérarchie entre les sous-modèles d'un système. Le modèle couplé  $MC_0$  modélise au plus haut niveau le système étudié. Il possède deux ports de sortie  $OUT_0$  et  $OUT_1$ , un port d'entrée  $IN$  et il contient les deux modèles atomiques  $MA_0$  et  $MA_1$  ainsi qu'un modèle couplé supplémentaire  $MC_1$ . Les modèles atomiques  $MA_0$  et  $MA_1$  sont reliés par une relation de couplage d'entrées externe au modèle couplé  $MC_0$  (en bleu sur la Figure III-7), et par une relation de couplage interne au modèle couplé  $MC_1$  (en rouge sur la Figure III-7).

#### a. Spécification DEVS couplé

Dans le cas du formalisme DEVS classique avec port les spécifications d'un modèle couplé sont les suivantes :

$$MC = \langle X, Y, D, \{M_d | d \in D\}, EOC, IC, EIC \rangle \text{ Avec :}$$

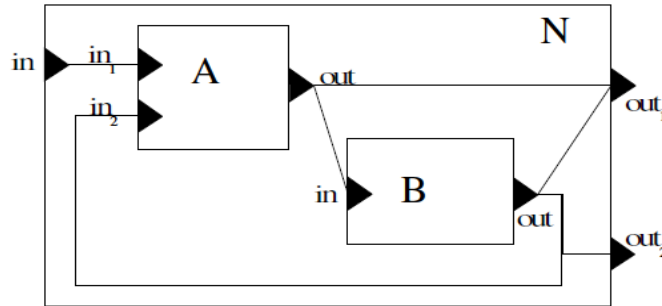
1. **l'ensemble des entrées** :  $X = \{(p, v) | p \in P_e, v \in V_x\}$  où  $P_e$  et  $V_x$  sont deux ensembles finis représentant l'ensemble des ports d'entrées et des valeurs portées par les événements reçus en entrée ;
2. **l'ensemble des sorties** :  $Y = \{(p, v) | p \in P_s, v \in V_y\}$  où  $P_s$  et  $V_y$  sont deux ensembles finis représentant l'ensemble des ports de sorties et des valeurs portées par les événements générées en sortie ;
3. **l'ensemble des modèles atomiques ou couplés** :  $D = \{m_i | i \in \mathbb{R}^+\}$  ;
4. **modèle DEVS** :  $M_d = \langle X_d, Y_d, S_d, \delta_{ext,d}, \delta_{int,d}, \lambda_d, ta_d \rangle$  est un modèle atomique avec  $d \in D$ ,
5. **l'ensemble des couplages de sortie externes** :  
 $EOC = \{((d; b); (MC; a)) | a \in OPorts_{MC}; b \in OPorts_d; d \in D\}$  avec  $OPorts_{MC}$  l'ensemble des ports de sortie du modèle couplé et  $OPorts_d$  l'ensemble des ports de sortie du modèle  $M_d$  ;
6. **l'ensemble des couplages internes** :  
 $IC = \{((i; a); (j; b)) | i, j \in D; i \neq j; a \in OPorts_i; b \in IPorts_j\}$  ;
7. **l'ensemble des couplages d'entrées externes** :  
 $EIC = \{(MC; a); (d; b) | a \in IPorts_{MC}; b \in IPorts_d; d \in D\}$  avec  $IPorts_{MC}$  l'ensemble des ports d'entrée du modèle couplé et  $IPorts_d$  l'ensemble des ports d'entrée du modèle  $M_d$  .

Un modèle couplé comprend les informations suivantes :

- l'ensemble des modèles qui le composent,

- l'ensemble des ports d'entrée qui recevront les événements externes,
- l'ensemble des ports de sortie qui émettront les événements,
- les couplages entre ports d'entrée et ports de sortie des modèles composant le modèle couplé.

**b. Un exemple de formulation DEVS couplé**



**Figure II-8.** Représentation graphique d'un modèle DEVS couplé

Nous allons maintenant représenter le modèle DEVS couplé qui est illustré dans la Figure III-8. Le nom des modèles est en lettres capitales. Le nom des ports est en minuscules. Soit N un modèle DEVS formalisé à l'aide de la structure suivante :

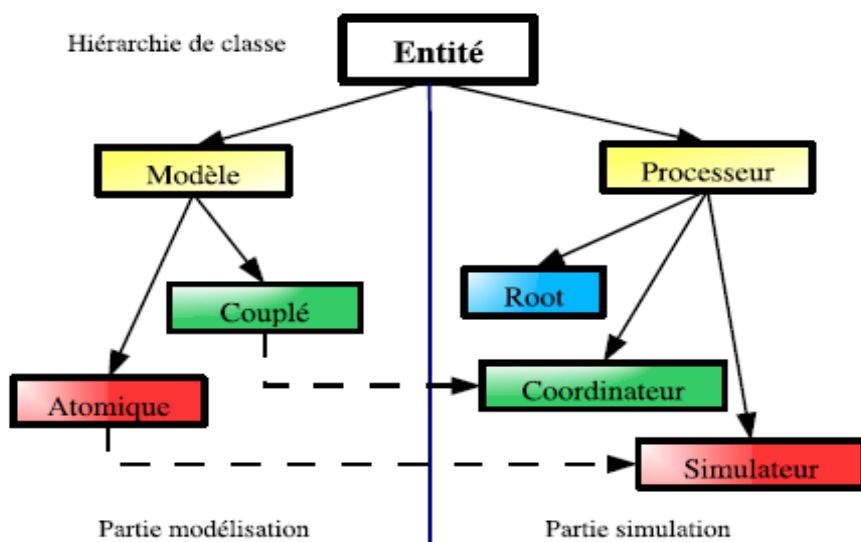
$$N = \langle X; Y; D; \{M_A; M_B\}; EIC; EOC; IC \rangle \quad \text{où}$$

1.  $X = \{(p; v) | p \in IPorts_N; v \in V\}$  l'ensemble des couples port-valeur (événements) d'entrée.
2.  $Y = \{(p; v) | p \in OPorts_N; v \in V\}$  l'ensemble des couples port-valeur (événements) de sortie avec :
  - $IPorts = \{in\}$  le nom du port d'entrée
  - $OPorts = \{out1; out2\}$  les noms des ports de sortie
3.  $D = \{A; B\}$  les noms des modèles composants
4. Les modèles composants :
  - $M_A$  est un modèle DEVS atomique
  - $M_B$  est un modèle DEVS atomique
5.  $EIC = \{(N; in); (A; in1)\}$  l'ensemble des connexions (couplages) en entrée du modèle couplé
6.  $EOC = \{(B; out); (N; out1)\}; \{(B; out); (N; out2)\}; \{(A; out); (N; out1)\}$  l'ensemble des connexions (couplages) en sortie du modèle couplé.
7.  $IC = \{(A; out); (B; in)\}; \{(B; out); (A; in2)\}$  l'ensemble des connexions (couplages) internes.

La cohérence et la conservation des comportements du système entre ses niveaux hiérarchiques est résumée par une propriété dite « closed under coupling » [Zeigler, 1990]. Cette propriété assure qu'un modèle couplé, représenté par le couplage d'un ensemble de sous-modèles plus détaillés, est équivalent à un modèle atomique.

**II.4.2 La simulation DEVS**

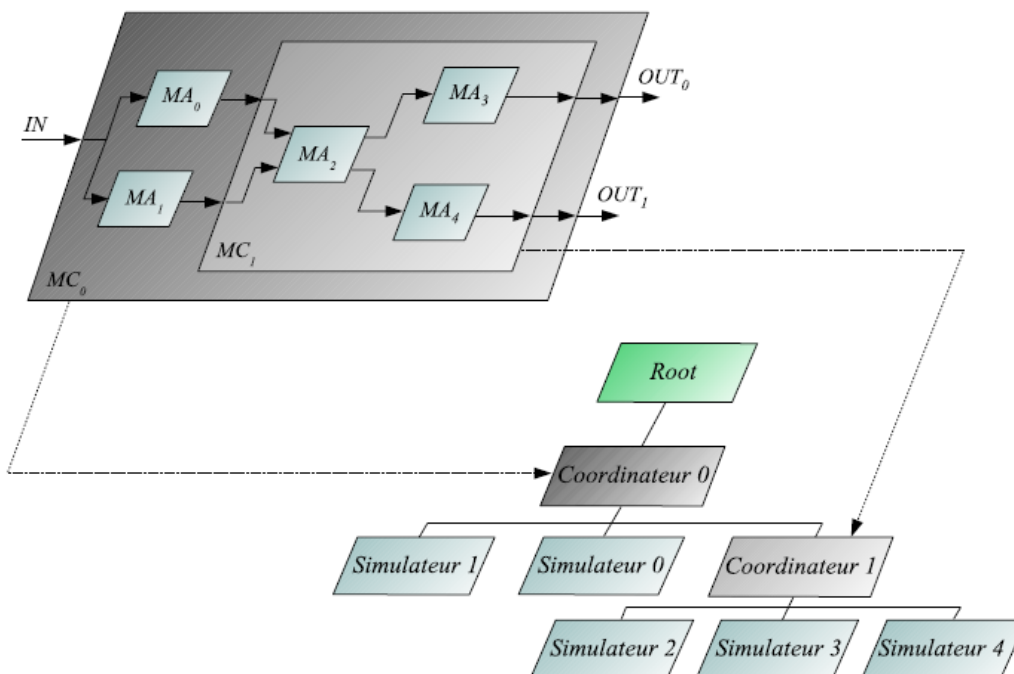
L'une des propriétés importantes du formalisme DEVS est qu'il fournit automatiquement un simulateur pour chacun des modèles. DEVS établit une distinction entre la modélisation et la simulation d'un système (voir Figure III-9) tel que n'importe quel modèle DEVS puisse être simulé sans qu'il ne soit nécessaire d'implémenter un simulateur spécifique [Capocchi, 2005].



**Figure II-9.** Hiérarchie de Classe d'un environnement DEVS [Vangheluwe, 2001]

Chaque modèle atomique est associé à un simulateur chargé de gérer le comportement du composant et chaque modèle couplé est associé à un coordinateur chargé de la synchronisation temporelle des composants sous-jacents. L'ensemble de ces modèles est géré par un coordinateur spécifique appelé « Root ».

La Figure III-10 montre la structure d'un simulateur associé à un modèle DEVS quelconque. La hiérarchie du simulateur DEVS est construite sur une arborescence constituée de simulateurs et de coordinateurs.



**Figure II-10.** Arbre hiérarchique de simulation DEVS

Les deux coordinateurs « Coordinateur 0 » et « Coordinateur 1 » sont associés aux modèles couplés  $MC_0$  et  $MC_1$ . Le « Coordinateur 0 » est chargé de gérer le « Coordinateur 1 » ainsi que les simulateurs « simulateur 0 » et « Simulateur 1 » sont associés aux deux modèles atomiques  $MA_0$  et



MA<sub>1</sub>. De la même manière, comme le modèle couplé MC<sub>1</sub> encapsule les trois modèles atomiques MA<sub>2</sub>, MA<sub>3</sub> et MA<sub>4</sub>, le coordinateur « Coordinateur 1 » associé, gère les trois simulateurs « Simulateur 2 », « Simulateur 3 » et « Simulateur 4 ».

L'ordre d'exécution des fonctions comportementales ( $\delta_{int}$ ,  $\delta_{ext}$ ,  $\lambda$ ,  $ta$ ) d'un modèle atomique DEVS sous-entend la présence d'un mécanisme de simulation. Ce mécanisme est géré par le composant simulateur qui, comme le coordinateur, peut recevoir ou émettre quatre types de messages :

1. **Le message d'initialisation ( $i,t$ )** permet à tous les acteurs d'effectuer une synchronisation temporelle initiale.
2. **Le message de transition interne ( $*,t$ )** permet la gestion d'un événement interne avec l'exécution de la fonction  $\delta_{int}$ .
3. **Le message de sortie ( $y,t$ )** permet le transport des sorties (données par l) aux éléments parents et résulte de la réception d'un message ( $*,t$ ).
4. **Le message de transition externe ( $x,t$ )** permet la gestion d'un événement externe avec l'exécution de la fonction  $\delta_{ext}$ .

## II.5 Description d'un modèle DEVS atomique et d'un modèle DEVS couplé

Sur la Figure II.12, M1 est un modèle DEVS atomique. Sur ce modèle, les deux types de transitions existantes entre états, externe et interne, sont présentés. S1 est l'état initial.

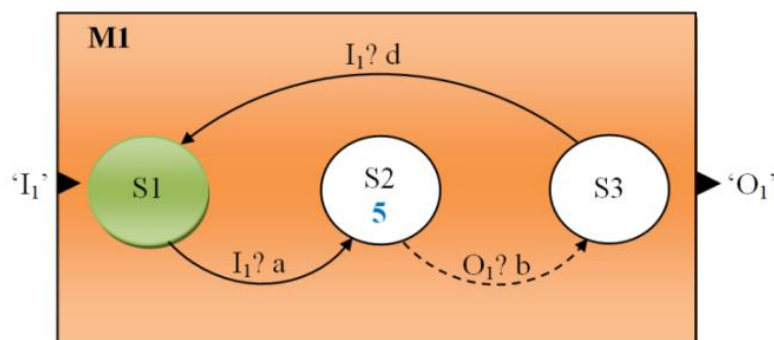


Figure II.12 Un modèle DEVS atomique

Nous formalisons ce modèle atomique de la manière suivante :

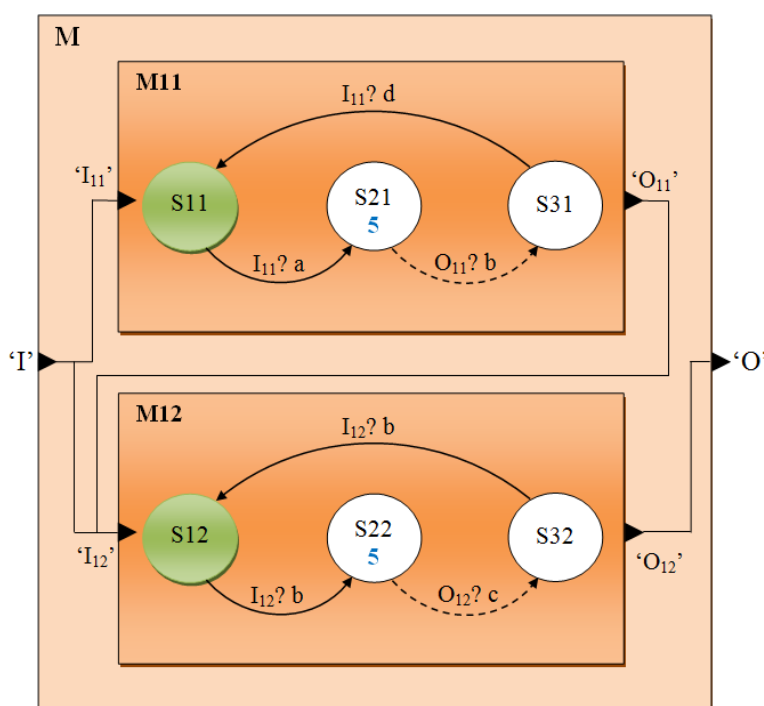
$$M_1 = \langle X, S, Y, \square_{int}, \square_{ext}, \square, ta \rangle \quad \text{où}$$

1.  $X = \{a, d\}$ ,
2.  $S = \{S1, S2, S3\}$ ,
3.  $Y = \{b\}$ ,
4.  $\square_{int} : S2 \rightarrow S3$ ,
5.  $\square_{ext} : (S1, e, a) \rightarrow S2$  et  $(S3, e, d) \rightarrow S1$ ,
6.  $\square : S2 \rightarrow S3$ ,
7.  $ta : S2 \rightarrow 5$ .

La dynamique du modèle peut être décrite de la manière suivante : *Le modèle est dans sa phase initiale S1. Lorsque le modèle reçoit l'événement "a" sur son port "I1", il passe dans la phase "S2". Au bout de 5 unités de temps, le modèle évolue dans la phase "S3", en émettant l'événement "b".*

Sur la Figure II.13, M est un modèle DEVS couplé. Nous formalisons ce modèle couplé de la manière suivante :  $M = \langle X, Y, D, \{Md | d \in D\}, EIC, EOC, IC \rangle$  où

1.  $X = \{(I, a), (I, b), (I, d)\}$ ,
2.  $Y = \{(O, c)\}$ ,
3.  $D = \{M11, M12\}$ ,
4. Les modèles composants : *M11 et M12* sont deux modèles DEVS atomiques,
5.  $EIC = \{((M, I), (M11, I_{11})), ((M, I), (M12, I_{12}))\}$ ,
6.  $EOC = \{((M12, O_{12}), (M, O))\}$ ,
7.  $IC = \{((M11, O_{11}), (M12, O_{12}))\}$ ,



**Figure II.13 Un modèle DEVS couplé**

Les deux modèles M11 et M12 sont semblables au modèle atomique décrit ci-dessus. M11 et M12 sont initialement dans leur phase respective S11 et S12. Lorsque le modèle couplé M reçoit un événement sur son port "I", il l'envoie à M11 et à M12, sur les ports respectifs I<sub>11</sub> et I<sub>12</sub>. Si l'événement reçu par "I" est "a", M11 évolue dans la phase S21, et M12 ne change pas de phase. Au bout de 5 unités de temps, M11 émet l'événement "b" par son port de sortie O<sub>11</sub> et le transmet à M12 sur le port I<sub>12</sub>. Si M12 est dans sa phase initiale S12, il évolue dans S22, et émet l'événement "c" par son port de sortie "O<sub>12</sub>", sur le port de sortie "O" du modèle M. Si l'événement reçu par "I" est "b", M12 évolue dans la phase S22, et M11 ne change pas de phase. Au bout de 5 unités de temps, M12 émet l'événement "c" par son port de sortie O<sub>12</sub> et le transmet à M sur le port O.

### II.5.1 Avantages de l'utilisation de DEVS

DEVS permet la spécification de modèles à événements discrets. Ses principales caractéristiques sont les suivantes [Buboz, 2004] :

- DEVS est un formalisme abstrait indépendant de l'implémentation et par conséquent des environnements de simulation ;
- Il offre une vision modulaire et hiérarchique des systèmes dynamiques ;
- La fonction de transition interne, formalise et présente le comportement autonome du modèle. Les modèles peuvent ainsi évoluer et émettre des événements lorsque aucun événement externe n'est programmé pendant une certaine durée (qui correspond à la durée de vie de l'état dans lequel se trouve le modèle);
- DEVS est fermé sous composition. Cela signifie que toute composition obtenue par couplage de composants spécifiés par le formalisme est elle-même spécifiée par le formalisme. La construction hiérarchique des modèles par l'application récursive des procédures de couplage est alors facilitée [Zeigler, 1984] ;
- L'interprétation, dans le monde réel, des concepts d'abstraction et de modélisation est explicite ;
- Il garantit la cohérence de la représentation construite, et par conséquent il offre un modèle implémentable pour simuler des modèles élaborés.

Ces avantages nous ont fortement influencés dans le choix du formalisme. En effet, les modèles doivent être facilement interprétables, guidés par les événements et simples. La simplicité est permise grâce à la construction hiérarchique et modulaire possible.

Dans le contexte de la gestion d'énergie dans l'habitat, les raisons essentielles pour lesquelles nous utilisons le formalisme DEVS sont:

- Il permet la modélisation d'un système sur *plusieurs niveaux* de description.
- Il permet la *distinction* entre la modélisation et la simulation d'un système.
- Il permet la simulation des systèmes *automatiquement* à partir de ces modèles.
- Il permet aussi de simuler des modèles *continus*.
- Il rend *facile* la modification du comportement des modèles.

## II.6 Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les notions théoriques de la modélisation et de la simulation de système, et en particulier nous avons détaillé le formalisme développé par B.P Zeigler. Ce formalisme présente plusieurs avantages en ce qui concerne les objectifs que nous nous sommes fixés, à savoir la modélisation de systèmes naturels complexes à paramètres imparfaits.

En effet, le formalisme DEVS peut être défini comme une méthodologie universelle et générale qui fournit des outils pour modéliser et simuler des systèmes dont le comportement repose sur la notion d'évènements. Ce formalisme est basé sur la théorie générale des systèmes, la notion de modèle, et permet la spécification des systèmes complexes à évènements discrets sous forme modulaire et hiérarchique. Nous pouvons aussi définir le formalisme DEVS comme un outil de multi-modélisation regroupant plusieurs formalismes de modélisation de manière cohérente, de fait,

lorsqu'il est replacé dans le contexte spécifique d'un domaine d'application, si aucune approche de modélisation ne permet de traiter le domaine, il doit être adapté et étendu. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter la modélisation et la simulation de notre système de gestion d'énergie dans le bâtiment à l'aide du formalisme DEVS.

## **II.6 Conclusion**

Ce chapitre a permis de définir les concepts généraux de la modélisation et de la simulation. Parmi la multitude d'approches et de systèmes pouvant être modélisés nous nous sommes intéressés en particulier aux systèmes à événements discrets qui sont de nos jours très largement utilisés. Pour cela, nous avons référencé les principales méthodes et approches associées (automates à états finis, réseaux de Pétri, systèmes multi-agents, DEVS) afin d'en choisir une.

En adéquation avec les finalités recherchées, à savoir l'optimisation par la simulation, nous avons choisi de baser nos travaux sur un formalisme de haut niveau, robuste et extensible : le formalisme DEVS. Nous avons alors effectué une analyse critique des rares travaux d'optimisation via simulation impliquant celui-ci. Ces différentes approches, qu'elles soient génériques ou spécifiques ont permis l'ouverture d'une voie de recherche plus que prometteuse.

Cependant de nombreuses pistes restent à explorer tant au niveau du dynamisme, de la généralité que des performances. Les problématiques qui en découlent ont servi de socle à notre architecture de modèle.

Celle-ci devra permettre : le dynamisme de l'optimisation, l'arrêt anticipé de certaines simulations, une adaptation « sur mesure » automatique au problème étudié, la réutilisation de l'ensemble des composants et ce de manière efficace et intelligente. Les concepts développés ainsi que leur formalisation DEVS sont présentés dans le chapitre suivant.

**Chapitre III.** Une conception basée sur la localisation de l'utilisateur pour optimiser la consommation d'énergie dans un quartier résidentiel.

# Chapitre III. Une conception basée sur la localisation de l'utilisateur pour optimiser la consommation d'énergie dans un quartier résidentiel.

## III.1 Introduction

Les bâtiments sont les unités les plus consommatrices d'énergie dans les villes, et si nous ne pouvons pas contrôler leur consommation, nous gaspillerons une quantité inimaginable d'énergie à l'échelle mondiale. Les systèmes d'automatisation du bâtiment (BAS) permettent de contrôler et d'améliorer le confort d'un bâtiment à moindre coût. Récemment, l'automatisation des bâtiments est souvent réalisée par des réseaux de capteurs sans fil (WSN)[**Pramsten et Roberthson 2014**]. En intégrant le BAS aux WSN, le besoin de câblage peut être supprimé et les coûts d'installation et d'exploitation considérablement réduits.

L'arrivée de la technologie Internet des objets (IoT) peut prendre une place importante dans l'automatisation des bâtiments en améliorant sa capacité à transformer des milliards de données en informations utiles. La complexité et les données croissantes, en raison du nombre croissant d'appareils tels que les capteurs et les actionneurs dans un environnement de la taille d'une ville intelligente, nécessitent des ressources informatiques puissantes que le cloud computing peut fournir. Dans un monde réel où un délai d'une seconde peut faire une énorme différence, les objets communicants devront échanger d'énormes quantités de données et de manière plus rapide. Bien que le cloud computing ait été réalisé grâce à des services de stockage et de partage que les utilisateurs peuvent stocker et accéder à n'importe quel terminal connecté dans le monde, ce paradigme montre quelques faiblesses par rapport aux deux besoins mentionnés ci-dessus.

Plus récemment, un autre modèle plus compatible avec l'Internet des objets a émergé, à savoir le fog computing, dans lequel les ressources de calcul et d'analyse sont réparties aux endroits les plus efficaces [**Mededjel et Belalem 2017**]. Au lieu de traiter les choses car tout est envoyé aux centres de données, il est stocké et traité localement, ce qui augmente la valeur de la connexion et réduit la latence du réseau. Les architectures de cloud computing ne seront pas en mesure de répondre de manière adéquate aux exigences de réseau de l'Internet des objets ; Pour cette raison, il s'est tourné vers le fog computing.

L'impact de l'Internet des objets (IoT) sur l'évolution vers des environnements intelligents de nouvelle génération tels que les maisons intelligentes, les bâtiments intelligents et les villes dépendra dans une large mesure de l'intégration efficace de l'IoT et de la technologie de calcul du brouillard[**Bellavista et Berrocal, 2019**][**Jalali et Khodadustan 2017**][**Atlam et Walters 2018**]. Les bâtiments sont des systèmes complexes et de nombreux facteurs peuvent influencer la consommation totale d'énergie dans différents bâtiments. Comme indiqué dans [**Maatoug et Belalem 2014**], Building Energy

Management System (BEMS) est l'une des solutions disponibles utilisées pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments. BEMS est un système de contrôle distribué dans les bâtiments qui surveille et gère l'éclairage, l'ascenseur, la climatisation, le chauffage, le drainage et d'autres consommations d'énergie [Lau et Marakkalage 2019]. Les déploiements de BEMS dans les bâtiments nécessitent un grand nombre de capteurs et d'actionneurs sur différents sites, en particulier si le contrôle des équipements consommateurs d'énergie dans les bâtiments provient de leurs réseaux locaux. Le but est de séparer le fonctionnement de l'ensemble du processus de ce contrôle Cloud, et pour cela, il faut s'appuyer sur des serveurs Fog qui doivent être plus proches des points de collecte de données [Zao et Gan 2014].

D'autre part, le développement des systèmes d'information peut être une énorme source d'économies d'énergie, par exemple en permettant la découverte du comportement des utilisateurs ou en leur donnant un plus grand contrôle via des applications mobiles. Dans ce contexte, nous espérons proposer une approche intelligente pour optimiser la gestion de la consommation énergétique du bâtiment en fonction des localisations d'un utilisateur qui peut être à l'intérieur ou à l'extérieur du périmètre du bâtiment. L'objectif est de rationaliser l'utilisation de l'énergie sans affecter le confort souhaité par les utilisateurs.

Nous voulons garder à l'esprit que dès que les utilisateurs quittent leurs bâtiments, le système de gestion de l'énergie de ces bâtiments est immédiatement mis en mode économie, sinon le système maintiendra un confort satisfaisant pour les utilisateurs. Pour cela, nous devons concevoir un système intelligent permettant de contrôler automatiquement le mode de consommation énergétique du bâtiment en fonction de la localisation de l'utilisateur. La conception sera basée sur deux modes de consommation d'énergie, le mode économie et le mode luxe, et l'emplacement de l'utilisateur qui ajuste automatiquement le mode de consommation. Après l'achèvement, nous devons expérimenter l'architecture générale de la conception proposée par la modélisation et la simulation. L'objectif de cette vérification est de modéliser des objets connectés à haut niveau d'abstraction après avoir défini un environnement permettant de simuler des réseaux de capteurs sans fil alimentant des bâtiments intelligents composant une zone résidentielle.

## **III.2 Revue de la littérature**

Aujourd'hui, les bâtiments sont les unités les plus énergivores au monde, et si la technologie n'intervient pas, beaucoup d'énergie sera produite et consommée dans les espaces résidentiels d'une manière qui ne sera pas durable à long terme.

La planification des appareils basée sur les préférences définies par l'utilisateur joue un rôle central dans les systèmes de gestion énergétique des bâtiments intelligents. Dans ce contexte, dans (Manzoor et Judge 2022), les contrôleurs de gestion de l'alimentation sont largement utilisés pour satisfaire les préférences de la demande des utilisateurs dans le cadre de leurs contraintes budgétaires financières. Ce travail propose une technique robuste basée sur la gestion de l'énergie côté demande pour surveiller et contrôler efficacement les charges domestiques. Un algorithme de satisfaction du consommateur

crecive inspiré de la nature (NCSA) est proposé pour le modèle de planification optimal basé sur les préférences de temps et d'appareil. L'algorithme proposé maximise la satisfaction de l'utilisateur au budget utilisateur prédéfini en produisant des modèles de planification d'appareils optimaux. Il prend en compte les données d'entrée des appareils électroménagers telles que le temps d'utilisation, les puissances nominales et la satisfaction maximale absolue pour une planification optimale. Dans un autre travail qui relève du domaine des applications de ville intelligente, les auteurs de [**Ren et Vashisht 2022**] ont proposé une nouvelle fusion de bord de drone qui fournit un mécanisme de traitement de données sensible à l'énergie pour la prestation de services durables dans les réseaux de villes intelligentes multi-drones. Dans ce modèle, la couche informatique de pointe est déployée pour traiter et stocker les données capturées et collectées par des drones dans une ville intelligente. Dans ce contexte, ils ont conçu un mécanisme de sélection adaptative des nœuds périphériques basé sur une approche d'arbre de décision. Ainsi, ils ont conçu un algorithme polyvalent sensible à l'énergie qui évite les collisions et assure une transmission de données sans congestion.

De plus, l'arrivée des technologies IoT a occupé une place importante dans la gestion de l'énergie des bâtiments, améliorant sa capacité à transformer les données en connaissances utiles. Néanmoins, la complexité et la croissance des données nécessitent des ressources informatiques puissantes qui peuvent être fournies par le Cloud Computing. Malgré l'utilisation généralisée de ce dernier, le fog computing est apparu comme un cadre prometteur pour fournir des ressources flexibles à la périphérie du réseau. De nombreux travaux ont abordé le concept de fog computing et ses applications sur l'Internet des objets, comme l'amélioration de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments intelligents. Dans cette gamme, [**Al Faruque et Vatanparvar 2015**] fournit une plateforme de gestion de l'énergie domestique qui fonctionne sur le fog computing. Cette plateforme permet aux utilisateurs finaux de mettre en œuvre la gestion de l'énergie en tant que service à un coût de mise en œuvre et un délai de mise sur le marché réduits. Dans ce travail, malgré les applications et les expériences réalisées, la transformation du traitement des nœuds de traitement centraux à haute puissance en dispositifs plus petits à la périphérie du réseau n'est pas explicitement décrite. Dans le contexte de l'Internet des objets pour la ville intelligente, les auteurs de [**Naranjo et Pooranian 2019**] proposent un cadre qu'ils appellent FOCAN (Fog Computing Architecture Network). L'objectif principal de FOCAN est la minimisation de la consommation d'énergie et l'amélioration de la communication entre nœud de brouillard dans le cadre global. Il convient de noter ici que les auteurs ont proposé un modèle pour la mise en œuvre de leur cadre, mais n'ont pas effectué l'installation et les expériences. De plus, les auteurs de [**Javed et Rana 2017**] ont bien abordé le problème de la communication entre le cloud BEMS et les terminaux. À cette fin, le paradigme du fog computing a été intégré au système de gestion de l'énergie afin de réduire la charge de calcul sur le système cloud, afin d'utiliser plus efficacement les ressources de calcul disponibles localement. Ils ont proposé d'installer un modèle de prédiction à la périphérie du réseau dans lequel toutes les pannes attendues ont été traitées avec le paradigme du cloud.



D'autre part, certains des travaux ont inclus des preuves claires de leurs suggestions, notamment en utilisant la modélisation et la simulation, et en discutant les résultats obtenus. Dans ce cadre, dans un nombre décent de travaux, certains modèles et systèmes ont été proposés afin d'améliorer l'utilisation énergétique des bâtiments. Par exemple, les travaux de [Albataineh et Jarrah 2021] ont proposé une modélisation et une simulation, selon le formalisme DEVS, pour un système de réseau domestique de quatre pièces avec différents types d'appareils électroménagers. Les appareils ont été classés en deux catégories : les appareils de surveillance et les appareils de contrôle. Les appareils de surveillance comprennent des capteurs qui capturent des données sur le climat, l'énergie, les performances et le comportement des utilisateurs. Les appareils de contrôle envoient des signaux à distance pour contrôler divers appareils. Dans ce travail, le comportement en termes d'utilisation et de coût de l'énergie est simulé dans plusieurs scénarios. Dans un travail similaire, les auteurs [Aid et Zaoui 2016] ont proposé un modèle de contribution d'objet, dans lequel chaque objet contribue à un type de milieu environnant, à savoir thermique, visuel, acoustique et qualité de l'air. La nature modulaire du formalisme DEVS a été exploitée dans cette étude en modélisant des objets intelligents qui permettent aux experts de terrain de développer indépendamment des techniques de simulation et de combiner ensuite leurs travaux pour réduire la consommation d'énergie et améliorer le confort. Ils ont intégré des méthodes de raisonnement flou dans le formalisme DEVS pour calculer l'erreur de perception humaine dans un environnement intérieur, permettant une meilleure gestion de la qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments.

De plus, les applications informatiques basées sur les smartphones ont été exploitées dans l'internet mobile omniprésent pour faire plusieurs propositions dans le domaine de l'énergie intelligente pour les bâtiments et les villes intelligentes. Dans ce contexte, les auteurs [Luan et Gao 2015] ont proposé un cadre intelligent basé sur le fog computing pour optimiser la consommation d'énergie en fonction des informations de localisation des utilisateurs. Ici, Fog computing est utilisé pour répondre aux demandes de service en déterminant les emplacements des utilisateurs. De plus, dans [Pan et Jain 2015], un cadre IoT a été proposé pour contrôler automatiquement l'énergie en fonction de l'emplacement d'un utilisateur, à l'aide de smartphones. Ici, le paradigme du cloud computing a été suivi. Le Wi-Fi a été utilisé comme technologie de communication. Le système calcule la distance entre le bâtiment de destination et l'appareil mobile et si la distance est inférieure à une certaine limite, le plan de politique d'utilisation de l'énergie sera mis à jour en fonction de l'emplacement de l'utilisateur.

En résumé, la plupart de ces travaux que nous avons présentés ici, concernaient l'étude d'un seul bâtiment à l'exception de quelques-uns, contrairement à ce qui a été suggéré dans notre travail, qui est la conception d'un quartier résidentiel dans le but de passer à l'informatisation de toute une ville. De plus, tous ces travaux n'étaient pas aussi clairs que nous. Nous avons proposé un plan composé de plusieurs bâtiments, et nous avons modélisé les systèmes résultants de manière formelle, puis nous avons simulé le modèle général et étudié les résultats, et c'est le plus proche de la réalité.

### III.3 Conception proposée

Dans cette section, nous présentons la conception générale que nous proposons afin de rationaliser l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments en imposant des automatismes aux WSN chargés du fonctionnement de ces bâtiments. Cet automatisme dépend de la localisation des utilisateurs réels de ces bâtiments afin d'obtenir le maximum d'avantages en y réduisant la consommation énergétique des appareils électriques lors de leur départ de leurs bâtiments. De plus, afin d'assurer une application correcte de cette conception dans toute une ville, des jeux de données comprenant l'identification des utilisateurs réels pour chaque bâtiment seront utilisés par les systèmes d'automatisation pour imposer des modes de consommation d'énergie dans ces bâtiments.

#### III.3.1 Conception générale

Dans ce travail, nous proposons une conception globale pour le contrôle automatique de la consommation d'énergie dans une zone résidentielle en fonction de la localisation des utilisateurs. L'objectif est de rationaliser l'utilisation de l'énergie dans un quartier résidentiel.

À cette fin, nous aurons recours aux dernières technologies, notamment dans le domaine de l'informatique et des communications. Ce dimensionnement sera construit, de manière générale et systématique, sur la base des points principaux suivants (Figure 1) :

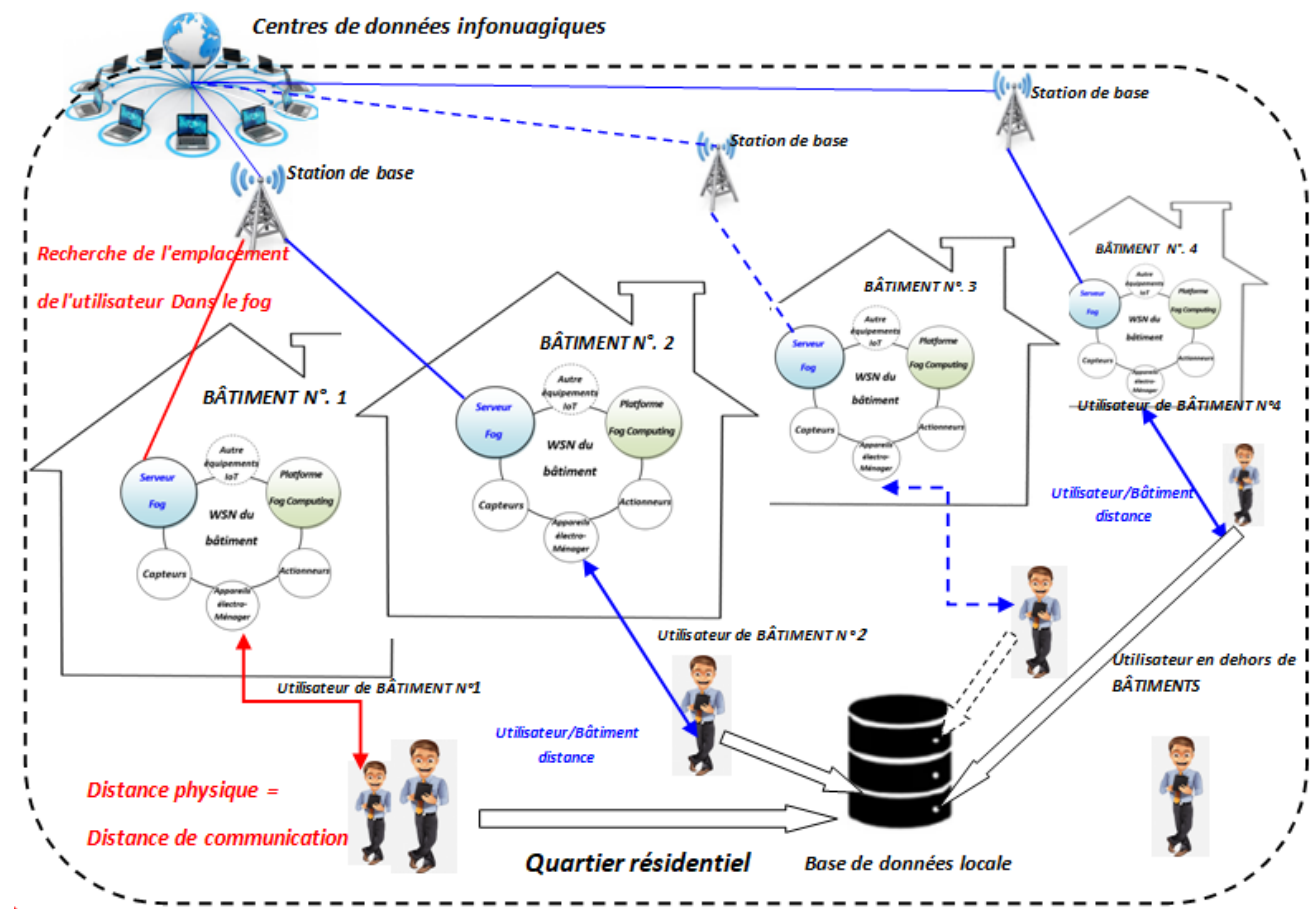


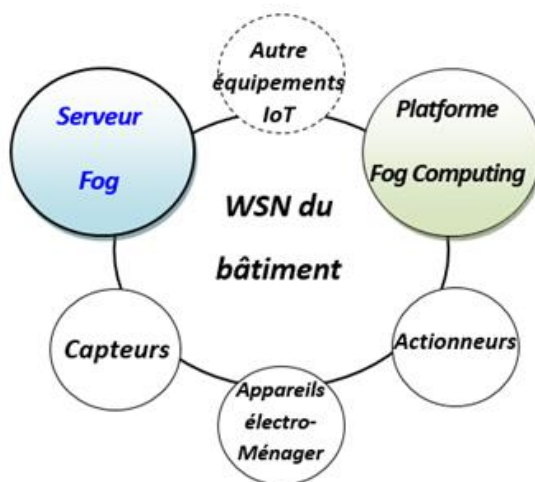
Figure III. 1 La conception proposée pour l'informatisation d'une zone résidentielle.

- Un WSN en tant que système d'automatisation du bâtiment (Building WSN);
- La localisation des utilisateurs réels de chaque bâtiment ;
- Et une base de données locale qui comprend les utilisateurs réels de chaque bâtiment.

Nous nous appuyerons sur la technologie IoT en appliquant des réseaux de capteurs sans fil dans l'automatisation des bâtiments. Le paradigme informatique utilisé sera le fog computing. Ce choix sera justifié lors de la validation de ces propositions par modélisation et simulation dans la deuxième partie de ce travail.

### III.3.2 WSN en tant que système d'automatisation du bâtiment

L'automatisation du bâtiment est le contrôle centralisé automatique du chauffage, de la ventilation et de la climatisation, de l'éclairage et d'autres systèmes d'un bâtiment via un système d'automatisation du bâtiment (BAS). La plupart des BAS utilisent des connexions câblées, et ces réseaux câblés présentent une bonne efficacité, mais les systèmes câblés sont difficiles et coûteux à installer et à mettre à jour [Vasseur et Dunkels 2010]. Pour cette raison, les connexions sans fil émergent et offrent de nouvelles topologies et mécanismes pour l'automatisation des bâtiments.



**Figure III. 2** Le WSN du bâtiment.

Le contrôle automatique dans un environnement comme le bâtiment est devenu une application importante des réseaux de capteurs sans fil (WSN) où des systèmes sans fil automatiques sont utilisés pour surveiller et contrôler la consommation d'énergie des appareils ménagers [Rashid et Rehmani 2016]. Notre système est composé de nombreux nœuds sans fil, répartis dans les étages du bâtiment : des capteurs permettant de mesurer différentes grandeurs physiques, comme la chaleur, la lumière, l'humidité et les vibrations, des actionneurs pour appliquer la stratégie de consommation souhaitée et des équipements informatiques formant une plateforme de fog computing qui joue le rôle principal de la rationalisation automatique de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments. Basé sur le processus de

mesure, un serveur Fog est livré avec un programme utilisé pour recevoir des paquets de données provenant de capteurs sans fil, puis prendre les différentes réactions de contrôle.

Dans cet article, nous considérons que ces systèmes (Building WSNs) sont les mêmes pour tous les bâtiments situés dans la zone résidentielle considérée, quel que soit le type de bâtiments. En effet, aussi différents que soient les environnements, l'objectif est toujours de contrôler les équipements consommateurs d'énergie de ces bâtiments via leurs réseaux locaux ; Cependant, nous laisserons la place au changement ou à l'ajout d'autres appareils IoT dans ce réseau (voir le cercle brisé de la figure 2).

Nous souhaitons également découpler tout le processus de pilotage du cloud afin de respecter le nouveau dogme imposé par le paradigme du fog computing. Nous comptons sur les serveurs de brouillard pour cela ; Ce sera un élément clé dans notre conception et parmi les composants (infrastructure et services) de la plateforme de fog computing dont nous avons besoin pour établir le modèle de fog computing sur l'ensemble de nos actions.

### **III.3.3 Localisation des utilisateurs réels de chaque bâtiment**

De nombreuses applications du monde réel, en particulier les environnements intelligents tels que les villes et les bâtiments, ont besoin de connaître la localisation de l'utilisateur pour fournir leurs services. Par conséquent, la localisation automatique des utilisateurs a récemment suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs. À l'aide d'un appareil électronique, généralement un téléphone mobile, la localisation automatique de l'utilisateur est capable d'estimer l'emplacement de l'utilisateur (latitude, longitude et altitude). Le problème de la localisation des utilisateurs peut être résolu de manière très précise grâce aux capteurs GPS intégrés à leurs appareils mobiles. Il ne reste plus qu'à connaître les utilisateurs réels de chaque bâtiment afin de déterminer leurs emplacements par rapport à leurs bâtiments. Pour cela, nous recourrons à l'utilisation d'une base de données locale qui comprend les utilisateurs réels de chaque bâtiment.

En obtenant les informations de localisation de l'utilisateur à l'aide de services de positionnement GPS, envoyés à l'avance aux sites de déploiement du smartphone de l'utilisateur, le serveur installé à l'intérieur du bâtiment peut rapidement télécharger le contenu traduit [Luan et Gao 2015]. Le but de cette méthode est qu'une fois que l'utilisateur quitte le bâtiment, le système de gestion du bâtiment passe en mode d'économie.

Nous suggérons que lorsque l'utilisateur quitte son immeuble et avec son Smartphone, les changements d'emplacement déclenchent le serveur pour ajuster automatiquement la politique d'économie d'énergie en allumant ou en éteignant les appareils ou en économisant et en augmentant l'énergie dans ce bâtiment.

### **III.4 Une base de données locale pour les utilisateurs réels de chaque bâtiment**

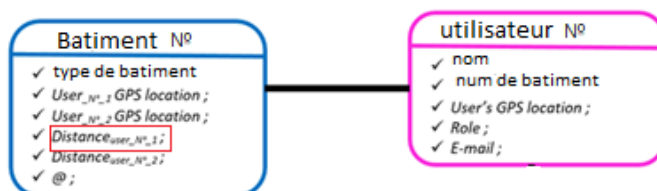
En informatique, une base de données est un ensemble organisé de données qui sont stockées et accessibles électroniquement. Les petites bases de données peuvent être stockées sur le système de

fichiers, tandis que les grandes bases de données sont hébergées sur un grand nombre d'ordinateurs ou en utilisant le stockage en nuage.

Puisque nous pensons à une ville avec un grand nombre de bâtiments, nous devrions nous orienter vers le stockage en nuage. Cependant, tant que nous suivrons le paradigme du fog computing, nous utiliserons le système de fichiers pour stocker les bases de données car nous le ferons dans chaque bâtiment de la même manière. Le processus est simple et ne nécessite que l'enregistrement du numéro d'identification des utilisateurs réels de chaque bâtiment.

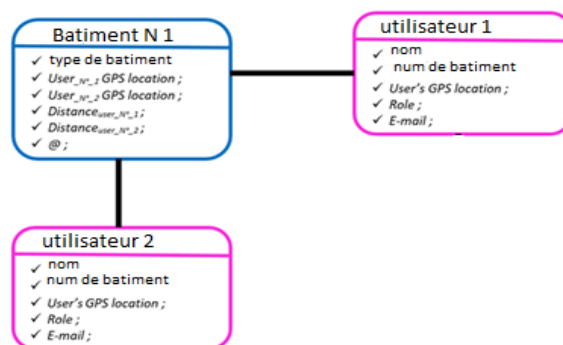
La conception de la base de données s'étend aux techniques formelles et aux considérations pratiques, notamment la modélisation des données, la représentation et le stockage efficaces des données, les langages de requête, la sécurité et la confidentialité des données sensibles et les problèmes informatiques distribués, y compris la prise en charge de l'accès simultané et de la tolérance aux pannes. De par sa nature, le calcul du brouillard résout un nombre important de ces problèmes si les conceptions sont bonnes, mais des efforts supplémentaires sont faits pour répondre à toutes ces exigences. La figure x inclut le modèle que nous suggérons pour cela.

Dans un premier temps, nous supposons que chaque bâtiment compte un certain nombre d'utilisateurs réels. Par conséquent, nous aurons un certain nombre de tableaux pour ces utilisateurs liés à un tableau montrant un bâtiment en cours d'utilisation. La relation entre l'utilisateur et le bâtiment utilisé est matérialisée par la propriété N°\_buildingin\_use dans la table de chaque utilisateur. Ceci est illustré à la figure 3.



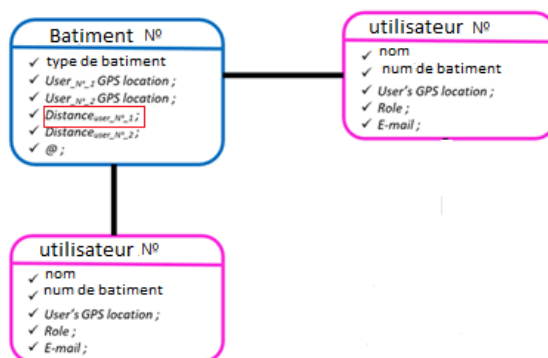
**Figure III. 3** La relation entre les bâtiments et les utilisateurs réels.

Si nous supposons qu'il est possible que l'utilisateur soit un utilisateur de deux bâtiments ou plus (par exemple, la maison et le bureau), la forme de la base de données sera celle illustrée à la figure 4.



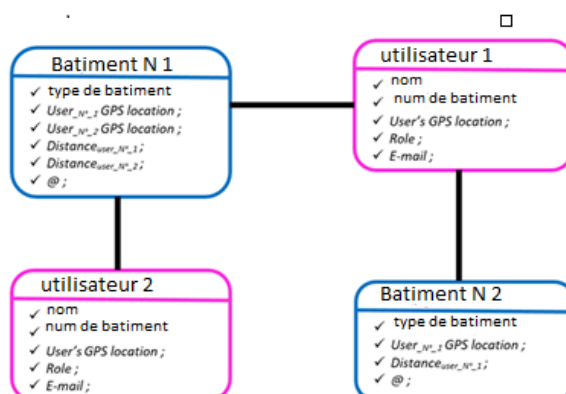
**Figure III. 4** Un bâtiment avec deux utilisateurs.

Afin d'afficher les informations de localisation réelles des utilisateurs pour chaque bâtiment sur son serveur fog, une propriété de distance utilisateur (distanceuser\_N°\_x) a été ajoutée à la table de chaque bâtiment. Cette distance sera adoptée dans le travail des algorithmes qui génèrent les scénarios attendus dans ce travail. La conception finale de cette base de données sera comme le montre la figure5.



**Figure III. 5** Un bâtiment avec deux utilisateurs patchés.

Désormais, dans le cas où l'utilisateur utilise plus d'un bâtiment, la forme de la base de données sera la suivante :



**Figure III. 6** deux bâtiments avec deux utilisateurs

La base de données reliant chaque bâtiment à ses utilisateurs réels sera celle illustrée à la figure 6, qui n'est qu'un échantillon de la base de données totale qui comprend tous les bâtiments connectés à leurs utilisateurs réels.

### III.5L'environnement applicatif

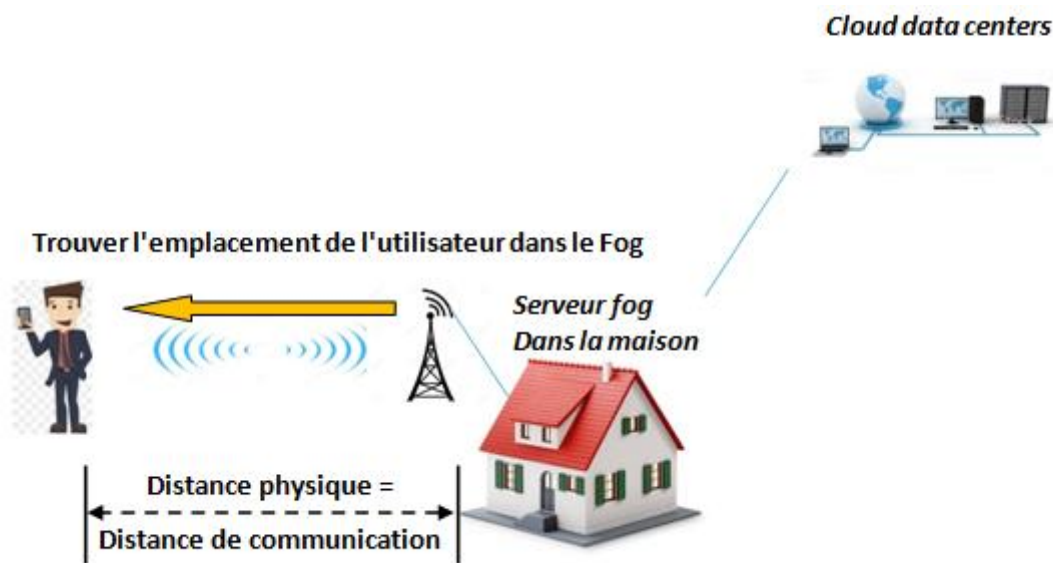
#### III.5.1 Description de la scène générale

Nous présentons maintenant le scénario qui résume toutes les scènes saillantes de notre environnement. Notre environnement se compose de quatre bâtiments et les utilisateurs de ceux-ci

peuvent quitter leurs bâtiments qu'ils utilisent pour aller à l'extérieur. Nous voulons contrôler automatiquement le fonctionnement des appareils électriques dans tous les cas d'utilisation. Nous voulons également faire ce contrôle localement, en utilisant un système indépendant du cloud. La solution est d'installer des serveurs Fog à l'intérieur des locaux utilisateurs de ces bâtiments.

Le serveur de brouillard installé à l'intérieur de chaque bâtiment peut charger rapidement les informations de localisation de l'utilisateur à l'aide de services de localisation préalablement envoyés aux emplacements de déploiement. Le but de cette méthode est qu'une fois que l'utilisateur quitte le bâtiment, le système de gestion technique du bâtiment passe directement en mode éco.

Pour définir notre scénario environnemental, nous revenons à l'exécution de notre conception proposée (voir section III). Nous l'avons expliqué, mais nous en rediscutons pour préparer la formulation du problème. Nous avons adopté trois types de politiques de consommation d'énergie, une pour le cas d'un utilisateur installé dans son immeuble, une pour sa présence à l'étranger et une que nous utilisons lorsque nous ne savons pas où il se trouve. L'idée était de toujours localiser son smartphone à pleine vitesse. Son support de smartphone quitte le bâtiment et se déplace à l'extérieur. Les changements d'emplacement déclenchent les serveurs pour ajuster automatiquement les politiques d'économie d'énergie



**Figure III. 7** Politique de localisation des utilisateurs à l'aide d'un serveur local.

sur tous les bâtiments. La fonction principale est de permettre au serveur de chaque bâtiment de détecter les changements d'emplacement des utilisateurs et de provoquer des changements de politique énergétique en allumant/éteignant les appareils dans ces bâtiments.

Comme le montre la figure 7, avec le serveur de brouillard à l'intérieur du bâtiment, il sera simple et rapide de trouver la distance entre l'utilisateur et ce bâtiment grâce à une simple communication avec le téléphone mobile du côté de l'utilisateur. La distance physique sera la distance de cette connexion. Le serveur de brouillard peut indiquer la distance de communication à l'aide du

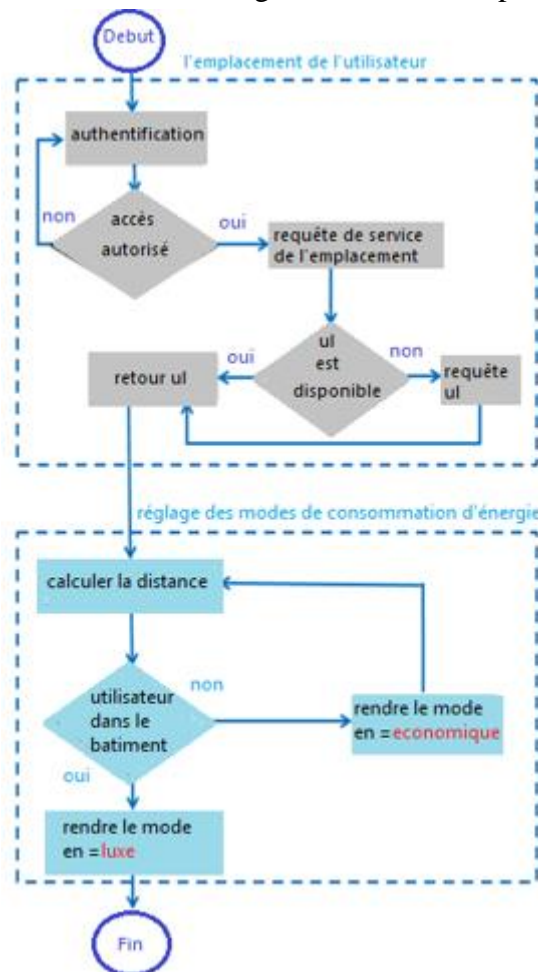


service de localisation GPS [Varghese et Wang 2020][Guo et Ansari 2019], et sur la base de cette distance, l'emplacement de l'utilisateur est déterminé et ce processus aura lieu entre tous les bâtiments et leurs utilisateurs réels .

### III.5.2 Formulation du problème

Afin de formuler plus clairement notre problème, nous proposons un diagramme de workflow pour localiser les utilisateurs et ajuster automatiquement la politique d'économie d'énergie que nous avons expliquée précédemment. Ceci est illustré à **Figure III. 8**. Elle montre étape par étape comment notre travail est effectué du début à la fin. Il est divisé en deux parties : l'emplacement de l'utilisateur et l'ajustement automatique de la politique d'économie d'énergie qui en résulte.

Le travail commence après une authentification appropriée auprès de l'application de définition de politique d'économie d'énergie et se termine lorsque l'utilisateur souhaite quitter l'application, c'est-à-dire qu'une fois que l'utilisateur ouvre l'application, l'ajustement automatique commence à fonctionner et une fois l'application fermée, l'ajustement automatique cesse de fonctionner. . Cependant, si le bâtiment n'est pas économe en énergie, l'utilisateur ne pourra pas quitter l'application.



**Figure III. 8** Workflow d'économie d'énergie avec notre approche.



Maintenant, si l'on suppose par exemple que l'usager occupe son immeuble pendant une durée n'excédant pas 8 heures. En conséquence, l'ajustement automatique des politiques de consommation d'énergie arrêtera le fonctionnement de certains appareils électriques pendant 16 heures dans ce bâtiment. Par conséquent, avant le début de la mise en œuvre, il est maintenant confirmé que cette approche basée sur la localisation des utilisateurs, conduira inévitablement à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, et les résultats de la mise en œuvre de cette conception dans son environnement correspondant le prouveront. bénéfice et ses valeurs réelles. De plus, le paradigme

du brouillard informatique lors de la détermination de la localisation de l'utilisateur garantit une mise en œuvre rapide et des changements de modes de consommation d'énergie [Bittencourt et Diaz-Montes 2017].

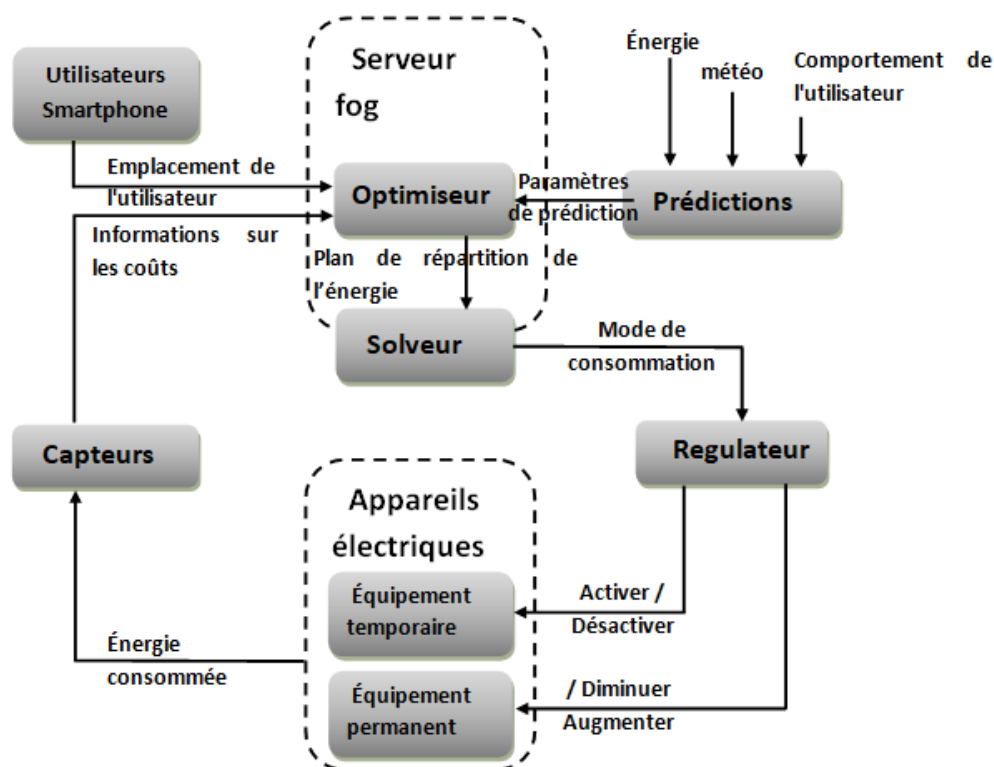
### **III.6 Architecture des systèmes résultants**

Dans notre travail, nous étudions et abordons l'informatique d'un environnement qui représente une zone résidentielle de quatre bâtiments. Chacun peut avoir ses propres politiques et exigences qui doivent être prises en compte lors du contrôle de la consommation d'énergie. Ce contrôle est mis en œuvre à l'aide d'un système basé sur un WSN local, c'est-à-dire en dehors du cloud. La couche intermédiaire Fog se compose de serveurs Fog répartis géographiquement qui sont déployés dans les locaux des utilisateurs mobiles. En fournissant des services de traduction ciblés soumis à des sites de publication, le serveur de brouillard installé à l'intérieur du bâtiment peut charger rapidement du contenu pré-traduit. De plus, les utilisateurs mobiles peuvent profiter de connexions locales à haut débit sans avoir à effectuer de recherche dans le cloud.

Nous voulons garder à l'esprit que dès que l'utilisateur quitte le bâtiment, le système de gestion technique du bâtiment est immédiatement mis en mode économique ; sinon, le système maintiendra un confort satisfaisant pour l'utilisateur. L'objectif ici est l'utilisation rationnelle de l'énergie. Pour cela, nous avons ajouté trois types de politique de gestion de l'énergie, une pour l'état de l'utilisateur à l'intérieur du bâtiment, une pour l'état lorsqu'il est à l'extérieur et une pour le moment où nous ne savons pas où il se trouve. L'idée exige que vous localisiez toujours votre téléphone mobile à pleine vitesse.

Il sort son support de téléphone portable du bâtiment et se déplace à l'extérieur. Les changements d'emplacement déclenchent les serveurs pour modifier dynamiquement les politiques d'économie d'énergie dans le bâtiment. La fonction principale est de permettre au serveur de détecter les changements de localisation de l'utilisateur et d'apporter des modifications à la politique énergétique en allumant/éteignant les appareils électriques du bâtiment.

Avec le serveur de brouillard situé à l'intérieur du bâtiment et connecté au réseau de capteurs sans fil, il sera simple et rapide de trouver la distance entre l'utilisateur et le bâtiment par une simple communication avec l'utilisateur. La distance physique sera la distance de cette connexion. La localisation GPS, l'un des services fournis par notre serveur Fog, peut indiquer la distance de



**Figure III. 9** Architecture du système.

communication [Luan et Gao 2015]. Désormais, pour s'assurer que l'utilisateur se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment, il est nécessaire de surveiller le mouvement de son téléphone portable s'il va dépasser une limite bien définie.

Le bâtiment représentera l'ensemble du système et l'utilisateur sera représenté par son téléphone portable (l'objet connecté au système est son smartphone). Nous considérons le serveur dans notre système comme un acteur principal dans l'optimisation de la consommation d'énergie dans le bâtiment ; si la localisation de l'utilisateur change par rapport au bâtiment (intérieur du bâtiment/extérieur du bâtiment), c'est lui qui trouvera une solution rapide

pour l'ajustement automatique de la politique d'utilisation de l'énergie dans le bâtiment. Ce serveur couvre deux rôles principaux dans le système, le rôle de l'optimiseur et celui du solveur.

Basé sur des données d'anticipation (prédictions), y compris le niveau d'énergie, la météo et le comportement de l'utilisateur, basé sur ce qui a été détecté en termes d'énergie consommée et le coût résultant (l'énergie disponible répondra-t-elle à la situation requise ?), et basé sur la localisation de l'utilisateur, l'optimiseur préparera et présentera au solveur un plan général de consommation d'énergie du bâtiment. Ce dernier résout l'équation et la solution sera le mode de consommation d'énergie à adopter.

Les équipements seront soumis à l'application de ce mode, déjà décidé, sous le commandement de ce qu'on appelle le régulateur. Ce dernier contrôle en effet la consommation énergétique des

équipements (équipements temporaires avec les consignes activer/désactiver, et équipements permanents avec les consignes augmenter/diminuer). Les capteurs surveillent et collectent les informations de consommation d'énergie de tous les équipements en temps réel et en continu. Alors que les actionneurs, nous les considérons comme contenus dans les appareils électroménagers eux-mêmes (les appareils électroménagers deviennent intelligents et connectés). La figure 9 ci-dessus représente le système que nous avons proposé pour contrôler automatiquement la consommation d'énergie dans un bâtiment intelligent, et elle comprend tout ce qui vient d'être expliqué.

### **III.6 Conclusion**

Les scénarios que nous présentons résumant maintenant tous les scénarios notables de notre environnement. Notre environnement est constitué d'un utilisateur qui quitte son domicile tous les jours pour se rendre à son bureau de travail. On veut contrôler automatiquement le mode de fonctionnement de l'appareil électroménager dans toutes les situations d'utilisation. Nous souhaitons également que ce contrôle soit effectué localement à l'aide d'un système indépendant du cloud. La solution réside dans l'installation du serveur Fog chez les mobinautes, que ce soit à leur domicile ou au bureau.

La plate-forme informatique de brouillard installée dans le serveur de brouillard peut utiliser le service de localisation pré-envoyé pour fournir les informations de localisation de l'utilisateur au site de déploiement. Ainsi, le serveur Fog installé dans le bâtiment peut rapidement charger du contenu localisé. Le but de cette méthode est qu'une fois que l'utilisateur quitte le bâtiment, le système de gestion technique du bâtiment passe directement en mode d'économie d'énergie.

Nous avons adopté trois politiques de consommation d'énergie, une lorsque l'utilisateur installe chez lui, une lorsqu'il est au bureau et une lorsqu'il est à l'extérieur. L'idée est de toujours localiser son smartphone à pleine vitesse. Son support de smartphone a quitté la maison et s'est installé au bureau. Un changement d'emplacement déclenche le serveur pour ajuster automatiquement les stratégies d'économie d'énergie des deux bâtiments. La fonction de base est de permettre au serveur de détecter les changements de localisation des utilisateurs et de déclencher des changements de politique énergétique en allumant/éteignant les appareils dans ces bâtiments.

Dans ce chapitre, nous avons conçu notre modèle de simulation DEVS pour la gestion de l'énergie dans un environnement qui comporte maison et utilisateur accompagné avec son Smartphone. Son objectif est de permettre d'illustrer l'optimisation de la consommation d'énergie via des simulations de modèles DEVS de manière générique et performante. La description de cette conception s'est déroulée en trois étapes.

Dans un premier temps, nous isolons les différentes entités qui composent notre environnement applicatif et élucidons leurs apports en décrivant des algorithmes pouvant faciliter l'optimisation de la consommation d'énergie dans cet environnement. Dans un deuxième temps, nous concevons un modèle de gestion énergétique du bâtiment intelligent multi-niveaux qui respecte l'architecture décrite

dans le travail présenté dans [Maatoug et Belalem, 2014]. La structure porte plusieurs niveaux de modélisation, correspondant à plusieurs niveaux de commandes, divisant le problème d'optimisation en sous-problèmes afin d'être plus réactif à l'incertitude. Dans la troisième et dernière étape, nous formalisons tous les modèles proposés dans DEVS. Pour cela, nous choisissons de baser notre modélisation sur des représentations graphiques et des descriptions formelles.

Une fois ces trois étapes terminées, nous passons à l'étape d'implémentation et de validation des différents modèles DEVS dans différents scénarios. Ceci est décrit dans le chapitre suivant.

# **Chapitre IV :**

## **Modélisation & Implémentation**

## Chapitre IV :

### Modélisation & Implémentation

#### IV.1 Introduction

Pour optimiser la gestion de l'énergie dans les bâtiments intelligents, la conception proposée dans le chapitre précédent a été adoptée. Désormais, notre objectif est de modéliser les objets connectés à un niveau élevé d'abstraction après avoir défini un environnement qui permet la simulation du réseau de capteurs sans fil exploitant le bâtiment intelligent. Dans ce travail, une approche basée sur l'emplacement des utilisateurs a été considérée pour concevoir, par modélisation DEVS, le système de gestion d'énergie utilisé pour planifier la consommation d'énergie d'appareils intelligents installés dans chaque bâtiment de la zone résidentielle.

Afin de rationaliser et de simplifier notre projet de recherche, nous avons adopté le plan suivant: 1) Nous avons adopté une conception globale pour contrôler la consommation d'énergie au sein de la zone résidentielle. Ce design se base sur la localisation des utilisateurs pour rationaliser la consommation d'énergie dans les bâtiments intelligents existés dans la zone résidentielle ciblée. 2) Suite au fonctionnement de ce design, une architecture système a été conçue comme un modèle afin de réaliser les stratégies et les scénarios inclus dans ce framework selon l'architecture multi-niveaux suggéré dans [Maatoug et Belalem, 2014]. Dans ce travail, nous y avons ajouté de nouveaux composants, qui sont en ligne avec l'ajustement de la consommation d'énergie suivant la localisation de l'utilisateur. 3) Nous avons modélisé selon le formalisme DEVS, tout ce qui existerait dans l'environnement qui correspond à notre design susmentionné.

Les modifications pour améliorer les performances sont possibles avec le formalisme DEVS car DEVS divise le système global en sous-systèmes, nous donnant la liberté de changer en supprimant ou en ajoutant des sous-systèmes à chaque système de composants, ce qui nous motive à le choisir.

#### IV.2 Modélisation DEVS

Ci-dessous, des modèles associés décrivent les composants qui contribuent à l'amélioration de la consommation d'énergie dans les bâtiments qui composent une zone résidentielle. Le but est de le modéliser formellement selon le formalisme DEVS et de le préparer pour des simulations ultérieures. Nous soulignons également que ces modèles sont identiques dans divers bâtiments car le système est le même dans tous ces bâtiments (le système illustré à la **Figure IV.9**), mais la différence peut être dans les appareils électriques à l'intérieur de ces bâtiments. De plus, il est à noter que l'utilisateur peut augmenter/ou diminuer le nombre de n'importe lequel des composants du modèle, grâce aux avantages du formalisme DEVS qui sépare entre eux tous les modèles qui composent le modèle général.[Capocchi L, Santucci J F, Poggi B, 2011]

Le modèle général de chaque bâtiment est composé de six sous-modèles : Prédiction, Régulateur, Serveur de brouillard, Capteurs, Appareils électriques et Smartphone de l'utilisateur.

Voici la structure suivante du modèle couplé DEVS pour BWSN :

$BWSN = (X, Y, D, \{Md/d \in D\}, EIC, EOC, IC)$ , ou:

- $X = \{ (p, v)/p \in IPorts, v \in Xp \}$  sont les valeurs d'entrée;
- $Y = \{ (p, v)/p \in OPorts, v \in Yp \}$  sont les valeurs des sorties;
- $D$  est l'ensemble des noms des modèles atomiques ou couplés qui composent le BEMS:

$D = \{ Smartphone\ de\ l'utilisateur, prédictions, régulateur, électroménager, capteur, serveur\ de\ brouillard \}$ ;

•  $Md$  Smartphone de l'utilisateur, prédictions, est l'ensemble des modèles atomiques ou couplés qui composent le BEMS :, électroménager, capteur, serveur de brouillard

$M$  est le Smartphone de l'utilisateur est le modèle du sous-système Smartphone de l'utilisateur ;

$MPredictions$  est le modèle du sous-système Predictions;

$MRegulator$  est le modèle du sous-système Optimizer, et ainsi de suite pour les autres sous-systèmes

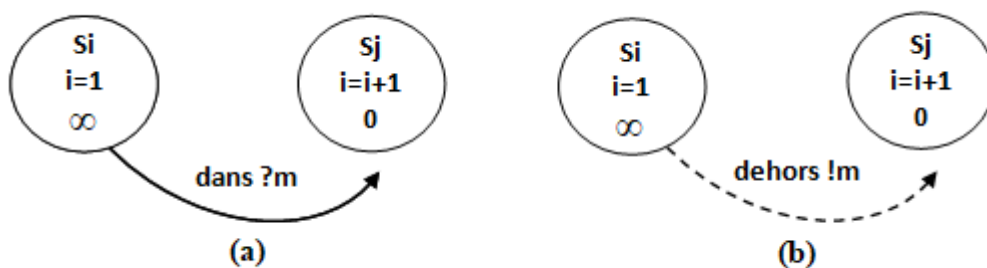
;•  $EIC = \{ ((BWSN, a), (d, b)) / a \in IPortsS, b \in IPortsd \}$ ;

•  $EOC = \{ ((d, b), (BWSN, a)) / a \in OPortsBWSN, b \in OPortsd \}$ ;

•  $IC = \{ ((i, a), (j, b)) / i, j \in D, i, j, a \in OPortsi, b \in IPortsj \}$ ;

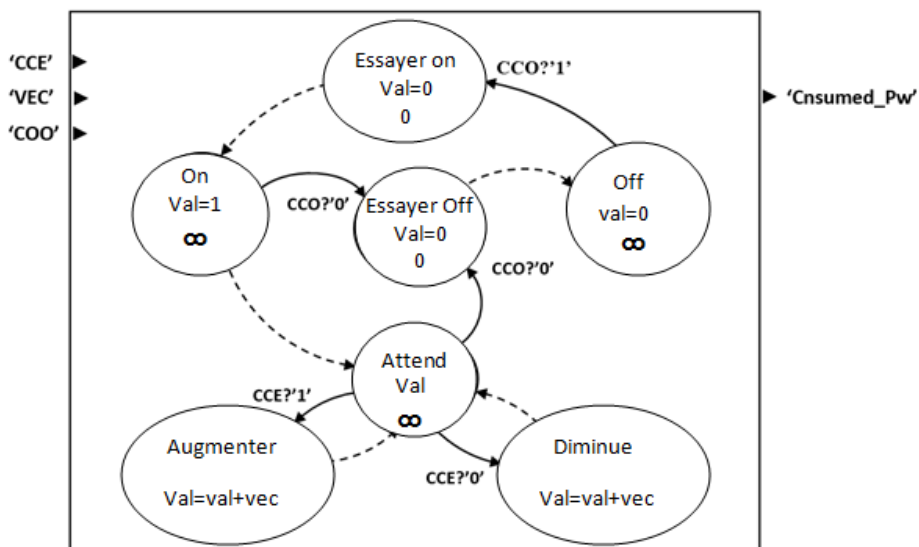
$EIC$  définit les ports du modèle BWSN qui sont connectés aux ports des modèles de composants qui reçoivent des événements externes.  $EOC$  définit les ports du modèle BWSN qui sont connectés aux ports des modèles de composants qui émettent des événements et  $IC$  sont le couplage interne entre les modèles de composants.

Dans ce travail, nous utilisons la notation graphique de [Zeigler et al., 2000], comme le montre la figure IV.3, afin d'illustrer les aspects comportementaux de tous les modèles atomiques qui entrent dans la composition de notre système résultant. Un état est représenté par un cercle contenant le nom, les opérations sur les variables et la durée de vie de l'état ( $t_a$ ). Le modèle est dans son état initial "Si". La figure IV.3a représente une transition externe. Un événement d'entrée est spécifié à l'aide de "?". La ligne continue représente une transition d'état spécifiée par la fonction de transition externe. Lorsque le modèle reçoit l'événement "m" sur son port "in", il passe à l'état "Sj".



**Figure IV.1** Notations graphiques d'une transition externe (a) et d'une transition interne (b).

Puisqu'il s'agit de la même façon de décrire les modèles atomiques qui composent le système général, nous ne décrivons que certains modèles qui ont un rôle sensible important dans le système. Et c'est ainsi que nous décrivons l'équipement permanent, le smartphone de l'utilisateur et le régulateur.



**Figure IV.2** Modèle atomique DEVS d'un équipement permanent.

Passons maintenant aux équipements permanents, la consommation électrique de ce type d'équipement peut être ajustée. La consommation d'énergie est généralement définie par un pourcentage. la **Figure IV.8** représente le modèle atomique DEVS des équipements permanents. Ce modèle peut être modifié pour les états On, Off, Test\_On, Test\_Off, Standby, Raise et Lower. En d'autres termes, le modèle doit être dans un seul de ces différents états à un moment donné. Ainsi, la consommation peut être réduite uniformément de 0 à 100 % ou de 100 à 0 %.

La description formelle DEVS du modèle « Equipt\_permanent » est :

$$\text{Permanent\_Equipt} = (X, S, Y, \delta_{\text{ext}}, \delta_{\text{int}}, \lambda, \text{ta}) \quad \text{where:}$$

- $X = \{CCE, VEC, COO\}$ , presents input event variables, where:
  - CCE : Control of energy consumption i.e. increase or decrease energy consumption.  $CCE = \{0, 1\}$ , the external event  $CCE = '0'$  indicates a decrease in consumption; the external event  $CCE = '1'$  indicates an increase in consumption.
  - VEC : Value of the energy consumed, it is the absolute value of the reduction.  $VEC \in [0,100]$ .
  - COO : ON/OFF command,  $COO='0'$  indicates 'Off';  $COO='1'$  indicates 'On'.
- $Y = \{OFF, LOW, MED, HIGH, MAX\}$ ,
- The set of state variables:  $S = \{(\text{phase}, \text{Val}, \text{ta})\}$ , where:
  - Phase = { On, Off, Triy\_On, Triy\_Off, Wait, Inrease, Decrease};



–Val  $\in [0, 100]$  is a variable that represents the current level of consumption.

- $\delta_{ext}(\text{Off}, \text{COO}'1') = (\text{Try\_On}, \text{Val} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(\text{On}, \text{COO}'0') = (\text{Try\_Off}, \text{Val} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(\text{Wait}, \text{CCE}'1') = (\text{Increase}, \text{Val} = \text{Val} + \text{VEC}, 0)$ ,  $\delta_{ext}(\text{Wait}, \text{CCE}'0') = (\text{Decrease}, \text{Val} = \text{Val} - \text{VEC}, 0)$ ,  $\delta_{ext}(\text{Wait}, \text{COO}'0') = (\text{Try\_Off}, \text{Val} = 0, 0)$ ;

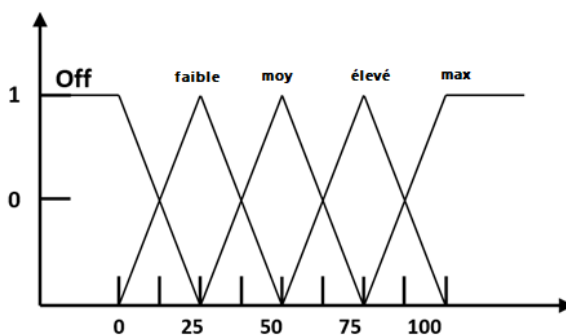
- $\delta_{int}(\text{On}) = (\text{Wait})$ ,  $\delta_{int}(\text{Try\_On}) = \text{On}$ ,  $\delta_{int}(\text{Decrease}) = \text{Wait}$ ,  $\delta_{int}(\text{Try\_Off}) = \text{Off}$ ,  $\delta_{int}(\text{Increase}) = \text{Wait}$ ;

- $\lambda(\text{On}) = \mu(\text{Val})$ ,  $\lambda(\text{Increase}) = \mu(\text{Val})$ ,  $\lambda(\text{Decrease}) = \mu(\text{Val})$ ,  $\lambda(\text{Try\_On}) = \mu(\text{Val})$ ,  $\lambda(\text{Try\_Off}) = \mu(\text{Val})$ , where  $\mu$  is the appearance function (MF) associated with this atomic model shown in Figure IV.7;

- $ta(\text{Off}) = \infty$ ,  $ta(\text{On}) = \infty$ ,  $ta(\text{Try\_On}) = 0$ ,  $ta(\text{Try\_Off}) = 0$ ,  $ta(\text{Wait}) = \infty$ ,  $ta(\text{Increase}) = 0$ ,  $ta(\text{Decrease}) = 0$ .

L'état initial "Off" est passif (c'est-à-dire que sa durée de vie est  $\infty$ ). Une transition se produit lors de l'événement externe COO ? '1' (correspondant à la commande Marche) ; ce qui nous amène à l'état "Try\_On". La transition interne suivante permet au modèle de passer à l'état "On".

L'état d'arrivée 'On' de cette transition est également passif : son rôle consiste à mettre à jour la valeur de la variable 'Val' à 1 (la valeur de consommation minimale étant de 1%). La prochaine transition interne atteint un nouvel état passif, appelé 'Wait', qui protège la valeur de la variable 'Val'. Dans cet état, le modèle attend de recevoir un signal externe.



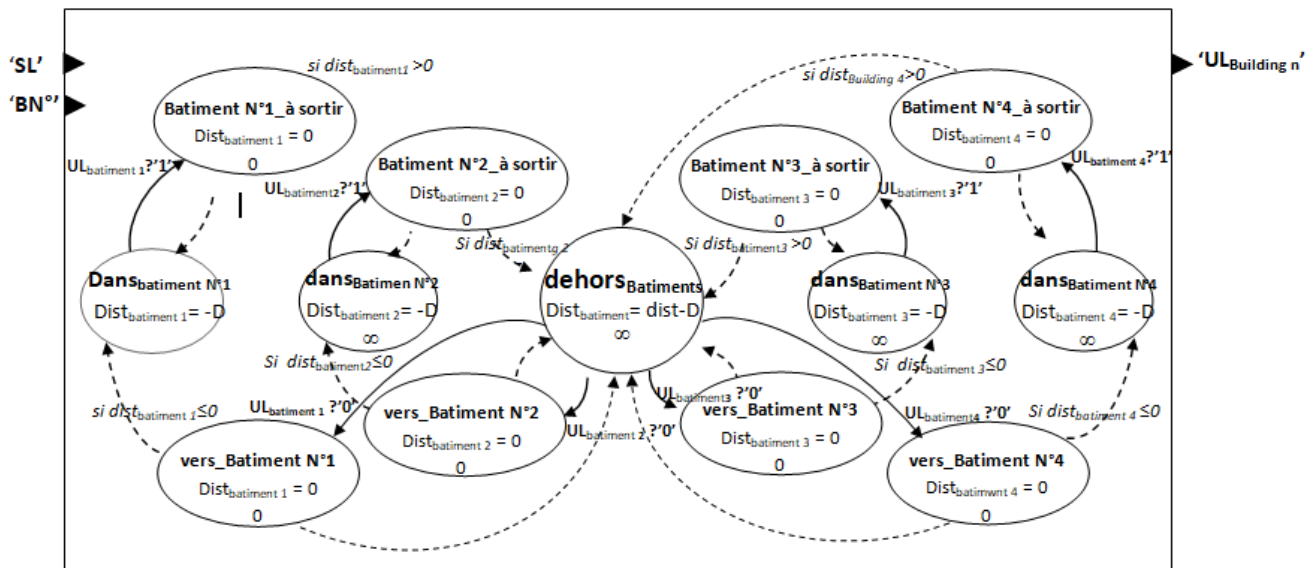
**Figure IV.3** MF associé au modèle atomique 'Equipt\_permanent'.

Lors d'un nouveau signal, CCE?'1', l'état transitoire "Augmentation" est atteint : son rôle consiste à augmenter la consommation (c'est-à-dire à changer la valeur de la variable Val en Val+VEC , où VEC est la valeur de variation ). La transition interne suivante revient à l'état 'Wait'. Lorsque l'événement CCE?'0' se produit, un nouvel état transitoire est atteint, 'Decrease', son rôle est de diminuer la valeur de la consommation (ie changer la valeur de la variable Val en Val-VEC). La transition interne suivante revient à l'état 'Wait'. A partir de cet état, on atteint l'état "Try\_Off" lors de l'événement externe CO?'0' (correspondant à la commande Off). La transition interne suivante permet au modèle

de revenir à son état initial. La fonction de sortie génère une sortie externe, « Cnsumed\_Pw », juste après qu'aucune transition interne n'ait eu lieu (la variable « Val » est convertie en une variable linguistique avec le MF représenté sur la figure 11).

Venons-en maintenant au modèle chargé de modifier le mode de consommation d'énergie à l'intérieur du bâtiment, le smartphone de l'utilisateur. Grâce à ce modèle, le système obtient en permanence les coordonnées de localisation de l'utilisateur et les envoie en temps réel au modèle de serveur Fog, qui les exploite à son tour afin de modifier les modes de consommation d'énergie en fonction de la localisation de l'utilisateur.

La figure 12 présente le modèle atomique DEVS du smartphone de l'utilisateur avec treize états : InBuilding N° 1, InBuilding N° 2, InBuilding N° 3, InBuilding N° 4, OutBuildings, Building N° 1\_To\_Out, Building N° 2\_To\_Out, Building N° 3\_To\_Out, Bâtiment N° 4\_To\_Out, Out\_To\_Building N° 1, Out\_To\_Building N° 2, Out\_To\_Building N° 3, Out\_To\_Building N° 4.



**Figure IV.4** Architecture d'un modèle atomique DEVS du smartphone d'un utilisateur.

Il existe deux entrées pour le smartphone de l'utilisateur : « LS » et « BN° ». La variable LS (location Service) prend deux valeurs, « 1 » ou « 0 » ; la valeur « 1 » signifie que le service est disponible sur un serveur de brouillard, et la valeur « 0 » signifie que le service n'est pas disponible. Dans le second cas, le système interrogera le cloud. La variable BN° indique le numéro du bâtiment dont l'usager est un usager effectif. Ce modèle peut être changé à l'état de "InBuilding N° 1", "InBuilding N° 2", "InBuilding N° 3", "InBuilding N° 4", et "OutBuildings".

La description formelle du modèle « smartphone de l'utilisateur » dans DEVS est la suivante :

$$\text{Smartphone de l'utilisateur} = (X, S, Y, \delta_{\text{ext}}, \delta_{\text{int}}, \lambda, \text{ta}), \quad \text{où :}$$

- $X = \{LS, BN^\circ\}$  présenter les variables d'événement d'entrée, où :
  - $LS = \{0, 1\}$  Ce port indique si le service de localisation est disponible ou non avec le serveur fog:

L'événement externe  $UL_{House}?'0'$  indique que le service de localisation n'est pas disponible dans le serveur fog ; l'événement externe  $UL_{House}?'1'$  indique que le service de localisation est disponible.

-  $BN^{\circ} = \{0, 1\}$  Ce port indique l'état de l'utilisateur par rapport au bâtiment : L'événement extérieur  $UL_{Office}?'0'$  indique que l'utilisateur n'est pas un utilisateur effectif de ce bâtiment ; l'événement extérieur

$UL_{Office}?'1'$  indique que l'utilisateur est un utilisateur effectif de ce bâtiment.

•  $Y = \{IN_{BUILDING N^{\circ}1}, IN_{BUILDING N^{\circ}2}, IN_{BUILDING N^{\circ}3}, IN_{BUILDING N^{\circ}4}, OUT_{BUILDINGS}\};$

• State variables:  $S = \{(\text{phase}, Dist_{Building n}, ta)\}$ , where:

-  $Phase = \{In_{Building N^{\circ}1}, In_{Building N^{\circ}2}, In_{Building N^{\circ}3}, In_{Building N^{\circ}4}, Out_{Buildings}, Building N^{\circ}1\_To\_Out, Building N^{\circ}2\_To\_Out, Building N^{\circ}3\_To\_Out, Building N^{\circ}4\_To\_Out, Out\_To\_Building N^{\circ}1, Out\_To\_Building N^{\circ}2, Out\_To\_Building N^{\circ}3, Out\_To\_Building N^{\circ}4\};$

- " $Dist_{Building n}$ ", is a variable that represents the current distance of the user from the object building, ranging from  $-D$  to  $dist$ , where  $(Dist_{Building 1} \leq 0)$  presents " $In_{Building 1}$ ",  $(Dist_{Building 2} \leq 0)$  presents " $In_{Building 2}$ ",  $(Dist_{Building 3} \leq 0)$  presents " $In_{Building 3}$ ",  $(Dist_{Building 4} \leq 0)$  presents " $In_{Building 4}$ ",  $(Dist_{Building 1} > 0)$  and  $(Dist_{Building 2} > 0)$  and  $(Dist_{Building 3} > 0)$  and  $(Dist_{Building 4} > 0)$  presents " $Out_{Buildings}$ ",  $Dist_{Building n} \in [-D, dist]$ ;

•  $Y = \lambda(Dist_{Building n})$ , where  $\lambda$  is the output function of this atomic model;

•  $\delta_{ext}(In_{Building N^{\circ}1}, UL_{Building N^{\circ}1}?'1') = (Building N^{\circ}1\_To\_Out, Dist_{Building 1} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(In_{Building N^{\circ}2}, UL_{Building N^{\circ}2}?'1') = (Building N^{\circ}2\_To\_Out, Dist_{Building 2} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(In_{Building N^{\circ}3}, UL_{Building N^{\circ}3}?'1') = (Building N^{\circ}3\_To\_Out, Dist_{Building 3} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(In_{Building N^{\circ}4}, UL_{Building N^{\circ}4}?'1') = (Building N^{\circ}4\_To\_Out, Dist_{Building 4} = 0, 0)$ ;  $\delta_{ext}(Out_{Buildings}, UL_{Building N^{\circ}1}?'0') = (Out\_To\_Building N^{\circ}1, Dist_{Building 1} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(Out_{Buildings}, UL_{Building N^{\circ}2}?'0') = (Out\_To\_Building N^{\circ}2, Dist_{Building 2} = 0, 0)$ ,  $\delta_{ext}(Out_{Buildings}, UL_{Building N^{\circ}3}?'0') = (Out\_To\_Building N^{\circ}3, Dist_{Building 3} = 0, 0)$ , and  $\delta_{ext}(Out_{Buildings}, UL_{Building N^{\circ}4}?'0') = (Out\_To\_Building N^{\circ}4, Dist_{Building 4} = 0, 0)$ .

•  $\delta_{int}(Building N^{\circ}1\_To\_Out) = In_{Building N^{\circ}1}$  if  $Dist_{Building 1} \leq 0$ ,  $\delta_{int}(Building N^{\circ}2\_To\_Out) = In_{Building N^{\circ}2}$  if  $Dist_{Building 2} \leq 0$ ,  $\delta_{int}(Building N^{\circ}3\_To\_Out) = In_{Building N^{\circ}3}$  if  $Dist_{Building 3} \leq 0$ ,  $\delta_{int}(Building N^{\circ}4\_To\_Out) = In_{Building N^{\circ}4}$  if  $Dist_{Building 4} \leq 0$ ,  $\delta_{int}(Out\_To\_Building N^{\circ}1) = Out_{Buildings}$  if  $Dist_{Building 1} > 0$ ,  $\delta_{int}(Out\_To\_Building N^{\circ}2) = Out_{Buildings}$  if  $Dist_{Building 2} > 0$ ,  $\delta_{int}(Out\_To\_Building N^{\circ}3) = Out_{Buildings}$  if  $Dist_{Building 3} > 0$ ,  $\delta_{int}(Out\_To\_Building N^{\circ}4) = Out_{Buildings}$  if  $Dist_{Building 4} > 0$ ;

•  $\lambda(Building N^{\circ}1\_To\_Out) = OUT_{BUILDINGS}$  if  $Dist_{Building 1} > 0$ ,  $\lambda(Building N^{\circ}2\_To\_Out) = OUT_{BUILDINGS}$  if  $Dist_{Building 2} > 0$ ,  $\lambda(Building N^{\circ}3\_To\_Out) = OUT_{BUILDINGS}$  if  $Dist_{Building 3} > 0$ ,  $\lambda(Building N^{\circ}4\_To\_Out) = OUT_{BUILDINGS}$  if  $Dist_{Building 4} > 0$ ,  $\lambda(Out\_To\_Building N^{\circ}1) = IN_{BUILDING N^{\circ}1}$  if  $Dist_{Building 1} \leq 0$ ,  $\lambda(Out\_To\_Building N^{\circ}2) = IN_{BUILDING N^{\circ}2}$  if  $Dist_{Building 2} \leq 0$ ,  $\lambda(Out\_To\_Building N^{\circ}3) =$

$IN_{BUILDING\ N^{\circ}3}$  if  $Dist_{Building\ 3} \leq 0$ ,  $\lambda(Out\_To\_Building\ N^{\circ}4) = IN_{BUILDING\ N^{\circ}4}$  if  $Dist_{Building\ 4} \leq 0$ .

- $ta(Building\ N^{\circ}1\_To\_Out) = 0$ ,  $ta(Building\ N^{\circ}2\_To\_Out) = 0$ ,  $ta(Building\ N^{\circ}3\_To\_Out) = 0$ ,  
 $ta(Building\ N^{\circ}4\_To\_Out) = 0$ ,  $ta(Out\_To\_Building\ N^{\circ}1) = 0$ ,  $ta(Out\_To\_Building\ N^{\circ}2) = 0$ ,  $ta(Out\_To\_Building\ N^{\circ}3) = 0$ ,  
 $ta(Out\_To\_Building\ N^{\circ}4) = 0$ ,  $ta(In_{Building\ N^{\circ}1}) = \infty$ ,  $ta(In_{Building\ N^{\circ}2}) = \infty$ ,  
 $ta(In_{Building\ N^{\circ}3}) = \infty$ ,  $ta(In_{Building\ N^{\circ}4}) = \infty$ , and  $ta(Out_{Buildings}) = \infty$ .

Les équipements fonctionnent en temps réel et le régulateur est celui qui adapte l'horizon du mécanisme réactif avec les différents équipements. A travers le Régulateur, le système impose des consignes concernant la consommation énergétique des équipements, par les actions suivantes :

- Application du contrôle réactif de la consommation des équipements.
- Raffinement de l'horizon.

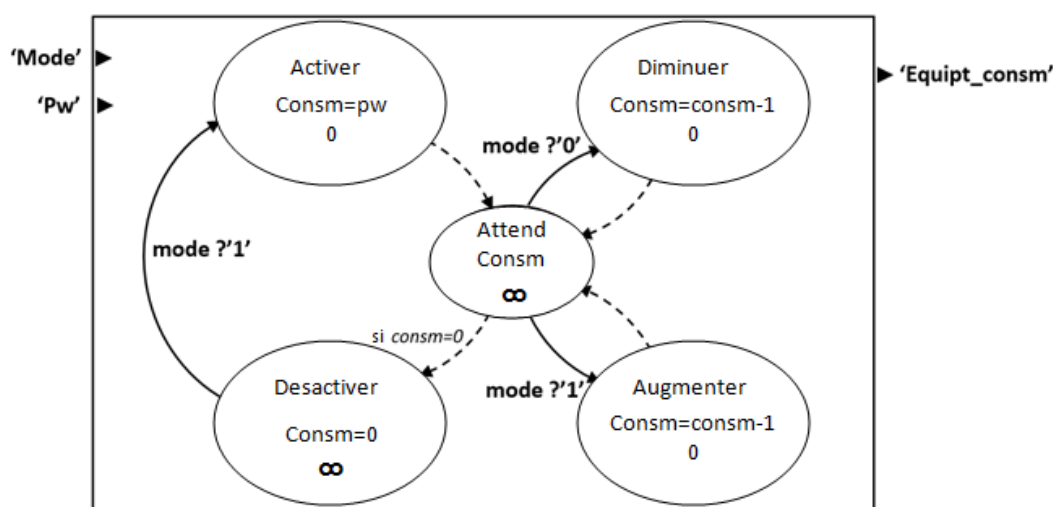


Figure IV.5 Modèle atomique DEVS d'un régulateur.

Le régulateur contrôle la consommation d'énergie des équipements temporaires avec des procédures de démarrage ou d'arrêt et contrôle les équipements permanents en augmentant ou en diminuant leur consommation d'énergie. Il existe deux valeurs d'entrée, 0 et 1 (Figure IV.13). La valeur 1 augmente la consommation de l'équipement concerné et la valeur 0 la réduit. Le fonctionnement du régulateur est exprimé en pourcentage de la puissance opérationnelle (par exemple 0 % = arrêt, 100 % = puissance de crête). La consommation des équipements concernés peut varier de zéro à la puissance maximale (Pw).

La description formelle DEVS du modèle « régulateur » est la suivante :

$$\text{Regulateur} = (X, S, Y, \delta_{\text{ext}}, \delta_{\text{int}}, \lambda, ta) \quad \text{ou:}$$

- $X = \{\text{Mode}, Pw\}$  présente des variables d'événement d'entrée, où:

- Mode = {0,1}, ce port indique la politique de consommation d'énergie à appliquer :

Le mode événement externe ?'1' augmente la consommation de l'équipement permanent et si le type

d'équipement = temp, cet événement allume l'équipement temporaire ; Le mode événement externe '?0' diminue la consommation de l'équipement.

- « Pw » est une variable qui indique la consommation maximale de l'équipement.

•  $Y = \{ACTIVER, DESACTIVER, AUGMENTER, DIMINUER\}$  ;

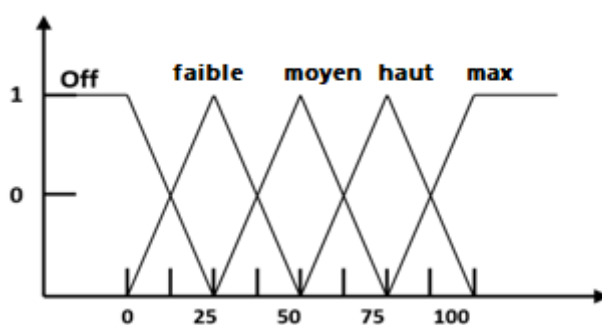
• L'ensemble des variables d'état :

$S = \{(phase, consm, ta)\}$ , ou:

Phase= {Activer, Désactiver, Augmenter, Diminuer, Attendre} ;'consm' est une variable qui indique la consommation de courant de l'équipement allant de 0 à Pw,  $consm \in [0, Pw]$  ;

•  $Y = \lambda(consm)$ , ou  $\lambda$  est la fonction de sortie de ce modèle atomique ;

•  $\delta_{ext}(Desactiver, mode?'0') = (Activer, consm = Pw, 0)$ ,  $\delta_{ext}(Wait, mode?'1') = (augmenter, consm = consm + 1, 0)$  et  $\delta_{ext}(Wait, mode?'0') = (diminuer, consm = consm - 1, 0)$ ;



**Figure IV.6** MF associé au modèle atomique "Régulateur".

•  $\delta_{int}(augmenter) = Wait$ ,  $\delta_{int}(Diminuer) = Wait$ ,  $\delta_{int}(Activer) = Wait$  and  $\delta_{int}(Wait) = Desactiver$  si  $consm = 0$ ;

•  $\lambda(Activer) = \mu(consm * 100 / Pw)$ ,  $\lambda(augmenter) = \mu(consm * 100 / Pw)$ ,  $\lambda(Diminuer) = \mu(consm * 100 / Pw)$ , où  $\mu$  est le MF associé à ce modèle atomique illustré à la **Figure IV.14**;

•  $ta(Desactiver) = \infty$ ,  $ta(Activer) = 0$ ,  $ta(Wait) = \infty$ ,  $ta(Diminuer) = 0$  and  $ta(augmenter) = 0$ .

### IV.3 Simulation du modèle proposé à l'aide de l'environnement DEVSimPy

Nous commençons maintenant l'étape d'installation et d'exécution de tous nos modèles couplés et atomiques. Pour ce faire, nous utilisons l'environnement de modélisation et de simulation DEVSimPy [Capocchi 2011].

Pour illustrer, notre scénario d'application comprend quatre bâtiments et un certain nombre d'utilisateurs pour eux. Chaque usager du bâtiment est accompagné de son smartphone. Dans notre conception, ce qui représente un bâtiment est le système de gestion de l'énergie, le modèle général comprenait donc les modèles couplés Bâtiment 1, Bâtiment 2, Bâtiment 3 et Bâtiment 4 (Figure IV.15). Ces modèles couplés peuvent représenter différents types de bâtiments ayant la même forme mais avec des dispositifs différents (Figure 16). En d'autres termes, la façon dont ces systèmes de sous-composants sont modélisés en fonction de leur comportement est similaire, mais la fonctionnalité peut différer. Initialement, lorsque les utilisateurs du système connectent un dispositif au système, le dispositif envoie des messages d'identification qui incluent le nom et l'ID à un modèle d'identifiant. Si l'authentification est correcte, le système commence à fonctionner correctement.

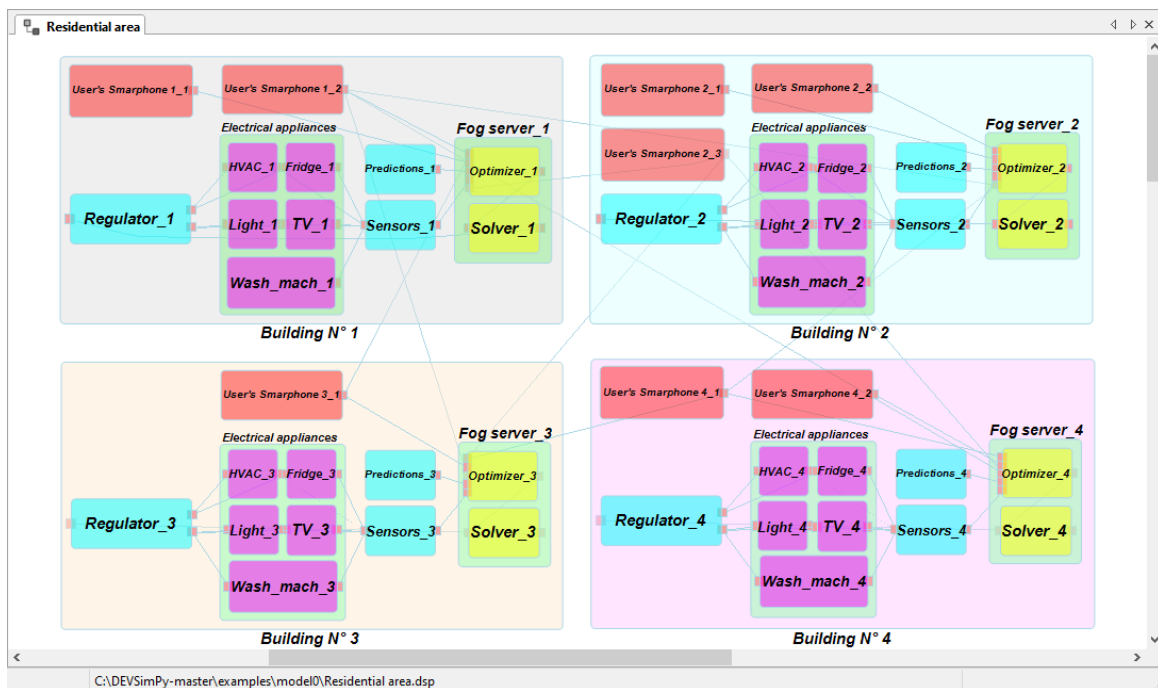
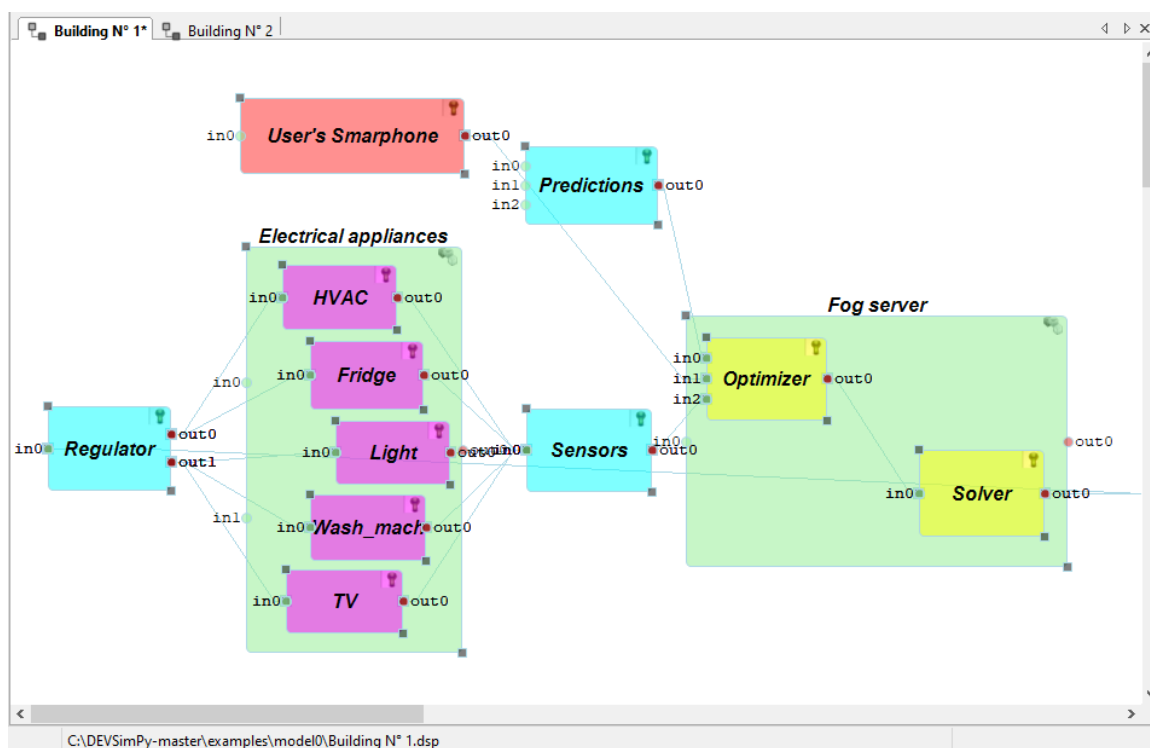


Figure IV.7 Représentation du modèle global à l'aide de l'outil DEVSIMPy.



**Figure IV.8** Représentation du modèle couplé Building EMS à l'aide de l'outil DEVSimPy.

Les expériences avec nos modèles peuvent être réalisées directement depuis l'interface de modélisation graphique. Par conséquent, le comportement du modèle généré peut être vérifié pour ajuster ses paramètres ou corriger des erreurs. De plus, l'application utilisée pour exécuter les expériences se trouve dans la même interface de modélisation.

## IV.4 Résultats et discussions

En général, l'objectif principal de la validation est de vérifier si un système fonctionne comme prévu, dans différentes conditions et scénarios de simulation. La validation vise à rendre le modèle utile dans le sens où il répond à un bon problème [Zeigler et Praehofer 2000]. Notre problème a été détaillé et formulé dans la section 4.2. Dans la section suivante, nous étudions les performances de cette approche via les différents scénarios de simulation. Afin de clarifier le potentiel de cette approche, nous avons dû réfléchir attentivement à une stratégie qui prouve son efficacité. Nous avons exploré les facteurs qui ont le plus influencé la formation des scènes. Par conséquent, nous avons effectué les étapes décrites dans les sous-sections suivantes :

### IV.4.1 Données de simulation

Avant de commencer à discuter des résultats, nous surveillons les événements par lesquels l'utilisateur change de localisation par rapport au bâtiment utilisé, afin de démontrer que l'optimisation basée sur la localisation de l'utilisateur est au cœur de cette réalisation. En d'autres termes, nous surveillons les événements dans lesquels la distance entre l'utilisateur et le bâtiment est différente de la distance spécifiée pour la limite du bâtiment (la distance spécifiée pour le périmètre de chaque bâtiment est de 05 m). Pour cela, nous avons surveillé les événements suivants :

Tableau 1 Données de simulation du bâtiment N° 1°

Date	Distance Bâtiment/Utilisateur (m)	Lumière (w)	Réfrigérateur (w)	Machine à laver (w)	HVAC (w)
June 13, 2023 09:18:41(time 0)	18.50	915	1023	0	925
June 13, 2023 09:24:36 (time 1)	270.50	9865	1135	1.5 5	1235

Tableau 2 Données de simulation du bâtiment N° 2

Date	Distance Bâtiment/Utilisateur (m)	Lumière (w)	Réfrigérateur (w)	Machine à laver (w)	HVAC (w)
June 13, 2023 15:41:32(time 0)	4,41	17546	25631	15,47	29256
June 13, 2023 17:03:20 (time 1)	2752.18	98945	30541	1.5 15,47	36521

Tableau 3 Données de simulation du bâtiment N° 3

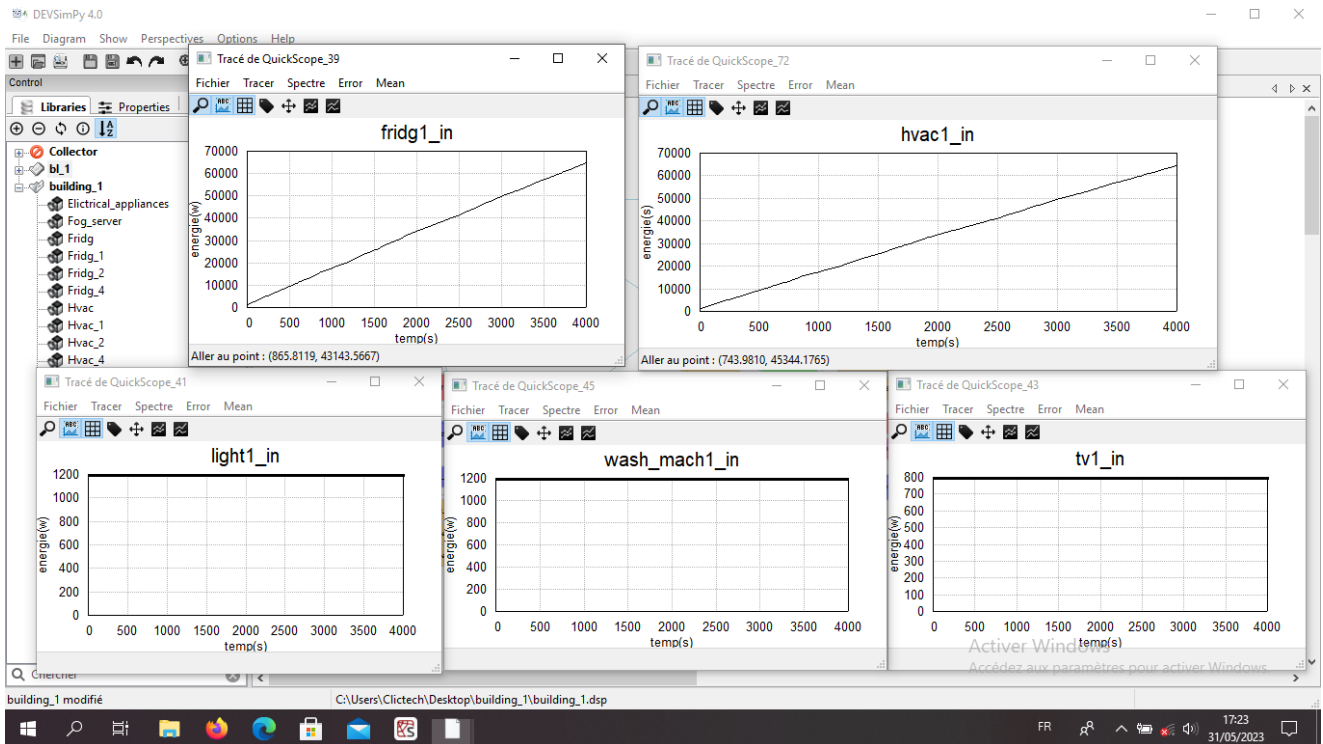
Date	Distance Bâtiment/Utilisateur (m)	Lumière (w)	Réfrigérateur (w)	Machine à laver (w)	HVAC (w)
June 13, 2023 12:02:23(time 0)	21,87	8245	12435	5	15656
June 13, 2023 12:12:51 (time 1)	2731.98	9858	14566	1.5 5	18524

Tableau 4 Données de simulation du bâtiment N° 4

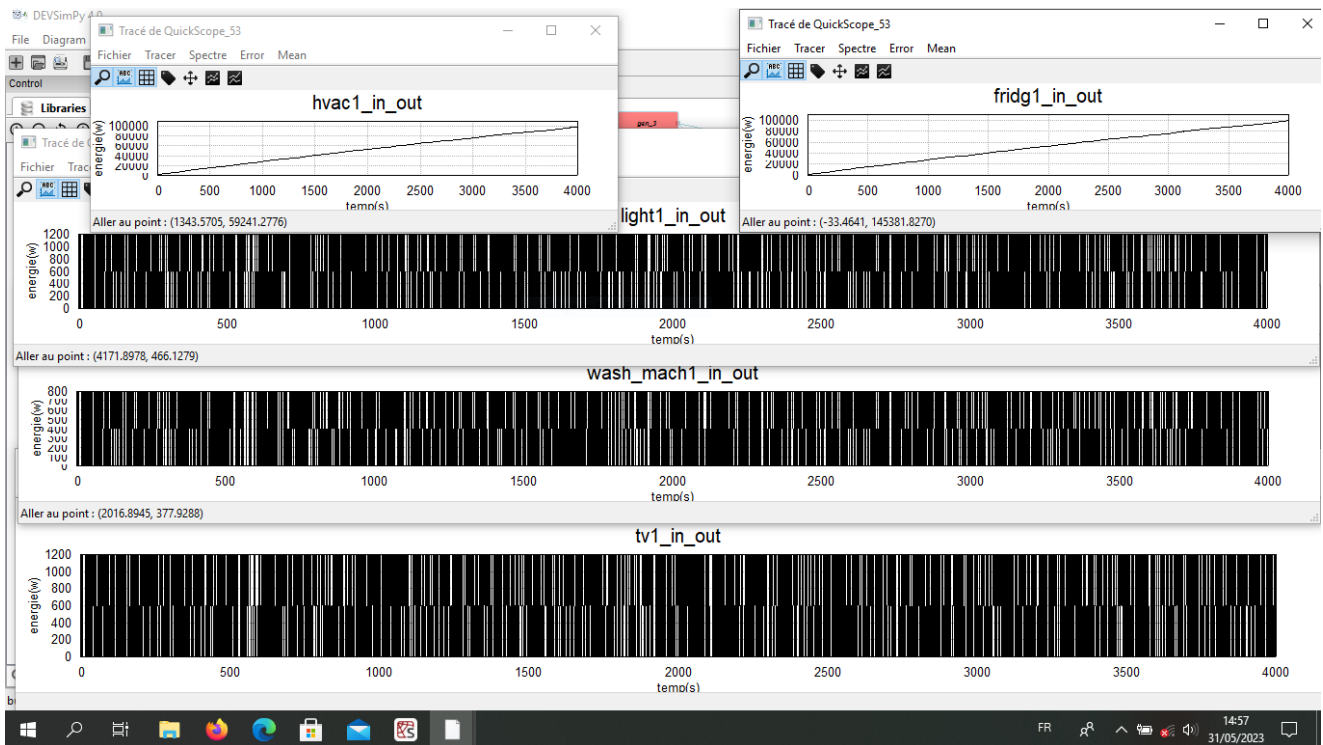
Date	Distance Bâtiment/Utilisateur (m)	Lumière (w)	Réfrigérateur (w)	Machine à laver (w)	HVAC (w)
June 13, 2023 12:02:23(time 0)	17,65	7542	15623	0	13652
June 13, 2023 12:12:51 (time 1)	2731.11	98254	18652	1.5 7,45	16335

Dans ce qui suit, nous présentons dans les figures, les résultats de la simulation sous forme de courbes obtenues à partir de l'environnement DEVSimPy.

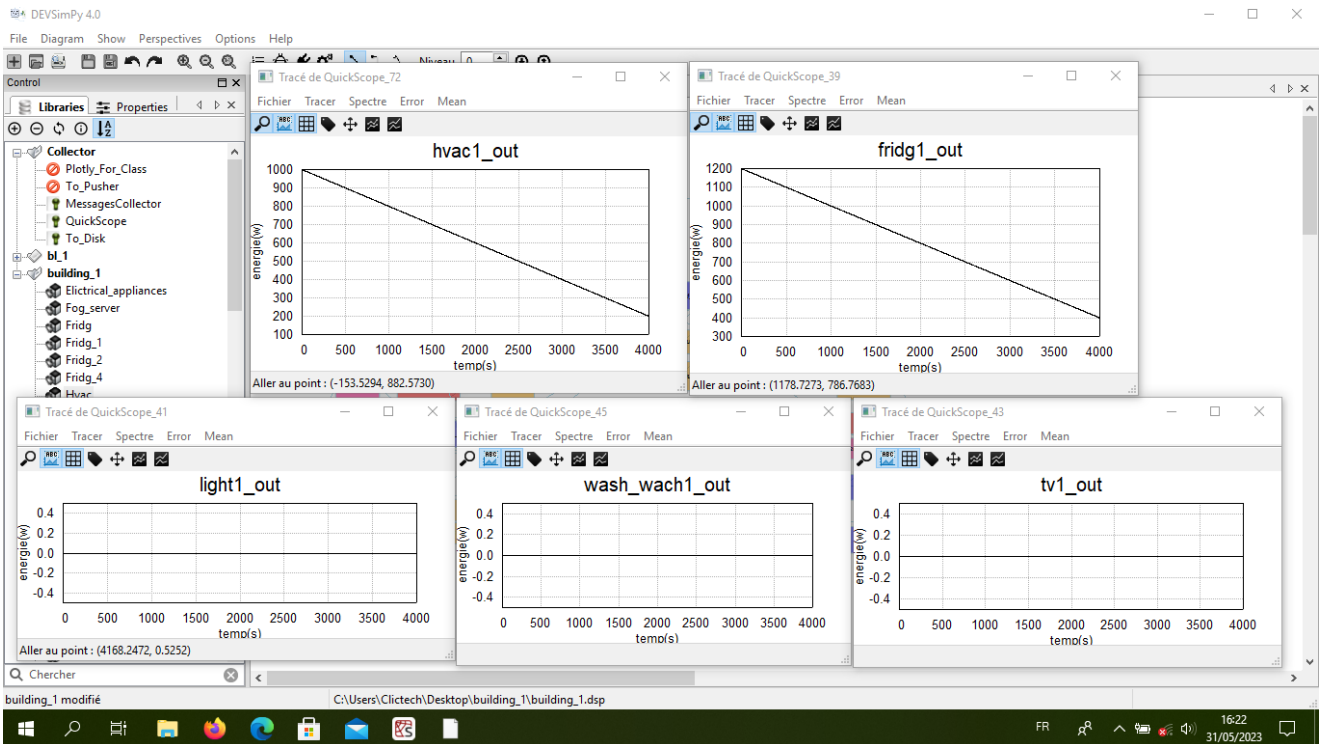




(a)

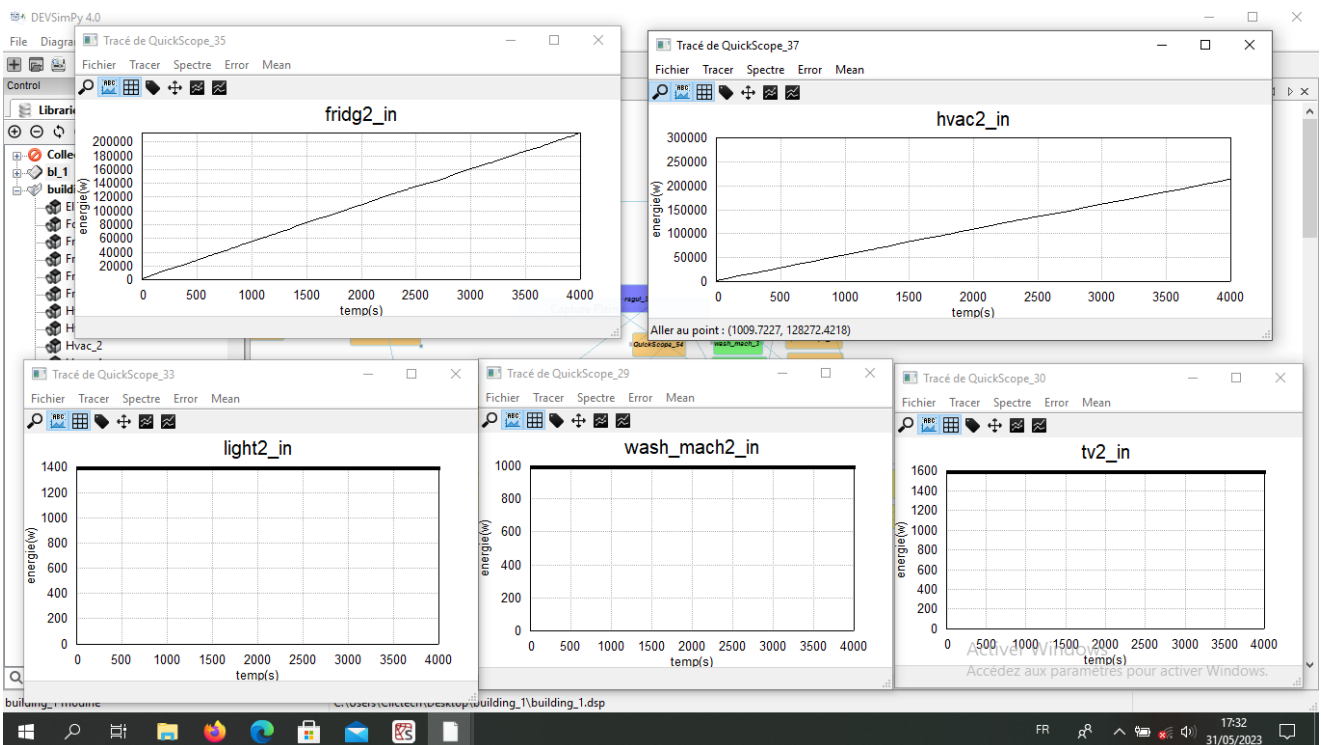


(b)

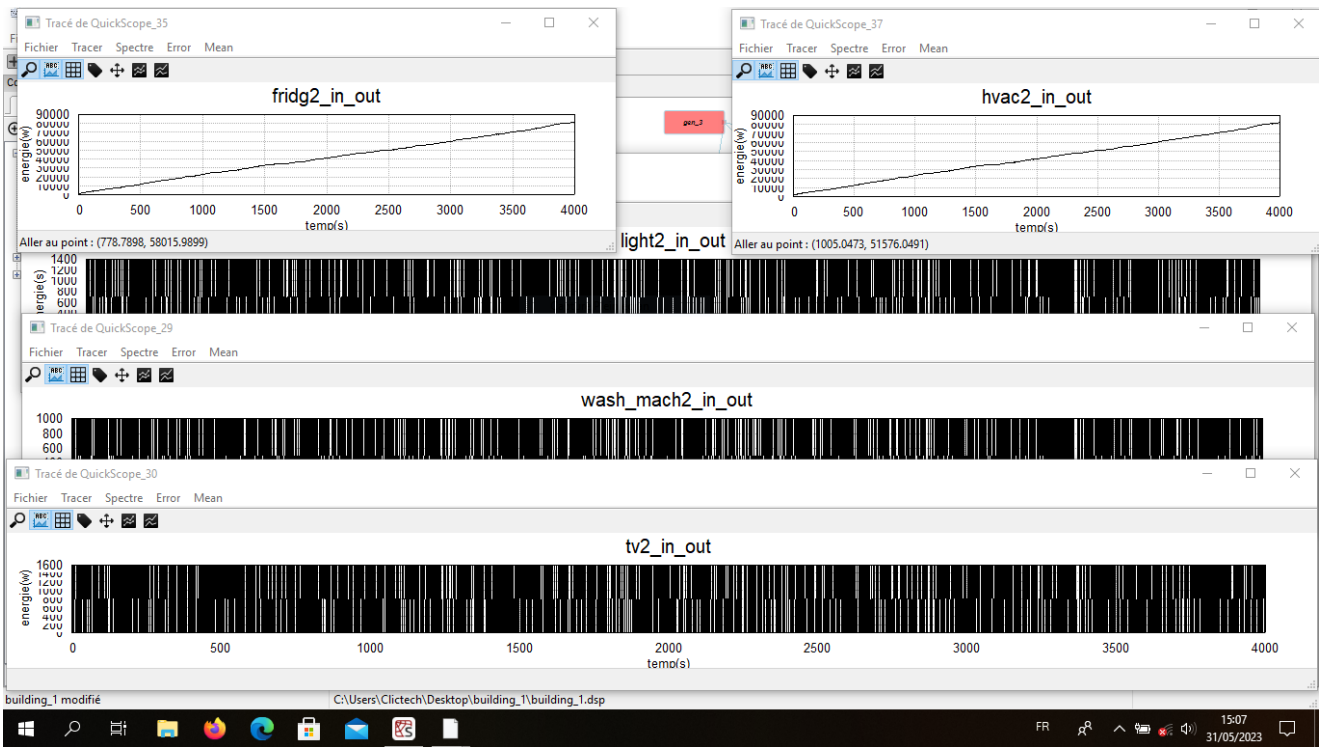


(c)

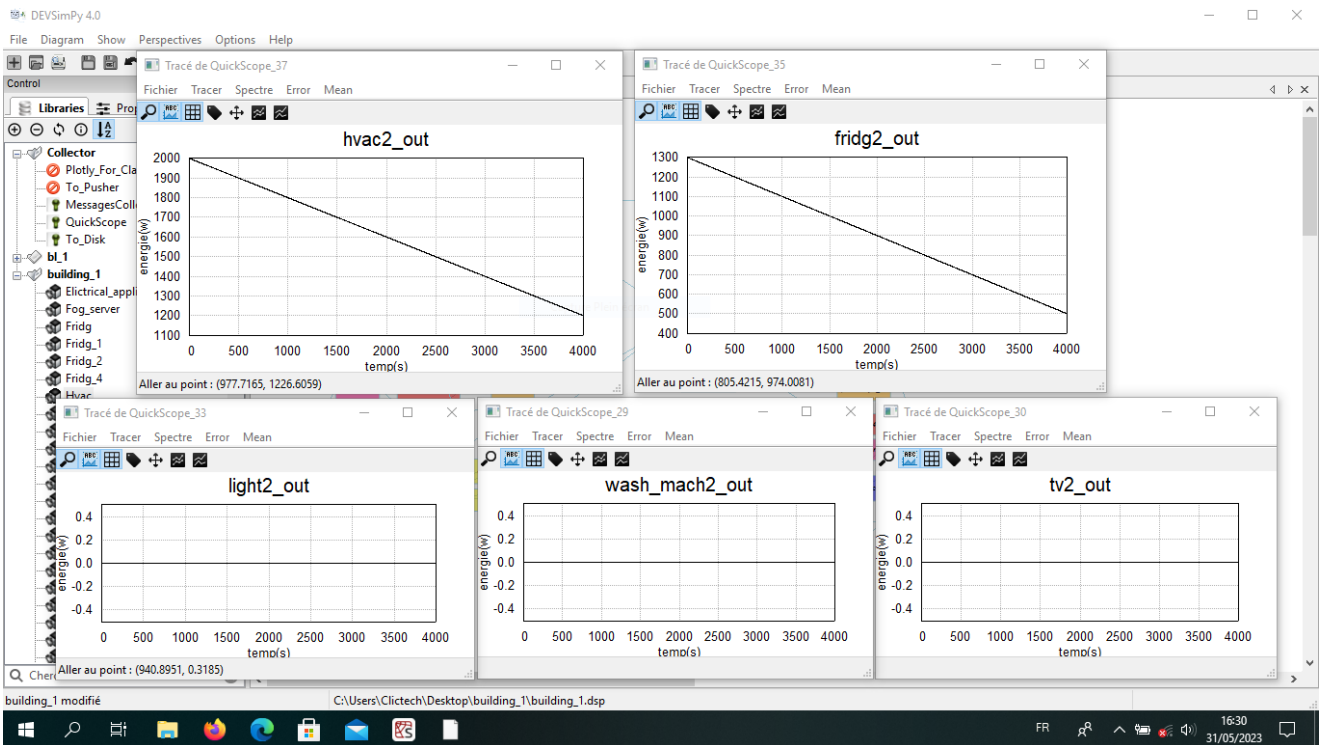
FigureIV.9 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 1.



(a)

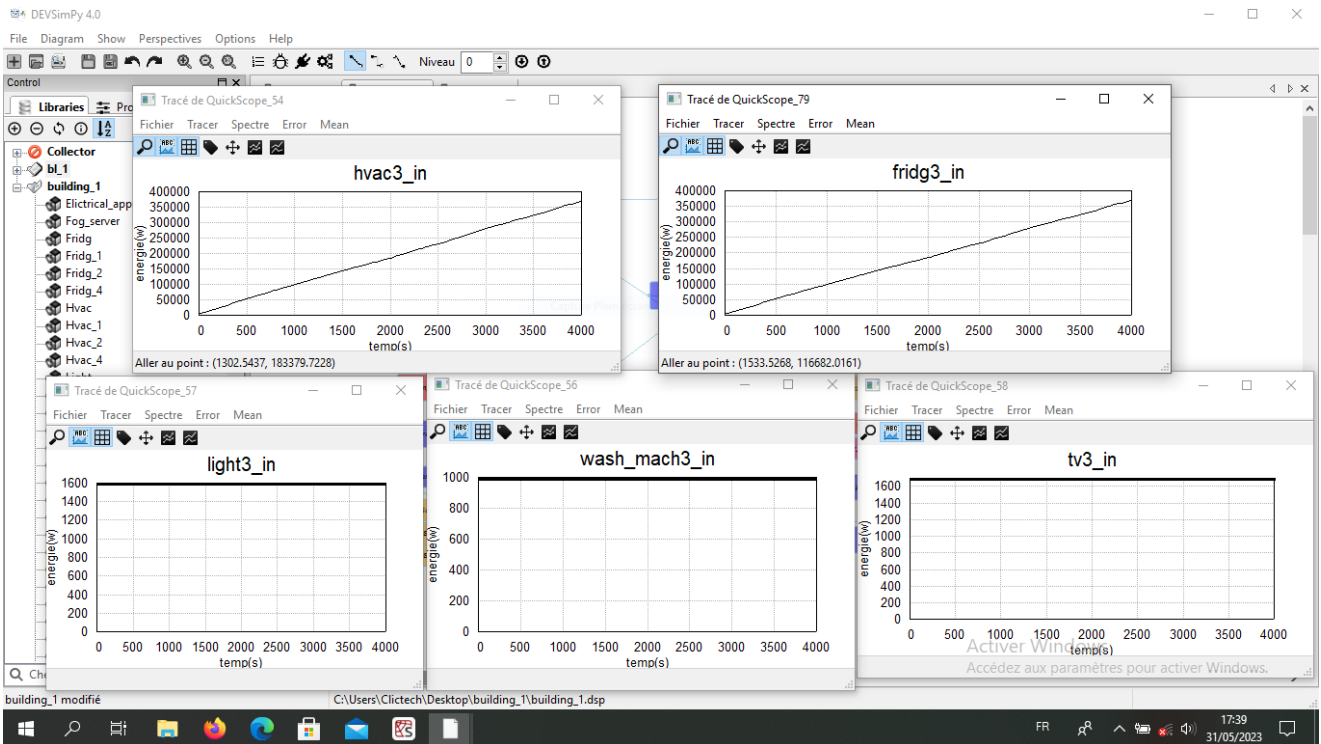


(b)

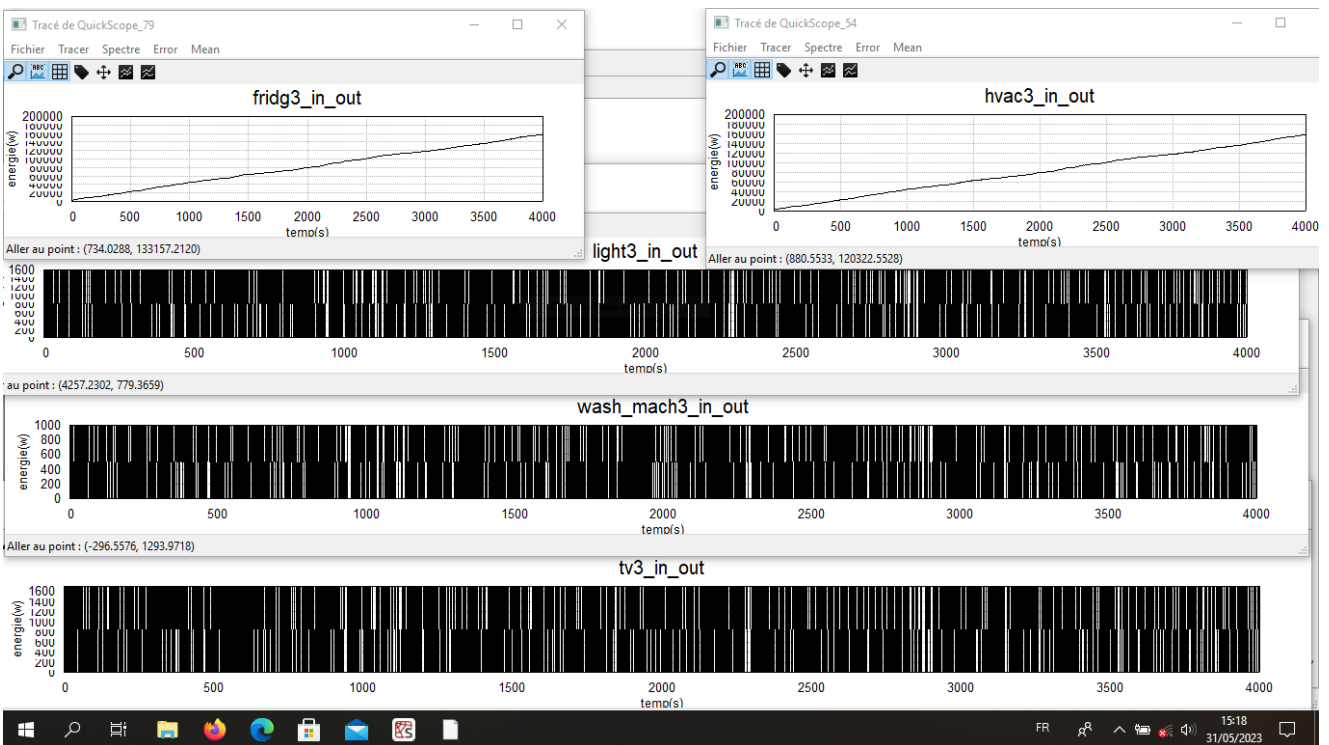


(c)

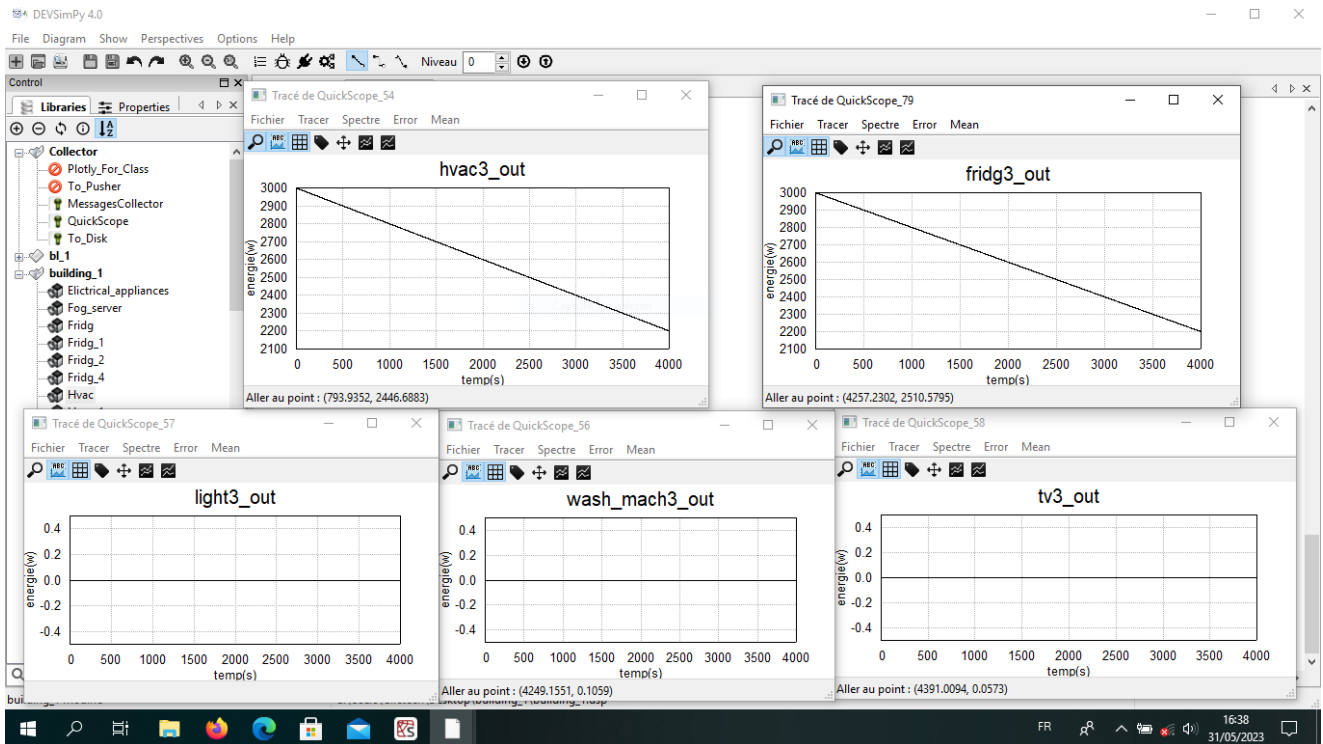
Figure IV.10 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 2.



(a)

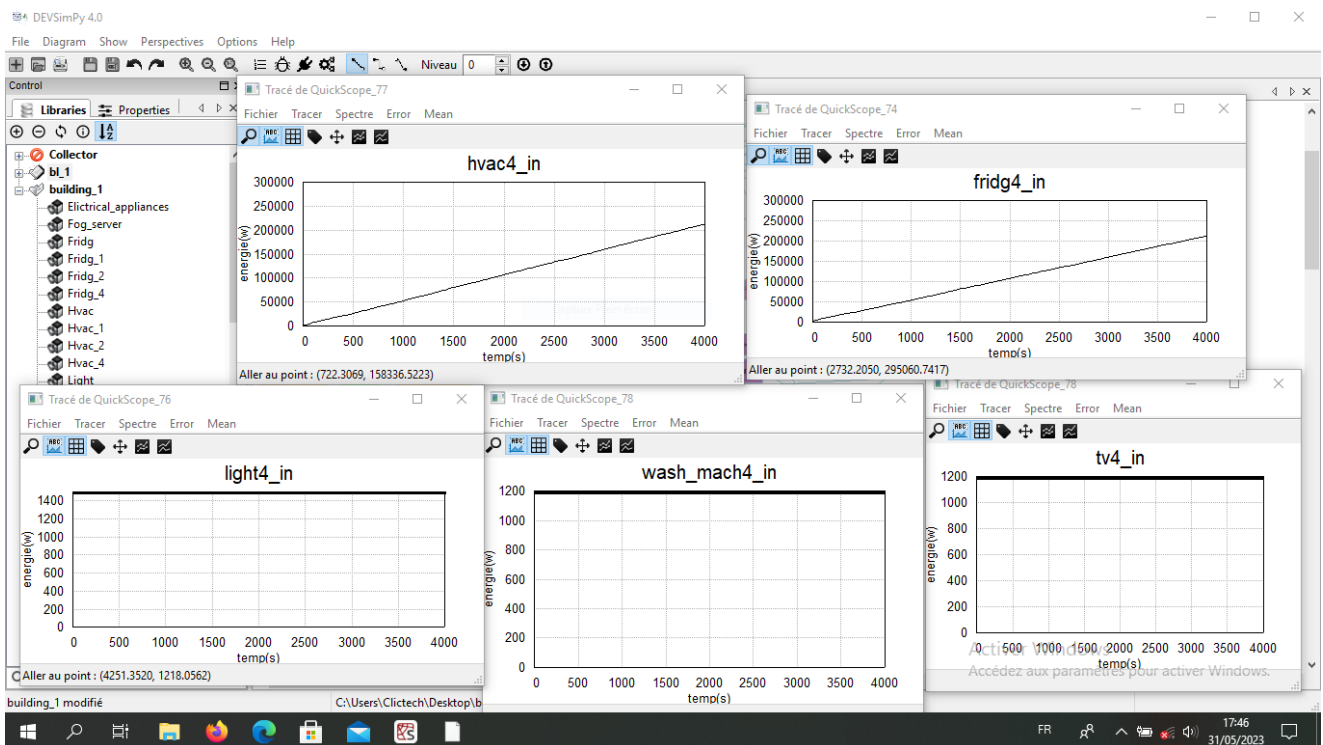


(b)

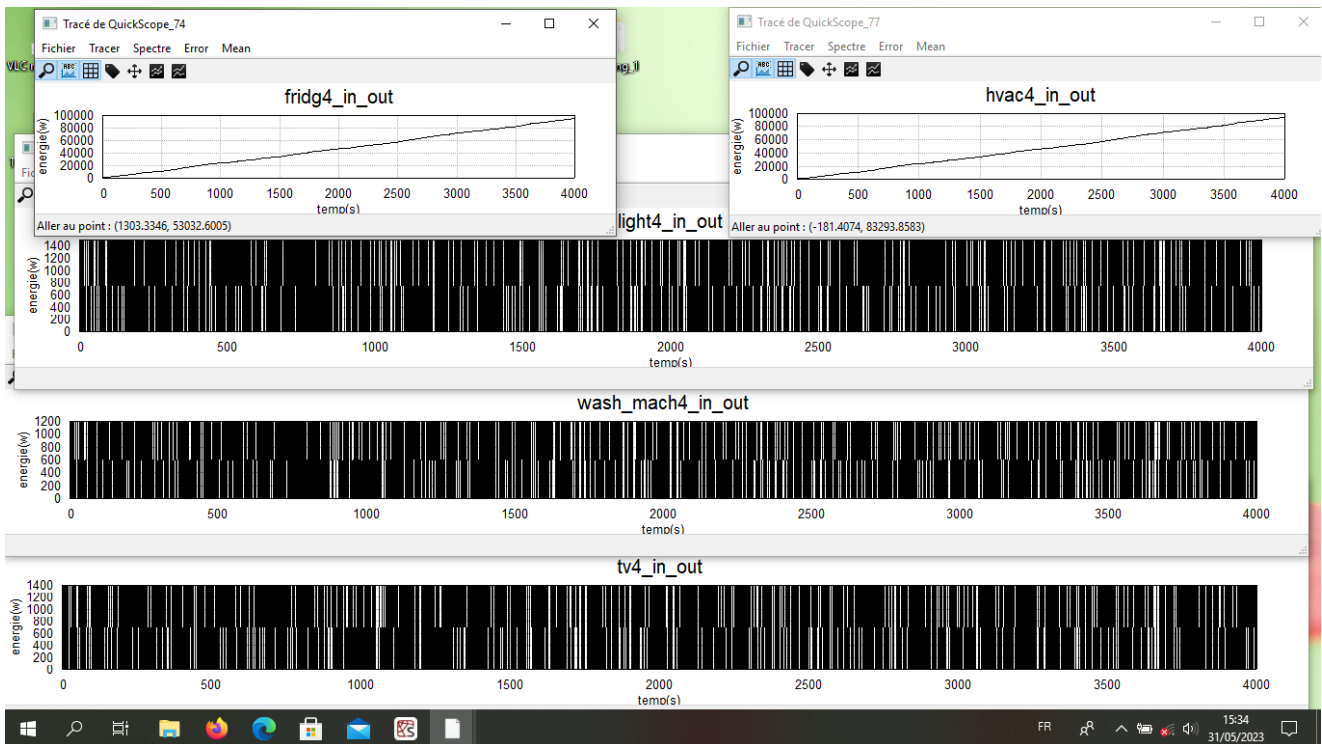


(c)

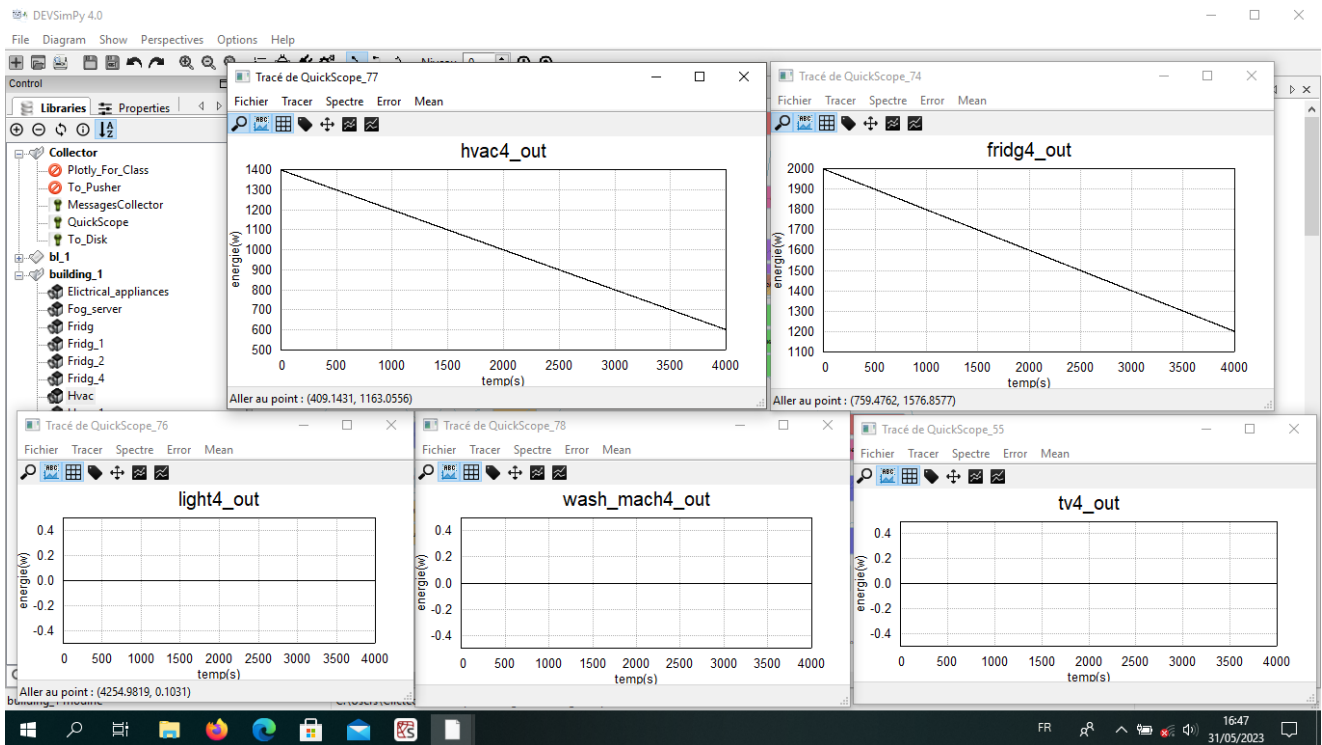
Figure IV.11 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 3.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.13 : la consommation d'énergie de chaque équipement dans le bâtiment 4.

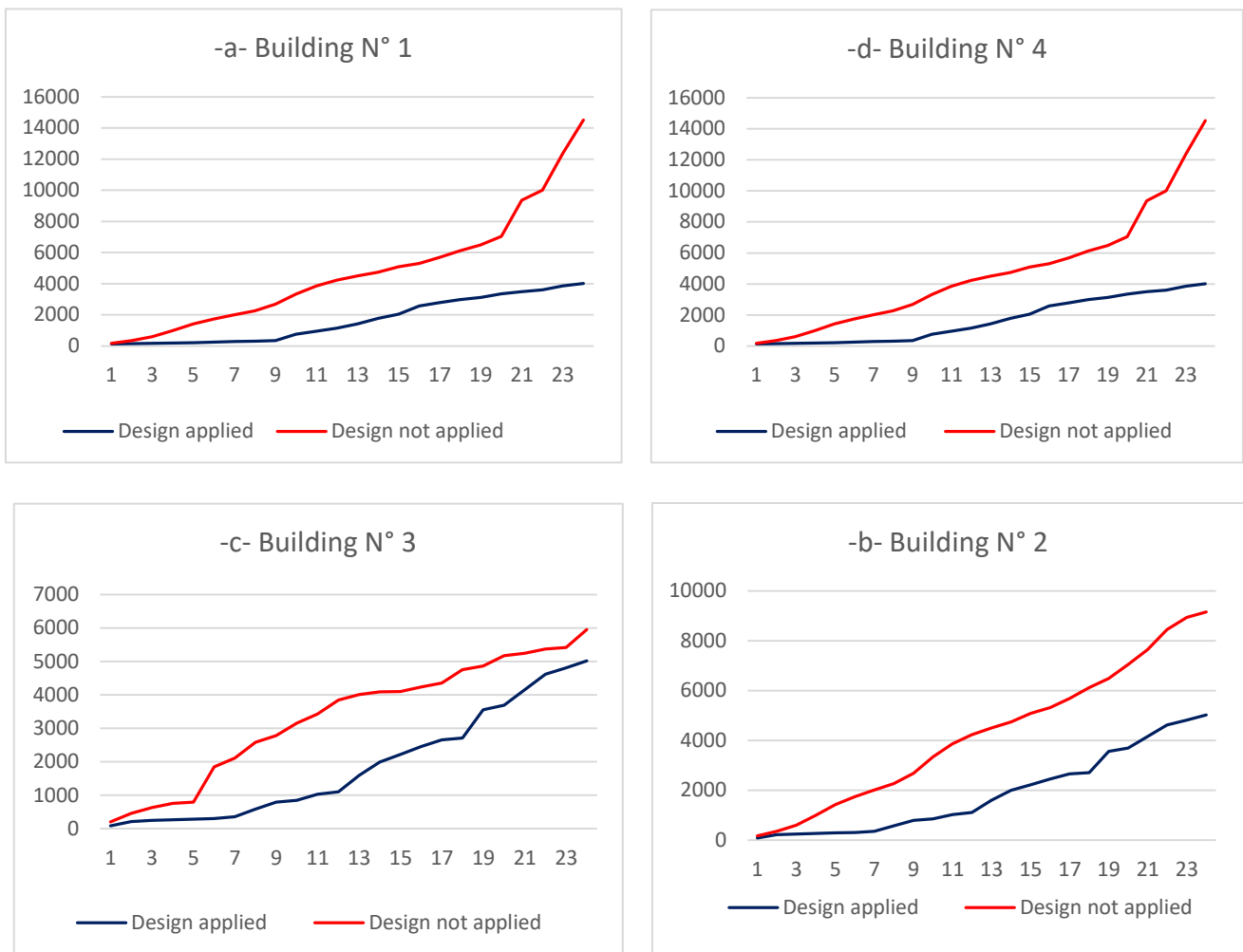
#### IV.4.2 Scène 1 : Consommation d'énergie des équipements temporaires

En tant qu'équipement temporaire, observons maintenant, par exemple, la consommation énergétique de l'éclairage dans toutes les situations où l'utilisateur est présent, à l'intérieur comme à l'extérieur du bâtiment, pour les quatre bâtiments qui composent notre quartier résidentiel. Les figures 17.a, 17.b, 17.c et 17.d montrent la consommation quotidienne d'énergie d'éclairage pour les bâtiments 1, 2, 3 et 4, respectivement. Notre objectif est de démontrer que notre conception rationnelle est responsable de la quantité d'énergie que nous gagnons en veillant à ce que le mode de consommation d'énergie soit économique lorsque les utilisateurs quittent leurs bâtiments.

On considère que quel que soit le nombre de lampes qui composent le système d'éclairage du bâtiment, il n'y a que deux cas pour ce système : allumer l'éclairage ou l'éteindre. Cela a été expliqué dans le chapitre précédent, qui comprenait l'explication détaillée du modèle atomique d'un équipement temporaire, où une lampe simple peut être uniquement à l'état allumé ou éteint et son modèle atomique se compose de quatre états : allumé, test allumé, test éteint. Et hors. L'étape initiale du modèle "équipement\_temporaire" est "off".

Dans le bâtiment 1 par exemple, à l'instant 0, la distance entre l'utilisateur et le bâtiment n'a pas dépassé la valeur minimale (distance > 5). Ce n'est que lorsque la distance minimale est dépassée que le système allume l'éclairage du bâtiment, c'est-à-dire que lorsque le modèle "light" reçoit un événement "in" sur le port "1", il passe en phase "on". C'est ce qui s'est passé au temps 1, car la distance





**Figure IV.14** Consommation énergétique quotidienne de l'éclairage des bâtiments.

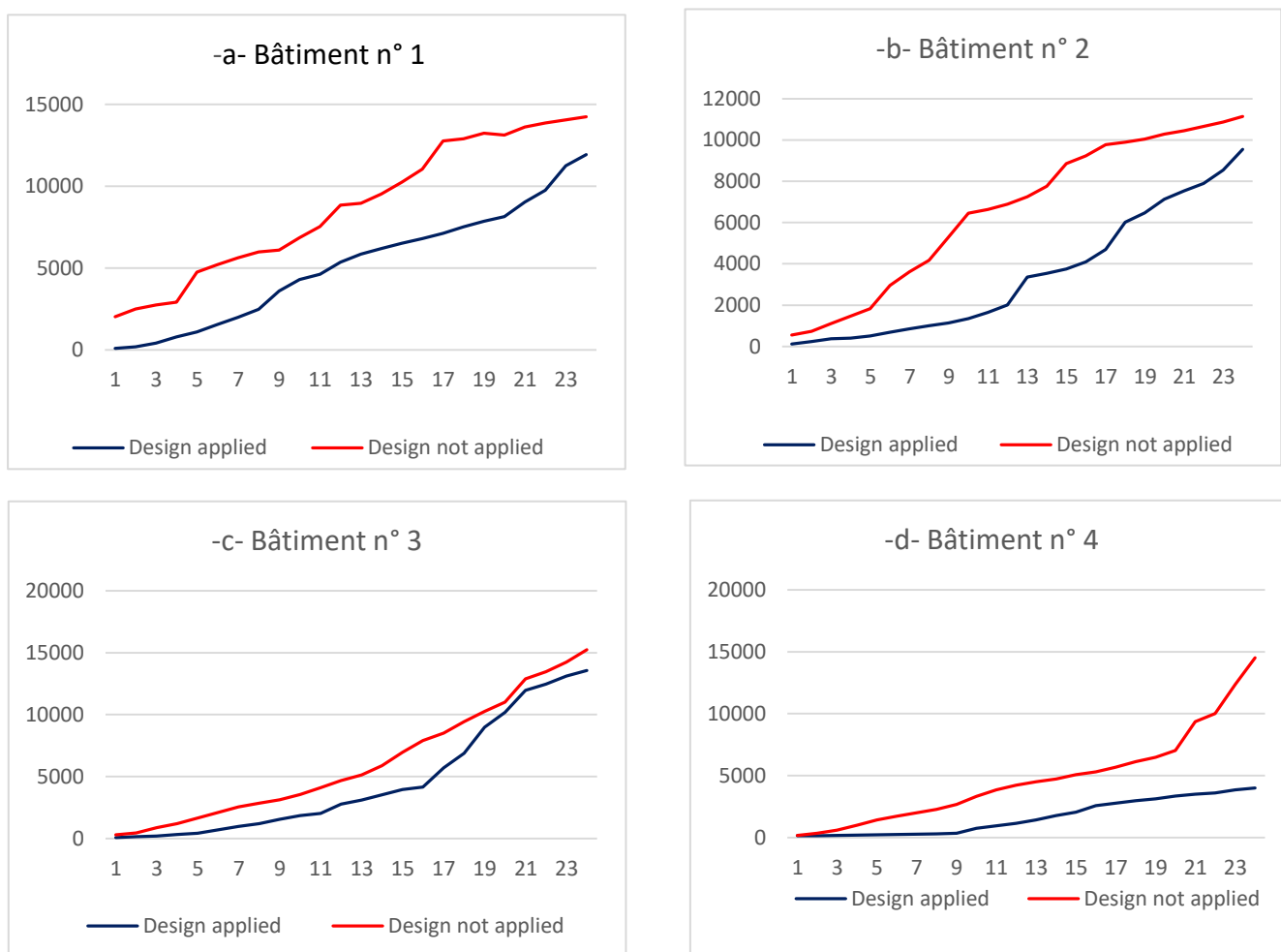
entrel'utilisateur et le bâtiment dépassait la valeur minimale (distance < 5). Au moment où l'utilisateur a traversé le périmètre du bâtiment, le système a allumé l'éclairage du bâtiment, c'est-à-dire que lorsque le modèle "lumière" a reçu l'événement "in" sur le port "1", il est passé à la phase "on". Cette transition d'état a été effectuée par la fonction de transition externe.

Comme le montre la **Figure IV.17.a**, il montre clairement que la valeur de l'énergie consommée pour l'éclairage a augmenté après que l'utilisateur a dépassé la distance spécifiée aux limites du bâtiment (voir entre 9,00 et 10,00 sur la **Figure IV.17.a**). Comme vous pouvez également le voir sur les courbes des quatre images, que pendant les 24 heures, la consommation totale d'énergie de l'éclairage lorsque la conception est appliquée est bien inférieure à ce qu'elle est dans les bâtiments qui n'utilisent pas cette conception, et cela prouve le profit procuré par cette conception rationnelle.



### IV.4.3 Scène 2 : Consommation d'énergie des équipements permanents

En tant qu'équipement permanent, observons la consommation d'énergie du réfrigérateur également dans toutes les situations où l'utilisateur est présent, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur du



bâtiment

**Figure IV.18** Consommation d'énergie quotidienne des réfrigérateurs dans les quatre bâtiments.

et ceci également pour les quatre bâtiments. La **Figure IV.18** montre la consommation d'énergie quotidienne du réfrigérateur dans ces bâtiments.

Nous voulons expliquer comment le système contrôle le fonctionnement de cet équipement en observant les utilisateurs à deux distances, dont l'une est inférieure à la distance minimale spécifiée pour le périmètre de leurs locaux égale à 5 mètres, et la seconde est supérieure à cette distance. Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent en définissant le modèle atomique des équipements permanents (voir section 6.2), le réfrigérateur fait partie des équipements permanents qui conservent les aliments et s'organise de la manière suivante : il est soit à l'arrêt (%P = 0% ), faible (%P = 25%), moyen (%P = 50%), élevé (%P= 75%), ou soit à puissance maximale (%P = 100%). Son modèle peut être modifié en état On, Off, Test\_On, Test\_Off, Waiting, Raise et Lower. L'état initial du modèle "Réfrigérateur" est "Arrêt".

Au temps 0, la distance entre l'utilisateur et son bâtiment dépasse la limite supérieure du périmètre du bâtiment (distance > 5). Lorsque le système toujours connecté au téléphone de l'utilisateur détecte que l'utilisateur est revenu dans son immeuble, le système ajuste progressivement le mode de consommation d'énergie du réfrigérateur en mode luxe au moment où l'utilisateur atteint effectivement le périmètre de l'immeuble, c'est-à-dire lorsque le modèle "réfrigérateur" reçoit un événement "CCE" sur son port "1", passe en phase "Augmentation". Cette transition dans les cas a été effectuée par la fonction de transition externe.

Au temps 1, la distance entre l'utilisateur et le bâtiment est égale à la valeur spécifiée du périmètre du bâtiment (distance = 5). Dès que l'utilisateur atteint le périmètre du bâtiment, le système met définitivement le réfrigérateur en mode luxe, c'est-à-dire lorsque le modèle de réfrigérateur reçoit l'événement "CCE" sur son port '1' et avec VEC=100, il passe en " Augmenter" phase au maximum. Cette transition dans le cas a également été effectuée par la fonction de transition externe.

Lors de la mise en œuvre, nous avons inclus une fonction qui calcule la différence des distances de déplacement de l'utilisateur calculées pour deux instants consécutifs avec une petite différence de pas de temps (1 seconde). Cette fonction a pour but d'estimer l'orientation de l'utilisateur afin de faire intervenir le système en amont de la situation de consommation d'énergie en profitant de l'opportunité de réduire ou d'augmenter la consommation d'énergie des équipements permanents. En d'autres termes, par exemple, si l'utilisateur se déplace dans le bâtiment et que vous savez que si les distances de déplacement de l'utilisateur diminuent, le système augmente progressivement la consommation énergétique des équipements permanents du bâtiment, et fait l'inverse dans le cas contraire.

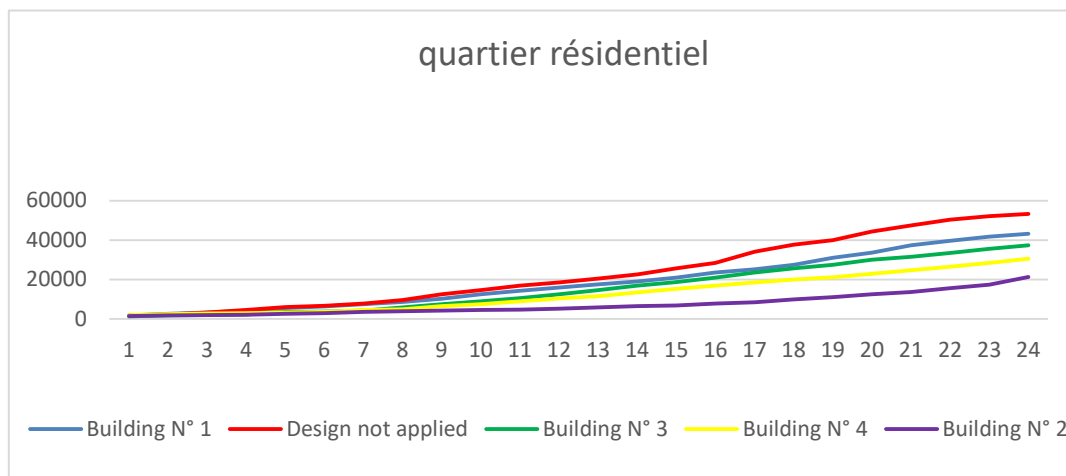
Comme le montre la **Figure IV.18.a**, cela montre clairement que la valeur d'énergie consommée du réfrigérateur a augmenté après que l'utilisateur a dépassé la distance spécifiée des limites du bâtiment (voir entre 8h00 et 9h00 sur la **Figure IV.18.a**). Comme vous pouvez le voir sur les courbes des quatre images, que pendant les 24 heures, la consommation d'énergie totale du réfrigérateur lors de l'application de la conception est beaucoup plus faible que dans les bâtiments qui n'utilisent pas cette conception et cela prouve le profit fourni par cette conception rationnelle.

## **IV. 5 Résultats de la simulation pour 24 heures de consommation d'énergie pour l'ensemble de la zone résidentielle**

Maintenant, à travers la **Figure IV.19**, nous comparons les résultats de la consommation d'énergie pour tous les appareils électriques dans des quatre bâtiments, sur une période de 24 heures, dans le cas de la conception retenue, avec les résultats de consommation énergétique pour les mêmes appareils dans ces bâtiments sans utiliser cette conception.

A travers cette figure, on voit que la consommation énergétique effective de ces bâtiments, après application de cette conception, est bien inférieure à la consommation des bâtiments qui ne l'utilisent pas ; En particulier, cet écart augmente rapidement pendant les moments où les utilisateurs atteignent l'enceinte de leurs bâtiments (lorsqu'ils quittent le bâtiment pour aller à l'extérieur), jusqu'à ce qu'en fin de journée on obtienne un gain énergétique intéressant : environ 15,39 % pour le bâtiment N °1,

21,74 % pour le bâtiment N°3, 29,53 % pour le bâtiment N°4 et 36,41 % pour le bâtiment N°2 économie d'énergie par rapport à une consommation incontrôlable.

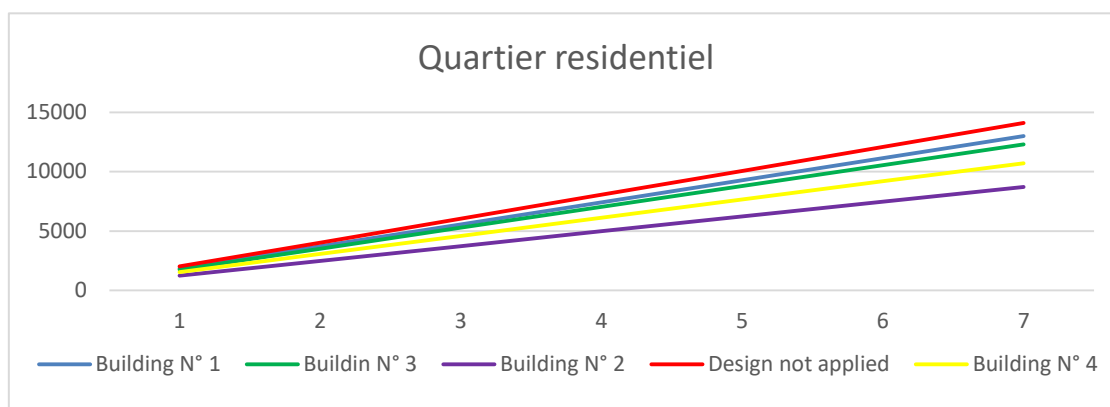


**Figure IV.1** Gain énergétique journalier du pour les bâtiments (Toute la zone résidentielle).

Notre objectif est d'aller informatiser une ville entière composée d'autant de bâtiments énergivores que notre zone résidentielle. La bonne chose est que si nous étendons cet environnement à toute une ville, nous gagnerons beaucoup d'énergie et cela est dû à une conservation d'énergie rationnelle et automatique qui évite tout gaspillage pouvant survenir en cas de consommation d'énergie incontrôlée. Cela prouve que notre conception a été efficace et claire dans ce processus de rationalisation et nous espérons l'appliquer aux grandes villes du monde.

#### IV.5.1 Résultats de simulation pour une semaine

En conclusion, afin d'assurer l'efficacité de notre conception proposée, nous simulons le modèle sur une semaine complète. Par rapport à la consommation d'énergie réelle des quatre bâtiments, la Figure 20 montre la consommation d'énergie optimale totale des quatre bâtiments, pour une semaine entière. D'après les courbes présentées sur la figure, après comparaison, il ressort que nous avons gagné environ 14,08% de la consommation totale d'énergie par semaine pour le bâtiment N°1, 19,89 % pour le bâtiment N°3, 28,45 % pour le bâtiment N° 4 et 28,55 % pour le bâtiment N°2, après application du dimensionnement à ces bâtiments. Cela signifie qu'en appliquant notre conception rationnelle, nous gagnerons beaucoup d'énergie sans compromettre le bien-être des utilisateurs du bâtiment. Cela est dû



**Figure IV.2** Gain énergétique hebdomadaire du pour les bâtiments.

à l'informatisation de la zone résidentielle, qui garantit que l'énergie n'est pas gaspillée tant que les utilisateurs sont à l'extérieur de leurs bâtiments. De plus, nous assurons que cette conception ne coûte que quelques appareils, notamment des capteurs, des actionneurs et un serveur de brouillard, qui sont inclus dans la composition du WSN qui jouent le rôle de système d'automatisation pour chaque bâtiment.

## IV.6 conclusions

Le secteur du bâtiment constitue une source potentielle majeure d'économies d'énergie, notamment à travers la rationalisation de l'utilisation de l'énergie, qui a suscité l'intérêt de nombreux chercheurs à contribuer à son développement par des propositions valables (Shah et Nasir 2019).

Dans ce travail, nous avons maintenant introduit une nouvelle approche permettant d'optimiser la gestion de la consommation d'énergie dans les bâtiments intelligents, qui est basée sur la localisation des utilisateurs dans la rationalisation de l'utilisation de l'énergie. Pour déterminer la localisation de l'utilisateur par rapport aux bâtiments qu'il utilise, nous nous sommes appuyés sur le paradigme du fog computing sous couvert de conception holistique et intelligente. Une section entière a été consacrée à une définition détaillée de toutes les parties qui contribuent à l'installation de cette conception, en particulier le réseau de capteurs sans fil qui agit comme le système d'automatisation du bâtiment, la base de données qui définit les utilisateurs réels de chaque bâtiment et le service de localisation GPS.

Pour réaliser cette conception, nous nous sommes appuyés sur un environnement compatible, composé de quelques bâtiments, et de ses utilisateurs toujours accompagnés de leurs téléphones portables. Ces utilisateurs quittent leurs locaux puis reviennent dans leurs locaux. Nous avons pensé à choisir cet environnement car nous voulions qu'il soit une porte d'entrée principale pour créer des complexes d'environnements plus grands et plus nombreux, comme une ville entière, nous aspirons à trouver des solutions pour les rendre plus intelligents.

Nous avons pris en compte toutes les caractéristiques des phénomènes possibles dans cet environnement dans nos travaux, de la conception adoptée aux systèmes résultants, pour modifier les modes d'utilisation de l'énergie en fonction de la localisation de l'utilisateur, dans le but de rationaliser

leur consommation d'énergie. De plus, nous avons utilisé les dernières technologies dans nos conceptions, en particulier le paradigme du calcul du brouillard en raison de ses avantages en termes de rapidité de mise en œuvre en raison du déplacement de toutes les actions de mise en réseau hors du Cloud.

Afin de valider notre approche, nous avons modélisé tous les systèmes résultants selon le formalisme DEVS après avoir appliqué la conception proposée à son environnement approprié tout en préservant tous les scénarios possibles. Nous justifions notre choix du DEVS par son caractère modulaire exploité dans cette étude où l'on peut constituer des sous-modèles, ce qui permet de développer des techniques de simulation de manière autonome puis de les intégrer jusqu'à arriver au modèle global. Cette division des systèmes agrégés a facilité le processus de modélisation dans toutes ses étapes.

Après avoir implémenté tous nos modèles dans l'environnement de modélisation et de simulation DEVSImPy, nous avons adopté une approche systématique pour analyser les résultats de la simulation en sélectionnant les scénarios appropriés. Nous avons exploré les facteurs qui avaient le plus d'influence sur le façonnage des scènes, les principaux acteurs, en particulier la consommation des modèles, les emplacements des utilisateurs potentiels et les événements critiques qui conduisent à des situations changeantes, et après avoir analysé les résultats de la simulation dans ces situations, nous avons démontré que nous réalisons d'importantes économies d'énergie sans compromettre le bien-être de l'utilisateur.

# **Conclusion générale**

Pour conclure ,on dit que le monde assiste à un développement continu dans le domaine de la technologie et de l'informatique, et ce développement s'étend également au domaine de la conception des villes et des bâtiments. De nombreuses villes se réjouissent d'appliquer le concept de "computing the city" pour parvenir à un développement durable et améliorer la qualité de vie des habitants; L'un des aspects de l'informatisation de la ville est la rationalisation de la consommation d'énergie dans les bâtiments.

Les bâtiments sont parmi les plus gros consommateurs d'énergie dans les villes, donc concevoir un système qui contribue à réduire cette consommation est une étape importante vers la durabilité environnementale,La conception globale de l'efficacité énergétique automatique dans les bâtiments implique l'utilisation de systèmes informatiques intelligents connectés au Web pour surveiller et analyser la consommation d'énergie en temps réel ;Ces systèmes permettent de collecter des données détaillées sur la consommation d'énergie dans les bâtiments et d'analyser ces données pour identifier les faiblesses et les opportunités d'amélioration. Grâce à l'intelligence artificielle et aux techniques d'apprentissage automatique, les systèmes informatiques peuvent analyser les données et suggérer automatiquement des améliorations et Ces améliorations pourraient inclure le réglage du système de climatisation et d'éclairage pour contrôler la consommation, la détection et la réparation des fuites dans le système de chauffage et de refroidissement, et faire des propositions pour améliorer l'isolation des bâtiments et utiliser les énergies renouvelables.

De plus, le système peut également interagir avec les utilisateurs et fournir des informations sur la consommation d'énergie et des conseils pour la réduire, les particuliers et les entreprises peuvent jouer un rôle actif dans les économies d'énergie en recevant des alertes et des conseils sur les comportements individuels qui peuvent être améliorés.La réalisation automatique de l'efficacité énergétique dans les bâtiments améliore la durabilité environnementale et réduit les émissions nocives. Il permet également d'économiser les coûts d'exploitation des bâtiments et contribue à améliorer la qualité de vie des résidents en offrant un environnement confortable et sain. Cependant, la conception globale de l'efficacité énergétique des bâtiments est confrontée à des défis. Parmi ces défis figurent le coût élevé de la mise en œuvre de ces systèmes informatiques avancés et les problèmes de sécurité et de confidentialité liés à la collecte et à l'analyse des données.

De plus, certaines personnes peuvent être préoccupées par une dépendance excessive à la technologie et une perte de contrôle humain sur le processus décisionnel.Dans l'ensemble, une conception globale de l'efficacité énergétique automatique dans les bâtiments représente une étape importante vers un avenir durable et intelligent pour les villes. S'il est largement adopté et mis en œuvre efficacement, il aura un impact positif significatif sur l'environnement et la société, et améliorera la qualité de vie et le confort des habitants des villes durables.

# Références bibliographiques



## Références

Abyaneh.A.Y, Pourahmadi.V, Foumani.A-H-G(2019). CSI-based authentication: Extracting stable features using deep neural networks. *Trans. Emerging Tel. Tech*, 30(11), 1–11. 2019.

[https://doi: 10.1002/ett.3795](https://doi.org/10.1002/ett.3795).

Aid L, Zaoui L, and Mostefaoui S A M (2016). Using DEVS for modeling and simulation of ambient objects in intelligent buildings. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 7(4): 579-592. [Doi.org/10.1007/s12652-016-0352-9](https://doi.org/10.1007/s12652-016-0352-9)

Albatineh M and Jarrah M (2021). DEVS-IoT: performance evaluation of smart home devices network. *Multimedia Tools and Applications*, 80(11): 16857-16885. [Doi.org/10.1007/s11042-020-09186-w](https://doi.org/10.1007/s11042-020-09186-w)

Al faruque M A and Vatanparvar K (2015). Energy management-as-a-service over fog computing platform. *IEEE internet of things journal*, 3(2): 161-169. [Doi: 10.1109/JIOT.2015.2471260](https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2471260)

Atlam H F, Walters R J, Wills G B (2018). Fog computing and the internet of things: a review. *Big Data and Cognitive Computing*, 2(10):1-18. [Doi.org/10.3390/bdcc2020010](https://doi.org/10.3390/bdcc2020010).

Belhadi.A, Djenouri.Y, Srivastava.G, Djenouri.D, Lin.J.C.W, Fortino.G(2020). Deep learning for pedestrian collective behavior analysis in smart cities: A model of group trajectory outlier detection. *Information Fusion*, 65 : 13–20. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2020.08.003>.

Bellavista P, Berrocal J, Corradi A, Das S K, Foschini L, Zanni A (2019). A survey on fog computing for the Internet of Things. *Pervasive Mob. Comput*, 52(6): 71-99. [Doi:10.1016/j.pmcj.2018.12.007](https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2018.12.007).

Belsey.KE,Rumens.CV, Ziai.MA(2017), Switchable disposable passive RFID vapour sensors from inkjet printed electronic components integrated with PDMS as a stimulus responsive material, *Journal of Materials Chemistry C* 5 (12), 3167-3175

Bittencourt L F, Diaz-Montes J, Buyya R, et al (2017). Mobility-aware application scheduling in fog computing. *IEEE Cloud Computing*, 4 (2): 26-35. [DOI: 10.1109/MCC.2017.27](https://doi.org/10.1109/MCC.2017.27)

Capocchi L, Santucci J F, Poggi B, et al (2011). DEVSimPy: A collaborative python software for modeling and simulation of DEVS systems. Paper presented at 2011 IEEE 20th International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. IEEE, 170-175. [DOI: 10.1109/WETICE.2011.31](https://doi.org/10.1109/WETICE.2011.31)

Capocchi L (2014). DEVSimPy-Version 2.8.. PhD Thesis, University of Corsica., Laboratoire SPE UME CNRS 6134.

Capocchi L, Bernardi F, Federici D, et al (2006). BFS-DEVS: A general DEVS-based formalism for behavioral fault simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 14(7): 945-970. [Doi.org/10.1016/j.simpat.2006.05.002](https://doi.org/10.1016/j.simpat.2006.05.002)

Capocchi L (2005). Simulation concurrente de fautes comportementales pour des systèmes à événements discrets: Application aux circuits digitaux. PhD Thesis, Université Pascal Paoli, France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00165440>

Cesconetto.J, Augusto Silva.L., Bortoluzzi.F, Navarro-Cáceres.M, Zeferino.C.A, Leithardt.V.R.PRIPRO—Privacy Profiles.Q(2020).User Profiling Management for Smart Environments. *Electronics*. 2020; 9 : 1519

Chan, M., et al. (2008), A review of smart homes - Present state and future challenges, *Comput Methods Programs Biomed*

Gubbi.J, Buyya.R, M Palaniswami ,( 2013), Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions.

Guo X, Ansari N, Hu F, et al (2019). A survey on fusion-based indoor positioning. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(1):566-594. DOI: 10.1109/COMST.2019.2951036

Hill, David RC (2002). *Theory of Modelling and Simulation: Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*: by BP Zeigler, H. Praehofer, TG Kim, Academic Press, San Diego, CA, 2000. <https://doi.org/10.1002/rnc.610>

Jalali F, Khodadustan S, Gray C, Hinton K, Suits F (2017). Greening IoT with Fog: A Survey. Paper presented at 2017 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE), Honolulu, HI, 25-31. Doi: 10.1109/IEEE.EDGE.2017.13.

Javed A, Rana O, Marmaras C, et al (2017). Fog paradigm for local energy management systems. In: *Cloud Infrastructures, Services, and IoT Systems for Smart Cities*. Springer, Cham. pp. 162-176. [Doi.org/10.1007/978-3-319-67636-4\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-67636-4_18)

Jones, P., Clarke-Hill, C., Shears, P., Comfort, D. and Hillier, D. (2004), "Radio frequency identification in the UK: opportunities and challenges", *International Journal of Retail & Distribution Management*, Vol. 32 No. 3, pp. 164-171. <https://doi.org/10.1108/09590550410524957>

Karvonen.A, Cugurullo.F, Caprotti.F, (2019) , Inside Smart Cities Place, *Politics and Urban Innovation*

Lau B P L, Marakkalage S H, Zhou Y, Hassan N U, Yuen C, Zhang M, Tan U X (2019). A survey of data fusion in smart city applications. *Information Fusion*, 52: 357-374. [Doi.org/10.1016/j.inffus.2019.05.004](https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.05.004).

Luan.T.H, Gao.L, Li.Z, Xiang.Y, Sun.L (2015). Fog computing: Focusing on mobile users at the edge, Preprint, available online arXiv:1502.01815[cs.NI], (2015), 1–11.

Maatoug A, Belalem G (2014). Conception and validation of smart building energy management system BEMS using the discrete event system specification DEVS. *Journal of Communications Software and Systems (JCOMSS)*, 10(2): 107-113. Doi.org/10.24138/jcomss.v10i2.131

Maatoug.A,(2021) thèse :Modélisation et conception d’objets connectés au service du bâtiment intelligent : optimiser la gestion de la consommation d’énergie.

Maatoug.A, Belalem.G,. Mahmoudi.S (2019) .Fog computing framework for location-based energy management in smart buildings. *Multiagent and Grid Systems*,15(1) : 39–56. 2019. [https://doi: 10.3233/MGS-190301](https://doi.org/10.3233/MGS-190301)

Manzoor A, Judge M A, Ahmed F, et al (2022). Towards simulating the constraint-based nature-inspired smart scheduling in energy intelligent buildings. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 118: 102550. Doi.org/10.1016/j.simpat.2022.102550

Mededjel M, Belalem G, and Neki A, (2017). Towards a traceability system based on cloud and fog computing. *Multiagent and Grid Systems*, 13(1):47-68. DOI: 10.3233/MGS-170261

Mohammadi.M Al-Fuqaha.A Sorour,S Guizani.M,(2018), Deep learning for IoT big data and streaming analytics: A survey, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 20 (4), 2923-2960

Naranjo P G V, Pooranian Z, Shojafar M, et al (2019). FOCAN: A Fog-supported smart city network architecture for management of applications in the Internet of Everything environments. *Journal of parallel and distributed computing*, 132: 274-283. Doi.org/10.1016/j.jpdc.2018.07.003

Pan J, Jain R, Paul S, et al (2015). An internet of things framework for smart energy in buildings: designs, prototype, and experiments. *IEEE Internet Things J*, 2 (6): 527–537. DOI: 10.1109/JIOT.2015.2413397

Pramsten E and Roberthson D (2014). Wireless sensor networks in building automation systems.

Rashid B and Rehmani M H (2016). Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. *Journal of network and computer applications*, 60: 192-219. Doi.org/10.1016/j.jnca.2015.09.008

Ren X, Vashisht S, Aujla G S, et al (2022). Drone-edge coalesce for energy-aware and sustainable service delivery for smart city applications. *Sustainable Cities and Society*, 77: 103505. Doi.org/10.1016/j.scs.2021.103505

Shah A S, Nasir H, Fayaz M, et al (2019). A review on energy consumption optimization techniques in IoT based smart building environments. *Information*, 10(3): 108. Doi.org/10.3390/info10030108

Stojmenovic.I, and Wen.S (2014). *The fog computing paradigm: Scenarios and security issues*. In: *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, Warsaw, Poland, (Sep. 7–10, 2014), 1–8.

Toublanc.T, Guillet.S, Berruet.P, (2017), Using a virtual plant to support the development of intelligent gateway for sensors/actuators security

Varghese B, Wang N, Nikolopoulos D S, et al (2020). Feasibility of fog computing. In: *Handbook of Integration of Cloud Computing, Cyber Physical Systems and Internet of Things*. Springer, Cham, pp. 127-146. Doi.org/10.1007/978-3-030-43795-4\_5

Vasseur J P and D A (2010). *Interconnecting smart objects with ip: The next internet*. Morgan Kaufmann.

Zao J K., Gan T T, You C K, et al (2014). Augmented brain computer interaction based on fog computing and linked data. Paper presented at 2014 International conference on intelligent environments. IEEE, 374-377. DOI: 10.1109/IE.2014.54

Zeigler.B.P, Praehofer.H, Kim.T.G (2000). *Theory of modeling and simulation: integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*. Academic press, San Diego (2000). ISBN: 0127784551