

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Ibn Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Électrique



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Parcours : Master

Spécialité : Automatique et informatique industrielle

Thème

**Simulation a évènements discrets DEVS :
Étude de cas**

Préparé par :

M. REKRAK KHAOULA

M. SAAD SOUHILA

Soutenu publiquement le : 21 /06 / 2023, devant le jury composé de :

M. H.BOUMEDIEN	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Président
M. H.BENABID	Maître de Conférences "A" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. A.ADDA.BENATTIA	Maître assistant "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Examineur
M. MAASKRI .M	Maître de Conférences "B" (Univ. Ibn Khaldoun)	Encadrant

Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le clément et le bienveillant, de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail. Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à notre encadrant, M. MAAKRI Moustafa, pour ses orientations et ses conseils précieux tout au long de l'évolution de notre projet. Nous remercions également les honorables membres du jury qui nous ont fait l'immense honneur d'examiner ce travail. Nous voudrions aussi exprimer notre gratitude à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation. Nos remerciements vont également à tous ceux et celles qui, de près ou de loin, nous ont apporté leur aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Dédicaces

Je dédie cette grande réussite à ma personnalité forte et inébranlable. J'ai été le principal facteur de réussite de ce projet, car j'ai su surmonter les défis et les difficultés avec force et détermination. Que ce cadeau soit un rappel de ma force intérieure et de ma capacité à atteindre la grandeur. Je continuerai à réaliser des rêves et à briser des barrières, je suis capable de plus



Dédicace

J'ai toujours voulu offrir quelque chose à mes parents en guise de reconnaissance pour avoir faits de moi la femme que je suis aujourd'hui, Et voilà, l'occasion est venue;

A mes parents qui m'ont donné la vie, symbole de fierté, de sagesse et de patience,

A mes parents qui sont la source de mon inspiration et de mon courage,

A mes très chers frères et

Tous les membres de ma famille, petits et grands

A Ma binôme Khaoula

Tous mes amis Tous mes collègues d'étude.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur

Tous ceux qui m'aiment et ceux qui j'aime

Souhila.S



TABLE DES MATIER

Introduction Générale	1
CHAPITRE I : Modélisation et Simulation des Systèmes	3
I.1. Introduction	4
I.2. Modélisation et simulation de systèmes	4
I.2.1. Approches de modélisation.....	5
I.2.1.1. L’approche systémique	6
I.2.1.2. L’approche empirique :.....	6
I.2.1.3. L’approche mécaniste :.....	6
I.2.1.4. L’approche approximative :.....	7
I.2.2. Théorie Systémique :	7
I.2.2.1. Systèmes	9
I.2.2.2. Modélisation :	10
I.2.2.3. Simulation :.....	11
I.2.2.4. Paradigme de Modélisation et de Simulation	14
I.3. Conclusion	15
CHAPITRE II : Formalisme DEVS	16
II.1. Introduction :.....	17
II.2. Modélisation à évènement discret.....	17
II.2.1. Modélisation DEVS.....	18
II.2.2. Simulation DEVS	24
II.3. Conclusion.....	26
CHAPITRE III : Système Photovoltaïque.....	27
III.1. Introduction :.....	28
III.2. Historique :	28
III.3. Energie solaire photovoltaïque :	29
III.3.1. Rayonnement solaire :.....	29
III.3.2. Mesure de rayonnement solaire :	30
III.4. Cellule photovoltaïque :.....	31
III.4.1. Les différents types de la cellule photovoltaïques :	31
III.4.2. Le principe de fonctionnement d’une cellule solaire :	32
III.5. Module photovoltaïque :.....	33
III.5.1. Caractéristiques électriques d’un module photovoltaïque :	33
III.5.1.1. Caractéristiques Courant –Tension.	33

III.5.1.2. Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension.....	34
III.5.1.3. Caractéristique Courant (puissance)-Tension	34
III.6. Influence des paramètres externes :	35
III.6.1. Influence de l'ensoleillement :	35
III.6.2. Influence de la température	35
III.6.3. Le générateur photovoltaïque :	36
III.7. Le système de stockage :	36
III.7.1. La batterie :	36
III.7.2. Batterie au plomb	37
III.7.3. Principe de fonctionnement d'une batterie au plomb :	37
III.7.4. Batterie au nickel :	37
III.7.5. Les caractéristiques principales d'une batterie sont :	37
III.7.5.1. Capacité :	37
III.7.5.2. La durée de vie :	37
III.7.5.3. Profondeur de décharge :	38
III.7.5.4. La tension d'utilisation :	38
III.7.5.5. Le rendement :	38
III.7.5.6. Le taux d'autodécharge :	38
III.7.5.7. La décharge :	38
III.7.5.8. La décharge :	38
III.8. Groupement de batteries :	38
III.8.1. Montage en série :	38
III.8.2. Montage en parallèle :	39
III.9. Avantages et inconvénient :	39
III.9.1. Les avantages de l'énergie photovoltaïque :	39
III.9.2. Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :	40
III.10. Conclusion :	40
CHAPITRE IV : Expérimentation et résultats	41
IV.1. Introduction :	42
IV.2. Modélisation d'un système photovoltaïque :	42
IV.2.1. Le panneau photovoltaïque	44
IV.2.2. Le distributeur	45
IV.2.3. La batterie	46
IV.3. Résultats de simulation :	48
IV.4. Conclusion	52

LIST DES FIGURE

Figure I.1: Etapes du processus de modélisation et de simulation [1]	4
Figure I.2: Interrelations qui constituent un Système [3]	8
Figure I.3: Principe de modélisation des systèmes [4]	11
Figure I.4: Simulation continue	12
Figure I.5: Simulation discrète	12
Figure I.6: Simulation discrète dirigée par évènements.	13
Figure II.1: Description d'un modèle atomique DEVS.	19
Figure II.2: Description de l'évolution des éléments d'un modèle atomique.	20
Figure.II.3 : Description d'un modèle couplé DEVS [4]	22
Figure II.4 : Arbre de Classe du simulateur DEVS [4]	24
Figure II.5 : Hiérarchie de classe d'un environnement DEVS [4].	25
Figure III.1 : les composants du rayonnement solaire.....	29
Figure III.2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.....	30
Figure III.3 : présentation schématique	31
Figure III.4 : Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule solaire	31
Figure III.5 : Différents types de la cellule photovoltaïque.....	32
Figure III.7: Module photovoltaïque.	33
Figure III.8 : Caractéristiques Courant –Tension.	33
Figure III.8.1: Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension	34
Figure III.8.2 : Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension.	34
Figure III.9 : influence de l'éclairement sur la caractéristique I (V).....	35
Figure III.10 : influence de la température sur la caractéristique P (V)	36
Figure III.11 : Branchement des batteries en série	39
Figure III.12 : branchement des batteries en parallèles	39
Figure IV.1: Un système photovoltaïque.....	42
Figure IV.2 : Modèle du système PV dans JDEVS.....	43
Figure IV.3 : Sous-modèle panneau photovoltaïque.	44
Figure IV.4 : Sous-modèle distributeur.	46
Figure IV.5 : Sous-modèle batterie.....	47
Figure IV.6: Le besoin moyen sur 3 ans.....	48
Figure IV.7 : L'ensoleillement moyen durant 3 ans.....	49
Figure IV.8: Satisfaction moyenne sur 3 ans.....	49
Figure IV.9: Prix d'un système PV.	50
Figure IV.10 : l'utilisation de la batterie par 24h sur 4 saisons.....	50

Figure IV.11 : La représentation de la capacité maximum de la batterie pendant 3 ans.....	51
Figure IV.12 niveaux de batterie pendant 24h sur 04 saisons.	52

NOMENCLATURE

τ	Base de temps.	
X	Ensemble d'états d'entrée.	
Ω	États courants des entrées.	
δ	Fonction de transition.	
Y	Ensemble d'états initiaux	
λ	Fonction de sortie.	
S	Les états du système	
ta	Le processus de progression temporelle ou la durée de l'état S.	
δ_{int}	Fonction de transition interne	
δ_{ext}	Fonction de transition externe.	
e	Le temps est-il écoulé depuis la dernière transition.	
D	Ensemble des modèles qui composent le modèle couplé.	
I _s	Courant de saturation.	A
I _{sc}	Courant de court-circuit.	A
V _{oc}	Tension de circuit ouvert.	V
K	Constante de Boltzmann 1,38.10 ⁻²³	J/K
T	Température de jonction des cellules	°C
T ₀	Température des panneaux de référence à 25°.	

Table des abréviations.

DEVS	Discrete Event System Specification.
MA	Modèle atomique
MC	Modèle couplé
PV	Panneau Photovoltaïque
GPV	Générateur Photovoltaïque.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Il existe deux types d'énergies, les énergies fossiles et les énergies renouvelables : L'énergie fossile désigne l'énergie que l'on produit à partir de roches issues de la fossilisation des êtres vivants : pétrole, gaz naturel et houille. Elles sont présentées en quantité limitée et non renouvelable. Leur combustion chimique exothermique entraîne des gaz à effet de serre. Suite aux effets négatifs et aux inconvénients de ce type d'énergie l'être humain s'est retrouvé devant une fatalité de chercher des ressources renouvelables et propres Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le soleil mais aussi la lune. Parmi les énergies renouvelables existantes on distingue les énergies éoliennes, hydrauliques et l'énergie solaire. Dans notre étude, nous avons choisi l'énergie solaire comme énergie alternative aux énergies conventionnelles à cause de ses multiples avantages telle que comme le système photovoltaïque est un système complexe à base d'événement discret nous avons choisi le logiciel JDEVS pour modéliser et et le simuler, l'abréviation du nom de ce logiciel vient du terme anglais Discrète Event System Spécification, le JDEVS est un formalisme de modélisation introduit par le professeur Bernard P. Zeigler en 1976. Ce formalisme est destiné pour la modélisation, la simulation et l'analyse des systèmes basés sur les évènements discrets, ainsi il fournit une description du comportement des systèmes sur deux niveaux différents. Le logiciel JDEVS nous a permis de simuler et étudier le système photovoltaïque facilement, les résultats de simulation obtenue dans cette étude ont prouvé l'efficacité de l'utilisation de ce logiciel, dans cette étude on a pu étudier plusieurs critères tel que la variation de la puissance stockée dans les batteries, la satisfaction moyenne, la variation de l'ensoleillement durant un an et la représentation du niveau de batterie pendant 3 ans en fonction de temps (heur). Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres organisés comme suit :

Le premier chapitre a couvert les approches de modélisation et la théorie des systèmes, leurs définitions, les représentations générales de la modélisation et de la simulation, et les paradigmes de modélisation et de simulation.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté une introduction sur le formalisme JDEVS et la modélisation en utilisant ce formalisme. Il s'avère que celui-ci est basé sur deux modèles principaux, le modèle atomique et le modèle de liaison, celui-ci est basé sur des simulations JDEVS.

INTRODUCTION GENERALE

Puis dans le troisième chapitre nous avons donné un aperçu général du photovoltaïque, citant les événements clés débutant par l'histoire du photovoltaïque, suivis de l'énergie photovoltaïque, des cellules photovoltaïques, des effets et des principes de fonctionnement du photovoltaïque et de la production d'énergie photovoltaïque.

Le quatrième chapitre est le fruit de notre travail dans lequel nous avons présenté et discuté notre travail avec les résultats de simulation.

CHAPITRE I : Modélisation et Simulation des Systèmes

CHAPITRE I : Modélisation et Simulation des Systèmes**I.1. Introduction**

L'être humain ne cesse de chercher à comprendre le monde qui l'entoure. Les différentes étapes d'étude nécessaires à cette compréhension ont toujours évolué conjointement avec la technologie : observation, constatation, hypothèse, preuve, explication, acquisition, modélisation, etc. L'arrivée de l'informatique et l'apparition de nouveaux formalismes de traitement ont raccourci ou supprimé certaines de ces étapes ; les avancées des méthodes numériques et l'augmentation des performances des ordinateurs permettent désormais, grâce à des simulations de plus en plus rapides et détaillées, de prédire le comportement de systèmes complexes. La phase consistant à décrire le comportement d'un système est appelée la modélisation. La théorie de la modélisation et de la simulation repose en grande partie sur la théorie générale des systèmes, qui stipule que tout est un système, ce qui est aujourd'hui appelé la théorie systémique. Les travaux présentés dans ce chapitre, ainsi que dans l'ensemble de ce mémoire, portent sur la modélisation et simulation de systèmes.

I.2. Modélisation et simulation de systèmes

La modélisation et la simulation mathématique et informatique de systèmes complexes sont au cœur de notre réflexion et des développements associés. Ces concepts sont basés sur les notions de système, de modèle, de modélisation et de simulation. Ces termes dépendent des techniques et des domaines d'application choisis et interviennent tous dans le processus de modélisation et de simulation. La figure 1.1 présente ces différents éléments [1].

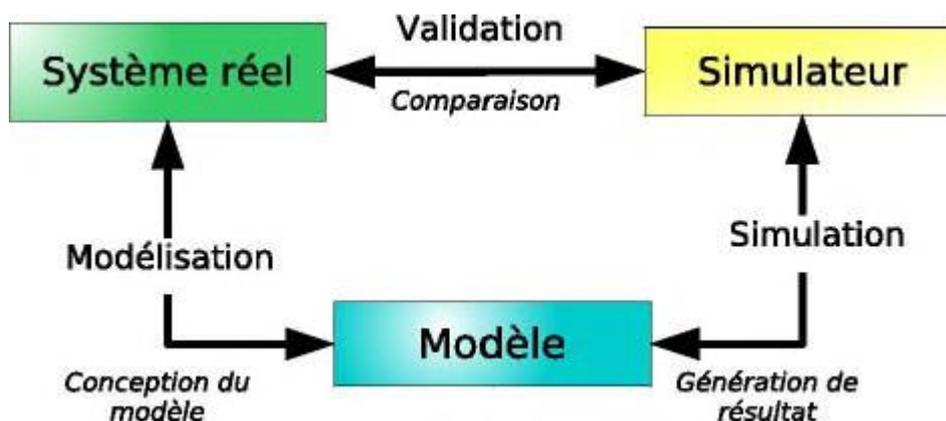


Figure I.1: Etapes du processus de modélisation et de simulation [1]

Le système est l'élément fondamental de l'étude c'est de cette source que proviennent les données nécessaires à la construction du modèle et à sa validation ultérieure. Une relation dite relation de modélisation, qui caractérise le système dans un environnement sélectionné, le relie au modèle.

Le modèle est une représentation du système réel fonctionnant dans un cadre spécifique. Les modèles sont connectés à un système de contrôle de type simulateur. Il génère les résultats de la simulation du modèle et reproduit le comportement du système dans des conditions spécifiques. La simulation est la procédure en question.

Le modèle peut évoluer dans le temps grâce au simulateur. Les résultats de ce processus sont comparés aux données du système réel afin de confirmer la conformité du modèle ; cette comparaison est connue sous le nom de relation de validation entre le simulateur et le système. Nous examinons chacune de ces idées plus en détail dans ce chapitre. [1]

Les approches de modélisation systémique, empirique mécaniste et d'approximative sont brièvement abordées dans la première partie.

Nous donnons un aperçu général de l'approche de modélisation systémique dans la deuxième section. Il sert de base au formalisme de modélisation. Nous discutons également de la théorie des systèmes et définissons des termes tels que "système", "modèle", "modélisation" et "simulation".

Le formalisme DEVS (Discrete Event system), établi par le Professeur B.P. Zeigler, est le formalisme de modélisation et de simulation qui constitue le fondement de notre étude. Nous le décrivons dans la troisième section avant de tirer une conclusion [1].

1.2.1.Approches de modélisation

En effet, il existe plusieurs approches de modélisation. L'approche systémique est basée sur une description mathématique ou physique de plusieurs processus simultanés et de leurs interactions pour définir des modèles. L'objectif est de prendre en compte l'ensemble des variables clés et leurs interactions. D'un autre côté, l'approche empirique est déduite des tendances observées à l'intérieur d'un ensemble de données, et elle part du postulat que ces tendances ne vont pas changer dans le temps. Les approches mécanistes sont basées sur la connaissance du fonctionnement d'un système, où les différents processus qui composent le système sont modélisés indépendamment à l'aide de formules qui décrivent une loi ou une règle.

Enfin, les approches approximatives visent à simplifier la modélisation en utilisant des approximations ou des méthodes de calcul simplifiées. Les approches de modélisation

prédictive, qui sont basées sur les approches systémiques, empiriques ou mécanistes, sont souvent considérées comme non approximatives et font opposition aux méthodes dites approximatives.

I.2.1.1. L'approche systémique

Se base sur une description mathématique (équations différentielles) ou physique (quitte d'un avion ou d'un véhicule) de plusieurs processus simultanés et de leurs interactions pour définir des modèles.

L'objectif de ce type de modèle est de prendre en compte l'ensemble des variables clés et leurs interactions

I.2.1.2. L'approche empirique :

Les approches de modélisation empirique, quant à elles, se fondent sur l'observation et l'analyse de données pour établir des modèles. Si une tendance est déduite des données observées, l'approche empirique postule que ces tendances resteront inchangées dans le temps. Les représentations logiques sont utilisées dans certaines de ces approches empiriques. Trois types de raisonnements logiques peuvent être distingués :

1. Le raisonnement déductif, qui permet de déduire des conclusions à partir de connaissances sur un phénomène quelconque ;
2. Le raisonnement inductif, qui part des conclusions pour déterminer les prémisses d'une règle.
3. Le raisonnement adductif, qui cherche à trouver des causes plausibles à un ensemble de prémisses.

I.2.1.3. L'approche mécaniste :

L'approche mécaniste est basée sur la connaissance du fonctionnement d'un système. Les différents processus qui composent le système sont modélisés indépendamment à l'aide de formules qui décrivent une loi ou une règle. Les modèles issus de cette approche comprennent trois parties : une base de fait, une base de règles et un moteur d'inférence qui exploite ces règles. Les moteurs d'inférence fonctionnent selon deux mécanismes : le chaînage avant et le chaînage arrière. Cette approche se prête bien à la modélisation de processus complexes qui requièrent l'expertise de spécialistes, mais elle est moins adaptée pour décrire un système dans sa totalité lorsque les bases de règles ne peuvent pas prendre en compte l'ensemble des paramètres du phénomène.

I.2.1.4. L'approche approximative :

En résumé, les modes de raisonnement présentés reposent sur des prédicats vrais ou faux, mais la mise en place de modèles et de procédures prédictives doit prendre en compte les données incertaines et imprécises. Pour cela, il est nécessaire de sortir des approches classiques de la logique et de définir une représentation de l'incertitude et de l'imprécision, ainsi que des procédures de raisonnement qui les prennent en compte.

I.2.2. Théorie Systémique :

Notre recherche est catégorisée comme une pensée qui suggère une vision du monde particulière, dont le système provient de manière spécifique du travail scientifique. C'est dans les travaux de L. Von Bertalanffy [2], qui précisent l'idée de système comme partie d'un tout, que la composante purement opérationnelle de l'analyse systémique a été introduite pour la première fois.

Jusqu'à ce que la méthode scientifique soit fermement réduite. Décomposer un véritable pour trouver le composant qui est pertinent pour l'étude est le processus. Ce sont là les limites de l'approche : ni les mécanismes de description individuelle ni les points de vue de l'explication globale ne peuvent rendre compte adéquatement du comportement de l'ensemble.

Les concepts essentiels de la systémique, généralement appelés science des systèmes, remontent au 18e siècle, lorsque le mot « système » apparaît pour la première fois dans la littérature. Afin de pouvoir expliquer à la fois les systèmes artificiels et naturels, classés à l'époque en systèmes fermés ou statiques et en systèmes ouverts ou dynamiques, le biologiste théoricien V. Bertalanffy s'en saisira en 1950.

Un système permet de représenter un phénomène perçu comme complexe, en répondant à quatre questions intrinsèquement liées :

1. Quelle est sa fonction ?
2. Dans quel environnement opère-t-il ?
3. Quelles sont ses finalités ?
4. Comment se transforme-t-il ?

Ces questions sont résumées dans la figure 1.2, et en interrogeant les interrelations qui le constituent, ainsi que ses interactions avec ses sous-systèmes et son environnement, il est possible de décrire un système.

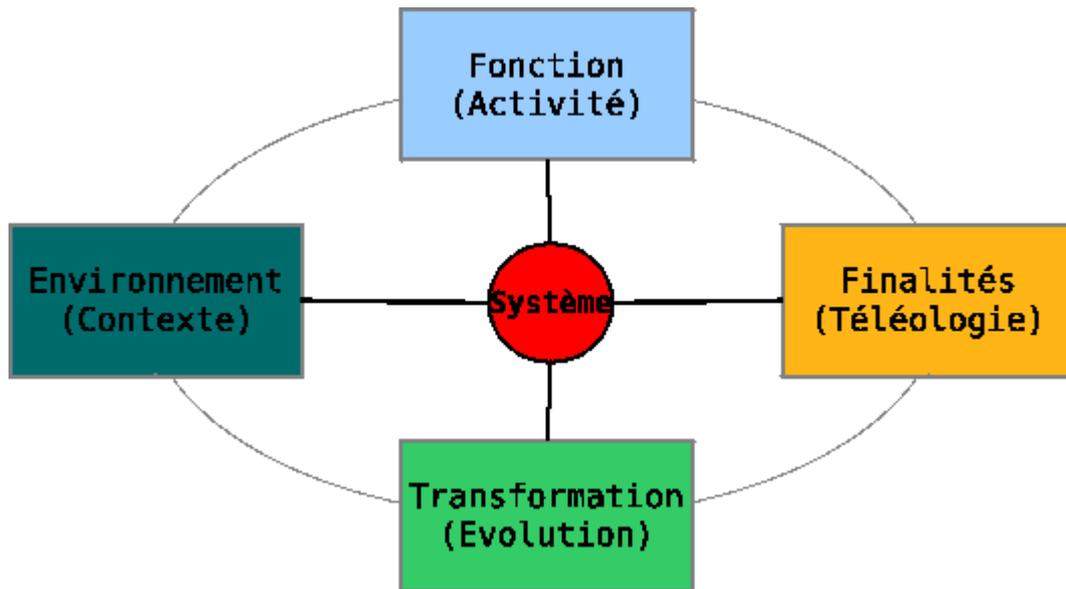


Figure I.2: Interrelations qui constituent un Système [3]

Le concept de système moderne remonte aux années 1950 et est décrit sous deux aspects : structurel et fonctionnel (comportement) [3].

Structurellement, le système se compose de quatre éléments :

1. Composants. Leur nombre et leur nature peuvent être estimés ;
2. Une frontière qui sépare tous les éléments de son environnement de l'environnement externe. La limite du système peut être floue, ou se déplacer comme un feu de forêt avec un front de flamme ;
3. Réseau de relations (connexions). Les éléments sont effectivement reliés ou reliés les uns aux autres afin de pouvoir communiquer et échanger des informations ;
4. Entrepôts (lieu de stockage) où sont conservées les informations relatives à la transmission ou à la réception.

L'aspect structurel est une représentation de la structure potentielle du système. Sur le plan fonctionnel, le système est également décrit par quatre éléments :

1. Les flux d'informations qui modifient les réseaux de relations et les stocks croisés ; Vous travaillez avec l'environnement pour les entrées / sorties.
2. Les centres de décision qui organisent les réseaux, coordonnent les flux et gèrent les ressources ;

3. Les boucles de rétroaction informent les centres de décision sur l'état global du système.

4. Ajustements par les centres de décision en fonction des boucles de rétroaction.

L'aspect fonctionnel est une représentation du comportement du système.

Dans cette section, nous donnons quelques définitions. Dans la première section, nous décrivons le concept du système. Dans les chapitres deux, trois et quatre, nous introduisons les concepts de modélisation, de simulation et le paradigme de la modélisation et de la simulation.

I.2.2.1. Systèmes

Système comme ensemble hiérarchique d'éléments matériels ou immatériels éléments (êtres vivants, machines, méthodes, règles, etc.) par interaction, le processus convertit des éléments d'entrée en éléments de sortie. Par exemple, l'éolienne convertit le vent en électricité. C'est une organisation hiérarchique de sous-systèmes, qui sont considérés comme des systèmes à part entière (système « éolien » constitué de « pales », « moteur », etc.).

On parle de systèmes physiques, biologiques ou sociaux, systèmes qui sont systémiques. On voit ici que le système se veut transdisciplinaire et/ou multidisciplinaire, essayant de trouver des lois générales indépendantes des contextes d'application du système. Cette transdisciplinarité nous intéresse particulièrement.

La systémique distingue les aspects structurels et fonctionnels des systèmes,

Définit également les systèmes comme causaux, les sorties sont la conséquence d'une entrée, ou déterministe, une entrée donnée ne peut avoir qu'une seule sortie

Cette définition est à la base de nombreux formalismes comme équations différentielles, équations aux différences, les réseaux de Pétri, automates finis. [4]

Plus généralement, un système A peut être défini par la formule :

$$A = \langle \tau, X, \Omega, S, Y, \delta, \lambda \rangle \quad (1.1)$$

Avec :

- τ : base de temps ;
- X : ensemble d'états d'entrée ;
- Ω : $\tau \rightarrow X$: états courants des entrées ;
- S : état du modèle défini ;
- δ : $\Omega \times S \rightarrow S$: fonction de transition, change l'état du modèle en fonction des états des entrées (Activations) ;
- Y : ensemble d'états initiaux ;
- λ : $S \rightarrow Y$: fonction de sortie.

Dans l'équation (1.1) précédente, la base de temps τ représente une variable de temps ou le temps écoulé. L'ensemble des états d'entrée X est l'ensemble des activations d'entrée possibles pour le système. S représente l'ensemble des états que le système peut prendre étymologiquement, le statut consiste à être dans l'instant. La dynamique du système est décrite par la fonction de transition δ , qui applique les états d'entrée Ω pour transformer l'état actuel S en un nouvel état. Le produit une sortie en appliquant la fonction λ à partir de l'état actuel. Les fonctionnalités de transition et de sortie du système sont activées pour faire évoluer le système au fil du temps

I.2.2.2. Modélisation :

Selon P. Fishwich [5], "modéliser c'est avoir la capacité de décrire un acte réel sous la forme d'un système dynamique avec un langage de description compatible, à une certaine échelle d'abstraction" (modéliser c'est avoir la capacité de décrire un réel agir sous la forme d'un système dynamique avec un langage de description compatible).

On peut décrire la modélisation comme le processus d'identification d'un objet et l'action par laquelle on crée son modèle grâce à ce qui a déjà été dit. C'est une procédure qui consiste à restituer n'importe quel phénomène sous une forme claire pour l'ordinateur afin de fournir une représentation explicable, répétable à la susceptibilité de la simulation.

Une fois le modèle créé, un ensemble de présomptions et de lois qui composent le système sont rendus possibles grâce à l'approche formaliste du modèle, qui sera rendue claire par le comportement ou le fonctionnement du modèle.

L'environnement de modélisation et de simulation est un logiciel largement utilisé en informatique pour mettre en œuvre la modélisation et la simulation.

La modélisation systémique fait partie des traits d'une des meilleures techniques de modélisation contemporaines. Il s'assure que l'observateur-concepteur qui met en place le système explique son point de vue et apporte une compréhension claire du système.

La modélisation du système repose sur deux hypothèses :

1. Prise en compte des fonctions et du fonctionnement du système.
2. Expliciter les buts attribués au phénomène modélisé en prenant soin de bien les distinguer des buts de l'observateur-concepteur.

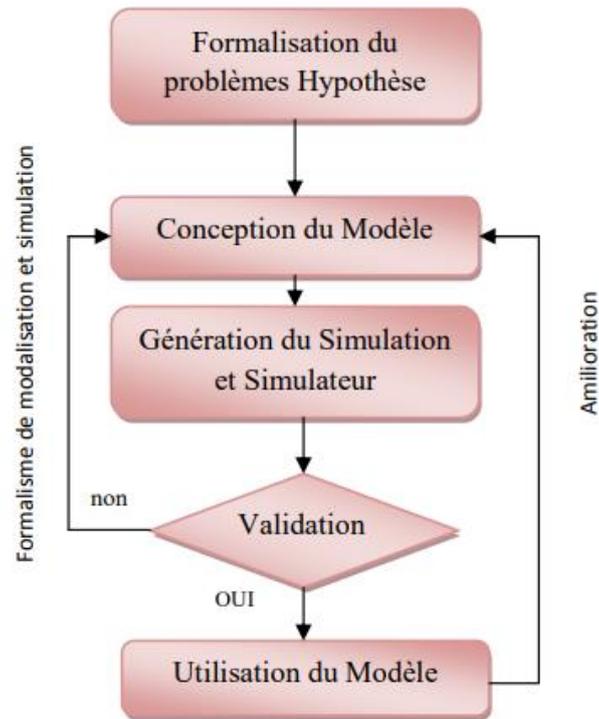


Figure I.3: Principe de modélisation des systèmes [4]

En considérant le système dans son ensemble, sauf certaines limitations un système complexe peut être associé à une représentation simplifiée de sa structure et de son fonctionnement. Cette représentation, plus facile à décrire et à utiliser, s'appelle un modèle.

L'utilisation d'ordinateurs et de modèles numériques ouvre, par la modélisation et la simulation, un nouveau domaine scientifique avec sa propre méthodologie pour valider expérimentalement un modèle (Figure I.3) et l'utiliser pour prédire des comportements qui ne sont pas mesurables parce qu'elles sont dans un futur lointain ou à des échelles trop grandes ou trop petites pour être instrumentées.

I.2.2.3. Simulation :

La simulation est rapidement devenue indispensable pour modéliser des systèmes complexes. Elle permet à la gestion des modèles de générer des données comportementales, c'est-à-dire changements dans les états du modèle au fil du temps.

L'axe du temps peut être affichée en continu ou discrètement. Selon que les états du système sont définis de manière dénombrable dans le modèle, on parle de simulation discrète ou continue. Parmi ces systèmes, les ondes en général, la quantité d'oxygène dans l'air, les systèmes à état continu, puisque leurs valeurs varient continuellement. A l'inverse, un système représentant un caissier de banque peut être considéré comme un système à états discrets [1].

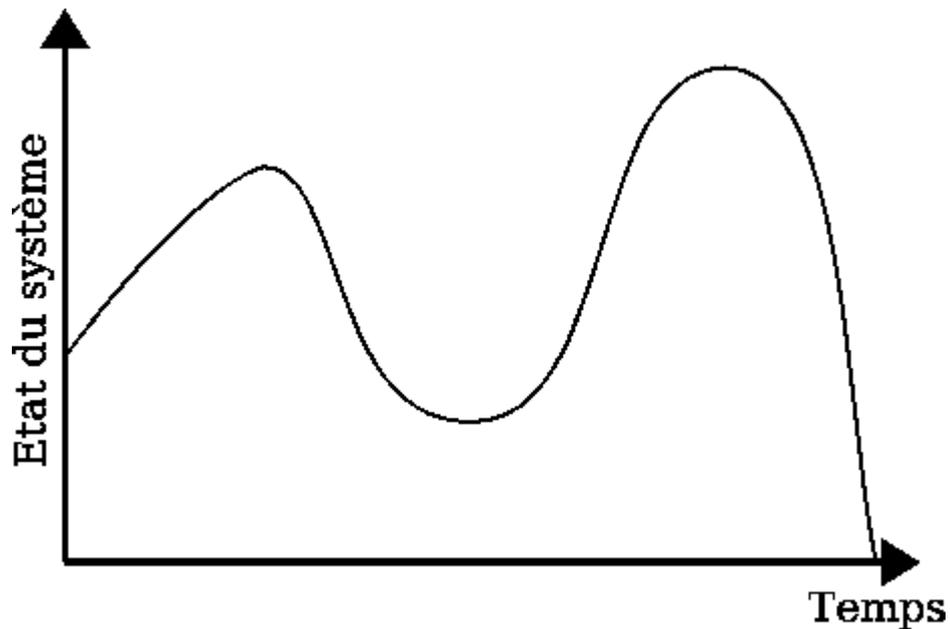


Figure I.4: Simulation continue

Un système continu est un système qui utilise des signaux continus, comme le montre la Figure I.4. Ils ont plusieurs caractéristiques avec une fonction continue. Une fonction continue sert de base à la progression du modèle dans le temps dans le cadre de la simulation continue. Parce qu'il doit être possible de fournir à tout moment l'état courant du système, ces simulations nécessitent une description de type mathématique analytique du modèle. Cependant, à mesure que le nombre de paramètres augmente, la complexité de ces modèles augmente, ce qui rend difficile la modélisation purement analytique de systèmes complexes. Il devient alors nécessaire de décrire ces systèmes à l'aide de techniques de simulation supplémentaires.

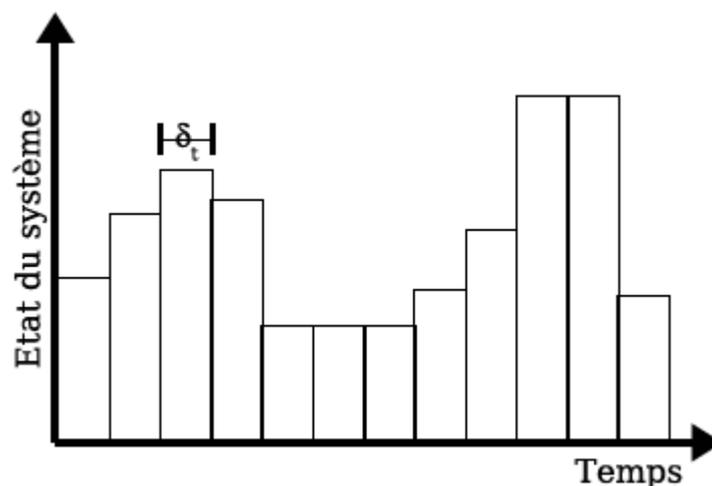


Figure I.5: Simulation discrète

Un système discret est un système qui utilise des informations qui ne sont prises en compte que parfois, comme le montre la Figure I.5. Ces instants sont souvent séparés par une durée fixe appelée période d'échantillonnage (δ_t). Par opposition aux systèmes continus, on parle de systèmes discrets. Mathématique est l'endroit où le mot discret est apparu pour la première fois.

La méthodologie de simulation discrète utilise des méthodes similaires à celles utilisées pour résoudre les équations différentielles car l'état ultérieur du modèle dépend de son état actuel.

Les changements d'état doivent se faire discrètement afin de répliquer ce type de modèle. Il existe deux approches pour contrôler le temps dans la simulation discrète :

- Contrôlé par une horloge, où l'état actuel du modèle est vérifié périodiquement. Deux transitions d'état sur la Figure I.5 sont séparées par un intervalle de temps t .
- Événementiel, où l'état d'un modèle est mis à jour en réponse à l'occurrence d'un événement. La simulation à événements discrets est ce qui est utilisé dans ce scénario (figure I.6).

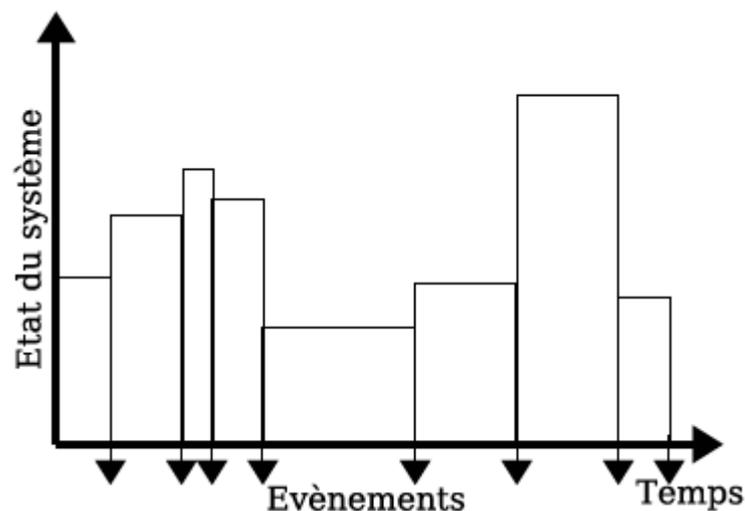


Figure I.6: Simulation discrète dirigée par événements.

Dans notre contexte, nous pouvons définir la simulation comme un processus de calcul utilisé pour concevoir un système afin de prédire son comportement. Il ne faut pas oublier que les résultats obtenus à l'issue de la simulation dépendent des hypothèses prises en compte pour la construction des modèles (figure I.3) ; et que bien sûr il ne faut pas confondre le résultat de la simulation avec le résultat réel. Ne faites pas semblant de ne pas démissionner ; Vérifier la

précision des modèles (Figure I.3) et, si nécessaire, les améliorer, ce sont des phases importantes pour ne pas prendre trop de risques dans le processus de décision.

Comme nous l'avons vu, la modélisation peut être représentée par une symbiose entre formalisme et techniques de modélisation ; selon le système étudié ou le domaine d'application technique de modélisations différentes peuvent être nécessaires. Ils peuvent être regroupés sous le paradigme de modélisation et de simulation

I.2.2.4. Paradigme de Modélisation et de Simulation

Un paradigme est un modèle d'une chose ou d'une réalité. En science, un paradigme désigne une vision du monde ou un mythe fondateur d'une communauté scientifique particulière. On peut donc parler de paradigme de modélisation et de simulation comme un ensemble de définitions et de formalismes, de méthodes, d'outils et de techniques qui caractérisent l'activité de modélisation. Par exemple, nous parlons du paradigme orienté objet, caractérisé par concepts d'encapsulation, d'héritage et de polymorphisme.

Il existe de nombreux paradigmes de modélisation. Les plus connus sont les modèles stochastiques, les algorithmes évolutionnaires et les techniques d'apprentissage telles que les réseaux de neurones.

L'augmentation de la puissance de calcul nous permet aujourd'hui d'être plus précis dans nos représentations des systèmes. La question ce n'est pas de savoir si ses états sont dénombrables ou indénombrables, mais plutôt de faire coexister représentations différentes au sein d'un même modèle. Il est évident que la complexité et la variété des systèmes se reflètent le mieux dans la variété des modèles. L'hétérogénéité des modèles conduit à la construction de nombreux modèles. La multi modélisation combine plusieurs paradigmes et/ou formalismes dans sa mise en œuvre - on parle alors de multi modélisation. Ce terme a été inventé par T.I. Oren en 1989 [6] et est connu pour les articles de P. Fishwick et B.P. Ziegler [7].

Il y a aussi le terme modélisation multi paradigme ; H. Vangheluwe, il a la définit en référence [8] à trois axes de recherche orthogonaux :

1. La modélisation associée au multi formalisme (et donc la multi modélisation), c'est-à-dire la combinaison de modèles définis dans des formalismes différents.
2. Le problème du changement de niveau d'abstraction dans les modèles.
3. Pour le méta modélisation, c'est-à-dire la construction de modèles à partir de modèles.

La recherche développée par B.P. Zeigler dans les années 1970 [1] permet la fusion de plusieurs paradigmes. Plus précisément, la théorie générale des systèmes constitue le fondement de ces travaux en mathématiques discrètes. Ces efforts formels ont ouvert la voie aux

fondements théoriques de la modélisation et de la simulation [9], et ils ont également marqué le début du formalisme DEVS (Discrete Event System Specification), utilisé pour définir les systèmes à évènements discrets. Le paradigme de modélisation et de simulation que nous utilisons est le multi-formalisme DEVS [1]. L'un de ses avantages est la capacité d'incorporer les modèles spécifiés de plusieurs formalismes, tels que les équations différentielles [9], dans un modèle unique. Elle permet également d'appréhender la complexité des systèmes. De plus, il supprime complètement l'utilisation de simulateurs liés aux modèles.

I.3. Conclusion

Les formalismes de modélisation sont des techniques permettant d'analyser et de prédire ce qui va se passer à la suite d'actions humaines ou de changements dans la nature car il est difficile de décrire précisément tout ce qui concerne l'être humain et tout ce qui l'entoure. Conditions. Il est donc plus probable que les résultats de la simulation soient "justes" si l'on utilise plusieurs valeurs plutôt qu'une seule.

Nous avons abordé de nombreuses techniques de modélisation et leurs principes directeurs dans ce chapitre. Nous avons également abordé la théorie systémique, qui appelle à décomposer les systèmes complexes en leurs éléments constitutifs et à décrire leurs aspects structurels et fonctionnels. Ensuite, nous avons discuté des systèmes, de leur formule de définition et des différents paramètres à prendre en compte lors de l'analyse d'un système.

Aussi, nous avons également abordé la modélisation des systèmes, qui implique une description claire et approfondie du comportement du système, ainsi que la simulation, qui est essentielle pour modéliser des systèmes complexes et implique l'évolution des états du système afin de collecter des informations comportementales.

Le dernier sujet que nous avons abordé était le paradigme de la modélisation et de la simulation, qui contient toutes les formalisations, définitions, techniques, outils et processus qui constituent la modélisation.

CHAPITRE II : Formalisme DEVS

CHAPITRE II : FORMALISME DEVS**II.1. Introduction :**

Le formalisme DEVS, développé par le professeur Bernard P. Zeigler en 1976 dans son ouvrage "La théorie de modélisation et simulation", permet de modéliser, simuler et analyser des systèmes à événements discrets en utilisant des fonctions de transitions d'états. Il sert de fondement aux systèmes déterministes et causaux dans la théorie classique des systèmes. DEVS offre une description du comportement des systèmes à deux niveaux différents : le niveau le plus bas et le niveau le plus haut. La modélisation DEVS repose sur deux modèles principaux : le modèle atomique, qui constitue la base de tous les modèles, et le modèle couplé, qui décrit le système comme un ensemble de composants liés par des relations de couplage. Ces relations indiquent comment ces composants s'influencent mutuellement et permettent de décrire la réaction du système lorsqu'il y a des événements externes entrants ainsi que la génération des événements sortants.

II.2. Modélisation à évènement discret

Le développement formel de la théorie sous-jacente à la modélisation et à la simulation des systèmes dynamiques à évènements discrets est en cours depuis les années 1970 [1].

Le professeur B.P.Zeigler [1] a établi le formalisme DEVS, qui signifie anglais Discrètes (Event system Spécification), comme paradigme abstrait pour la modélisation d'évènements discrets.

La théorie générale des systèmes sert de fondement au formalisme DEVS, qui peut être décrit comme une approche de modélisation hiérarchique et modulaire et conçue pour une modélisation basée sur des notions d'état. Selon la structure des modèles, on peut distinguer deux types de modèles différents.

La partie fonctionnelle de la modélisation relie ces différents types de modèles pour créer un nouveau modèle décrivant le comportement du système étudié.

Les modèles atomiques constituent la base du formalisme, qui sert à expliquer le comportement d'un système. Leur fonctionnement presque comme des machines d'état,

Nous intégrons de nombreux modèles atomiques pour créer un modèle couplé afin de représenter un système plus compliqué. Un nouveau modèle de niveau supérieur a pour fondement un modèle couplé grâce au couplage de nombreux modèles couplés. Nous parlons de la composante hiérarchique.

Cette méthode peut être considérée comme statique du point de vue de la structure du système car, malgré la capacité du formalisme DEVS à s'adapter aux changements structurels, sa version fondamentale ignore la perspective d'amélioration future de la structure du système.

Le formalisme DEVS peut être considéré comme un environnement multi-modélisation qui unifie de manière convaincante divers formalismes de modélisation qui est également fondés sur la théorie générale des systèmes et axés sur les états. Sa capacité à être ouvert d'un point de vue informatique en développant un formalisme applicable dans des contextes variés. [10][11] [12, 13].

L'étude de systèmes complexes à évènements discrets caractérisés par des fonctions de transition d'état et de systèmes continus définis par des équations différentielles est possible au niveau de la simulation. [9]

Le principal avantage de l'approche est la création automatisée d'algorithmes de simulation pour des modèles définis conformément aux normes du formalisme. Cela nous permet de séparer explicitement la modélisation de la simulation en faisant totalement abstraction de la mise en œuvre du simulateur pendant le processus de modélisation.

II.2.1.Modélisation DEVS

Le modèle atomique et le modèle couplé sont les deux types de modèles sur lesquels repose le formalisme DEVS. Il est possible de décrire le comportement fondamental du système grâce aux modèles atomiques. La structure sous-jacente du système peut être représentée plus facilement en tirant parti du couplage entre modèles puisque les modèles couplés sont constitués de sous-modèles atomiques et/ou couplés.

Modèle atomique

Vous pouvez considérer le modèle atomique comme une machine à états variant dans le temps. Il permet de sélectionner les caractéristiques comportementales ou fonctionnelles du système.

Le modèle atomique offre une auto-description du comportement d'un système, en particulier de ses transformations internes et des états et fonctions de ses entrées et sorties.

L'évolution du modèle se fait par changement d'état en réponse à des stimuli externes (via l'entrée) ou internes (via une fonction de transition). Ces altérations d'état sont destinées à déterminer comment le système réagira comportementalement à ces stimuli, externes ou internes.

Dans le formalisme DEVS (classique) la notion de couple (numéro de port, valeur) est fournie Pour chaque entrée ou sortie d'un modèle atomique. Une entrée représentée par La réception d'une ou plusieurs valeur(s) sur un numéro de port. La sortie concerne une ou plusieurs émissions.

Plusieurs valeurs (valeurs) sur un numéro de port.

$$MA = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ex}, \lambda, t_a \rangle \quad (2.1)$$

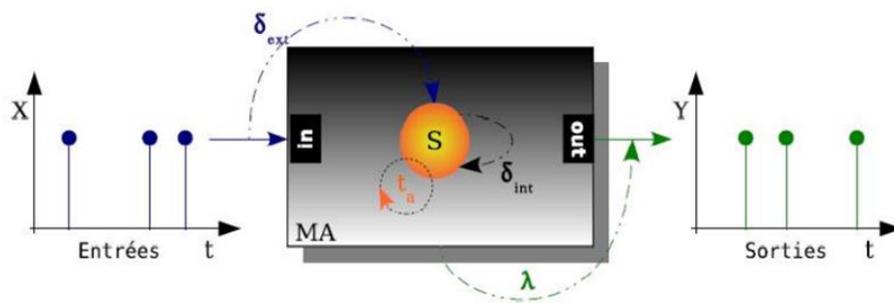


Figure II.1: Description d'un modèle atomique DEVS.

Avec :

- $X : \{(pin, v) \mid pin \in \text{Ports d'entrée}, v \in X_{pin}\}$: la liste des entrées du modèle chaque entrée est spécifié par un couple (numéro du port / valeur) ;
- S : les états du système
- $Y : \{(Pout, v) \mid pout \in \text{Ports des Sortie}, v \in Y_{Pout}\}$: la liste des sorties du modèle chaque sortie est spécifié par un couple (numéro du port / valeur).
- $t_a : S \rightarrow \mathbb{R}^+$: le processus de progression temporelle ou la durée de l'état S .

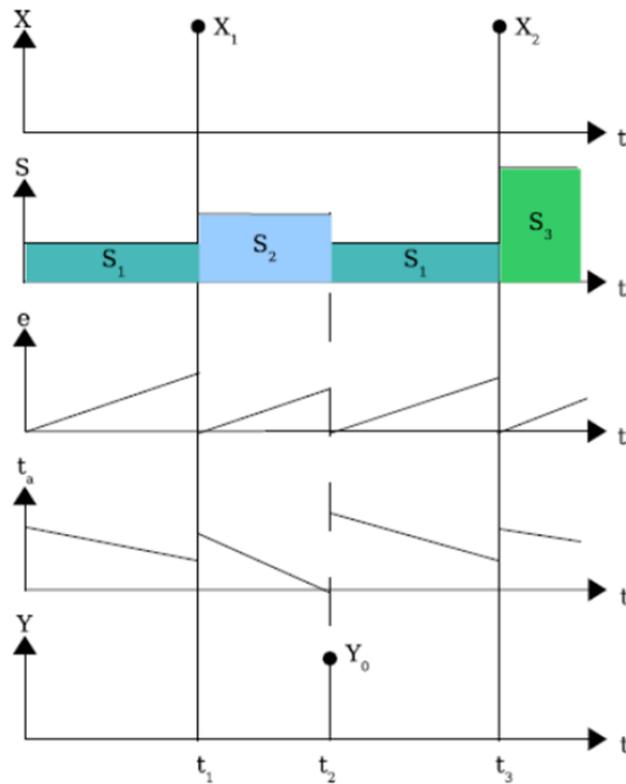


Figure II.2: Description de l'évolution des éléments d'un modèle atomique.

- $\delta_{int} : S \rightarrow S$: la fonction de transition interne. Elle permet de passer d'un état S_2 à l'instant t_1 , à un état S_1 à l'instant t_2 lorsqu'aucun évènement externe n'arrive durant le temps de vie de l'état $t_a(S_2)$ (figure II.2)
- $\delta_{ext} : Q \times R \rightarrow S$: la fonction de transition externe, où :

- $Q : \{(S_i, e) \mid S_i \in S, 0 \leq e \leq t_a(S_i)\}$: l'ensemble des états $S_{\{1,2,\dots,n\}}$

- e : le temps est-il écoulé depuis la dernière transition La fonction de transition externe explique comment le modèle atomique change d'état (passage de l'état S_1 à l'état S_2 (figure II.2)) quand une entrée survient (évènement externe) avant que $t_a(S_1)$ ne soit écoulé

- $\lambda : S \rightarrow Y$: la fonction de sortie.

Deux types différents d'évènements internes ou externes sont traités par des modèles atomiques (stimuli). La fonction de transition externe (S_{ext}) est déclenchée par un évènement externe provenant d'un autre modèle, qui modifie également la durée de vie de l'état $t_a(S_i)$. L'état du modèle change à la suite d'un évènement interne. Il démarre les routines de transition internes (S_{int}) et la sortie (λ).

La date de l'évènement interne suivant est alors déterminée par le modèle à l'aide de la fonction de progression (t_a). (La figure II.1) décrit ces séquences d'action ainsi qu'une description du comportement du modèle.

(La figure II.2) décrit l'évolution des états d'un modèle. Les entrées sont représentées par $X_i = \{1,2\}$, et les états du modèle sont représentés par $S_i = \{1, 2,3\}$, et il est réinitialisé à chaque changement d'état pour tenir compte du temps. (t_a) représente la durée de vie d'un état. Si la fonction de transition interne est déclenchée en même temps que le changement d'état, elle est mise à jour après chaque changement d'état. Les sorties du modèle sont représentées par Y . Le modèle est dans un état ($S_i = \{1,2, 3\}$) à chaque instant.

La fonction de transition externe ($S_{ext}(S_i, e, X_i)$) permet au système de changer d'état si un évènement externe $X_i = \{1,2\}$ est reconnu avant $e = t_a(S_i)$.

La figure II.2 montre que lorsque l'entrée X_1 est détectée, on passe de l'état S_1 à l'état S_2 , et lorsque X_2 est détecté à son tour, on passe de l'état S_1 à l'état S_3 .

Le modèle continue dans le même état pendant la durée de la fonction t_a si aucun évènement extérieur ($X_i = \{1,2\}$) n'est trouvé $t_a(S_i)$. Le système active sa fonction de sortie ($\lambda(S_i)$) (envoi de Y_0 sur la figure I.2). Après la fin de la durée de vie de l'état, ou lorsque $e = t_a(S_i)$. L'exécution de la fonction de transition interne ($S_{int}(S_i)$) met également à jour l'état du système. Dans les deux situations, le système est dans un nouvel état avec une nouvelle durée de vie, etc. (figure 2.2 : S_1 avec S_{int} et S_2 et S_3 avec S_{ext}).

L'état d'un modèle peut être classé comme transitoire ou passif selon sa durée de vie.

Le système est dans un état transitoire SI $t_a(S) = 0$, ce qui signifie que la durée de vie de l'état est si brève qu'aucun évènement extérieur ne peut avoir lieu jusqu'à l'arrivée du prochain changement d'état.

Si $t_a(S) = \infty$, le système est dans un état passif puisqu'il le restera tant qu'aucun évènement extérieur n'est remarqué.

En les combinant dans un modèle lié plus large, nous pouvons créer de nombreux systèmes à partir de modèles atomiques.

Modèle Couplé

Le formalisme DEVS utilise trois relations de couplage et le concept de hiérarchie descriptive pour permettre la construction de modèles dits « couplés » à partir d'un ensemble de modèles atomiques et/ou couplés.

- Une relation de couplage interne (IC) pour le couplage des ports des sous-modèles qui composent le modèle couplé (en bleu sur la figure II.3).

- Une relation de couplage des entrées externes (EIC) pour connecter les ports d'entrée du modèle couplé aux ports d'entrée des sous-modèles (en noir sur la figure II.3)

- Une relation de couplage des sorties externe (EOC) pour connecter les ports de sortie du modèle lié avec les ports de sortie de son sous-modèle (en rouge sur la figure II.3).

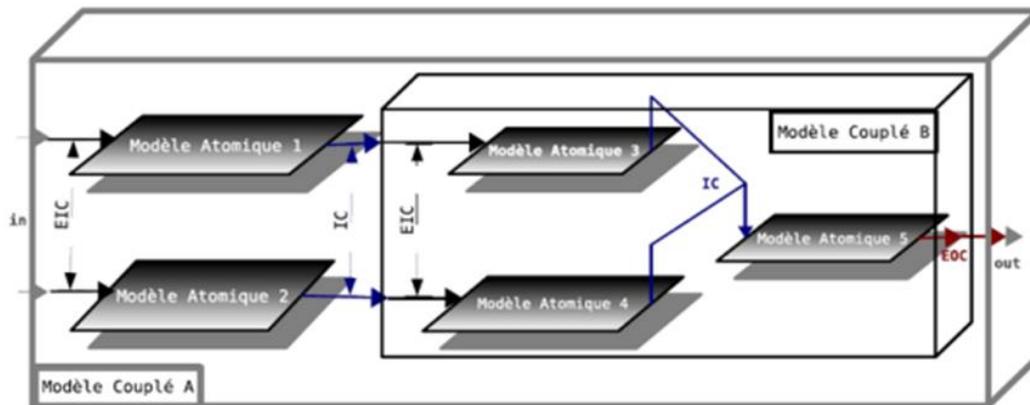


Figure.II.3 : Description d'un modèle couplé DEVS [4]

Le modèle couplé (Fig.II.3) est une configuration de modèles atomiques et/ou des modèles couplés. Fournit un exemple de hiérarchie entre des modèles consistant en deux modèles couplés (A et B) et cinq modèles atomiques (1, 2, 3, 4 et 5).

Le modèle connecté A est le modèle de niveau supérieur est le plus complexe qui contient tous les autres modèles. Les modèles atomiques (3,4 ,5). Constituent le deuxième modèle lié B.

Le modèle couplé A est représenté sur la figure 1.3 comme ayant deux entrées "IN" et une sortie "OUT". Il comprend un modèle connexe B ainsi que deux modèles atomiques, (1) et (2).

La construction de modèles complexes à partir de modèles atomiques et/ou duaux est réalisable grâce à la modularité et à la structure hiérarchique du modèle DEVS associé. La formule suivante le décrit :

$$MC = \langle X, Y, D, \{M_i\}, \{I_i\}, \{Z_{i,j}\}, L \rangle \quad (2.2)$$

Avec :

- $X = \{(Pin, v) \mid Pin \in \text{ports d'entrée}, v \in X_{pin}\}$: les entrées de modèle, + chaque entrée de modèle est identifiée par le couple (numéro de port/valeur),
- $Y = \{(Pout, v) \mid Pout \in \text{ports de sortie}, v \in Y_{pin}\}$: les sorties du modèle chaque sortie de modèle est identifiée par le couple (numéro du port / valeur).
- D : l'ensemble des modèles qui composent le modèle couplé (MC).
- $M_i = \langle X_i, Y_i, S_i, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda_i, t_{ai} \rangle$: formule d'un modèle atomique.
- Pour chaque modèle L'ensemble des modèles qui ont un flux sur I est $i \in D \cup \{MC\}, I_i$
- $Z_{i,j}$: est la fonction de transition des sorties du modèle i vers le modèle j telle que :
- $Z_{MC,j} : X_{MC} \rightarrow X_j$ est la fonction de couplage des entrées externes (EIC);
- $Z_{i,MC} : Y_i \rightarrow X_{MC}$ est la fonction de couplage des sorties externes (EOC);
- $Z_{i,j} : Y_i \rightarrow X_j$ est la fonction de couplage interne (IC);
- L : l'ensemble des priorités entre modèles.

La structure du modèle couplé doit prendre en compte des contraintes telles que $\forall i \in D$:

- 1 : un modèle atomique doit être M_i .
- 2 : une unique fonction $Z_{i,j}$ peut compiler toutes les données qui concerne le couplage pour le modèle couplé.
- 3 : un sous ensemble de $D \cup MC$ c'est I_i avec $i \notin I_i$.

La caractéristique de "fermeture sous composition" englobe la cohérence et la conservation des attributs du système entre ces niveaux de hiérarchie. Chaque modèle du formalisme DEVS est autonome et peut être considéré soit comme une entité isolée, soit comme le modèle d'un système plus vaste. Il a été démontré dans [14] que le formalisme DEVS est fermé par composition, c'est-à-dire qu'il est possible de construire un modèle atomique DEVS équivalent pour tout modèle DEVS connexe, qui est représenté par le couplage d'une collection de sous-modèles.

II.2.2. Simulation DEVS

On peut définir la simulation comme un processus informatique permettant de simuler l'évolution d'un système afin de prédire son comportement. Par conséquent, afin de créer une simulation, le comportement doit être précisément défini et les relations entre les modèles décrites.

Le formalisme DEVS proposé automatiquement un processeur important pour chacun des modèles est l'une de ses principales caractéristiques.

Le formalisme DEVS fait la distinction entre la modélisation et la simulation d'un système (Figure II.4), permettant la simulation de n'importe quel modèle DEVS sans l'exigence d'une implémentation de processeur personnalisée.

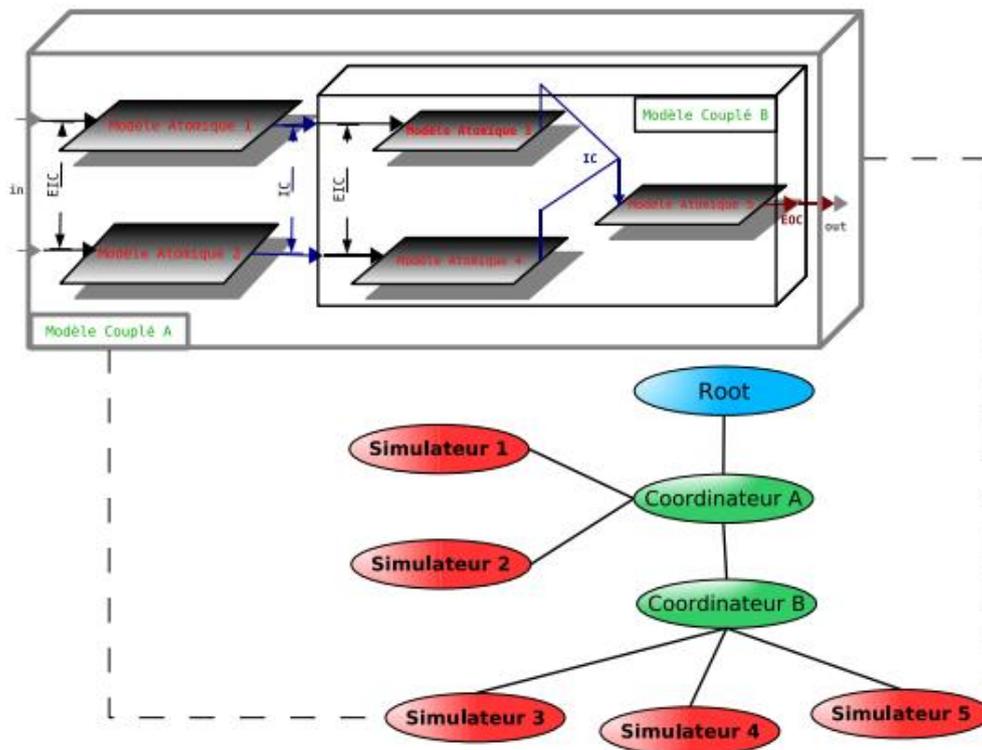


Figure II.4 : Arbre de Classe du simulateur DEVS [4]

La figure II.4 décrit l'arrangement du processeur (figure II.5). Dans le contexte d'un modèle couplé qui est décrit dans la phase de modélisation (figure II.3).

Chaque modèle atomique dispose d'un simulateur (Figures II.4 et II.5) chargé de contrôler le comportement du modèle, De plus, les modèles correspondants sont liés à des coordinateurs qui synchronisent les modèles à proximité. La collection de modèles est gérée par un gestionnaire particulier nommé Root [14, 15].

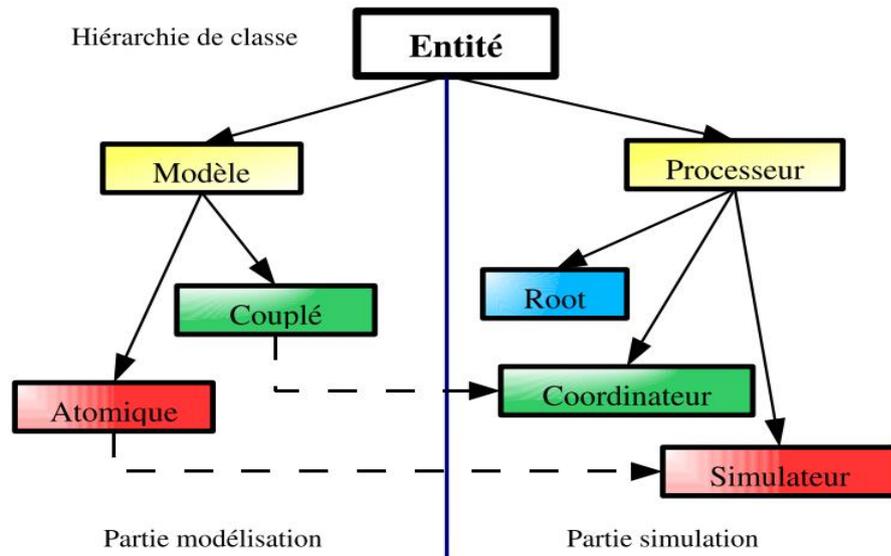


Figure II.5 : Hiérarchie de classe d'un environnement DEVS [4].

Ce que nous avons observé, la modélisation du formalisme DEVS est construite sur deux modèles : atomique et couplé, qui comportent tous des ports d'entrée, des ports de sortie et des changements d'état. Plusieurs types de messages sont envoyés et reçus par chaque modèle pendant la communication. [14, 15] fournissent une description du principe. Le futur proche, et une queue qui symbolise le futur lointain. Les événements simulés amènent les modèles à changer leurs états au fil du temps en réponse à de tels événements. Les événements peuvent être divisés en deux catégories : les événements externes et les événements internes.

- Un événement externe prévu pour se produire à un instant t sur un certain port d'entrée du modèle signifie un changement dans l'un de ses états.

- Un événement interne prévu à l'instant t modifie un des états du modèle et se traduit par l'émission d'une valeur de sortie par la fonction (λ) sur l'un des ports de sortie du modèle.

L'équation utilisée pour décrire les deux types d'évènements DEVS est :

$$E = (\text{temps}, \text{port}, \text{valeur}).$$

Le temps indique l'instant exact où l'évènement se produit, le port indique quel numéro de port est utilisé pour interférer avec lui et le troisième champ indique le résultat de cet évènement.

Lorsque de nombreux évènements se produisent simultanément, le formalisme DEVS [16] stipule que la liste des priorités doit être utilisée comme critère de choix entre elles.

II.3. Conclusion

Les concepts de modélisation et de simulation des systèmes à événements discrets, ainsi que le formalisme DEVS proposé par le professeur B.P.Zeigler, ont fait l'objet d'explications théoriques approfondies dans ce chapitre. Le formalisme DEVS a un certain nombre d'intérêts dans l'étude des systèmes et des objectifs. En fait, on peut décrire le formalisme DEVS comme une technique globale qui offre les moyens de modélisation et de simulation pilotée par les événements. La théorie des systèmes généraux sert de fondement au formalisme.

Nous avons vu comment les systèmes à événements discrets sont modélisés, ainsi que deux approches de modélisation : le modèle atomique, qui sert de base au formalisme DEVS, et les modèles couplés, qui sont construits sur des modèles atomiques couplés pour créer des systèmes plus sophistiqués. Enfin, nous avons discuté de la simulation qui est une procédure informatique qui permet le développement de systèmes dans le temps afin que le comportement du système puisse être prédit.

CHAPITRE III : Système Photovoltaïque

CHAPITRE III : SYSTÈME PHOTOVOLTAÏQUE**III.1. Introduction :**

L'énergie solaire photovoltaïque est la solution la plus appropriée pour augmenter la demande d'électricité, en particulier dans les régions reculées du désert, les régions montagneuses, et le coût de la connectivité du réseau public est extrêmement élevé. Puisqu'il est inépuisable et inépuisable, il est très sûr.

Les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucune alimentation externe en combustible. De plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et nécessite donc peu d'entretien. Par conséquent, le coût d'exploitation et de maintenance est relativement faible.

Pour ces raisons, cette source d'énergie est particulièrement adaptée à une utilisation en milieu rural. Là où la population est dispersée dans de petites communautés et où la demande énergétique est relativement faible.

III.2. Historique :

Le mot photovoltaïque vient de la photo grecque, qui signifie lumière et volts, et vient du nom du physicien italien qui a découvert la batterie 1800. [17]

En 1839, Antoine-César Becquerel remarqua l'effet électrique de la lumière du soleil dans une batterie.

Un article sur l'effet photovoltaïque des semi-conducteurs est présenté par Werner Von Siemens à l'Académie des sciences de Berlin en 1875. Le phénomène est resté une pure curiosité de laboratoire jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.

Au moment où l'industrie aérospatiale naissante cherche de nouvelles façons d'alimenter ses satellites en électricité, trois chercheurs américains, Chaplin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule solaire très efficace en 1954.

1958 a vu le développement d'une batterie avec 9% d'efficacité. Les lancements de satellites solaires marquent le début de cette technologie.

L'Université du Delaware a construit sa première maison solaire en 1973.

1983 : La première alimentation photovoltaïque véhicule parcourt 4 000 km en Australie.

Les premières cellules solaires ont été utilisées dans les années 1940, et l'industrie spatiale avait besoin d'énergie sans combustibles compacts à cette époque. La recherche photovoltaïque devient plus sérieuse.

La première cellule photovoltaïque avec un rendement de 4% a été développée par Bell Laboratories en 1954.

L'espace devient un banc d'essai pour la technologie photovoltaïque. Le coût de fabrication élevé et le faible rendement des batteries empêchent leur utilisation généralisée.

Ce n'est que dans les années 1970 que les gouvernements et l'industrie ont commencé à investir dans la technologie PV. [17]

III.3. Energie solaire photovoltaïque :

Le terme " énergie photovoltaïque" fait référence à l'énergie électrique générée en divisant une partie du rayonnement solaire en cellules photovoltaïques. Un panneau solaire ou module photovoltaïque est formé en connectant plusieurs cellules collectivement. Combiner plusieurs nombres de modules pour créer un champ de cellules solaires [18].

III.3.1. Rayonnement solaire :

Le soleil rayonne constamment vers tous les obstacles de l'univers. Composé de particules de lumière appelées photons, le rayonnement électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière et est contenu dans une bande de longueurs d'onde allant de 0,22 μm à 10 μm . [19]

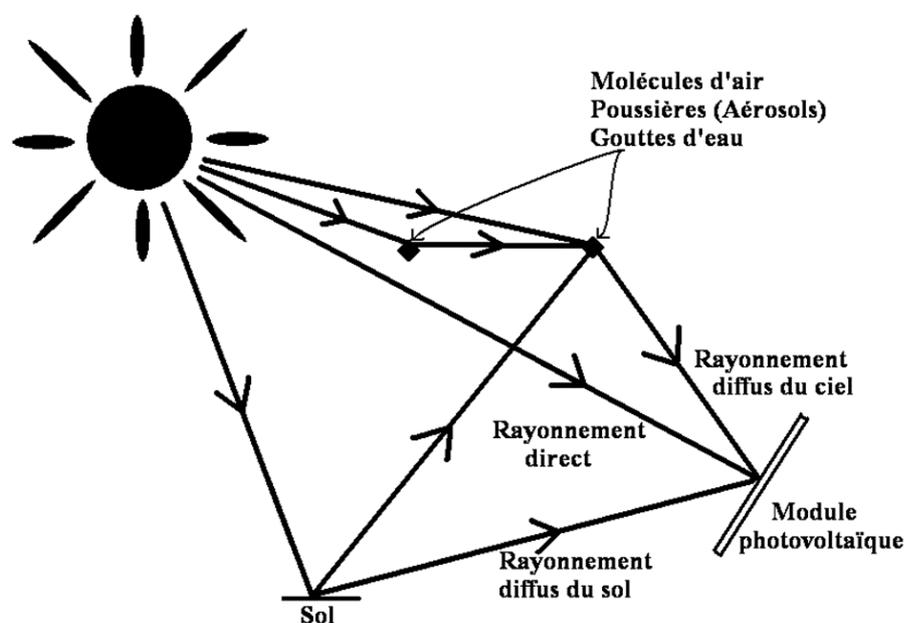


Figure III.1 : les composants du rayonnement solaire.

La figure III.2 montre l'évolution de la distribution spectrale d'énergie. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se compose grosso modo de :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0.4\mu\text{m}$).
- 47% dans la bande visible (0.4 à $0.8\mu\text{m}$).
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0.8\mu\text{m}$).

L'atmosphère terrestre reçoit ce rayonnement à une puissance moyenne de 1,37 kilowatt par mètre carré (kW/m^2). Plus ou moins 3% selon que la terre se rapproche ou se rapproche du soleil lors de sa rotation autour du soleil. Cependant, la quantité d'énergie atteignant la surface dépasse rarement $1,2 \text{ kW}/\text{m}^2$ car l'atmosphère en absorbe une partie. De plus, la rotation et l'inclinaison de la Terre modifient l'énergie disponible à un point particulier selon la latitude, l'heure et la saison. Enfin, les nuages, le brouillard, les particules atmosphériques et divers autres phénomènes météorologiques créent des variations horaires et diurnes qui augmentent, diminuent ou dispersent le rayonnement solaire. [19]

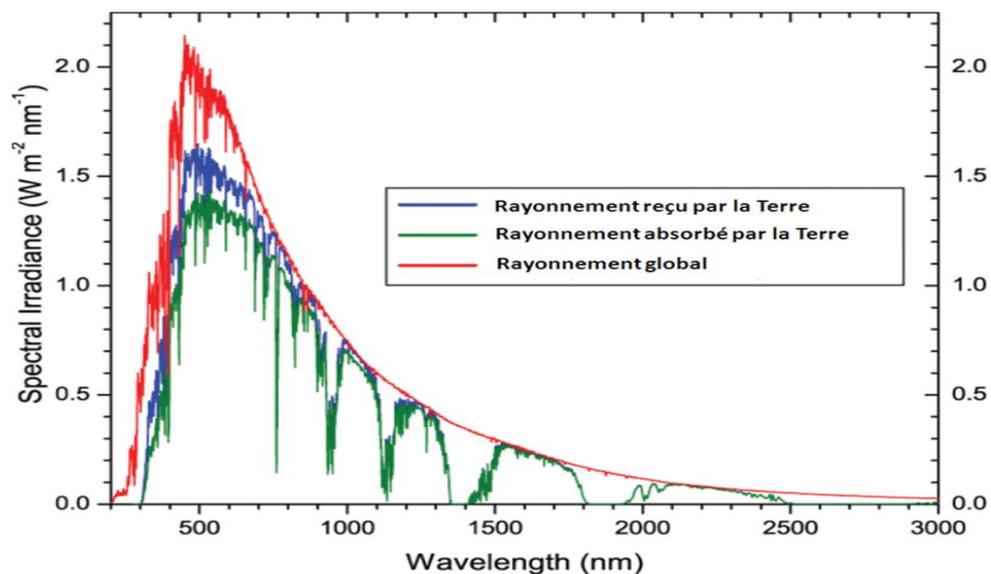


Figure III.2 : Analyse spectrale du rayonnement solaire.

III.3.2. Mesure de rayonnement solaire :

L'ensoleillement (G) correspond à l'intensité du rayonnement solaire frappant un avion à un moment donné. Elle est généralement exprimée en watts par mètre carré (W/m^2). L'ensoleillement varie de zéro au lever du soleil à un maximum généralement à midi. [19]

III.4. Cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque (PV) est un dispositif photovoltaïque qui convertit directement la lumière du soleil en électricité grâce à un processus appelé « effet photovoltaïque », découvert par E. Becquerel en 1839 [20].

Elles sont fabriquées à l'aide de semi-conducteur de matériaux à base de silicium (Si), de soufre de cadmium (Cds), de tellure de cadmium (CdTe)...ect.

Aux figures (III.3) et (III.4), la cellule PV est constituée de deux couches distinctes faiblement dopées : l'une de type P et l'autre N.

Pour que les atomes de la jonction PN libèrent leurs électrons et forment des électrons et des trous, les photons doivent d'abord être absorbés par le semi-conducteur.

Ainsi, cela crée une différence de potentiel entre les deux canapés.

Cette différence de potentiel est mesurable entre les liens des stations cellulaires positives et négatives. La tension résultante peut varier de 0,3 V à 0,7 V selon le matériau utilisé et sa disposition ainsi que la température et le vieillissement de la cellule.

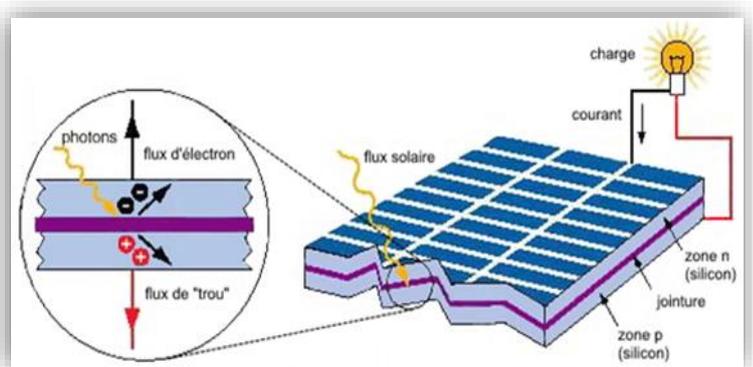
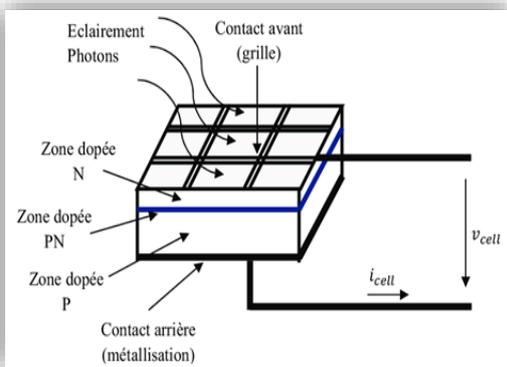


Figure III.3 : présentation schématique

Figure III.4 : Effet photovoltaïque à l'échelle de la cellule solaire

III.4.1. Les différents types de la cellule photovoltaïques :

Plusieurs techniques sont actuellement développées pour produire des cellules solaires avec des maturités, des performances et des durées de vie très différentes. Le matériau le plus fréquemment utilisé pour créer des cellules photovoltaïques est le silicium, que l'on peut trouver naturellement sous forme de pierre siliceuse (figure (III.5)). Les différents types de cellules PV existants sont :

- Cellule amorphe de silice (rendement : 6 à 10%).
- Cellule monocristalline en silice (rendement : 13 à 17%).

- Une cellule silicium poly cristallin avec un rendement de 11 à 15%.
- Cellule Tandem.
- Cellules de matière organique (Rendement : 3,6). [21]

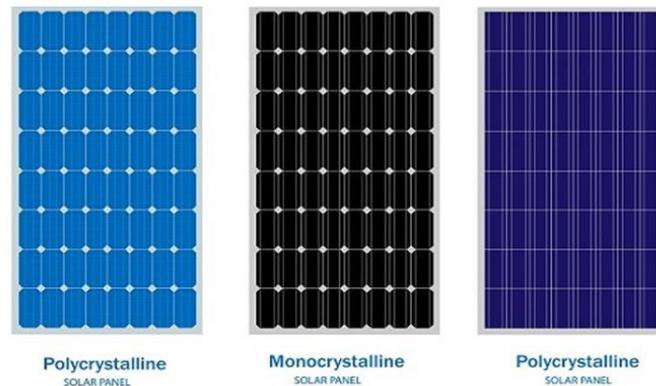


Figure III.5 : Différents types de la cellule photovoltaïque

III.4.2. Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire :

La photovoltaïque repose sur un phénomène physique connu sous le nom d'effet photovoltaïque. Ce phénomène consiste en la force électromotrice générée lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière, convertissant l'énergie solaire en énergie électrique. Cette conversion repose sur trois mécanismes

- Absorption des photons (énergie supérieure à l'entrefer) par le matériel.
- Conversion de l'énergie photonique en énergie électrique. Cela correspond à la formation de paires électron/trou dans les matériaux semi-conducteurs du dispositif.
- Collecte des particules générées au sein de l'appareil. [25]

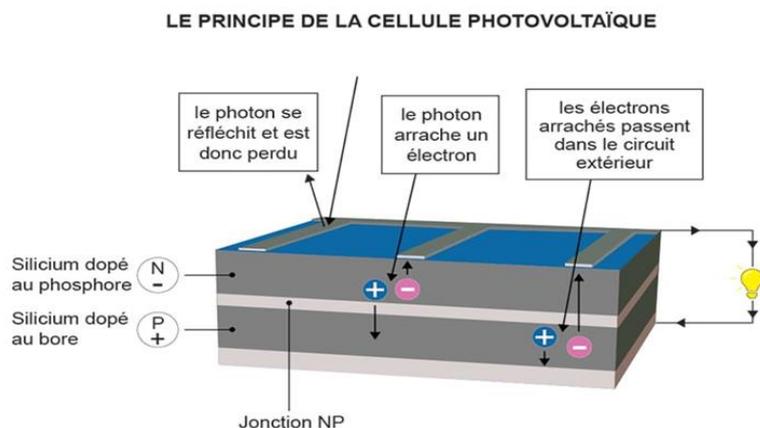


Figure III.6 : Le principe de fonctionnement d'une cellule solaire :

III.5. Module photovoltaïque :

Les générateurs ou modules solaires fabriqués aujourd'hui délivrent une puissance qui oscille entre quelques Watts crête et quelques dizaines de Watts crête (une cellule de 1 m² délivre environ 100 W) [3]. Par conséquent, la puissance disponible à la sortie d'une cellule solaire est très faible et plusieurs cellules doivent être combinées en un seul module afin d'obtenir suffisamment de puissance pour une charge typique (Figure (3.5)). Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans du polymère EVA (éthylène acétate de vinyle) (Figure (3.7)), la face avant est protégée par du verre trempé à haute transmittance et bonne résistance mécanique, et la face arrière est protégée par une couche de polyéthylène. [22]

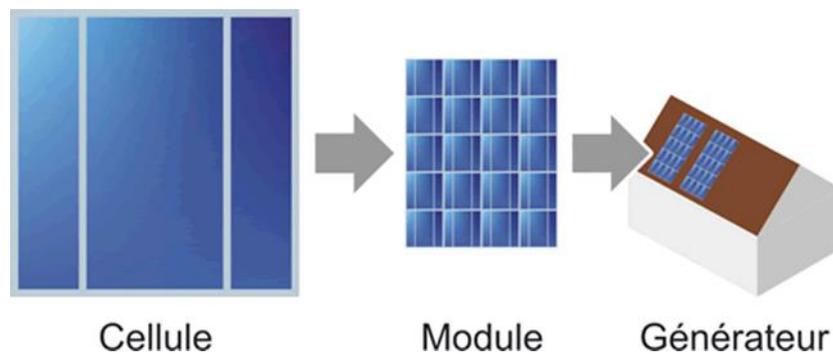


Figure III.7: Module photovoltaïque.

III.5.1. Caractéristiques électriques d'un module photovoltaïque :

III.5.1.1. Caractéristiques Courant –Tension.

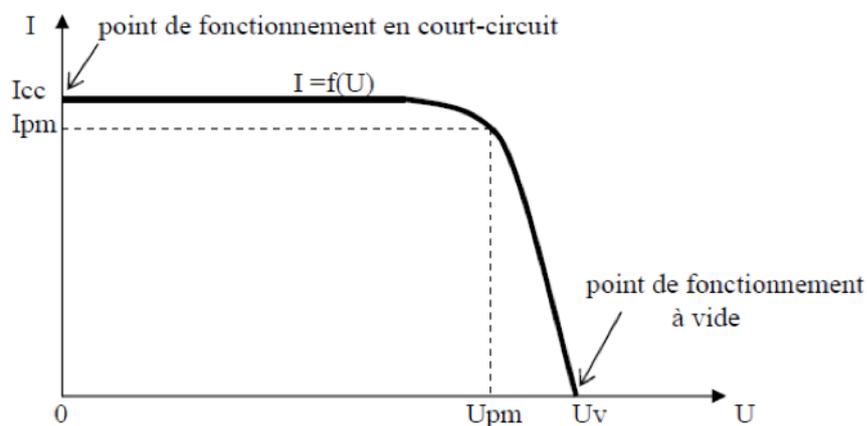


Figure III.8 : Caractéristiques Courant –Tension.

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont :

$I_{cc} = 3A$ et $U_v = 0,57V$ pour une irradiante de $G = 1000W/m^2$ et une température $\theta = 25^\circ C$

III.5.1.2. Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension

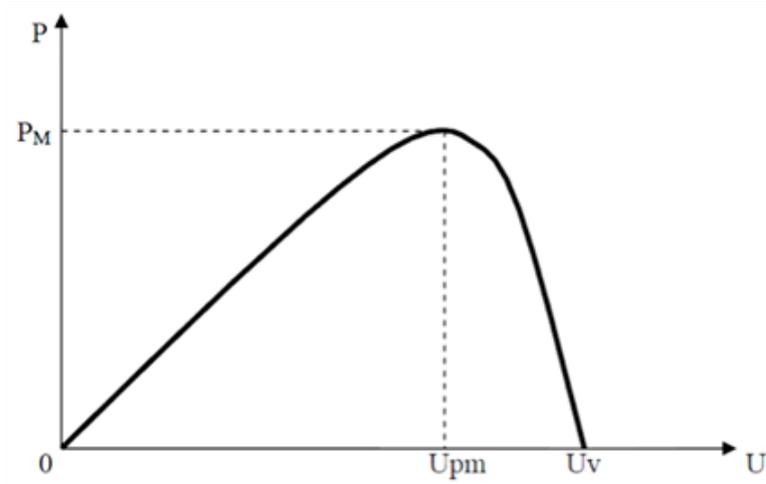


Figure III.8.1: Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension

Pour une cellule monocristalline de 10x10cm, les valeurs caractéristiques sont :

$$P_M = 1,24W, U_{pm} = 0,45V, I_{pm} = 2,75A \text{ (} G = 1000W/m^2 \text{ et } \theta = 25^\circ\text{C)}.$$

III.5.1.3. Caractéristique Courant (puissance)-Tension

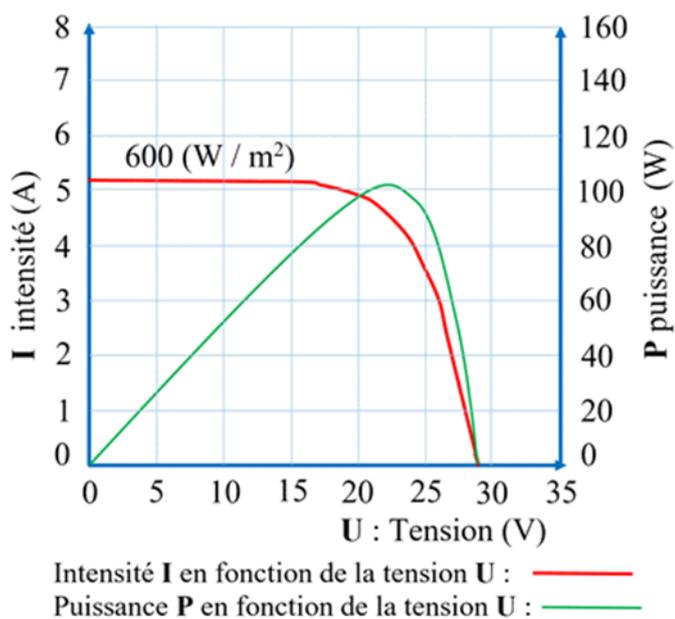


Figure III.8.2 : Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension.

Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de 1 000 W/m², température de 25 °C, conditions

spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale).

III.6. Influence des paramètres externes :

III.6.1. Influence de l'ensoleillement :

Une diminution de la lumière du jour réduit la formation de paires électron-trou pour lesquelles le courant d'obscurité ne change pas. Puisque le courant du panneau solaire est égal au phot courant moins le courant de la diode dans l'obscurité, le courant solaire I_{sc} diminue proportionnellement aux variations de l'irradiance solaire, avec une très faible diminution de la tension V_{oc} . Par conséquent, le point P_{max} du panneau solaire se déplace vers des services plus petits. La figures (III.9) représentent respectivement les caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ pour différents niveaux d'éclairement à température constante (25°C). [19]

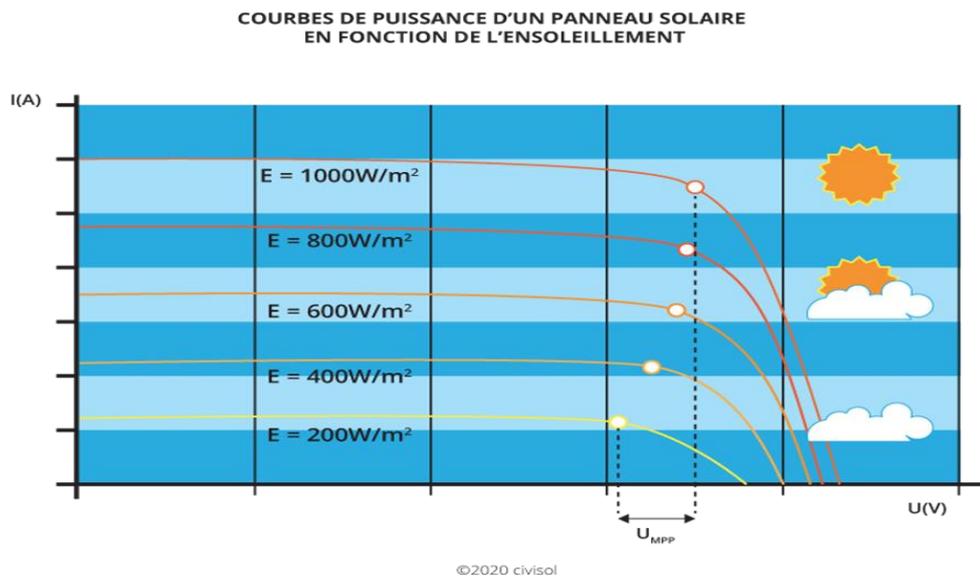


Figure III.9 : influence de l'éclairement sur la caractéristique $I(V)$

III.6.2. Influence de la température

L'augmentation de la température (de jonction) de la cellule solaire entraîne une forte augmentation du courant dans l'obscurité et une faible augmentation de la formation de paires électron-trou. Étant donné que le courant du panneau solaire est égal à l'image du courant moins le courant de la diode noire, le courant I_{sc} augmente légèrement, la tension V_{oc} chute brusquement et le point P_{max} passe à des puissances plus faibles. Les figures (3.10) montrent respectivement les courbes caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ pour différentes valeurs de température à éclairement constant. [19]

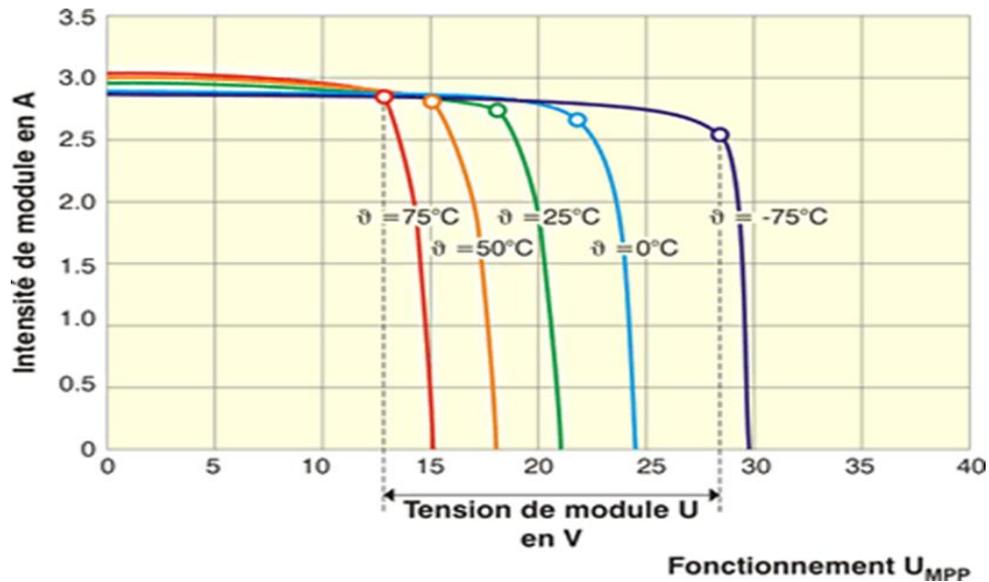


Figure III.10 : influence de la température sur la caractéristique $P(V)$

III.6.3. Le générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs modules photovoltaïques de base en série et/ou en parallèle et possède un certain nombre de caractéristiques (puissance, courant de court-circuit ou tension à vide).

III.7. Le système de stockage :

Le but du stockage d'énergie dans un système photovoltaïque autonome est de toujours fournir de l'énergie quelle que soit l'influence du soleil. Il s'agit d'un stockage par batterie de stockage (accumulateur).

III.7.1. La batterie :

Les batteries sont des cellules électrochimiques (accumulateurs) connectées en série qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique. Une cellule de batterie se compose de deux électrodes (positive et négative). [23]

Lors de la charge, l'énergie électrique fournie par le générateur est stockée dans la cellule sous forme d'énergie chimique.

Lorsqu'elle est déchargée, l'énergie stockée dans la batterie est convertie en énergie électrique lorsque la batterie est connectée à un circuit contenant une charge.

Les batteries les plus couramment utilisées pour les générateurs autonomes sont généralement de type plomb-acide et nickel-cadmium.

III.7.2. Batterie au plomb

Les batteries au plomb, les plus couramment utilisées dans les systèmes solaires autonomes, se composent de deux électrodes, une électrode positive en dioxyde de plomb (PbO_2) et une électrode négative en plomb (Pb). La durée de vie de cette batterie est de 10 à 15 ans.

III.7.3. Principe de fonctionnement d'une batterie au plomb :

Lors de la charge : sulfates de deux polarités, l'électrolyte est consommé (les ions SO_4^{2-} migrent vers les électrodes). L'oxygène libéré par l'électrode positive se combine avec les ions H^+ en solution pour former de l'eau hydrogène. Lorsqu'il est complètement déchargé, l'électrolyte se compose uniquement d'eau distillée.

Chargez, les deux polarités se désulfitent, l'électrolyte se régénère (dissolution des ions SO_4^{2-}). La plaque positive est peroxydée (formation de PbO_2) et des ions sont libérés (augmentation de la concentration en H^+ dans l'électrolyte). [24]

III.7.4. Batterie au nickel :

Ce type de batterie est couramment utilisé pour des applications de puissance relativement faible. Le coût élevé de ce type d'accumulateur (par rapport au plomb) limite son utilisation en micro énergie. Il a une longue durée de vie de 15 à 20 ans H^+ dans l'électrolyte. [24]

III.7.5. Les caractéristiques principales d'une batterie sont :

III.7.5.1. Capacité :

La capacité d'une batterie est la quantité d'énergie qu'elle peut stocker et restituer sous sa tension nominale. Exprimé en ampères heures (Ah).

Taux de charge et de décharge Charger ou décharger la batterie à des taux autres que ceux spécifiés peut augmenter ou diminuer la capacité utilisable. En général, lorsqu'une batterie se décharge plus lentement, sa capacité augmente légèrement. Si le tempo est rapide, la capacité diminue. [25]

III.7.5.2. La durée de vie :

Les caractéristiques des batteries de stockage se détériorent au fur et à mesure qu'elles sont chargées et déchargées de manière répétée, et elles ont une durée de vie limitée (nombre de cycles) quelle que soit leur utilisation.

III.7.5.3. Profondeur de décharge :

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie utilisée pendant un cycle de charge/décharge.

III.7.5.4. La tension d'utilisation :

Il s'agit de la tension à laquelle l'énergie stockée est normalement renvoyée à la charge.

III.7.5.5. Le rendement :

C'est le rapport entre l'énergie électrique récupérée de la batterie et l'énergie qui lui est fournie.

III.7.5.6. Le taux d'autodécharge :

L'autodécharge est la perte de capacité lorsqu'une batterie est laissée sans surveillance (sans recharge) pendant un certain temps.

III.7.5.7. La décharge :

Lors de la charge, la batterie est le récepteur (environ 2,2 V). En fin de charge (point M) la tension monte brusquement, les plaques sont complètement polarisées, et la fin de charge reste remarquablement constante à une valeur d'environ 2 V sur de longues périodes d'utilisation. A partir du point N, elle chute brutalement à 1,8 V et l'accumulateur doit être rechargé lorsque 2,6 ou 2,7 V sont atteints. [25]

III.7.5.8. La décharge :

Sur de longues périodes d'utilisation, la tension reste assez constante autour de 2 V. Après le point N, la tension chute brutalement à 1,8 V et la batterie doit être rechargée. [25]

III.8. Groupement de batteries :

La capacité de stockage peut être augmentée en connectant en série plusieurs batteries identiques ayant la même durée de vie. [23]

III.8.1. Montage en série :

En regroupant plusieurs cellules de même force en série, la tension du groupe de cellules peut être augmentée sans changer la force. [23]

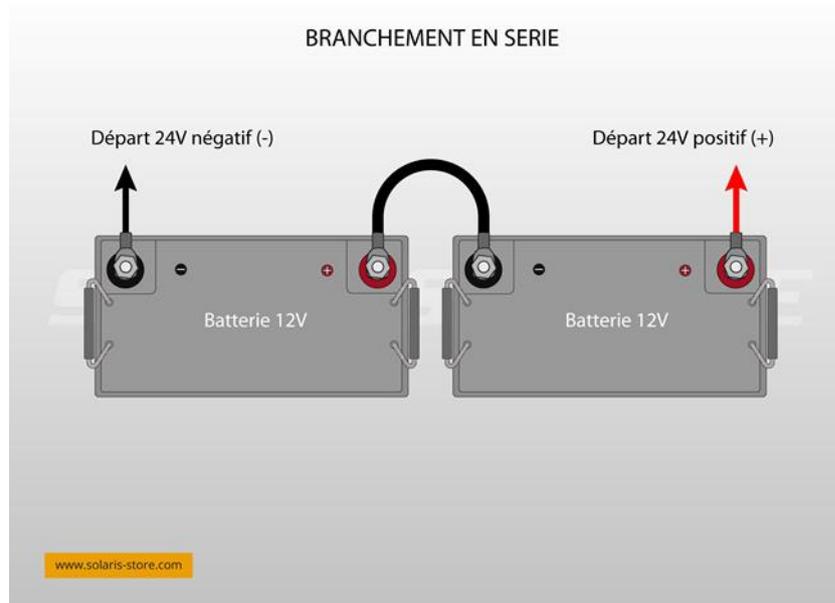


Figure III.11 : Branchement des batteries en série

III.8.2. Montage en parallèle :

Regrouper plusieurs batteries de même tension en parallèle peut augmenter la capacité d'un groupe de batteries sans modifier la tension. [23]

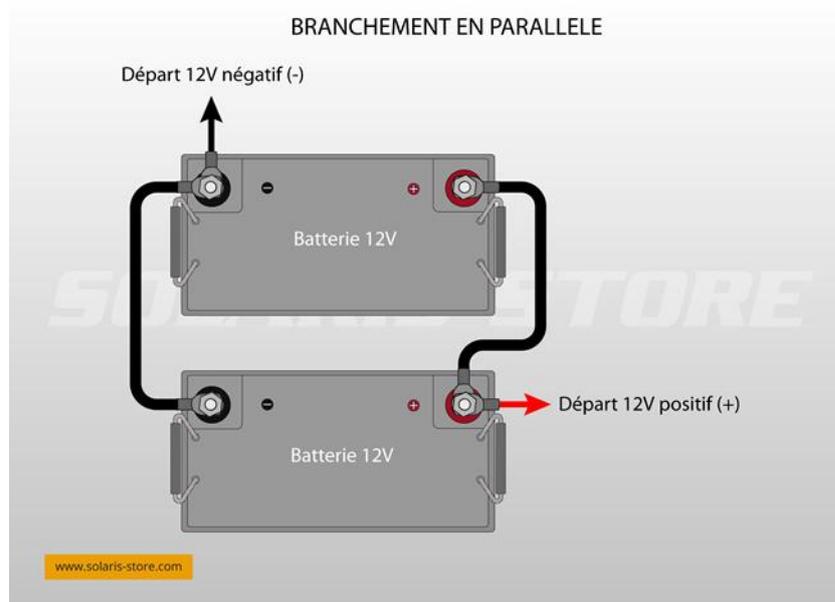


Figure III.12 : branchement des batteries en parallèles

III.9. Avantages et inconvénient :

III.9.1. Les avantages de l'énergie photovoltaïque :

- La production d'énergie photovoltaïque n'est pas nocive pour l'environnement et n'a pas d'effets nocifs.

- La fiabilité du système de production d'énergie solaire est extrêmement élevée.
- Tant que l'énergie solaire est disponible, les installations de panneaux solaires peuvent être effectuées dans une variété d'endroits.
- L'énergie solaire est viable dans les zones urbaines en raison de son échelle et de sa tranquillité.
- La consommation d'électricité est proche du site de production, minimisant les coûts de transport.
- Les matériaux utilisés peuvent résister aux pires conditions climatiques.
- Le panneau solaire assure un temps de travail très long. [26]

III.9.2. Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque :

- La production des panneaux coûte chère.
- Le rendement reste faible par rapport à la quantité de lumière reçue.
- Les coûts augmentent si le stockage est nécessaire pour la production.
- Selon l'emplacement, la lumière du soleil peut ne pas toujours être présente. [26]

III.10. Conclusion :

Ce chapitre résume les informations générales sur les systèmes photovoltaïques. Le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques et leurs diverses propriétés ont été brièvement décrits et élaborés. Ensuite, nous avons travaillé sur la spécification des différentes zones de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

Enfin, nous discutons de la modélisation mathématique des cellules. Pour montrer l'effet des conditions climatiques sur les propriétés électriques, nous nous sommes appuyés sur le modèle électrique d'une seule diode.

CHAPITRE IV :
Expérimentation et résultats

CHAPITRE IV : EXPERIMENTATION ET RESULTATS**IV.1. Introduction :**

Le modèle réalisé avec le logiciel JDEVS, outil de modélisation et de simulation créé par une équipe du laboratoire des systèmes physiques pour l'environnement de l'Université de Corse, est présenté dans ce chapitre. L'objectif principal est d'utiliser ce programme pour décrire les techniques de multi-modélisation plutôt que de déterminer si le modèle est valide ou non.

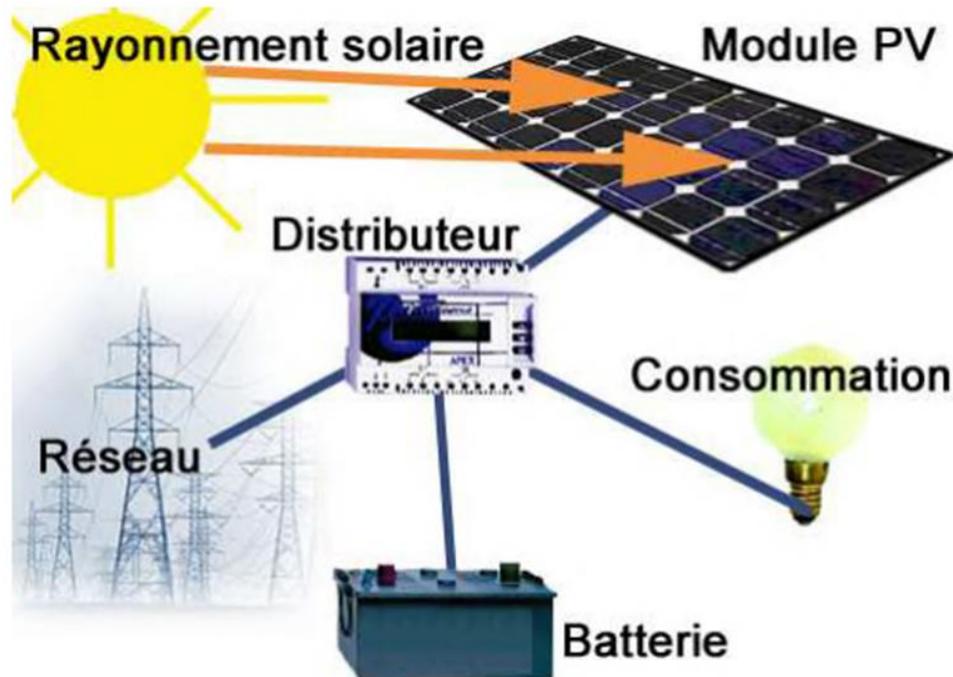


Figure IV.1: Un système photovoltaïque.

IV.2. Modélisation d'un système photovoltaïque :

La figure IV.1 illustre un système d'énergie solaire photovoltaïque (souvent appelé système « PV »). Ce sont de minuscules centrales électriques qui peuvent fonctionner en mode autonome ou en conjonction avec le réseau électrique.

Les systèmes "PV" autonomes se composent d'un distributeur et d'un ensemble optionnel de panneaux de production d'énergie solaire [27]. Ils fonctionnent grâce au panneau photovoltaïque : un dispositif qui transforme le rayonnement solaire en électricité. L'énergie produite est ensuite répartie par le répartiteur entre les bornes de charge des batteries et les bornes de consommation. Dans le cas où le soleil ne brille pas assez fort, la batterie est utilisée pour compenser toute perte d'énergie. Si la batterie est complètement chargée, toute énergie restante est épuisée.

Le réseau électrique sert de batterie dans les systèmes PV connectés au réseau car ils ne disposent que de panneaux et d'un distributeur. L'énergie peut être réinjectée sur le réseau électrique en cours de production pour garantir la consommation tout en évitant les dysfonctionnements.

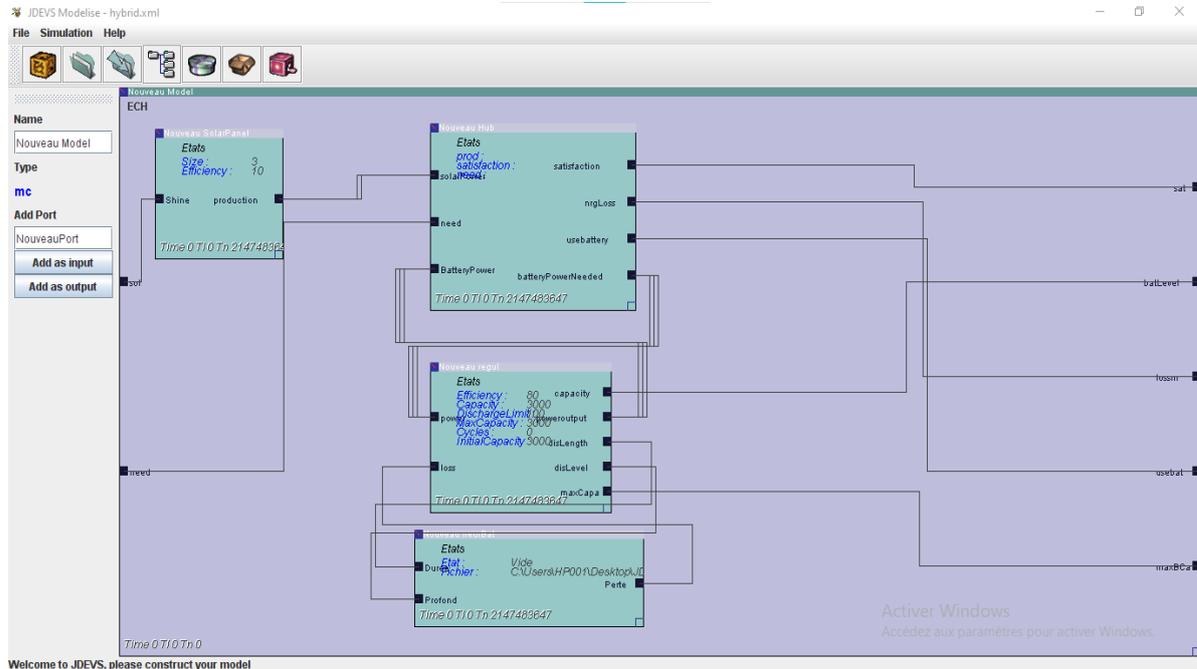


Figure IV.2 : Modèle du système PV dans JDEVS.

Ce modèle permet de simuler des essais sur ces dispositifs et d'aider à leur dimensionnement pour différentes localisations d'implantation [28].

Le modèle général (modèle couplé) a deux entrées :

- Sol : l'ensoleillement en Watts- heures/mètre carré.
- need : le besoin en consommation en Watt/heure.

Selon le cadre expérimental choisi par l'utilisateur, il est possible de suivre un certain nombre de variables de sortie du modèle. Cependant, la plupart des recherches dans le domaine de l'énergie (telles que [29] ou [28]) ne prêtent attention qu'à un petit sous-ensemble de ces facteurs. Pour permettre d'observer l'évolution du modèle, nous avons établi cinq ports de sortie:

- Satisfaction : la capacité du système à répondre à un besoin par rapport au besoin réel (en %).
- EnergyLoss : la quantité d'énergie solaire perdue chaque heure / Watts.
- BatteryUse : la fraction d'énergie produite par le panneau PV par rapport à l'énergie utilisée par la batterie.

- BatLevel: le niveau de la batterie pour 12 volts de tension constante.
- MaxBatteryCapa : la capacité maximum de la batterie pour une tension constante (12Volts).

L'approche utilisée pour mesurer les données d'entrée et de sortie est l'une des limites suggérées par les experts en la matière et les utilisateurs finaux. En effet, la grande majorité des stations de mesure fonctionnent en temps discret, à l'instar des modèles actuellement en usage. Cela nous amène à des modèles capables de créer des événements sortants à partir des ports **EnergyLoss** et **BatLevel** à intervalles réguliers et capables d'accepter des événements entrants à intervalles réguliers.

Les restes ports de sortie ne sont actifs que pour indiquer un changement de valeur et sont plus conformes à un mode de simulation à événements discrets. Le mode mixte temps/événement discret est donc susceptible d'être utilisé par les sous-modèles. Plus loin dans cette section, ils sont discutés plus en détail.

IV.2.1.Le panneau photovoltaïque

Le panneau PV est un modèle atomique, il est responsable de la production d'énergie, il contient deux ports :

- Port d'entrée, Shine : l'ensoleillement en Watt/Heure/mètre carré.
- Port de sortie, production : la puissance générée en Watt/Heure.



Figure IV.3 : Sous-modèle panneau photovoltaïque.

Pour réaliser de nombreux tests, le sous-modèle panneau PV comprend deux paramètres :

- Size : la taille en mètres carrés,

- Efficiency : le rendement en pourcentage avec laquelle l'énergie est convertie.

Étant donné que le comportement des cellules photovoltaïques qui composent un panneau est bien connu, il est possible de le modéliser à partir des données du constructeur à l'aide d'un modèle atomique DEVS traditionnel. Le distributeur reçoit l'énergie de sortie estimée du modèle.

IV.2.2.Le distributeur

Un autre modèle DEVS traditionnel est le modèle distributeur, qui répartit les charges entre la batterie, le panneau solaire et les stations de consommation. Ce sous-modèle occupe une position charnière du fait de la connexion de ses ports aux postes d'entrée, de batterie, de panneau solaire et de consommation :

- Power : la puissance de sortie du système source d'énergie, exprimée en Watt/heure
- Need : la quantité d'électricité nécessaire par heure en watts.
- BatteryPower : la capacité énergétique de la batterie, exprimée en Watts.

Pour transmettre le besoin d'alimentation, les ports de sortie de ce modèle sont câblés à la batterie. Les ports de sortie restants sont utilisés pour collecter les informations nécessaires à l'analyse des résultats de la simulation. Le modèle de distributeur possède quatre ports de sortie :

- Satisfaction : le pourcentage de la mesure dans laquelle les besoins d'un système sont satisfaits par rapport aux besoins de consommation réels.
- EnergyLoss : l'énergie perdue en Watt/Heure.
- BatteryUse : la proportion en pourcentage d'énergie de la batterie utilisée par rapport à l'énergie d'un panneau solaire.
- PowerBalance : la quantité d'énergie nécessaire pour vider la batterie ou, (si la batterie n'est pas complètement chargée), la quantité d'énergie disponible pour la recharger, toutes deux exprimées en Watts.



Figure IV.4 : Sous-modèle distributeur.

Le distributeur connaît en permanence le niveau d'énergie de la batterie car si le niveau du modèle de batterie change, un message l'avertissant de la nouvelle valeur est reçu. Un message contenant la quantité d'énergie à tirer de la batterie est délivré sur le port Power Balance lorsqu'il y a un besoin d'énergie et qu'il y a suffisamment d'énergie disponible. Une notification pour recharger la batterie est délivrée lorsqu'il y a un excès d'énergie mais que le niveau de la batterie n'est pas à son maximum.

IV.2.3.La batterie

Du fait que la batterie implique plusieurs interactions chimiques, son comportement physique est compliqué, et pour le simuler de manière classique, il est nécessaire d'acquérir un certain nombre de données.

La batterie est à la fois une source et une unité de stockage, et parce qu'elle a des caractéristiques telles que l'efficacité et la capacité, elle peut être considérée comme un modèle classique de DEVS. Il y a deux ports d'entrée sur ce modèle :

- Power : la puissance à ajouter ou à retirer de la capacité de la batterie,
- Loss : la perte de la capacité de stockage liée au vieillissement.

Le modèle comporte cinq ports de sortie, qui sont suffisants pour l'analyse du comportement de la batterie et le calcul du vieillissement.

- Capacity : La puissance de sortie de la batterie est mise à jour en Watts dès que la capacité change. Ce port est conçu pour être attaché à une sortie de modèle général afin de permettre l'analyse des résultats de simulation.

- PowerOutput : Le port est identique au précédent mais conçu destiné au couplage avec les autres sous-modèles.
- DisLength : Le nombre d'heures que durera la décharge actuelle. Lorsque la puissance disponible est inférieure à la moitié de la capacité maximale, ce port transmet une fois par heure.
- DisLevel : la proportion en pourcentage de la capacité initiale de démarrage qui représente la profondeur de décharge actuelle.
- MaxCapacity : La capacité maximum de la batterie.

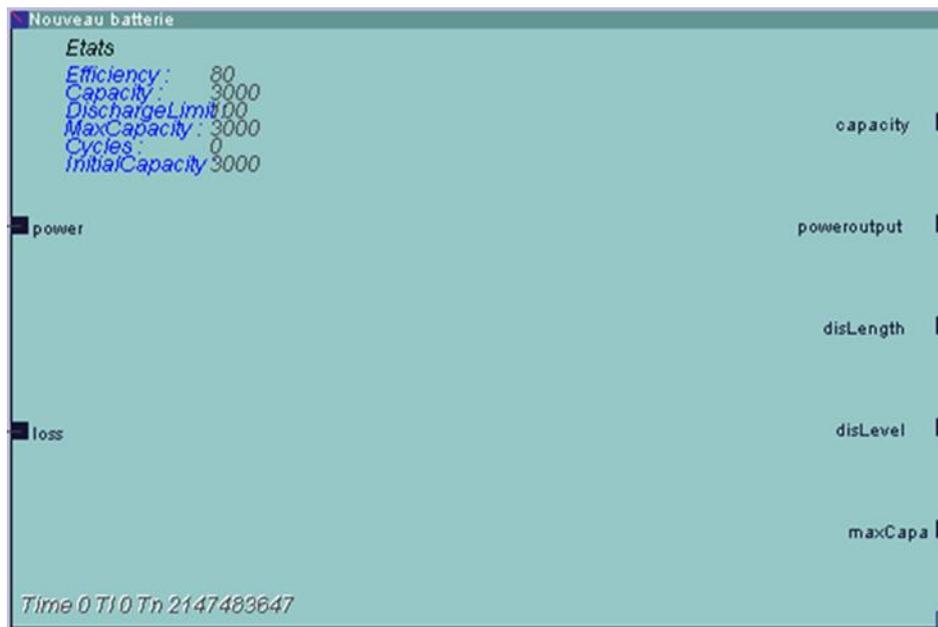


Figure IV.5 : Sous-modèle batterie.

Les six paramètres dépendants de l'expérience du modèle de batterie peuvent être modifiés avant ou pendant la simulation comme suit :

- Efficacité : L'efficacité de charge et de décharge basée sur le pourcentage.
- Capacité : La quantité d'électricité en Watts par seconde qui est actuellement accessible.
- DischargeLimit : Le taux de décharge maximal, mesuré en Watts, au-dessus duquel la batterie ne peut plus se décharger.
- MaxCapacity : La capacité maximale de la batterie.
- cycles : La quantité de cycles de charge/décharge.
- InitialCapacity : La capacité initiale maximale de la batterie.

L'interface graphique JDEVS offre la possibilité de concevoir graphiquement la structure de tous les modèles énoncés de manière simple. Cependant, cela nécessite la spécification du comportement dans le code Java Les expériences sont menées en utilisant une

variété de paramètres et une liste d'évènements entrants, et l'interface de modélisation et le cadre expérimental sont identiques.

IV.3. Résultats de simulation :

Cette simulation peut être intégrée dans un modèle de niveau supérieur, tel qu'un modèle de consommation ou un modèle calcul la pollution en fonction d'économie d'énergie. Les évènements d'entrée de cette simulation, l'ensoleillement et le besoin, sont conservés dans une base de données, et les évènements de sortie sont conservés dans un fichier appelé « résultat ».

Les études ont duré trois ans et une combinaison quatre tailles de panneaux différents avec trois capacités de batterie.

Les profils de consommation indiquent l'utilisation d'une maison avec cinq ampoules à économie d'énergies utilisées 8 heures par jour, une télévision utilisée 5 heures par jour et un réfrigérateur utilisant 1600 watts par jour. Ils ont été collectés auprès du FSRC [30].

Les figures IV.6 et IV.7 montrent les moyennes sur trois (3) ans de la consommation électrique et de l'ensoleillement, respectivement.

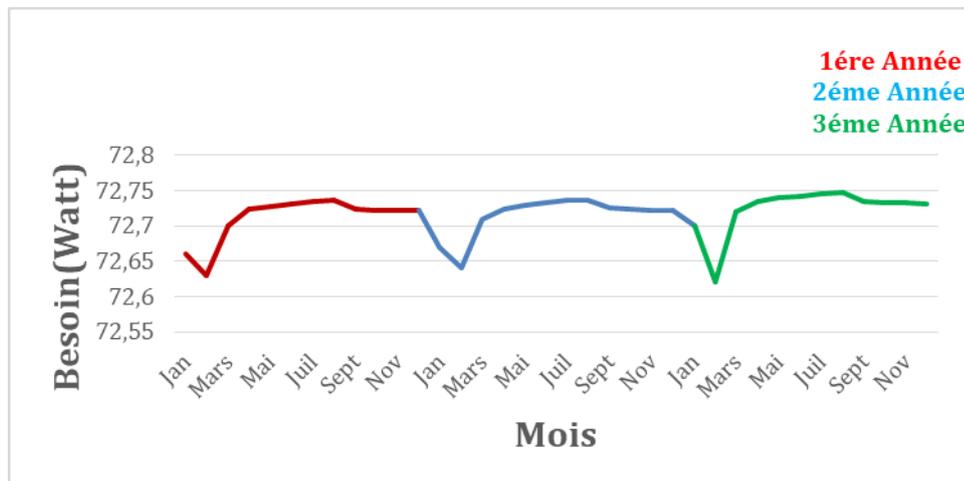


Figure IV.6: Le besoin moyen sur 3 ans.

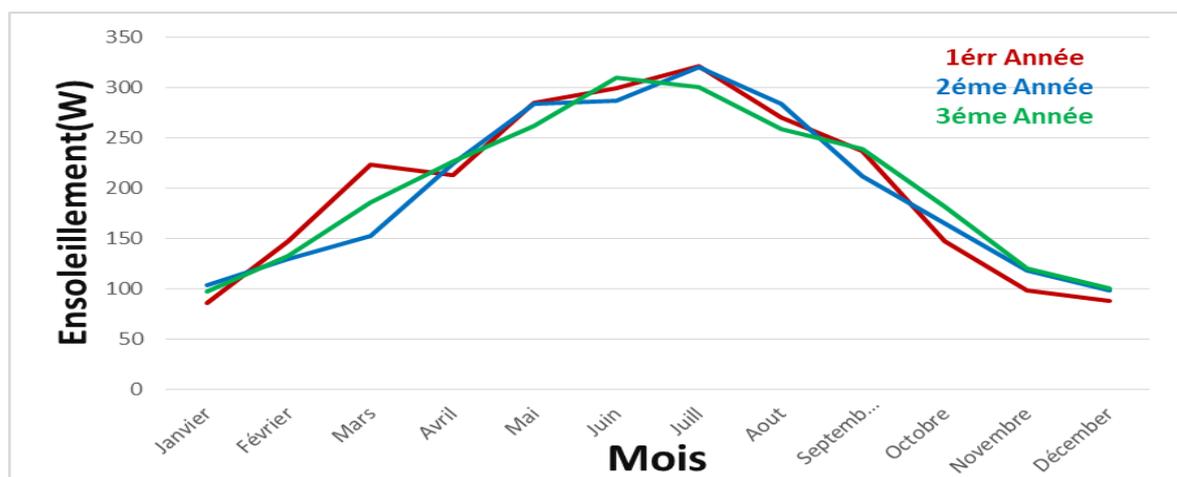


Figure IV.7 : L'enseillement moyen durant 3 ans.

D'après ces figures, on remarque que durant les 3 ans d'études le besoin énergétique était maximal (environ 72.74w) au cours des mois d'été (juillet, août), dans cette même période l'enseillement atteint sa valeur crête (environ 320 watt/m²), et durant les mois d'hiver (décembre janvier) la puissance dégrade car les heures d'enseillement sont petites.

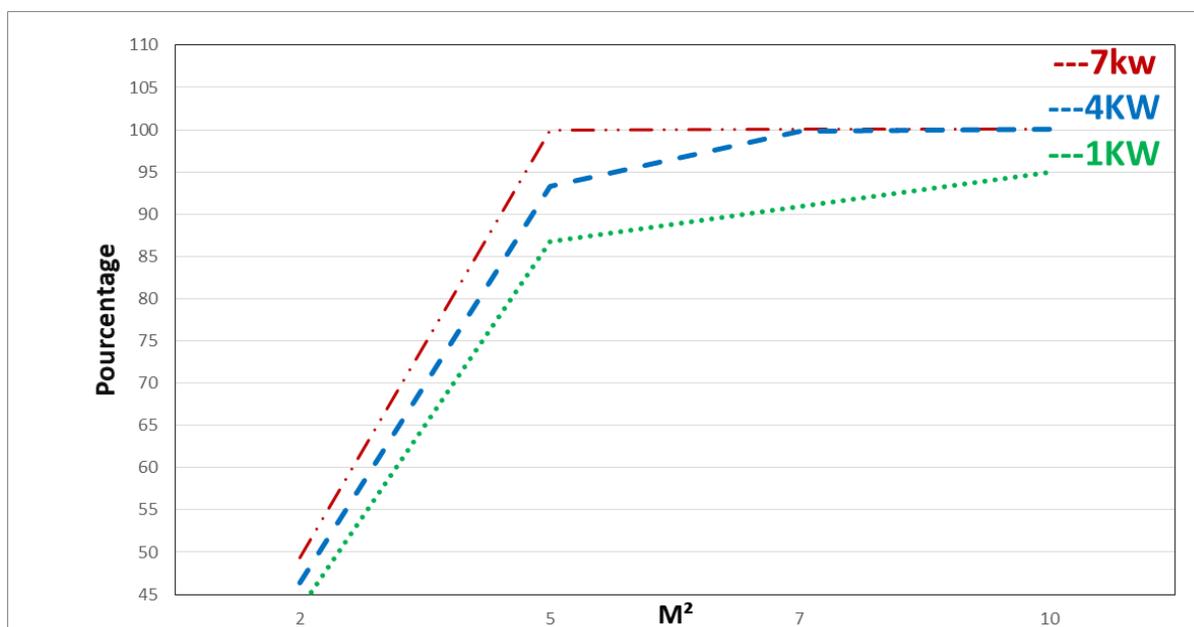


Figure IV.8: Satisfaction moyenne sur 3 ans

Le niveau moyen de satisfaction est illustré à la figure IV.8, la satisfaction qui est un rapport entre la puissance demandée et la puissance donnée, atteint 100 %. Lorsqu'un utilisateur ne

manque jamais en panne d'électricité, Un système PV doit être dimensionné de manière appropriée pour offrir un plaisir adéquat à moindre coût.

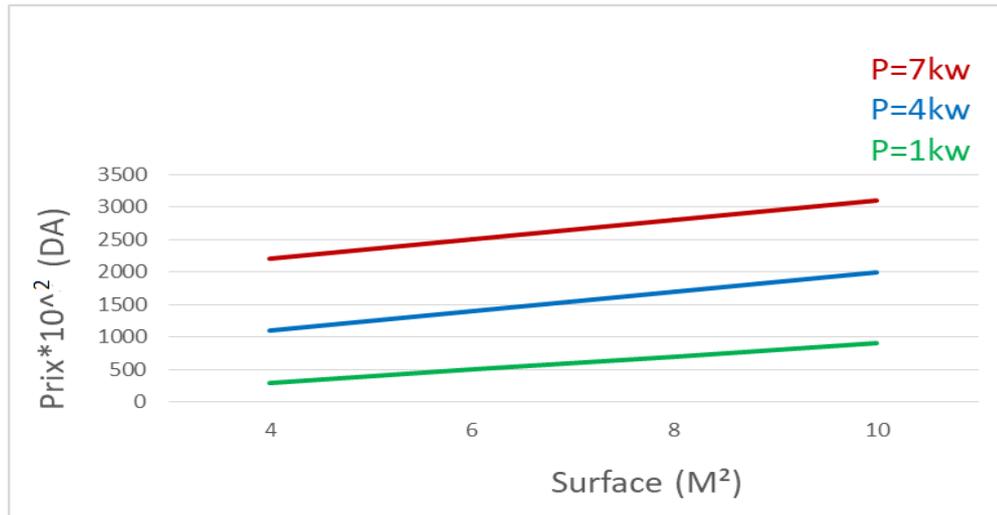


Figure IV.9: Prix d'un système PV.

La figure IV.9 illustre le prix d'un système PV connecté au réseau après trois ans. Le coût d'un système détaché est calculé en augmentant le prix des batteries neuves au coût d'installation initial. Le réseau énergétique peut être concurrencé au défi par un système PV correctement construit, mais ce se fait au détriment de la qualité de service (satisfaction moindre).

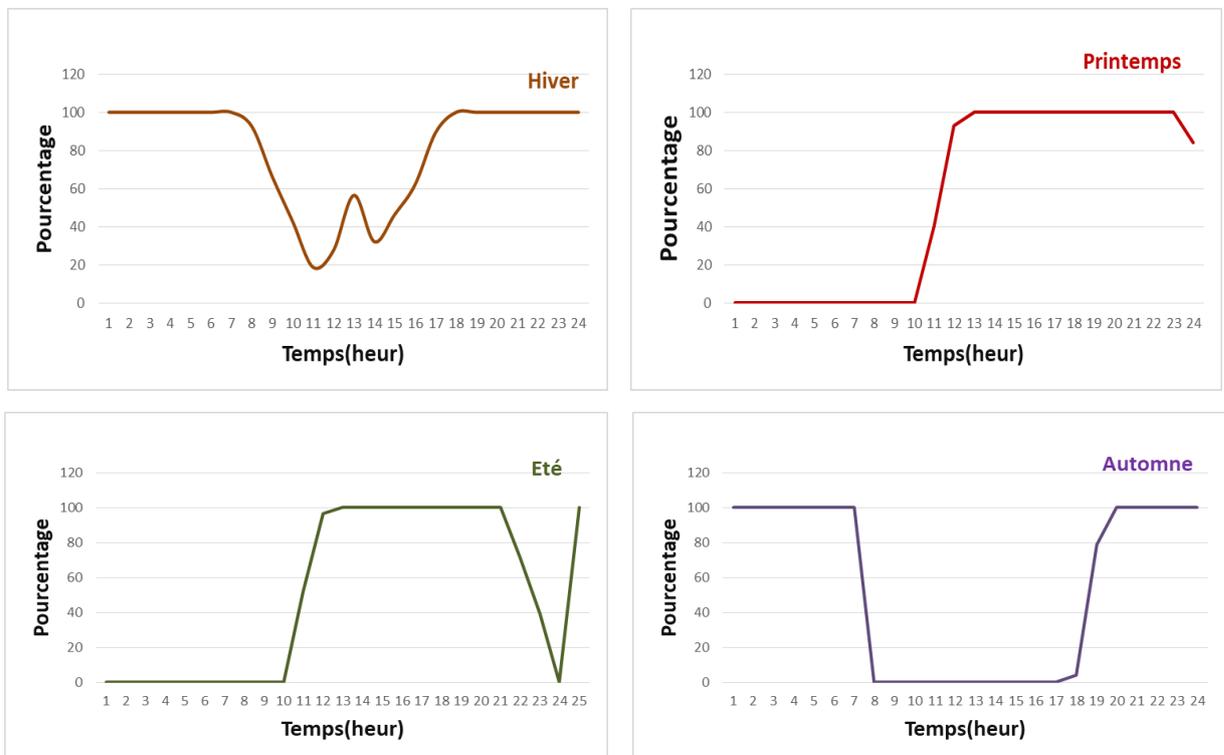


Figure IV.10 : l'utilisation de la batterie par 24h sur 4 saisons.

La figure IV.10 montre le pourcentage d'utilisation de la batterie pendant les quatre saisons de l'année. Nous remarquons que l'énergie et la capacité de la batterie changent selon les mois de son utilisation, et ce pourcentage augmente durant les mois d'hiver car le nombre d'heures d'obscurité est plus long et le besoin en électricité est plus important, ce besoin peut être traduit comme étant la nécessité de l'utilisation de cette énergie pour l'éclairage et le chauffage.

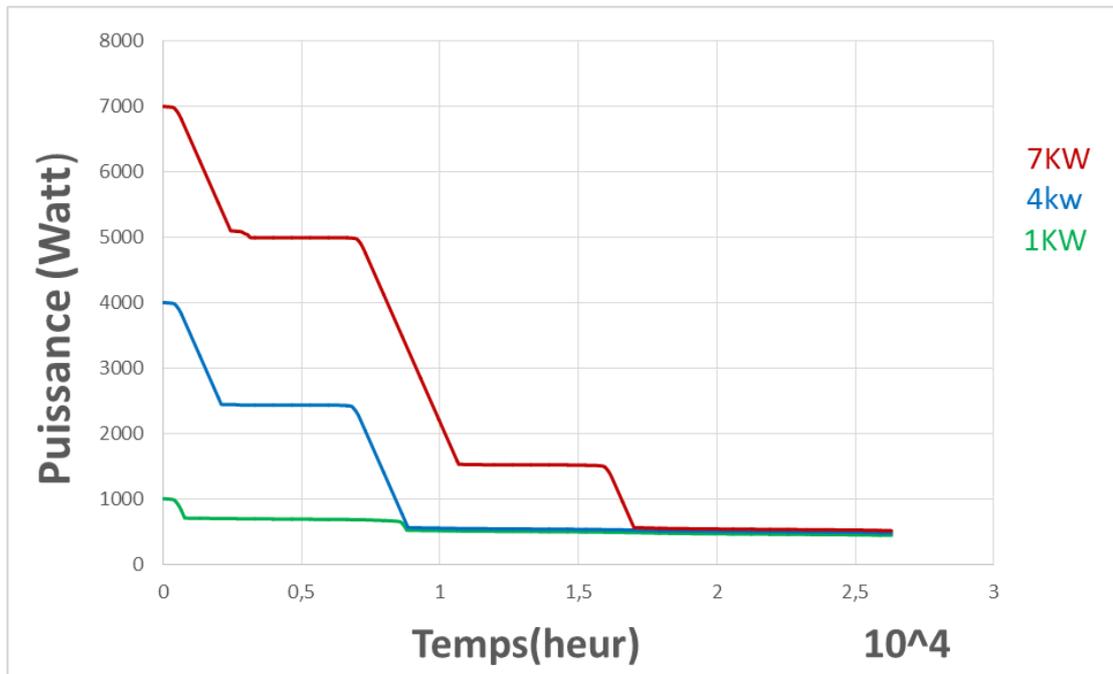


Figure IV.11 : La représentation de la capacité maximum de la batterie pendant 3 ans

La figure IV.11 montre que la capacité maximum de batterie pendant trois ans est dépendante de la puissance du panneau photovoltaïque. Le coût d'un système photovoltaïque isolé est fortement influencé par la détérioration de la batterie car une batterie doit être remplacée lorsqu'elle perd 40% de sa capacité.

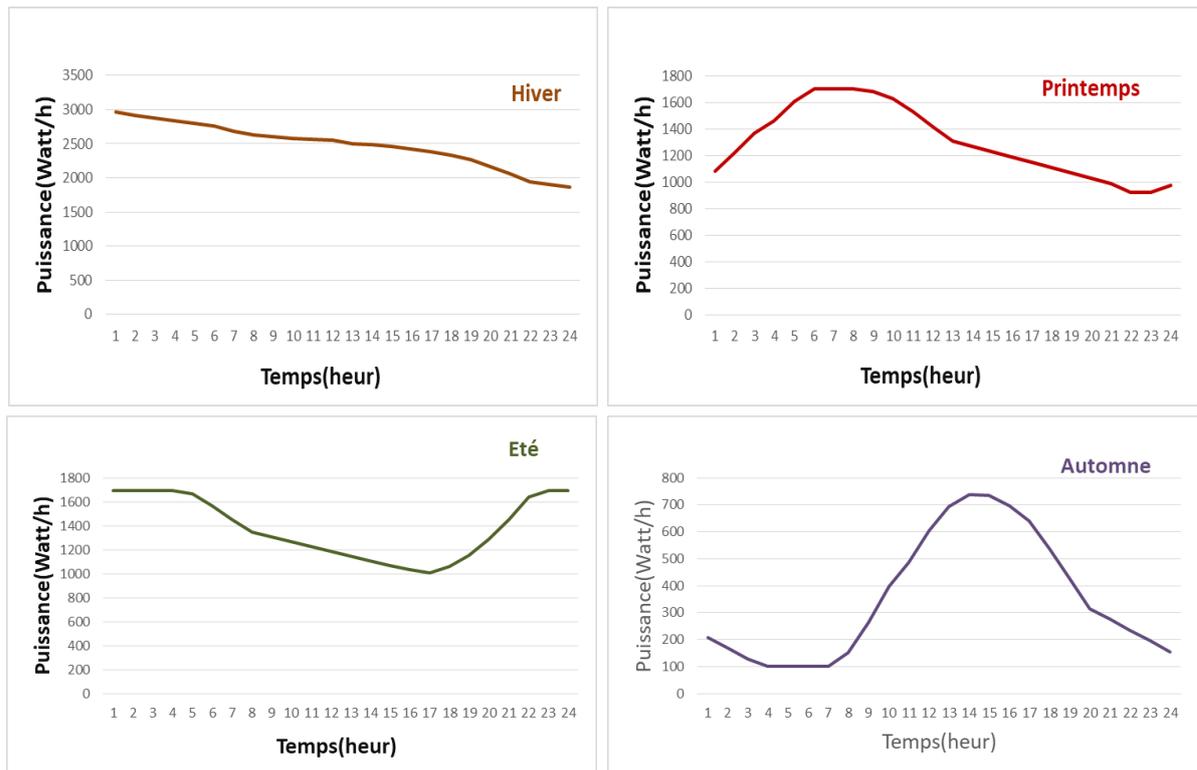


Figure IV.12 niveaux de batterie pendant 24h sur 04 saisons.

La variation de la puissance au niveau de la batterie est présentée dans la figure IV.12, on remarque que le niveau de puissance dans cette batterie diminue avec le temps dans chaque saison, cette diminution peut être considérer comme étant une décharge de batterie lors de son utilisation, cette décharge est proportionnelle à l'utilisation et se stabilise après T= 24 Heures.

IV.4. Conclusion

Après avoir présenté le programme JDEVS et ses techniques de manipulation dans le chapitre précédent, nous avons modélisé un système PV, qui est un système basé sur des évènements discrets tels que l'ensoleillement et la demande. Le panneau PV, le distributeur et la batterie sont représentés comme ceux-ci dans notre étude de cas, et nous notons que la courbe de satisfaction et la proportion de puissance de la batterie sont en accord avec le rapport, car le taux de satisfaction diminue avec la puissance de la batterie.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

À la fin de ce modeste travail, nous pouvons affirmer que notre mémoire s'est concentrée sur un certain nombre de facteurs différents.

Premièrement, nous avons présenté les définitions de la modélisation et n et la simulation des systèmes complexes basés sur les événements discrets, nous avons illustré les approches de modélisation et la théorie systémique.

Deuxièmement : les formalités DEVS ont été clarifiées et les modèles clés ont été présentés (DEVS), qui prennent en compte le modèle atomique et servent de base à tous les modèles connexes et aux modèles qui utilisent la modélisation et la simulation d'événements discrets.

La troisième partie de la mémoire comprenait une brève présentation sur le domaine photovoltaïque et ses éléments, y compris les cellules photovoltaïques et l'effet photovoltaïque, ainsi que la mention des principes de fonctionnement des systèmes, des générateurs et des différentes batteries.

Enfin, nous avons utilisé le programme JDEVS pour modéliser et simuler des joints complexes avec des événements distincts et analyser les résultats scientifiques dans de nombreux domaines, y compris notre domaine de travail, qui rend obligatoire l'utilisation de systèmes photovoltaïques. Nous avons obtenu les résultats en fonction d'un certain nombre de critères, dont l'ajustement de la taille des panneaux ainsi que la résistance et la durée de vie des batteries.

Pour conséquent, nous pouvons dire que le panneau photovoltaïque idéal pour obtenir une satisfaction à 100% est le panneau d'une taille de 4m² avec une capacité de 7 kw

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1]: Bernard P. Zeigler «Theory of Modeling and Simulation» Academic Press, 1976.
- [2]: L.V. Bertalanffy. general systems theory 1968.
- [3]: Bernard P. Zeigler «A theory-based conceptual terminology for M and S» 2000.
- [4] : P.A Bisgambiglia « Approche de modélisation approximative pour des systèmes à événements discrets : Application à l'étude de propagation de feux de forêt » thèse de Doctorat Université de Corse-Pasquale Paoli, 2008.
- [5]: «P. Fishwick. Simulation Model Design and Execution» Building Digital Worlds, 1995.
- [6]: 'T.I. Oren. «Knowledge-Based Simulation: Methodology and Application. Chap.Dynamics Templates and Semantic Rules for Simulation Advisters and Certifiers»1989.
- [7]; P. Fishwich and B.P. Zeigler. «A multi-model methodology for qualitative model engineering. ACM transaction on Modeling and Simulation» vol. 2, (1) :52–81, 1992.
- [8]: H. Vangheluwe, J de Lara, and P.J. Mosterman « An introduction to multiparadigm modelling and simulation» In SCS Editions, editor, Inproceedins of AIS 2002, 2002.
- [9]: Bernard P. Zeigler, Tag Gon Kim, and Herbert Praehofer. «Theory of Modeling - and Simulation» Academic Press, Inc., Orlando, FL, USA, 2000.
- [10]: F. Barros «Dynamic structure discrete event system specification: a new formalism for dynamic structure modelling and simulation» In Proceedings of Winter Simulation Conference 1995.
- [11]: A. Uhrmacher «Dynamic Structures in Modeling and Simulation: A Reflective Approach. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation» vol. 11 2001, pages 206–232, 2001.
- [12]: Lewis Ntaimo and Bernard P. Zeigler «Expressing a forest cell model in parallel DEVS and timed cell-DEVS formalisms» Proceedings of the 2004 Summer Computer Simulation Conference, 2002.
- [13]: Alejandro Troccoli and Gabriel Wainer «Implementing parallel cell-DEVS» In IEEE, editor, Proceedings of the 36th Annual Simulation Symposium, 2003.

Références Bibliographiques

- [14]: B.P. Zeigler «Multifaceted modelling and discrete event simulation». Academic Press, 1984.
- [15]: H. Vangheluwe «The Discrete Event System specification DEVS Formalism» Technical report, 2001.
- [16]: Bernard P. Zeigler and S. Vahie «DEVS formalism and methodology - unity of conception diversity of application». In SCS Editions, editor, Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference, pages 573–579, 1993.
- [17] : SERIK MOULOU D : Dimensionnements d'un Système Photovoltaïque Pompage Solaire. Mémoire de master a université Mouloud Mammeri de tizi-Ouzou.2018
- [18] : A Labouret M. villos « Energie Solaire Photovoltaïque » 3e Edition , Editions Le Moniteur série environnement et sécurité, Dunod paris 2003-2006 Bibliothèque département électronique Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou cote CI420 :15
- [19] : DJEMAI Ilyas : Recharge d'une batterie avec un panneau photovoltaïque et poursuite de la puissance maximale. Mémoire de master a Universités de Mouloud Mammeri de tizi-Ouzou .2018
- [20] : BORNI Abdelhalim : Etude et régulation d'un circuit d'extraction de la puissance maximale d'un panneau solaire. Mémoire de magister à université Mentouri de Constantine,
- [21] : B. Wafa S. Samah : étude comparative des systèmes de pompage photovoltaïque Mémoire ingénieurs. Biskra, 2006
- [22] : Y. PANKOW : Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque Thèse Doctorat. Ecole Nationale Supérieure D'arts et métiers. Lille.2004.
- [23] : Hankins Mark, installation solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non raccordées au réseau, Paris : Dunod 2012
- [24] : Sylvain Briugand, Installations solaire photovoltaïque : dimensionnement installations et mise en œuvre maintenance, Paris : le Moniteur, 2011.
- [25] : AMARA Karima, Mémoire de Magister contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (IMW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne tension, UMMTO 2014/2015

Références Bibliographiques

[26] : Lalouni Sofia : Etude, commande et simulation d'une chaîne hybride (photovoltaïque-éolienne) de production d'énergie électrique»Thèse de Doctorat en Science.

[27] : Jungst, R., Urbina, A., et Paez, T. (2000). Stochastic modeling of rechargeable battery life in a photovoltaic power system. Rapport Technique 1541C, Sandia National Laboratories.

[28] : Notton, G., Muselli, M., Poggi, P., et Louche, A. (2000). Optimization of a standalone hybrid PV/engine/generator/battery system for small energy load, a case study in Corsica. PV Hybrid Power Systems 2000 Conference.

[29]: Halupka, C., Bisgambiglia, P., et Santucci, J. (2000). Devs-based modelling of a pure thermal system. Dans Actes de la conférence WMC 2000, San Diego, California.

[30] : [FSERC2003] « Florida solar energy center » <http://www.fsec.ucf.edu>

ملخص

المهدف من هذا العمل هو نمذجة ومحاكاة أنظمة الأحداث المنفصلة من أجل تحليل هذه الأنظمة ووصف سلوكها بمرور الوقت. في هذه المذكرة درسنا حالة هي نظام ضوئي بسبب أهمية الطاقة الشمسية في أيامنا ومزاياها العديدة، باستخدام مواصفات الشكلية لنظام الأحداث المنفصلة (DEVS) للنموذج ومحاكاة هذا النظام باستخدام برنامج JDEVS ومناقشة النتائج التي تم الحصول عليها.

الكلمات المفتاحية:

DEVS، النمذجة، الطاقة الشمسية، الخلايا الكهروضوئية.

Résumé

L'objectif de ce travail est la modélisation et la simulation des systèmes à événements discrets afin d'analyser ces systèmes et décrire leurs comportements dans le temps. Dans ce mémoire nous avons étudié un cas qui est un système photovoltaïque à cause de l'importance de l'énergie solaire dans nos jours et ses nombreux avantages, en utilisant le formalisme spécification du système d'événements discrets (DEVS) pour modéliser et simuler ce système à l'aide du logiciel JDEVS et faire la discussion des résultats obtenus.

Mots clés :

DEVS, modélisation, énergie solaire, photovoltaïque.

Abstract

the objective of this work is the modeling and simulation of discrete event systems in order to analyze these systems and describe their behavior over time. In this memory we have studied a case which is a photovoltaic system because of the importance of solar energy in our days and its many advantages, using the formalism specification of the discrete event system (DEVS) for model and simulate this system using the JDEVS software and discuss the results obtained.

Keywords:

DEVS, Modeling, solar energy, photovoltaics.