الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Dr. Yahia farés de Médéa

Faculté des sciences et de la technologie

Département du Génie électriques

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de master en électrotechnique

Spécialités énergies renouvelables

Thème

Estimation des paramètres des cellules/modules photovoltaïques à l'aide de l'optimiseur méta heuristique Bonobo

Préparer par :

Aouadi Ahlem

Proposer et diriger par :

DR. AMOKRANE.Z

Année universitaire 2022/2023

Remerciement

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de donné courage, patience et force durant toutes ces années d'étude et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Au terme de ce travaille je tiens de remercie Mon encadreur, Dr. (AMOKRAN ZOUHIR) pour tous ses précieux conseils, pour son écoute active, sa disponibilité. Je lui remercie vivement pour tout.

Je vous remercie tous les enseignants qui nous enseignés au département de Génie Electrique. Nos remerciements sont également adressés aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents Quoi que je dise ou que je fasse, je n'arrivai jamais à vous remercier comme il se doit. C'est grâce à vos encouragements, vos bienveillances et votre présence à mes côtés, que j'ai réussi ce respectueux parcours. Je souhaite que vous soyez fière de moi, et que j'ai pu répondre aux espoirs que vous avez fondé en moi.

A celui qui j'aime beaucoup qui m'a aidé et supportée dans les moments difficiles mon marie seifeddin meghsel, je n'arrivai jamais à vous remercier comme il se doit.

A ma petite fille que j'aime trop Nihal et mes chers Sœurs Hadjer Selma Loubna Ikram qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

Ma belle-mère et mon beau-père Faress et mes belles-sœurs : Souhila Nesrine Iman.

Les petits: Djalil, Djawed, Belkisse, Iyad, Chaimaa, Mouhamed, Fares, Sameer, Djourri, Malak, Seddik.

A tous les membres de ma famille et mes amies.

Résumé

Dans ce mémoire, une nouvelle application de l'optimiseur métaheuristique Bonobo (BO) est présentée pour l'extraction des paramètres PV. Ses processus dépeignent une approche reproductive et la conduite sociale des bonobos. L'algorithme BO est utilisé pour extraire les paramètres du modèle à une seule diode et à deux diodes. Les bonnes performances du BO sont étudiées expérimentalement sur trois modules PV commerciaux (STM6-40 et STP6-120/36) et un R.T.C. Cellule solaire au silicium France dans diverses circonstances de fonctionnement. L'algorithme est facile à mettre en œuvre avec moins de temps de calcul. BO est largement comparé à d'autres algorithmes de pointe, (MRFO), (ABO), (PSO), (FPA) (SDO). Algorithmes. Sur l'ensemble des 50 exécutions, l'algorithme BO a les meilleures performances en termes de temps de simulation minimal pour le R.T.C. France silicium, modules STM6-40/36 et STP6-120/36. Les résultats de remise en forme obtenus par la racine carrée moyenne (RMSE).

Mots clés: Photovoltaïque; extraction de paramètres; Optimiseur Bonobo; énergie renouvelable; algorithmes d'optimisation

1 Abstract

In this paper, a new application of Bonobo (BO) metaheuristic optimizer is presented for PV parameter extraction. Its processes depict a reproductive approach and the social conduct of Bonobos. The BO algorithm is employed to extract the parameters of both the single diode and double diode model. The good performance of the BO is experimentally investigated on three commercial PV modules (STM6-40 and STP6-120/36) and an R.T.C. France silicon solar cell under various operating circumstances. The algorithm is easy to implement with less computational time. BO is extensively compared to other state of the art algorithms,(MRFO), (ABO), (PSO), (FPA), and supply-demand-based optimization (SDO) algorithms. Throughout the 50 runs, the BO algorithm has the best performance in terms of minimal simulation time for the R.T.C. France silicon, STM6-40/36 and STP6-120/36 modules. The fitness results obtained through root mean square (RMSE).

Keywords: Photovoltaic; parameter extraction; Bonobo optimizer; renewable energy; optimization algorithms

الملخص

في هذا البحث، تم تقديم تطبيق جديد لمحسن metaheuristic Bonobo (BO) لاستخراج المعاملات الكهروضوئية. تصور عملياتها نهجًا إنجابيًا وسلوكًا اجتماعيًا لبونوبو. يتم استخدام خوارزمية BO لاستخراج معلمات كل من نموذج الصمام الثنائي الفردي والصمام الثنائي. تم فحص الأداء الجيد لـ BO بشكل تجريبي على ثلاث وحدات PV تجارية (STM6-40 و36 / STP6-120) و R. خلية شمسية من السيليكون الفرنسية في ظل ظروف تشغيل مختلفة. الخوارزمية سهلة التنفيذ مع وقت حسابي أقل. تتم مقارنة BO على نطاق واسع بأحدث الخوارزميات الأخرى، وتحسين البحث عن شعاع مانتا راي (MRFO)، ومستعمرة النحل الاصطناعية (ABO) ، وتحسين سرب الجسيمات (PSO)، وخوارزمية التلقيح بالزهور (FPA) ، والتحسين القائم على العرض حسب الطلب (SDO)) الخوارزميات. طوال 50 عملية تشغيل، تتمتع خوارزمية BO بأفضل أداء من حيث الحد الأدنى من وقت المحاكاة لـ R. فرنسا السيليكون، وحدات / STM6-40 36 و36 / STP6-120. تظهر نتائج اللياقة التي تم الحصول عليها من خلال جذر متوسط التربيع (RMSE).

الكلمات الدالة: الكهروضوئية؛ استخراج المعلمة محسن بونوبو طاقة متجددة؛ خوارزميات التحسين

sommaire

Sommaire

Tire	page
Remercîment	-
Dédicace	-
Résume	-
Sommaire	-
Liste des tableaux	-
Liste des figures	-
introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque	
1. Introduction	6
2. Conversion photovoltaïque	
2.1 L'effet photovoltaïque	6
2.2 Dispositifs à semi-conducteur	7
2.3 Dopage des semi-conducteurs	8
3. Principe de fonctionnement	10
4. Cellule photovoltaïque	10
5. Différentes technologies de la cellule photovoltaïque	11
5.1 Le silicium	12
6. Les modules photovoltaïque	14
7. Association des cellules photovoltaïque	15
7.1 Association en série	15
7.2 Association en parallèle	15
7.3 Association Mixte (en série et en parallèle)	16
8. Les avantages et les inconvénients des panneaux photovoltaïques	17
8.1 Les avantages des panneaux photovoltaïques	17
8.2 Les inconvénients des panneaux photovoltaïques	18
9. Modélisation de panneau solaire	18
9.1 Modèle d'une cellule photovoltaïque	18
9.2 Les modèles mathématiques	20
9.3 Caractéristique électrique I-V et P-V d'un panneau photovoltaïque	22
9.4 L'influence d'un paramètre extérieure	24

9.5 Protection des modules PV **25**

9.6 Conclusion : **27**

Chapitre II Généralité Sur Les Algorithmes Méta Heuristique

1. Introduction **29**

2. Problème d'optimisation **29**

3. Classification des méthodes d'optimisation **30**

4. Définition des métas heuristiques **31**

5. Définition de la literature **31**

6. Principales caractéristiques des métas heuristiques **32**

7. Classification des méthodes méta heuristiques **33**

7.1. Classification basé sur les origines d'une métaheuristique **33**

7.2. Classification basé sur le nombre de solutions manipulées par une métaheuristique **33**

7.3. Classification basé sur la nature de la fonction à optimiser **33**

7.4. Classification selon le nombre de structure de voisinage utilisé **34**

7.5. Classification sur base d'utilisation ou non d'une mémoire **34**

7.6. Classification sur base de présence ou non d'aspect probabilistes **34**

8. Les métas heuristiques à solution unique **34**

9. Les métas heuristiques à solution multiple **35**

10. L'optimisation par bonobo **35**

11. Conclusion **41**

CHAPITRE III : Résultats et discussion

Résultats et discussion **43**

1. Résultats pour RTC France Modèle à une seule Diode (SDM) et Modèle à Deux Diode (DDM) **43**

2. Résultats pour STM6-40/36 et STP6-120/36 à une diode : **49**

3. Résultats pour STM6-40/36 et STP6-120/36 à double diodes : **54**

Conclusions **59**

CONCLUSION GENERALE **61**

REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE **63**

Liste des tableaux

Tableaux	page
CHAPITRE III :Résultats et discussion	
Résultats pour RTC France Modèle à une seule Diode (SDM) et Modèle à Deux Diode (DDM	43
Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF.	44
Paramètres extraits optimaux de RTC France SSD pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA	45
Paramètres extraits optimaux de RTC France DDM pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.	46
La tension et le courant expérimental et calculé de R.TC France SSD pour BO, SDO, MRFO, ABO, PSO et FPA.	47
La tension et le courant expérimental et calculé de R.TC France DDM pour BO, SDO, MRFO, ABO, PSO et FPA.	48
Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF pour STM6-40/36	49
Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF pour STP6-120/36.	50
Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA	51
Paramètres extraits optimaux de STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.	51
Résultats expérimentaux et calculés STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.	52
Résultats expérimentaux et calculés de STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA	53
Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.	56
Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.	56
Résultats expérimentaux et calculés STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA	57
Résultats expérimentaux et calculés STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA	58

Liste Des Figure

N°	Figure	page
	Chapitre I : Généralités sur l'énergie photovoltaïque	
	Effet photovoltaïque	**7**
	semi-conducteur intrinsèque	**8**
	semi-conducteur extrinsèque	**8**
	dopage de type n**.**	**9**
	dopage de type p.	**9**
	la jonction P-N.	**10**
	cellule photovoltaïque	**11**
	cellule monocristallin	**12**
	cellule photovoltaïque poly cristallin	**12**
	cellule photovoltaïque amorphe	**13**
	cellule multi-jonction	**13**
	cellule organique	**14**
	Module photovoltaïque	**15**
	Association en série	**15**
	Association en parallèle	**16**
	Caractéristique résultante d'un groupement mixte de $(n_p + n_s)$ cellules identiques.	**17**
	Circuit équivalent d'une cellule PV-modèle idéal	**20**
	Circuit équivalent d'une cellule PV-modèle idéal	**21**
	Circuit équivalent d'une cellule à deux diodes	**22**
	Caractéristiques électrique I-V et P-V d'un panneau photovoltaïque.	**23**
	Caractéristiques électrique courant– tension I-V	**24**
	Influence des résistances Rs et Rsh sur la caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque.	**25**
	Diode bypass	**26**
	Diode anti-retour	**26**
	Chapitre II Généralité Sur Les Algorithmes Méta Heuristique	
	Déférence entre un optimum global et des optima locaux	**30**
	Classification des méthodes d'optimisation	**30**

Illustration du fonctionnement d'une métaheuristique à base de solution unique	**35**
Illustration du fonctionnement d'une métaheuristique à base de population	**35**
Groupes sociaux fission-fusion des bonobos. Les personnages légers sont des femmes ; les figures sombres sont des hommes.	**36**
Directions des déplacements des différents bonobos avec les probabilités les plus élevées. La figure sombre est PP ; La figure lumineuse est NP	**37**
organigramme bonobo	**38**
CHAPITRE III :Résultats et discussion	
R.T.C France SDM I-V.	**44**
R.T.C France DDM I-V	**45**
STM6-40/36 I-V.	**50**
STP6-120/36 I-V	**51**
STP6-40/36	**55**
STP6-120/36 I-V	**55**

Liste des symboles et d'abréviations

E : Eclairement (W/m2).

Λ : vitesse spécifique

H : Constante de PLANCK [J/s]

Epv: L'énergie de photon [eV]

Iph : Le photo-courant (A).

I : Le courant généré par la photopile(A).

Is : Le courant de saturation(A).

Isc : le courant du court-circuit(A).

IL : Le courant de l'inductance du hacheur (A).

Ipv : Courant délivré par le générateur PV (A).

V : la tension aux bornes de la cellule(V).

q : La charge de l'électron =1,6.10-19 C.

Rs : La résistance série (Ω).

Rsh : La Résistances shunt (Ω).

T : La température de fonctionnement en Kelvin.

A : le facteur de qualité de la cellule.

Vth : La tension thermique.

Voc : La tension de circuit ouvert(V).

P : La puissance caractéristique(W).

Pmax : La puissance maximale(W).

FF : Facteur de forme.

Ns : Nombre de modules dans le panneau en série.

Np : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.

Vopt : Tension optimale (V).

Iopt : Courant optimum (A)

η : Rendement de la cellule

BO : bonobo optimiser.

Pp : phases positive

Np : phase négative

MRFO : la recherche de nourriture des rais Manta

ABO : la colonie d'abeilles

PSO : l'optimisation des essaims des particules

FPA : l'algorithme de pollinisation des fleurs

SDO : l'algorithme basé sur l'offre et la demande

SDM : single diode model

DDM : double diode model

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

L'inquiétude suscitée par l'augmentation des coûts de l'énergie, les pertes dans le système énergétique contemporain et l'effet de serre ont déplacé l'attention mondiale vers les r : ressources énergétiques renouvelables. Parmi les sources d'énergie renouvelable, l'énergie solaire (le système PV) est la source d'énergie renouvelable qui connaît la croissance la plus rapide dans le monde. Contrairement aux sources d'énergie conventionnelles, la puissance de sortie du système PV dépend de l'irradiation solaire. Par conséquent, la capacité croissante des installations de systèmes photovoltaïques pose un défi majeur à l'exploitation et à la planification du système électrique. De plus, les fabricants de systèmes PV ne fournissent que des données relatives aux conditions de test standard (STC), qui sont le courant de court-circuit, la tension en circuit ouvert, la puissance maximale, le courant et la tension au point de puissance maximale à l'irradiance , la température et la distribution spectrale de masse de 1000 W/m2 , 25 °C et 1,5 masse d'air, respectivement. Cependant, cela ne reflète pas les conditions environnementales punitives dans lesquelles les systèmes PV sont déployés pour être utilisés. En conséquence, l'extraction optimale des paramètres du modèle PV est très importante pour analyser les caractéristiques dynamiques d'un module PV dans différentes conditions environnementales. La connaissance précise et la caractérisation des modules PV sont centrées sur les paramètres du modèle extraits, ce qui est important pour plusieurs applications pratiques. Cela améliorera les performances des modules PV, l'analyse des défauts, le contrôle de la qualité des cellules solaires et, de même, le suivi du point de puissance maximale. Plusieurs modèles ont été établis pour décrire les caractéristiques d'entrée et de sortie des cellules PV, le plus populaire étant le modèle de circuit électrique équivalent à paramètres localisés : le modèle à une seule diode (SDM) et le modèle à deux diodes (DDM). Cependant, la nature transcendantale et l'existence de termes exponentiels dans les équations modèles du SDM et du DDM rendent l'extraction optimale des paramètres et la simulation efficace du système PV très difficiles et complexes en utilisant des fonctions de base. À la lumière de ces considérations, les défis ont attiré l'attention de plusieurs chercheurs au cours des dernières années, et diverses procédures de calcul ont été recommandées.

Un certain nombre de méthodes sont disponibles pour extraire les paramètres du SDM et du DDM à partir des courbes courant-tension (I – V) ou de la fiche technique. L'application de techniques d'extraction de paramètres qui fournissent des solutions basées sur des relations empiriques entre plusieurs paramètres ou points majeurs des caractéristiques PV est considérée comme une méthode analytique. Généralement, les méthodes analytiques estiment les

paramètres des cellules PV en une seule itération. Ces méthodes sont centrées sur la dérivation d'une observation et d'une relation expérimentale en résolvant un ensemble d'équations obtenues à partir de la courbe I – V (courant-tension) de la cellule PV dans les conditions STC. Les spécifications STC peuvent être facilement obtenues à partir de la fiche technique ; ceux-ci rendent les méthodes analytiques naturellement pratiques. Malgré les avantages, les méthodes analytiques sont sujettes au bruit en raison du nombre minimal de points sélectionnés utilisés dans le calcul et de la dégradation de la PV au fil du temps. De plus, à cause du modèle non linéaire des équations, et pour faciliter les calculs, certaines hypothèses sont faites qui conduisent à des solutions imprécises. Bien que ces méthodes soient adaptées au SDM, leur pertinence reste à prouver pour le DDM.

Inversement, les méthodes numériques obtiennent les paramètres en réduisant la marge entre les points de données simulés et expérimentaux en plusieurs itérations. Les méthodes numériques sont connues pour être plus fiables que les méthodes analytiques. Les méthodes numériques peuvent être divisées en deux catégories : les méthodes heuristiques et les méthodes déterministes. Cette dernière repose sur des informations de gradient avec condition de contrainte initiale. En conséquence, ils se retrouvent facilement bloqués dans une recherche locale, ce qui conduit à des solutions erronées et non fiables. De plus, l'incrémentation des paramètres de décision tend à réduire la précision de l'optimiseur. Des exemples de ces types de techniques sont l'ajustement itératif des courbes, la méthode de Runge-Kutta, l'algorithme de Levenberg-Marquardt et la méthode de Newton-Raphson . Pour surmonter les défis associés aux méthodes déterministes, plusieurs approches d'optimisation heuristique ont été présentées pour les extractions de paramètres. Des exemples de ces méthodes sont les algorithmes génétiques [25, 26], l'optimisation des essaims de particules [27], l'optimisation de la recherche de coucou [3], l'algorithme d'évolution différentielle adaptative [7], l'algorithme de pollinisation des fleurs [28], le recuit simulé [20], la recherche d'harmonie [29], optimisation des essaims de chats [30], algorithme d'optimisation des coyotes [31], optimisation basée sur l'offre et la demande [32], algorithme amélioré d'optimisation des baleines chaotiques [10], algorithme des lucioles [33], évolution différentielle [34], symbiotique algorithme de recherche d'organismes [35] et colonie d'abeilles artificielles [36]. Contrairement aux méthodes déterministes, les méthodes heuristiques se distinguent par leur opération de recherche globale et leur efficacité dans la gestion des fonctions non linéaires sans les exigences d'informations de gradient. De plus, du fait de leur nature non dérivée, les conditions initiales ne sont pas requises pour le calcul. Les méthodes heuristiques sont robustes, simples et faciles à mettre en œuvre

Les performances et la sélection de toutes les méthodes d'optimisation sont évaluées en fonction de la vitesse de convergence, de la précision et de la facilité d'exécution. Bien que les méthodes heuristiques mises en évidence ci-dessus se soient avérées prometteuses pour l'extraction de paramètres, certains algorithmes heuristiques contiennent des paramètres de contrôle, et des paramètres incorrects pourraient conduire à une convergence lente et intempestive [37,38]. Par conséquent, étant donné que des paramètres de modèle précis n'ont pas été établis, toute amélioration de la solution d'ajustement est hautement indispensable pour l'utilisation du modèle. De plus, compte tenu du populaire théorème no free lunch [39], aucun algorithme unique n'est approprié pour résoudre tous les défis d'optimisation. Par conséquent, la recherche de différents algorithmes d'optimisation capables de déterminer efficacement les paramètres précis des cellules PV est un domaine de recherche important. En conséquence, un optimiseur Bonobo (BO) [40] pour l'extraction des paramètres des cellules PV est présenté dans cette étude. L'algorithme est sélectionné en raison de sa facilité de mise en œuvre et de son temps de calcul rapide. Son processus dépeint une approche reproductive et la conduite sociale des bonobos. L'algorithme adopte l'approche de recherche de fission-fusion des bonobos, en se divisant en groupes plus petits et en s'unissant plus tard pour une optimisation efficace. Les performances de l'algorithme BO sont largement comparées à celles de MRFO [41, 42], ABO [36], PSO [27], FPA [28] et SDO [32].

En termes de précision, de taux de convergence et de fiabilité, les données expérimentales révèlent que BO surpasse les algorithmes bien établis les plus récents (par exemple, MRFO, ABO, PSO, FPA et SDO). Voici les principales contributions de ce mémoire :

- Pour la première fois, un algorithme méta heuristique simple et rapide appelé Bonobo optimiseur (BO) a été présenté pour extraire les paramètres électriques de modèles de modules PV basés sur plusieurs séries d'expériences.
- En combinant différentes techniques d’accouplements trouvés dans la culture des bonobos, le BO suggéré atteint un équilibre entre l'exploration et l'exploitation.
- Tout au long du processus de recherche, BO maintient la diversité de la solution, empêchant une convergence prématurée.
- BO évite la stagnation de la population en explorant diverses parties d'un espace de recherche multidimensionnel tout en étant guidé par un groupe de bonobos avec différentes stratégies d'accouplement.

- Le BO proposé est testé sur différents ensembles de données de modèles PV, et les résultats expérimentaux montrent que le BO a des performances meilleures ou compétitives par rapport à d'autres algorithmes de pointe.

Le reste de mémoire est organisé comme suit :

- **Au premier chapitre**, on s'intéresse à la description générale de phénomène photovoltaïque et le principe de module photovoltaïque, L'effet photovoltaïque, la cellule solaire et ses différentes caractéristiques, les avantages et les inconvenants, finalement on a représenté la modélisation de module photovoltaïque.
- **Le deuxième chapitre**, a été consacré pour présenter un état de l'art sur les métaheuristiques leur classification, nous étudierons l'algorithme de recherche bonobo leur stratégies d'accouplement, fonction objectif.
- **Le troisième chapitre,** a été consacré pour présenter les résultats de l'algorithme de i calculer a une diode et a deux diodes.

Chapitre I :
Généralités sur l'énergie photovoltaïque

6. 1. Introduction:

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est la conversion direct d'une partie du rayonnement solaire en électricité grâce à des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologique et industriel, les performances d'un système photovoltaïque dépend fortement des conditions météorologiques, tel que la vitesse du vent, le rayonnement solaire, la température et l'éclairement.

Pour fournier l'énergie toute l'année de façon continue, un système photovoltaïque doit être correctement dimensionné.

La modélisation mathématique des cellules solaire est indispensable pour toute opération du rendement ou d'optimisation ou de diagnostic du générateur photovoltaïque.

1.2 Conversion photovoltaïque :

6.1 L'effet photovoltaïque :

Le terme «photovoltaïque» peut désigner le phénomène physique (l'effet photovoltaïque découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839) ou la technologie associée. L'énergie solaire photovoltaïque est l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire au moyen d'une cellule photovoltaïque. Schématiquement, un photon de lumière incidente permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique.

L'effet photovoltaïque ne peut se produire que s'il existe une barrière de potentiel dans le semi-conducteur avant qu'il ne soit éclairé. Une telle barrière existe, par exemple, à l'interface entre deux volumes dopés différemment c'est à dire où l'on a introduit deux types différents d'impuretés à concentration différente, par exemple de type P-N. Si ce matériau est éclairé, les charges électriques, rendus mobiles par la lumière (l'effet photoélectrique), seront séparées par la barrière avec d'un côté les charges positives et de l'autre côté les charges négatives. Parmi les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés on trouve le silicium, le germanium, le sulfure de Gallium et l'arséniure de Gallium. [9]

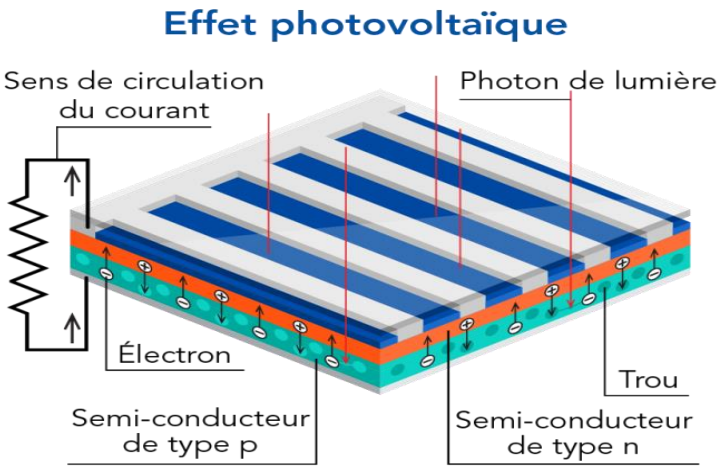


Figure 1 : Effet photovoltaïque.

6.2 Dispositifs à semi-conducteur :

Les semi-conducteurs sont des matériaux dont la conductivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Cette conductivité des semi-conducteurs, à la différence de celle des conducteurs et des isolants, dépend fortement de leur pureté, des irrégularités de leur structure, de la température et d'autres quantités physiques et chimiques. Cette propriété représente leur avantage principal puisqu'elle permet la construction de la plupart des composants électroniques ayant des caractéristiques très diversifiées. A la température de 0 K (-273°C) chaque atome de la grille cristalline est attaché à quatre atomes voisins par la mise en commun de leurs électrons périphériques (liaisons covalentes), assurant la cohésion du cristal. Dans la figure (I.3), les électrons qui participent à ces liaisons sont fortement liés aux atomes de silicium, aucune charge mobile susceptible d'assurer la circulation d'un courant électrique n'existe. La conductivité du silicium est alors très faible. Cependant l'élévation de la température permet la libération dans la structure, de certains électrons périphériques, par apport d'énergie. De plus, la libération d'un électron provoque l'apparition d'un trou dans la structure cristalline, soit la création d'une paire électron-trou. Par exemple, à la température de 300 K (27°C), il y a 1,45×1010 paires électron-trou dans un centimètre cube de silicium. Ce phénomène est à l'origine de l'augmentation de la conductivité du semi-conducteur [9].

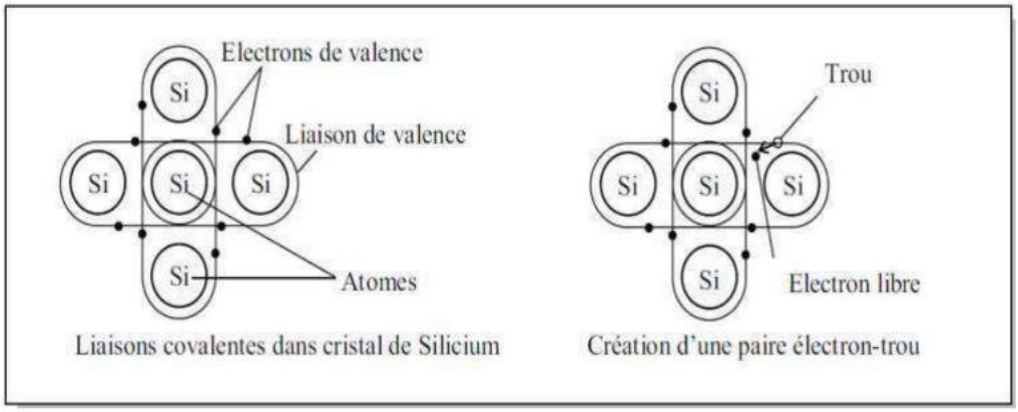


Figure 2 : semi-conducteur intrinsèque.

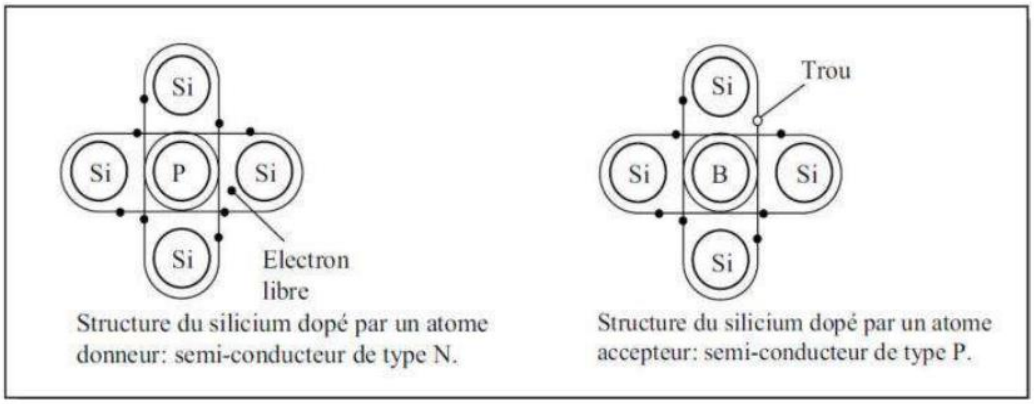


Figure 3 : semi-conducteur extrinsèque.

6.3 Dopage des semi-conducteurs :

Le dopage d'un matériau consiste à introduire dans sa matrice des atomes d'un autre matériau. Ces atomes vont se substituer à certains atomes initiaux et ainsi introduire davantage d'électrons ou de trous. Les atomes de matériau dopant sont également appelés impuretés, et sont en phase diluée : leur concentration reste négligeable devant celle des atomes du matériau initial. Dans un semi-conducteur intrinsèque, ou pur, il n'y a aucun atome dopant. Tous les électrons présents dans la bande de conduction proviennent donc de la bande de valence. Il y a donc autant d'électrons que de trous : n = p = ni ; ni : est la concentration intrinsèque. Tout dopage sert à modifier cet équilibre entre les électrons et les trous, pour favoriser la conduction électrique par l'un des deux types de porteurs. [9]

1.2.1.1 Dopage de type N :

Le dopage de type N consiste à ajouter un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium. Le phosphore disposant de 5 électrons sur sa couche électronique externe

va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un électron : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale négative.

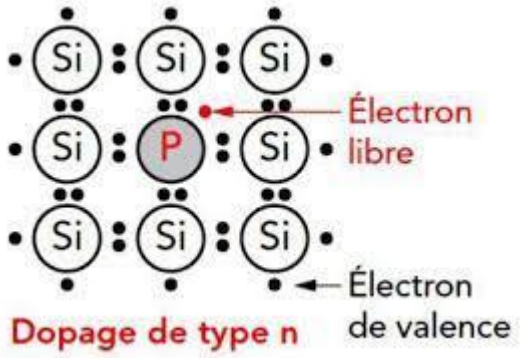


Figure.I.4 : dopage de type n**.**

1.2.1.2 Dopage de type P :

Le dopage de type P consiste à ajouter un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium. Le bore disposant de 3 électrons sur sa couche électronique externe va s'associer avec 4 atomes de silicium, laissant ainsi libre un trou : Cet ajout a pour effet de donner à la structure cristalline une charge globale positive.

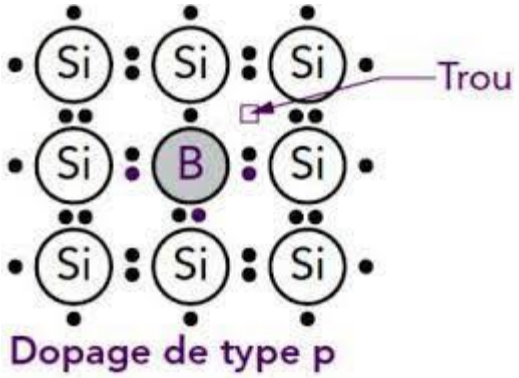


Figure.I.5 : dopage de type p.

6.4La jonction P-N :

Les électrons en excès de la région dopée N ont tendance à diffuser vers la région P (où ils sont minoritaires). Il en est de même pour les trous en sens inverse.

Les électrons et les trous se concentrent alors au niveau de l'interface entre les deux tranches.

Cela a pour effet de créer un champ électrique créant une barrière de potentiel au niveau de la zone centrale. Cette zone devient un isolant et s'appelle la jonction P-N. Le champ électrique ainsi créé a tendance à repousser les électrons vers la zone N et les trous vers la zone P. De ce fait, lorsque la zone dopé N est exposée au rayonnement lumineux, un électron de la

couche de valence du silicium est arraché, laissant parallèlement un trou. Sous l'effet de champ électrique créé par la jonction P-N, l'électron diffuse à l'extrémité de la zone N, et le trou se déplace à l'extrémité de la zone P. Lorsque les deux faces de ces deux zones sont reliées par un conducteur, un courant se créé, car l'électron va combler le trou. Une cellule photovoltaïque est constituée d'une tranche dopée N posée sur une tranche dopée P. L'interface entre les deux tranches s'appelle la jonction P-N. La tranche dopée N correspondra à la partie de la cellule exposée au rayonnement solaire.

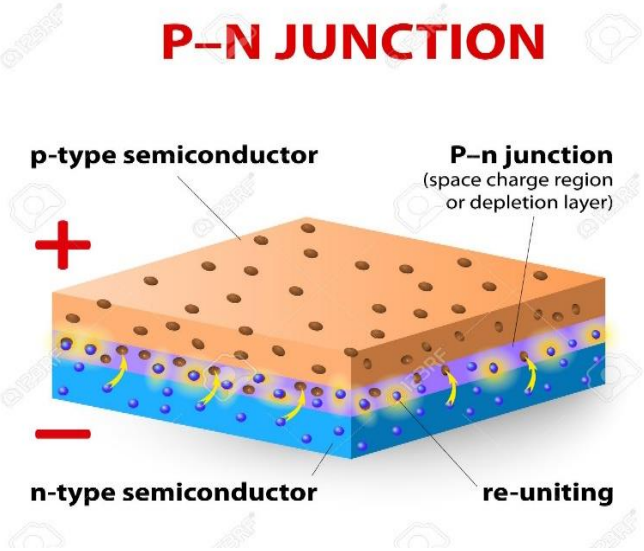


Figure.I.6 : la jonction P-N.

7. 3. Principe de fonctionnement:

Cellule photovoltaïque est le suivant : les « grains » de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant. Les cellules produisent de l'électricité chaque jour même si le ciel est nuageux : dans ce cas, le rendement est simplement moins élevé. Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, panneaux qui sont encastrés sur ou dans la toiture des habitations. La fabrication complexe demande une excellente maîtrise technique pour assurer dans la durée le meilleur rendement. [9]

8. Cellule photovoltaïque:

On Apple une cellule solaire un convertisseur qui permet la conversion de l'énergie solaire on énergie électrique. Sa structure est basé sur la jonction PN c'est-à-dire est composée de deux couches : une couche P et une couche N

La cellule solaire est basée sur le semi-conducteur qui est en silicium, c'est un convertisseur instantané fournissent de l'énergie électrique s'il reçoit une énergie solaire sous

forme de rayonnement, la taille de chaque cellule peut variée de quelque centimètre carrée jusqu'à 100 cm².

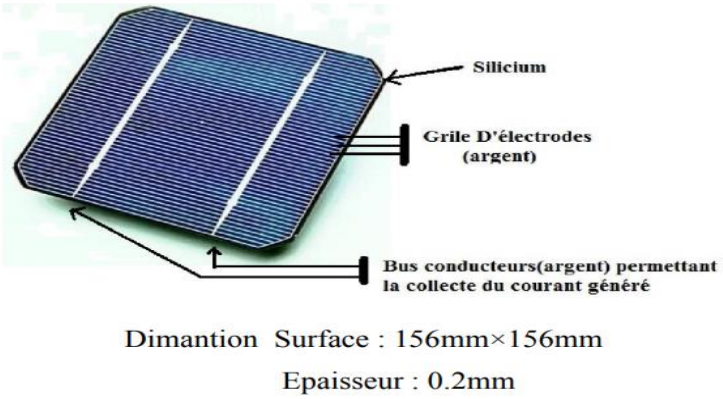


Figure.I.7 : cellule photovoltaïque.

9. Différentes technologie de la cellule photovoltaïque:

Le silicium est un corps semi mondiale des panneaux photovoltaïques. C'est un matériau extrêmement abondant, toxique et stable, il y'a plusieurs technologies distinctes de par la nature du silicium employée, sa méthode de fabrication. [7]

4.1 Le silicium :

Le silicium se trouve en très grande quantité sur notre planète puisqu'il constitue environ 28% de l'écorce terrestre. En fait on le trouve surtout sous forme de dioxyde de silicium (Sio2) qui est le constituant principal du sable. Il est donc abondant est peu coûteux.

Cependant, pour être utilisable en électronique, le silicium doit être très pur. Il suffit d'un atome d'impureté sur un million pour multiplier les porteurs de charge par dix millions. [9] Cette pureté coûte très cher à obtenir. Il existe plusieurs types de cellules en fonction de la structure microscopique du silicium :

4.1.1 La cellule monocristalline :

La cellule monocristalline est celle qui s'approche le plus du modèle théorique. Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Cependant pour arriver à ce résultat la fabrication est complexe et coûteuse en énergie, les rendements de conversion obtenue varient entre 14 et 16%



Figure.I.8 : cellule monocristallin.

4.1.2 La cellule poly cristallin :

Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux

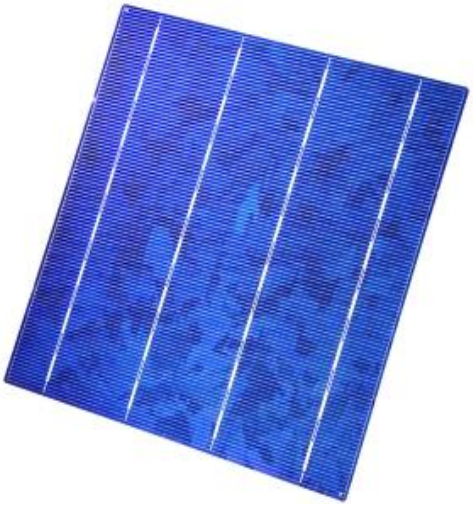


Figure.I.9 : cellule photovoltaïque poly cristallin.

4.1.3 La cellule amorphe :

Elle a une structure atomique désordonnée, non cristallisée, un rendement qui ne dépasse pas les 6% [25]. Il peut fonctionner à la présence d'un faible éclairement et son coût de production est le plus bas. La figure (I.9) montre une cellule en silicium amorphe.

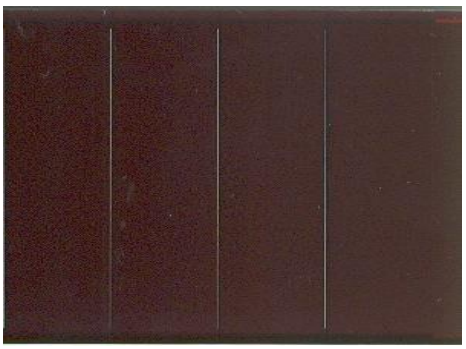


Figure.I.10 : cellule photovoltaïque amorphe.

4.1.4 Multi-jonction :

Les cellules multi-jonction sont composées de différentes couches qui permettent de convertir différentes parties du spectre solaire et ainsi d'obtenir les meilleurs rendements de conversion. [7]

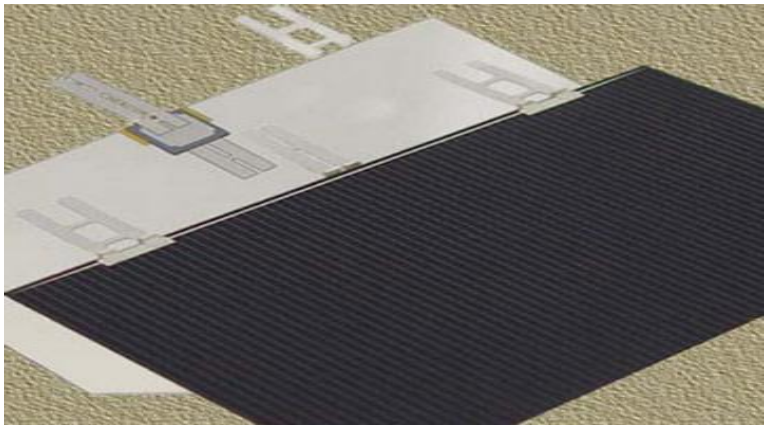


Figure.I.11 : cellule multi-jonction.

4.1.5 Cellules organiques :

Des cellules souples peuvent être réalisées à base de « sandwichs » de semi-conducteurs en polymère organique (des macromolécules naturelles). Elles fonctionnent sur le même principe que les cellules de silicium amorphe : un photon traversant une jonction entre zones de densités électriques différentes, entraîne un courant électrique. Souples et légères, les cellules organiques peuvent être déposées sur des surfaces souples et déformables (comme les plastiques, les tissus) afin de répondre à certaines applications spécifiques. Les cellules photovoltaïques organiques avaient le potentiel d'obtenir une efficacité énergétique de 10 %.

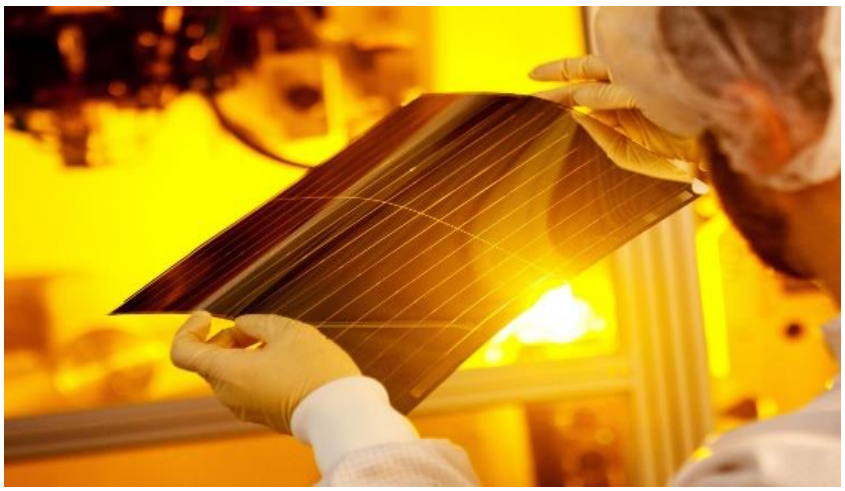


Figure.I.12 : cellule organique.

4.1.6 Cellules nanocristallines :

Appelée Cellule de Graetzel3, elle s'inspire du processus de photosynthèse chlorophyllienne pour produire de l'électricité. Elle se compose d'une couche de dioxyde de titane TiO2 recouverte d'un côté d'un colorant sensibilisateur et de l'autre d'un gel électrolytique. Elle présente l'avantage de ne pas nécessiter une grande pureté des matériaux la constituant, à l'opposé des cellules photovoltaïques à semi-conducteur.

10. Les modules photovoltaïque:

Un module photovoltaïque est un générateur électrique qui transforme l'énergie issue des photons de la lumière en électricité. Il s'agit de l'effet photoélectrique. Un module est composé de plusieurs cellules photovoltaïques, Les panneaux photovoltaïques sont ensuite reliés électriquement entre eux, Un module est composé de plusieurs strings. L'association des modules permet :

- ✓ D'obtenir une tension suffisante.
- ✓ De protéger les cellules et leurs contacts métalliques de l'ambiance extérieure (humidité…).
- ✓ De protéger mécaniquement les cellules (chocs…)

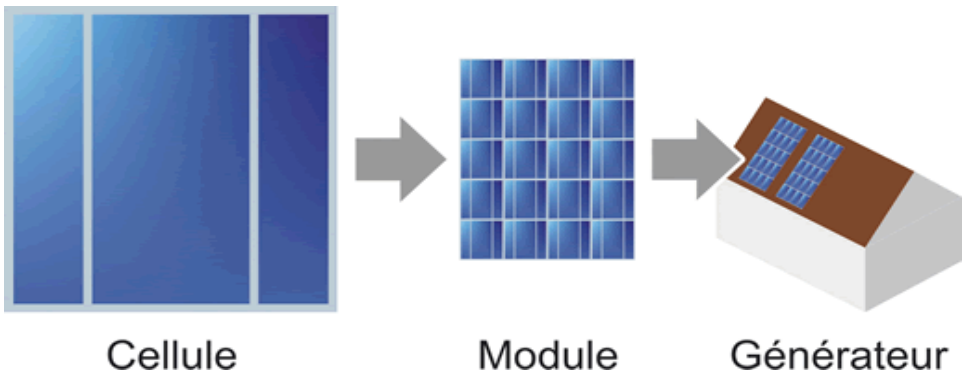


Figure.I.13 : Module photovoltaïque.

11. Association des cellules photovoltaïque:

4.2Association en série :

Si on assemble en série n cellules, la tension aux bornes de l'assemblage est égale à la somme des tensions délivrées par chacune des cellules.

$$V = n \times V_{co} \text{.....1.1}$$

V (V):la tension aux bornes de l'assemblage.

$\boldsymbol{V_{co}}$ **(V)** : tension aux bornes d'une cellule.

Dans le cas d'une association en série, les cellules délivrent le même courant mais elles peuvent fonctionner avec des tensions différentes.

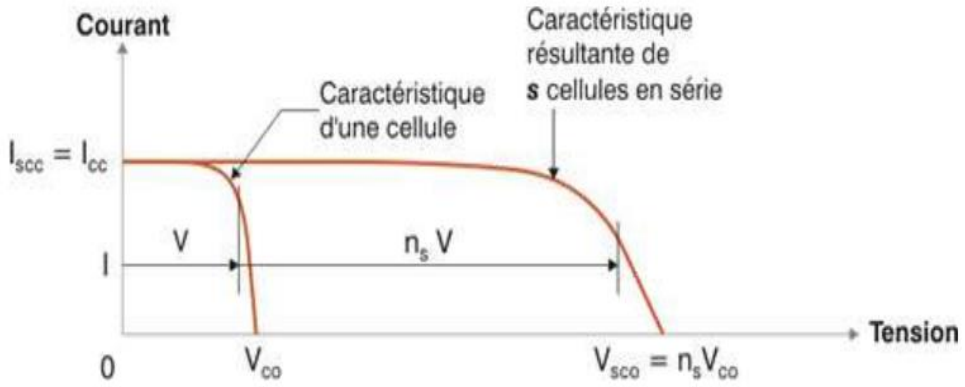


Figure.I.14 : Association en série.

4.3Association en parallèle :

Si on assemble en parallèle m cellules, le courant aux bornes de l'assemblage est égal à la somme des courants produits par chacune des cellules.

$$I = m \times I_{cc}$$

Dans le cas d'une association en parallèle, les cellules délivrent la même tension mais elles peuvent fonctionner avec des courants différents.

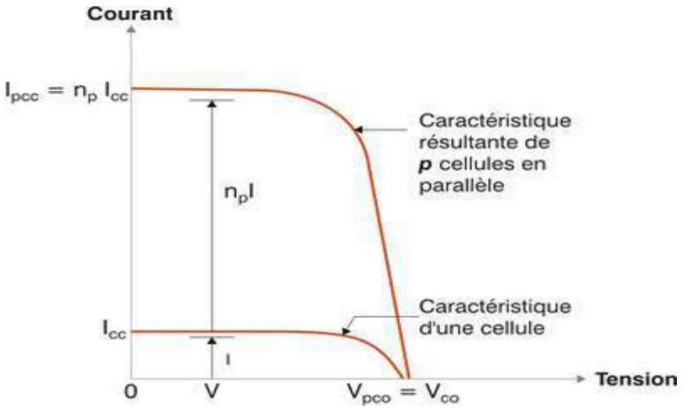


Figure.I.15 : Association en parallèle.

4.4Association Mixte (en série et en parallèle) :

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^{t} = n_p \times I_{cc} \quad \text{.....1.2}$$

$$V_{co}^{t} = n_s \times V_{co}$$

n_p :nombre des cellules en parallèle .

n_s :nombre des cellules en série .

La figure (I.15) montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série ns et en parallèle np, cellules identiques.

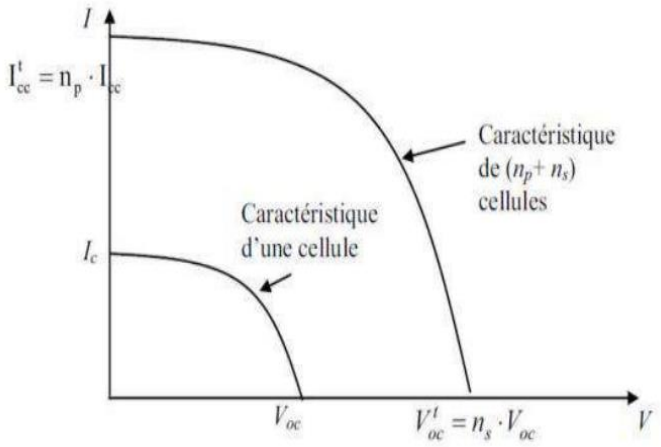


Figure.I.15 : Caractéristique résultante d'un groupement mixte de $(n_p + n_s)$ cellules identiques.

12. Les avantages et les inconvénients des panneaux photovoltaïques:

4.5Les avantages des panneaux photovoltaïques :

Les avantages pour installer des panneaux solaires ne manquent pas, loin de là ! Qu'ils soient financiers ou écologiques, ces avantages permettent d'investir dans l'énergie solaire les yeux fermés. Voici les principaux :

- ✓ Les panneaux solaires utilisent une énergie verte et inépuisable
- ✓ Ils ne nécessitent que peu d'entretien
- ✓ Des systèmes de panneaux solaires simples et rapides à installer.
- ✓ Le panneau photovoltaïque contribue à la réduction des émissions de CO2, à la réduction des rejets polluants et à la préservation des ressources naturelles.
- ✓ Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût.
- ✓ Les panneaux solaires sont généralement garantis 20 ans
- ✓ Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé
- ✓ Contrairement à d'autres systèmes utilisant les énergies renouvelables, les panneaux photovoltaïques sont parfaitement silencieux
- ✓ Vous pouvez revendre le surplus d'électricité produite à des sociétés (EDF Obligation d'achat (OA)) avec un prix d'achat fixe sur 20 ans.

4.6Les inconvénients des panneaux photovoltaïques :

À vrai dire, il existe très peu d'inconvénients pour les panneaux solaires. Difficile de trouver des points négatifs lorsque l'on utilise une énergie renouvelable, pérenne et efficace. Mais s'il faut retenir deux points qui pourraient éventuellement faire réfléchir (et encore), les voici :

- ✓ Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente
- ✓ Le prix d'achat de base qui peut être élevé pour un certain nombre de ménages. Malgré cela, des aides financières de l'État et des collectivités locales existent pour financer les travaux.
- ✓ Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans)

13. Modélisation de panneau solaire:

Dans le cadre de l'optimisation du panneau photovoltaïque et pour mieux utilise l'énergie solaire, on doit adapter la caractéristique non linéaire (courant-tension) du panneau photovoltaïque au point de fonctionnement de la charge utilisée .pour avoir le point optimal qui correspond au point de la puissance maximale, il est assure de modéliser le panneau photovoltaïque.

4.7Modèle d'une cellule photovoltaïque :

La cellule solaire est l'élément principal d'un panneau photovoltaïque, Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément.

- **Le courant de court-circuit Icc :** il est défini la quantité des paires électron-trou crée et qui traverse la jonction sans recombinaison entre les longueurs de diffusion des électrons et trous (Ln et Lp) respectivement .il est directement proportionnel à l'énergie rayonnante reçue. (on branchant un ampère mètre aux bornes de la cellule pour obtient sa valeur)

$$I_{cc} = q * G(L_n + L_p) \text{.....1.3}$$

Icc : le courant de court-circuit de la cellule.

- **La tension en circuit ouvert Vco :** elle ne variée presque pas avec l'intensité lumineuse, On l'obtient on branchant directement un voltmètre au bornes de la cellule. Elle est obtenue à partir de la formule suivante : [2] [7]

$$V_{co} = V_t * \ln\left(\frac{I_{ph}}{Is}\right) \text{.....1.4}$$

$$V_t = \frac{n*k*T_{ck}}{q} \text{.....1.5}$$

Ou : Vt est connu sous le nom de tension thermique.

TCk : la température absolue de la cellule.

Is : courant de saturation de la diode.

N : coefficient d'idéalité de la diode.

Q : charge d'un électron $(1.6 * 10^{-19}c)$

K : constante de Boltzmann $(1.38 * 10^{-23}(J/K))$

- **Le facteur de forme :** c'est le rapport entre la puissance optimale et la puissance maximale, il est calculait pour définit l'efficacité de la cellule solaire. Le Factor de forme est la mesure réelle de la caractéristique I-V. Sa valeur est supérieure à 0,7 pour une bonne cellule. Il diminue lorsque la température de la cellule est augmentée. Il est obtenu comme suit :

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{co} \times I_{cc}} \text{.....1.6}$$

Vm : tension de point de puissance maximale (V)

Im : courant de point de puissance maximale (A)

- **Point de puissance maximale :** est le point de fonctionnement à (Vmax, Imax), au cours de laquelle la puissance dissipée dans la résistance de charge est maximale :

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \text{.....1.7}$$

- **La puissance du flux lumineux incident** :

$$P_{in} = S * E \text{.....1.8}$$

E : l'ensoleillement qui représente la puissance lumineuse reçue par unités de surface (W/M²).

S : la surface effective des cellules.

- **Température de jonction :**

$$T_c = T_a + \frac{Noct-20}{800} E \text{.....1.9}$$

Noct : la température nominale de fonctionnement de la cellule solaire.

Ta : la température ambiante.

- **Le rendement de conversion d'énergie η :**

$$\eta = FF\frac{I_{cc}\times V_m}{Pin}\text{……..1.10}$$

4.8 Les modèles mathématiques :

Plusieurs modèles du générateur photovoltaïque existe dans la l'itération selon la procédure et le nombre de paramètres intervenants dans le calcul de la tension et du courant finals du générateur photovoltaïque.

9.2.1 Modèle idéal :

Dans le cas idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à l'éclairement photovoltaïque connecté courant Iph en parallèle avec une diode délivrant un courant selon la figure (II.1), qui représente le circuit équivalent d'une cellule solaire idéal.

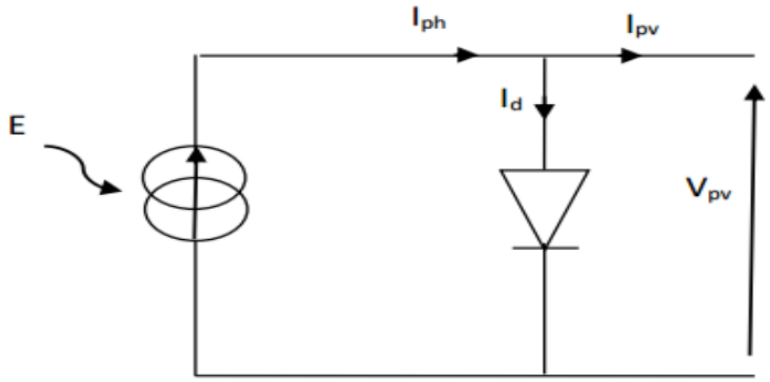


Figure.I.17 : Circuit équivalent d'une cellule PV-modèle idéal.

$$\boldsymbol{I_{pv} = I_{ph} + I_d}\text{……..1.11}$$

$$\boldsymbol{I_d = I_s * (e^{\frac{(q*V_{pv})}{n*K*T_c}} - 1)}\text{……..1.12}$$

4.8.2 Modèle réelle à une diode

Le schéma équivalent de la cellule photovoltaïque réelle tient compte d'effets résistifs parasites dues à la fabrication et représenté sur la figure (II.2) Ce schéma équivalent est constitué d'une diode (d) caractérisant la jonction, une source de courant (Iph) caractérisant le photo-courant, une résistance série (Rs) représentant les pertes par effet Joule, et une résistance shunte (Rsh) caractérisant un courant de fuite entre la grille supérieure et le contact arrière qui est généralement très supérieure à (Rs) [39]

Ce modèle est dit à cinq paramètres, ces paramètres sont : Le photon-courant(Iph), Le courant de saturation(I0), le facteur d'idéalité de la jonction(n), La résistance série(Rs),

La résistance shunt(Rsh).

Le modèle à cinq paramètres offre un bon compromis entre simplicité et précision. Ces équations permettent de décrire I_V de la cellule et du module en donnant les expressions des déférents courants.

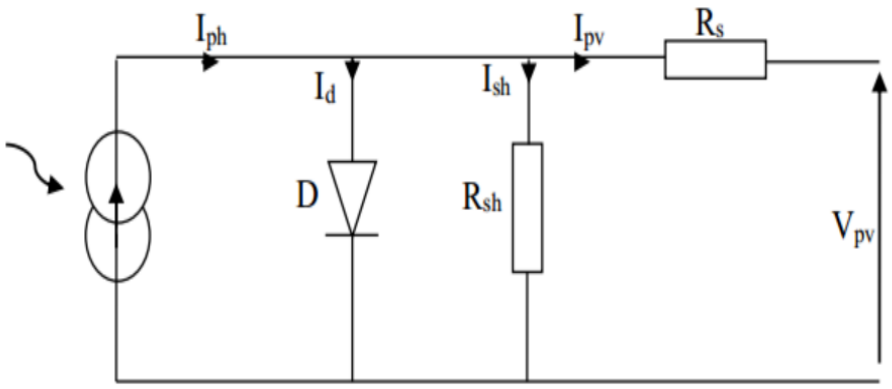


Figure.I.18 : Circuit équivalent d'une cellule à une diode.

Le modèle générer par le module est donnée par la relation :

$$\boldsymbol{I_{pv} = I_{ph} - I_s * (e^{\frac{q(V_c + I_c * R_s)}{n*k*T_c}} - 1) - \frac{V_c + I_c * R_s}{Rsh}} \text{.....1.13}$$

Ipv : courant fournier par la cellule(A).

Vpv : tension aux bornes de la cellule(V).

Iph : photon courant (A)

Rs : résistance série.

Rsh : résistance shunt.

TC : la température absolue de la cellule.

Is : courant de saturation de la diode(A).

N : coefficient d'idéalité de la diode.

Q : charge d'un électron $(1.6 * 10^{-19} c)$

K : constante de Boltzmann $(1.38 * 10^{-23} (J/K))$

4.8.3 Modèle réelle à deux diodes:

Ce modèle est représenté par son schéma électrique équivalent de la figure (I.18) il se compose d'une source de courant modélisent le flux lumineux, les pertes sont modélisée par deux résistances, une résistance shunt Rsh une résistance série Rs et de deux diodes pour la polarisation de la cellule et le phénomène de la recombinaison des porteurs minoritaires.

L'avantage de ce modèle c'est qu'il établit en appliquant seulement des données standard.

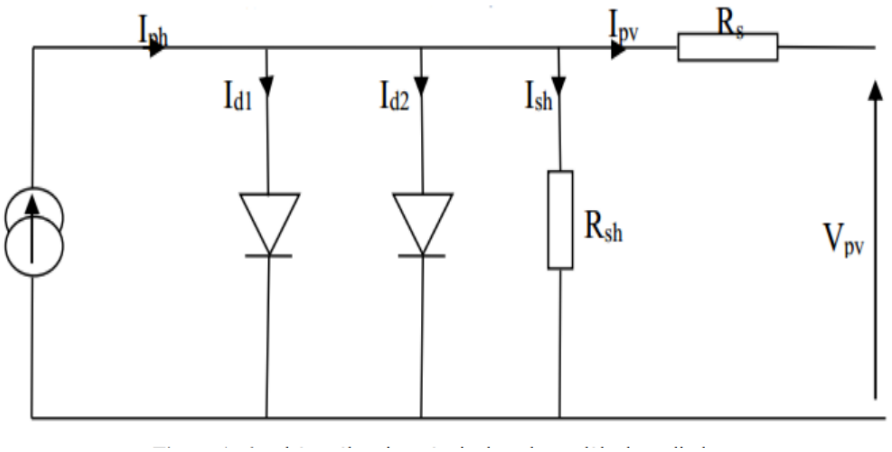


Figure.I.19 : Circuit équivalent d'une cellule à deux diodes.

Le courant fourni par la cellule est donnée par la relation suivante :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad \text{.....1.14}$$

$$I_{d1} = I_{01}(e^{\frac{V_c+R_sI}{n_1KT_c}} - 1) \quad \text{.....1.15}$$

$$I_{d2} = I_{02}(e^{\frac{V_c+R_sI}{n_2KT_c}} - 1) \quad \text{.....1.16}$$

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{01}\left(e^{\frac{V_c+R_sI}{n_1KT_c}} - 1\right) - I_{02}\left(e^{\frac{V_c+R_sI}{n_2KT_c}} - 1\right) - \frac{V_c + R_sI}{R_{sh}}$$

4.9 Caractéristique électrique I-V et P-V d'un panneau photovoltaïque

Sous un éclairement donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe [7] :

Sa tension à vide : Vco. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.

Son courant court-circuit : Icc cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.

Son point de puissance maximal : Mpp (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimal : Vopt, Iopt (parfois appelés aussi Vmpp, Impp).

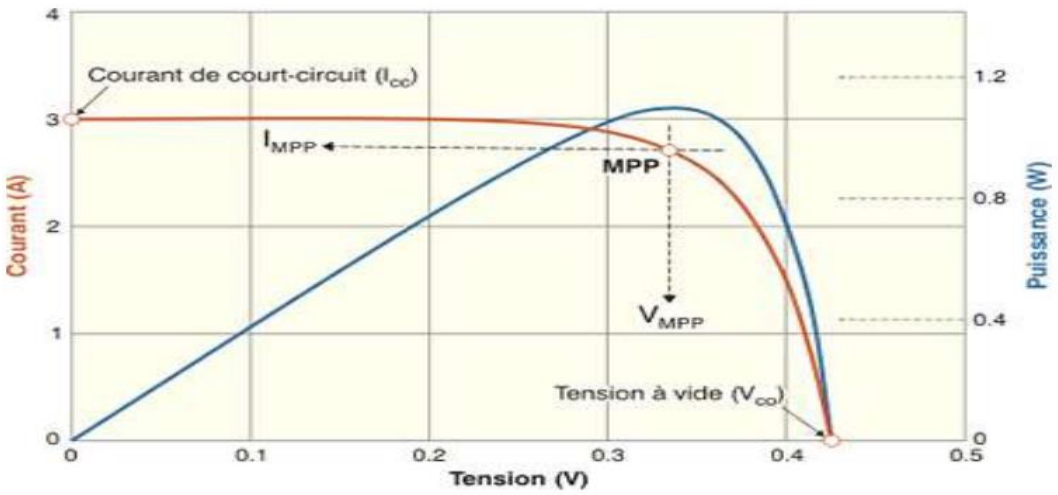


Figure.I.20 : Caractéristiques électrique I-V et P-V d'un panneau photovoltaïque.

4.9.1 Les caractéristique courant-tension (I-V)

La puissance électrique délivrée par une cellule photovoltaïque est le produit de la tension par le courant qu'elle génère. Ces deux grandeurs, courant et tension, dépendent à la fois des propriétés électriques de la cellule mais aussi de la charge électrique à ses bornes.

Les propriétés électriques de la cellule sont synthétisées dans un graphe qu'on appelle caractéristique courant-tension. Tout dipôle électrique est entièrement défini par sa caractéristique courant-tension, qui lui est propre. Une cellule photovoltaïque, en tant que dipôle électrique, dispose de sa propre caractéristique courant-tension, ainsi qu'illustré ci-dessous :

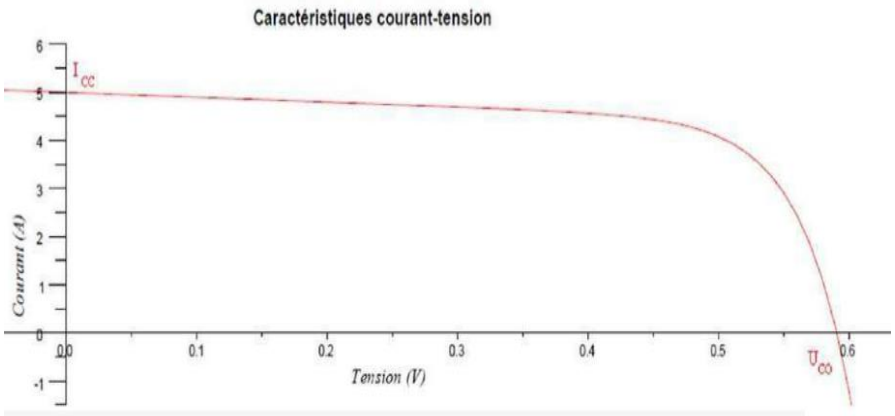


Figure.I.21 : Caractéristiques électrique courant– tension I-V.

Cette caractéristique courant-tension est une relation entre la tension et le courant délivrés par la cellule photovoltaïque.[7]

4.10 L'influence d'un paramètre extérieure

4.10.1 Paramètre climatique

4.10.1.1 Effet d'humidité

Au brouillard, à la rosée ou simplement à l'air ambiant, l'humidité est facteur de stress déterminant dans les mécanismes de corrosion et de délamination. Ainsi la présence d'eau dans les boites de jonctions des modules PV classiques peut entraines de court-circuit.

4.10.1.2 Effet de poussière

La poussière est une poudre très fine composée de particules de diamètre inférieur à 500 µm et qui varie d'une localité à une autre en fonction de la nature du sol et de l'activité humaine. On distingue les poussières artificielles et les poussières naturelles. Les poussières artificielles sont d'origines non atmosphériques causées par l'activité de l'être humaine tels que la construction des routes, la circulation des véhicules et les poussières naturelles sont d'origine atmosphériques et liées au climat. Les expériences ont montré que, la poussière a un effet négatif sur la puissance maximal et courant de court-circuit de module photovoltaïque. [9]

4.10.2 Paramètre de fabrication :

Résistance série (Rs):

La résistance série (Rs) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles. Ce modèle tient compte de la résistivité du matériau et des pertes ohmiques dues aux niveaux des contacts, ce qui permet une meilleure représentation du comportement électrique de la cellule par rapport au modèle idéal. Ces partes sont représentées par une résistance série Rs dans le circuit équivalent représenté ci-dessous :

Résistance shunt(Rsh) :

La résistance shunt (Rsh) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

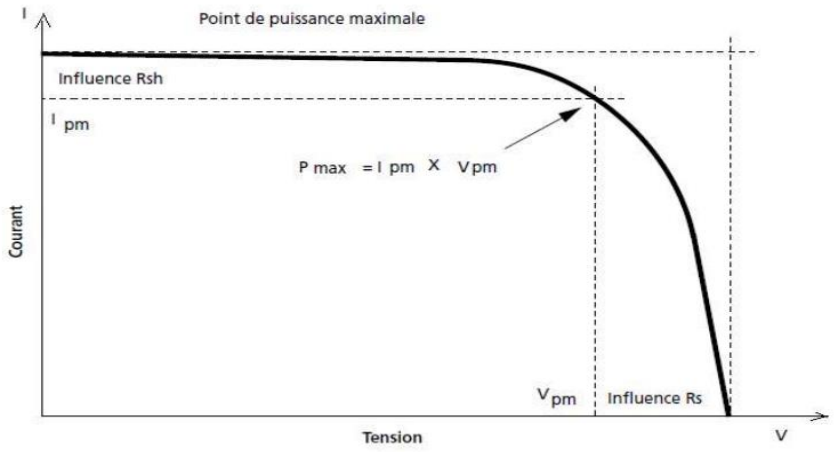


Figure.I.22 : Influence des résistances Rs et Rsh sur la caractéristique I-V d'une cellule photovoltaïque.

4.11 Protection des modules PV

4.11.1 Diodes bypass

Ce type de protection est conseillé dans le groupement en série, car dans ce cas le courant qui traverse chaque cellule est le même que celui du module photovoltaïque. Quand une cellule du panneau est ombrée, cette partie sous-irradiée peut se trouver polariser en inverse et devenir réceptrice. La puissance dissipée ne peut être extraite, ce qui engendre un échauffement de la zone sous-irradiée. Cet échauffement local peut donner lieu à des point chauds " hot spot " qui peuvent endommager la zone affecté et dégradé définitivement les performances du module photovoltaïque entier. Pour éviter ces effets indésirables, des diodes by-pass sont associées aux cellules comme le montre la figure (I.22).

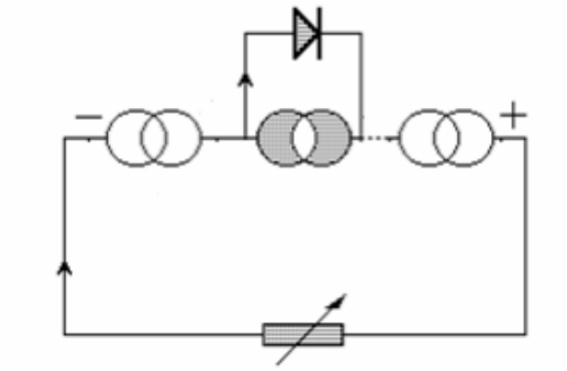


Figure.I.23 : Diode bypass.

4.11.2 Les diodes anti-retour

Un string présent dans un champ PV peut délivrer une tension dirent de celle des autres. Le string ayant la tension la plus faiblement produite peut nuancer les autres strings en absorbant leurs courants inverses. Cela peut conduire à une diminution du rendement et engendrer des défauts liés au passage du courant inverse dans les modules du string. Pour empêcher le passage du courant dans le chemin inverse dans le string, il est nécessaire d'ajouter des diodes [21] antiretours. Malgré leurs avantages, leur présence au niveau du système PV a pour conséquence une perte de tension qui elle-même engendre une chute de la production. D'un autre côté, ces diodes peuvent être à l'origine des défauts et exigent donc un suivi régulier. Une autre solution envisageable consiste à remplacer la diode antiretour par un fusible. Cette substitution ne permet néanmoins pas de protéger le string contre le passage du courant inverse. De plus, un dimensionnement du fusible est nécessaire si l'on souhaite que les composants du string puissent supporter le courant inverse.

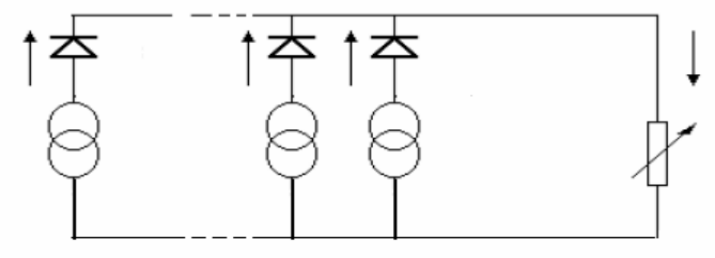


Figure.I.24 : Diode anti-retour.

4.12 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire photovoltaïque. Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque au silicium, puis nous avons discuté des différentes technologies du photovoltaïque, des avantages et des inconvénients de l'énergie photovoltaïque.

Nous avons vu que la modélisation d'un panneau photovoltaïque relativement aux conditions météo logique tels que, l'ensoleillement est indispensable pour fournir une puissance maximale, cette modélisation est une étape essentiale pour évalue les caractéristiques d'un panneau solaire.

Chapitre II
Généralité Sur Les Algorithmes Méta Heuristique

1. Introduction :

L'optimisation est une discipline en plein essor qui entre en jeu dans beaucoup de domaines, comme dans la conception de circuits électroniques, la recherche opérationnelle, la biologie, mais aussi pour répondre aux besoins croissants du domaine des énergies renouvelables (maximisation de l'extraction de puissance).

Ce chapitre a pour but de donner un état de l'art des algorithmes métaheuristiques. On distingue généralement deux grandes familles de méta heuristiques : celles qui manipulent en parallèle toute la population de solutions (on peut citer les algorithmes génétique, la méthode des colonies de fourmis, l'optimisation par essaim particulaire et les autres qui se basent sur l'évolution itérative d'une solution unique (la méthode Tabou et le Recuit Simulé sont des exemples typiques de ses méthodes).

2. Problème d'optimisation :

Un problème d'optimisation sur définit comme la recherche, parmi un ensemble de solutions possible S (appelé aussi espace de décision ou espace de recherche), de la (ou des) solution(s) x* qui rend(es) minimale (ou maximale) une fonction mesurant la qualité de cette solution.

Cette fonction est appelée fonction objectif ou fonction cout. Si l'on pose f : →R la fonction objective à minimiser (respectivement à maximiser) à valeurs dans R, le problème revient alors à trouver l'optimum $x^* \in S$ tel que $f(x^*)$ soit minimal (respectivement maximal).

Lorsque l'on veut résoudre un problème d'optimisation, on recherche la meilleure solution possible à ce problème, c'est-à-dire l'optimum global. Cependant, il peut exister des solutions intermédiaires, qui sont également des optimums, mais uniquement pour un sous-espace restreint de l'espace de recherche : on parle alors d'optimums locaux. Cette notion est illustrée dans la figure ;

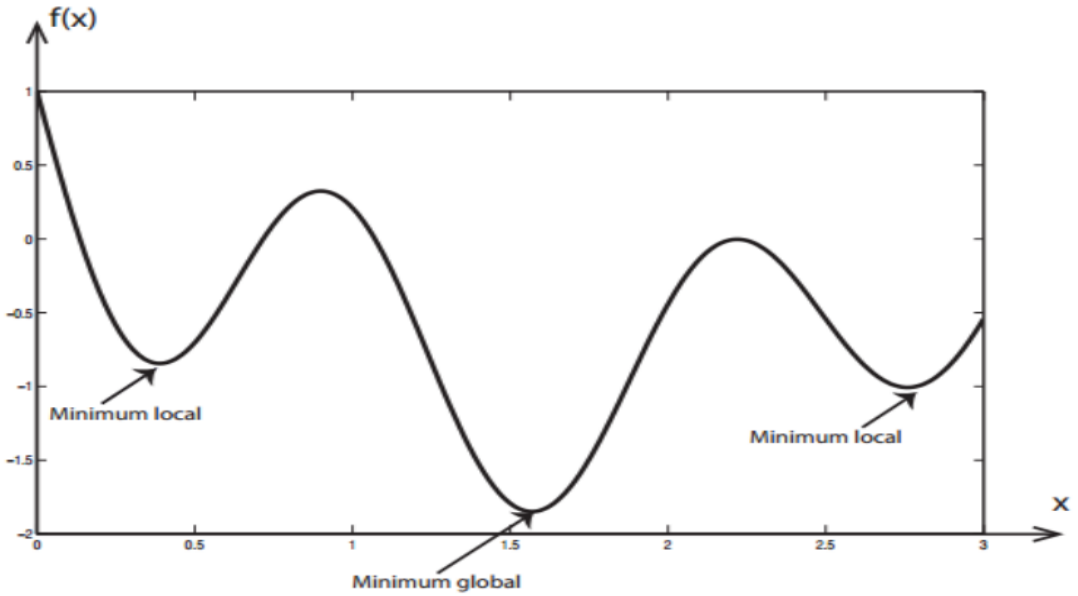


Figure.II.1 : Déférence entre un optimum global et des optima locaux.

3. Classification des méthodes d'optimisation :

La résolution d'un problème d'optimisation est réalisée à l'aide des méthodes d'optimisation dont la classification est illustrée dans la figure

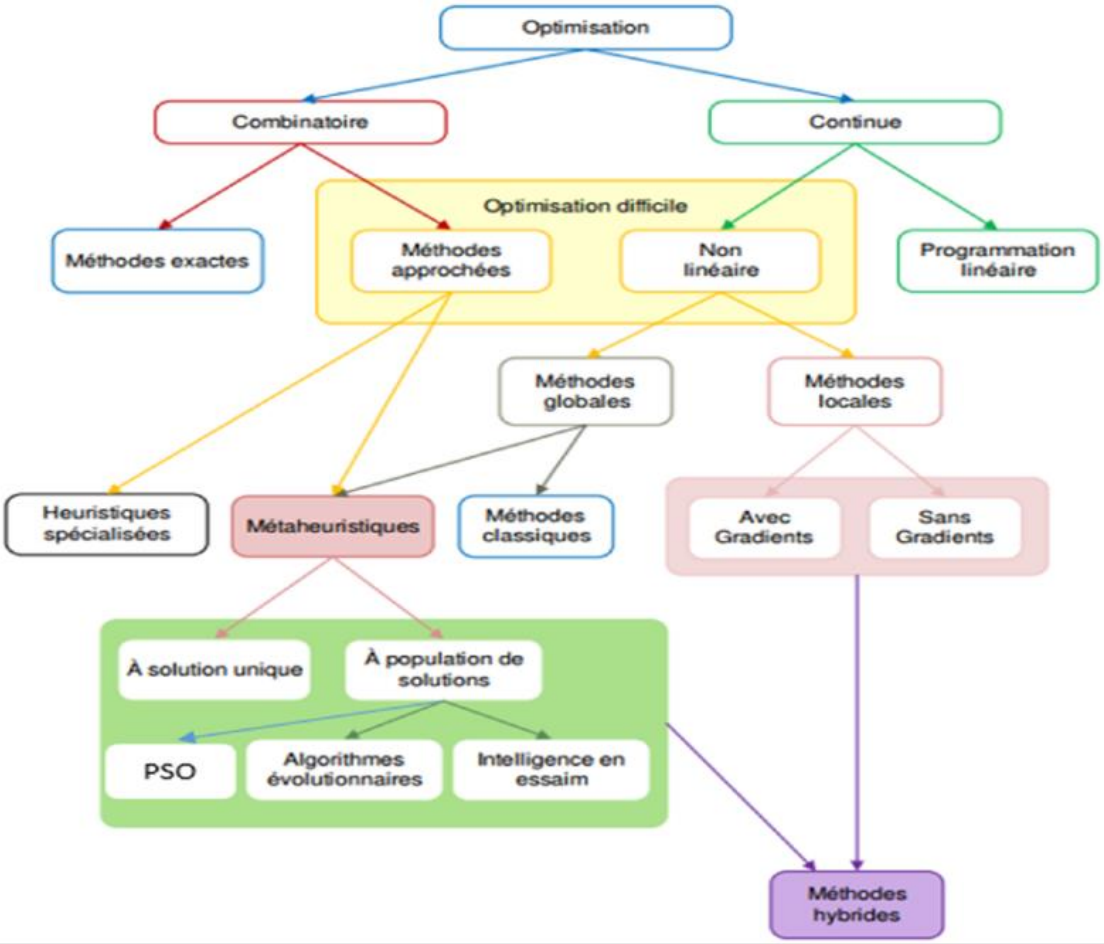


Figure.II.2 : Classification des méthodes d'optimisation.

4. Définition des métas heuristiques :

Le terme méta heuristique vient de mot grecs méta (au-delà) et heuriskein (trouver) avant que ce terme ne soit largement adopté, les métaheuristiques étaient souvent appelées heuristiques modernes.

Il n'y a pas clairement de consensus sur la définition exacte des heuristiques et des métaheuristiques nous allons adopter celles-ci :

- ✓ Une heuristique est une technique de résolution spécialisée à un problème, elle ne garantit pas la qualité du point obtenu.
- ✓ Une métaheuristique est une heuristique générique qu'il faut adapter à chaque problème.
- ✓ Il ne faut pas confondre métaheuristique et matheuristique.
- ✓ Une matheuristique est une méthode d'optimisation combinant des techniques métaheuristique à des algorithmes « classiques » de programmation mathématique (PM).
- ✓ Alors les métaheuristiques sont des méthodes d'optimisation qui peuvent être adaptées à la résolution de manière approchée de n'importe quel problème d'optimisation. Ce sont des algorithmes de nature heuristique comme leur nom indique ce qui les différencie des méthodes exactes, qui non seulement trouvant des solutions exactes mais aussi garanties que la solution optimal d'un problème donné sera trouvée dans un temps fini (bien que souvent prohibitif).
- ✓ Les métaheuristiques sont donc développées dans le but de trouver une solution « assez bonne » dans un temps de calcul « assez petit».
- ✓ En conséquence, ils ne sont pas soumis à une explosion combinatoire (le phénomène ou le temps de calcul nécessaire pour trouver la solution optimale des problèmes difficiles augmentent de manière exponentielle en fonction de la taille du problème).

5. Définition de la littérature :

Jusqu'à présent, il n'y a pas clairement de consensus sur la définition exacte des métaheuristiques. Dans ce qui suit nous présentons quelques propositions de définition de certains chercheurs.

Ont donné la définition d'OSMAN et G Laporte, « Une métaheuristque est définie comme un processus itératif qui guide les opérations des heuristiques subordonnées pour produire efficacement des solutions de haut qualité. Elle peut combiner intelligemment différents concepts pour explorer l'espace de recherche et utiliser des stratégies d'apprentissage pour Structures l'information »

Selon Glover :

« Une métaheuristique est un processus itératif qui guide de modifie les opérations des heuristiques subordonnés afin de produire efficacement des solutions de haut qualité. Il peut manipuler une solution unique complète (ou incomplète) ou un ensemble de solution à chaque itération. Les méthodes heuristiques subordonnées peuvent être des procédures de niveau haut (ou bas), une simple recherche locale ou simplement une méthode de construction »

Les métaheuristiques sont des procédures générales de haut niveau qui combinent des heuristiques simples et des règles pour trouver des solutions de bonne qualité aux problèmes d'optimisation combinatoire.

Donc pour résumer, le terme « métaheuristique » a été utilisé par la communauté scientifique pour exprimer deux choses différentes :

- ✓ Certain ont utilisé le terme métaheuristique pour désigner une plateforme de haut niveau, qui représente un ensemble de concepts et de stratégies qui fonctionnent ensemble pour offrir de nouveaux algorithmes d'optimisation.
- ✓ D'autre chercheurs utilisé le terme métaheuristique dans le sens d'une implémentation spécifique d'un algorithme basé sur une plateforme déjà définie (ou une combinaison de concepts pris de différentes plateformes) conçu pour trouver une solution à un problème d'optimisation spécifique.

12. Principales caractéristiques des métas heuristiques :

- ✓ Les métaheuristiques sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution.
- ✓ Le but visé par les métaheuristiques est d'explorer l'espace de recherche.
- ✓ Les techniques qui constituent des algorithmes de type métaheuristique vont de la simple procédure de recherche locale à des processus d'apprentissage complexes.
- ✓ Les métaheuristiques sont général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- ✓ Les métaheuristiques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche (optimum local).
- ✓ Les concepts de base des métaheuristiques peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique.
- ✓ Les métaheuristiques peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécifié du problème traité, mais ces heuristiques sont contrôlées par une stratégie de niveau supérieur.

- ✓ Les métaheuristiques peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider le processus de recherche.

13. Classification des méthodes méta heuristiques :

Plusieurs manières des classifier les métaheuristiques existent, une classification dépend des caractéristiques sélectionnées pour différencier les métaheuristiques entre elle. Quelques classifications qui existent dans la littérature sont présentées brièvement dans ce qui suit :

13.1.Classification basé sur les origines d'une métaheuristique :

C'est la classification intuitive, basé sur les origines du méta heuristiques en question, on a les métaheuristiques inspirées de la nature comme les algorithmes génétiques (GA : genitic algorithmes) Holland en 1975, et l'algorithme de la colonie de Fourmies (ACO) Dorigo et al en 1991, et d'autre qui ne sont pas inspirés de la nature telles que la recherche tabou (TS; tabusearch) Glover en 1986 et la recherche locale itérée (ILS : Iterated local search) Stuzle en 1998.

13.2.Classification basé sur le nombre de solutions manipulées par une métaheuristique :

On distingue deux classes ; les métaheuristiques à solution unique et les métaheuristiques à population de solutions.

Les métas heuristiques à solution unique appelées aussi méthodes trajectoire contrairement aux métaheuristiques à base de population qui améliorent une population des solutions tout au long de processus de recherche telles que les algorithmes évolutionnaires, les métaheuristiques à solution unique commence avec une seule solution initial et procède à son amélioration progressivement, en construisant une trajectoire dans l'espace de recherche

Les méthodes de trajectoire englobent essentiellement la recherche taboue, le recuite simulé, la méthode de descente, la méthode GRASP, la recherche à voisinage variable et la recherche local itérée.

13.3.Classification basé sur la nature de la fonction à optimiser :

La fonction à optimiser ou fonction objectif d'un problème donné peut être statique ou dynamique. Les métaheuristiques peuvent également être classées en fonction de la manière dont elles utilisent la fonction objective.

Alors que certains algorithmes gardent la fonction objective du problème sans changement ou modification, d'autres métaheuristiques comme la recherche locale guidée (Guided locale search) modifie la fonction objective toute ou longue du processus de recherche dans le but de s'échapper des optima locaux.

13.4.Classification selon le nombre de structure de voisinage utilisé :

La plupart des méta heuristiques utilisent une seule structure de voisinage, d'autres comme la recherche à voisinage variable (VNS : variable neighborhoodsearch) Mladevonic en 1995, Mladevonic et hansen en 1997.

13.5.Classification sur base d'utilisation ou non d'une mémoire :

Une caractéristique très importante pour classer les métaheuristiques est l'utilisation qu'ils font de l'histoire de recherche, c'est-à-dire s'il utilise une mémoire ou pas et selon ce critère on peut classer les métaheuristiques en deux classes métaheuristiques à mémoire et métaheuristiques sans mémoire.

Les métaheuristiques qui font usage de l'histoire de la recherche peuvent le faire de diverses manières, on différentie généralement les méthodes ayant une mémoire à court terme de celles qui une mémoire à long terme.

13.6.Classification sur base de présence ou non d'aspect probabilistes :

Les métas heuristiques peuvent aussi être classés en deux classes : métaheuristiques déterministes versus métaheuristiques stochastiques.

Les méthodes stochastiques permettent des sauts probabilistes depuis les solutions courantes vers les prochaines solutions.

Dans les méthodes stochastiques, un même point de départ peut conduire à des solutions différentes puisque des paramètres aléatoires sont utilisés au cours du processus.

Dans les métaheuristiques déterministes, au contraire, une solution initiale spécifique conduit toujours à la même solution finale

En effet, une méthode déterministe parcourt l'espace de recherche toujours de la même manière, tandis que deux exécutions d'une méthode stochastique fournie résultats différents.

14. Les métas heuristiques à solution unique :

Sont appelées méthodes de recherche locale ou méthodes de trajectoire, commencent avec une seule solution initiale, et par une amélioration itérative, en construisant un ensemble de solutions de coûts décroissants pour un problème de minimisation. Le processus s'arrête si la solution courante ne peut pas être améliorée ou si le nombre d'itérations maximum est atteint. Quelques exemples typiques de cette classe : recuit simulé, recherche tabou, et le recuit micro canonique…. etc.

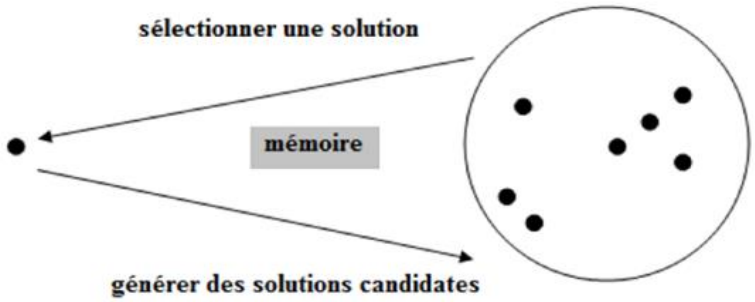


Figure.II.3 : Illustration du fonctionnement d'une métaheuristique à base de solution unique.

15. Les métas heuristiques à solution multiple :

Travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche en commençant avec une population de solution initiale puis de l'améliorer au fur et à mesure des itérations. Elles ont une capacité à parcourir les grands espaces de recherche mais n'ont pas un fort pouvoir d'intensification et peuvent avoir tendance à converger lentement. L'objectif de ces méthodes est d'utiliser la population comme un facteur de diversité. Cette métaheuristique en globe : les algorithmes évolutifs (Colonies de fourmi, algorithmes génétiques, Evolution différentielle, Essaim particulaire, SFLA, etc.)

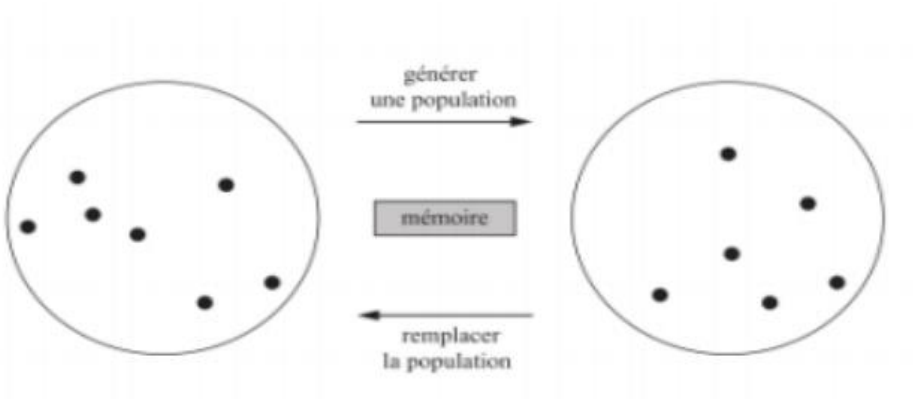


Figure.II.4 : Illustration du fonctionnement d'une métaheuristique à base de population.

16. L'optimisation par bonobo:

Bonobo Optimiser (BO) est un nouvel algorithme métaheuristique qui est influencé par l'approche reproductive et le comportement social des bonobos. Il s'agit d'un algorithme basé sur la population développé par Amit Kumar Das et al. L'algorithme adopte l'approche de recherche par fission-fusion de Bonobos pour une optimisation efficace. Les bonobos se divisent en groupes plus petits, appelés fission, pour localiser les aliments et sont ensuite réunis (fusion) la nuit pour dormir (voir la figureII.5). Cette méthode distincte a été utilisée dans

l'algorithme pour rendre le processus de recherche plus efficace. Comme d'autres heuristiques, BO est également un algorithme basé sur la population. Une solution individuelle dans la population est nommée bonobo. Le bonobo le plus dominant avec la meilleure hiérarchie de rang est appelé le bonobo alpha (αbonobo). De plus, les bonobos avancent à travers la probabilité de phase, qui est soit la diversité de la population, soit la pression de sélection, et à travers les phases positives (PP) et négatives (NP). Les comptages d'un nombre successif d'itérations de PP et NP sont appelés positifs. les comptes de phase (ppc) et les comptes de phase négatifs (npc), respectivement. Afin d'atteindre la solution optimale globale, l'algorithme explore les comportements naturels et les stratégies des bonobos. Les bonobos utilisent quatre stratégies d'accouplement différentes pour créer de nouveaux bonobos, ce sont : la promiscuité, la restriction, le consort et l'accouplement extra-groupe.

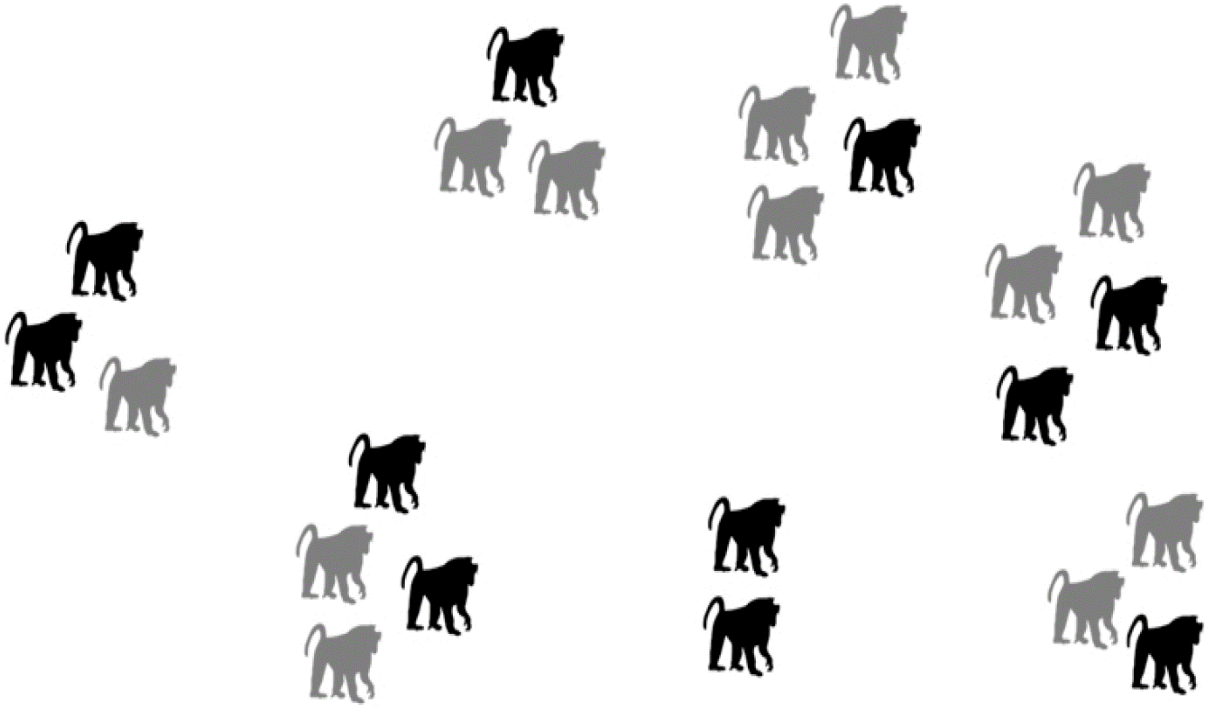


Figure.II.5: Groupes sociaux fission-fusion des bonobos. Les personnages légers sont des femmes ; les figures sombres sont des hommes.

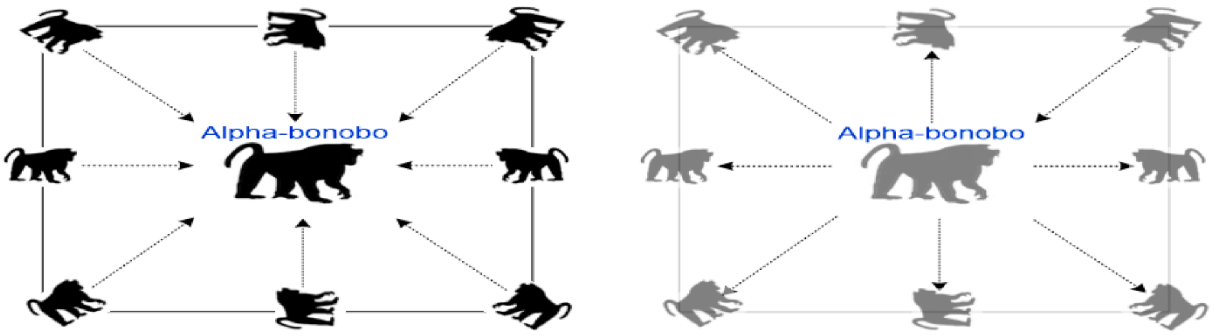


Figure.II.6: Directions des déplacements des différents bonobos avec les probabilités les plus élevées. La figure sombre est PP ; La figure lumineuse est NP.

Les stratégies d'accouplement changeront en Fonction de la condition de phase (positive (PP) ou négative (NP)). Le PP représente physiquement la communauté des bonobos lorsqu'il y a suffisamment de nourriture, de protection contre les communautés voisines, de succès d'accouplement et de variété génétique parmi les bonobos. La probabilité des deux premiers types d'accouplement, c'est-à-dire l'accouplement promiscuité et restreint, sera plus grande pendant cette période. L'accouplement promiscuité rend une femelle en œstrus disponible à la fois pour l'alpha bonobo (c'est-à-dire le mâle le plus élevé d'un groupe) et d'autres mâles de rang inférieur. Cependant, en cas d'accouplement restreint, seuls les mâles de statut supérieur peuvent se joindre. Le NP, qui dénote une condition désagréable dans la société, augmente la probabilité d'accouplement en consortia et d'accouplement hors groupe. Un couple est isolé de sa communauté d'origine et passe son temps ensemble dans une sorte d'accouplement appelé consortship. Ils rejoignent leur communauté après quelques jours ou quelques semaines. Cependant, dans le cas d'un accouplement hors groupe, une femelle bonobo est observé en train de s'accoupler avec des mâles de différentes communautés. De plus, la probabilité d'un accouplement hors groupe est assez faible par rapport à la possibilité de s'accoupler avec un autre groupe. Ces événements physiques sont reproduits artificiellement dans le BO suggéré par l'utilisation des mathématiques pour l'optimisation. L'organigramme de l'algorithme proposé est illustré à la figure

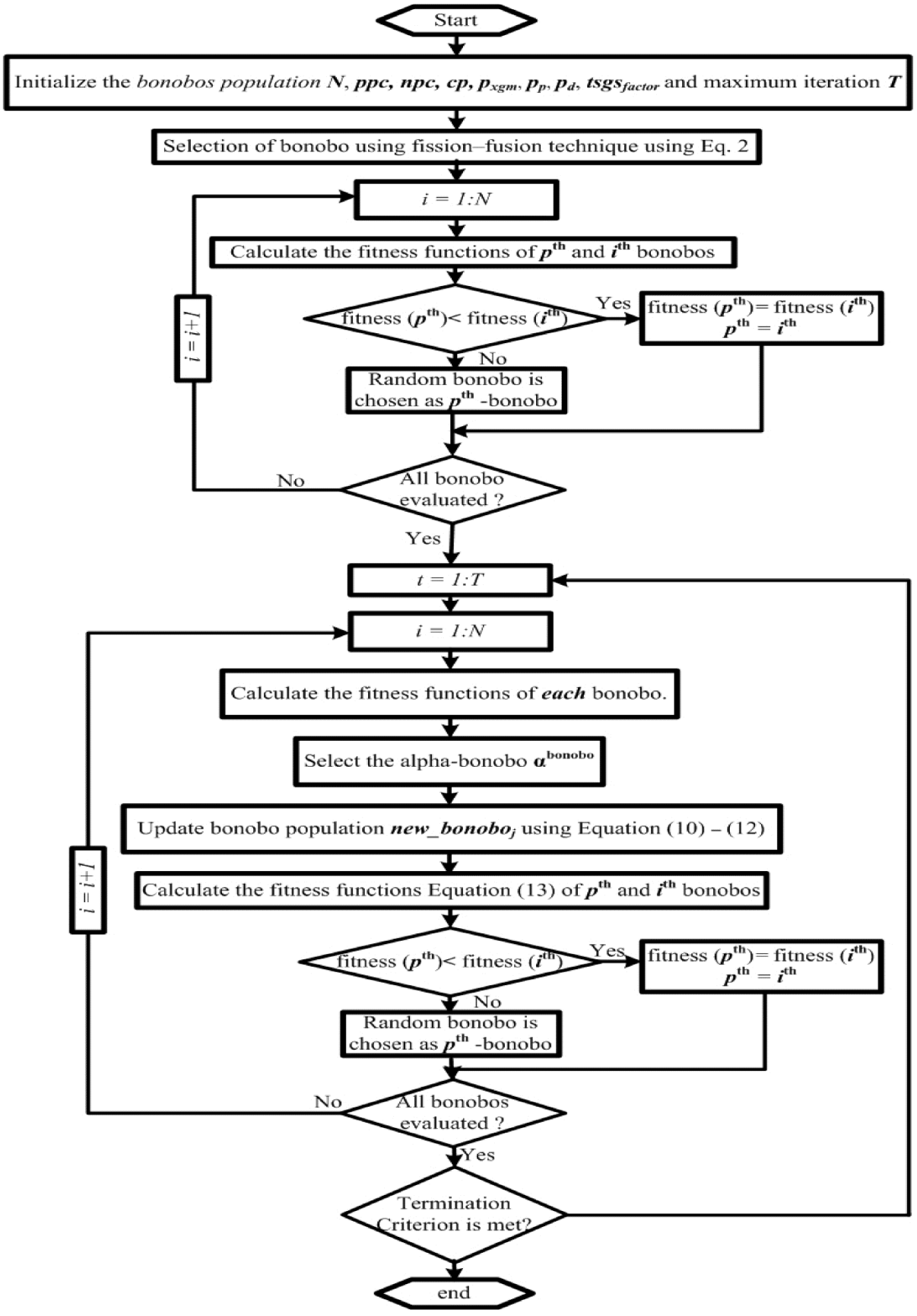


Figure .II.7 : organigramme bonobo.

3.1. Stratégies d'accouplement promiscuité et restrictives

Le paramètre de probabilité de phase (p_p) détermine l'approche d'accouplement du Bonobo. Au stade initial, la valeur de p_p est désignée par 0.5, qui est mise à jour à chaque itération. Un nouveau Bonobo est formé si un nombre aléatoire, r est généré comme une valeur comprise entre 0 et 1, s'avère inférieur ou égal à pp comme décrit dans l'équation suivante :

$$n - b_j = b_j^i + r_1 s_\alpha(\alpha_j^b - b_j^i) + (1 - r_1)s^s flag(b_j^i - b_j^p) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.1$$

Ou :

b: est bonobo.

$n\text{-}b_j$ et α_j^b : sont les j^{eme} variables de la nouvelle progéniture et α^{bonobo}, respectivement.

J : comme une valeur qui varie entre 1 et d nombre de variables

b^i_j et b^p_j : représentent des valeurs variables i^{eme} et j^{eme} bonobos, respectivement.

r1 : représente une valeur comprise entre 0 et 1.

s^α et s^s : sont des coefficients de partage pour α^{bonobo} et p^{eme} bonobos, respectivement.

Le paramètre flag est entre −1 et 1.

Un accouplement mixte se produit lorsque la meilleure solution i^{eme} bonobo donne un meilleur résultat que p^{eme} bonobos. Dans cette situation, le flag est attribué 1. Alternativement, il est appelé accouplement restrictif. A cet égard, le flag et α^{bonobo} reçoivent −1.

3.2. Alliance et stratégies d'accouplement extra-groupe

Ces types d'accouplements se produisent si la phase p_p est inférieure au nombre aléatoire r. De plus, si r_2 est équivalent ou inférieur à la probabilité d'extra-groupe (p_{xgm}), cela conduira à une mise à jour de la solution via un accouplement hors groupe.[3]

$$n - b_j = \begin{cases} b_j^i + e^{\left(r_3^2 + r_3 - 2r_3^{-1}\right)}\left(Var_max_j - b_j^i\right) & \propto_j^{bonobo} \geq b_j^i \\ b_j^i - e^{\left(-r_4^2 + 2r_4 - 2r_4^{-1}\right)}\left(b_j^i - Var_{min_j}\right) & r_3 \leq p_d \\ b_j^i - e^{\left(-r_3^2 + r_3 - 2r_3^{-1}\right)}\left(b_j^i - Var_{min_j}\right) & \propto_j^{bonobo} \leq b_j^i \\ b_j^i - e^{\left(-r_4^2 + 2r_4 - 2r_4^{-1}\right)}\left(Var_max_j - b_j^i\right) & r_3 \geq p_d \end{cases} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.2$$

Le pd est initialisé à 0.5 avec une mise à jour progressive en fonction de la nature de l'évolution. Le pd optimise le processus de recherche pour le résultat le plus prometteur. Var_min_j et Var_max_j représentent respectivement les limites inférieure et supérieure de la jième variable.

Dans d'autres cas, où la valeur de r_2 se trouve supérieure à celle de p_{xgm}, une nouvelle progéniture est créée en utilisant la stratégie d'accouplement d'alliance comme suit :

$$n_b_j = \begin{cases} n_{b_j} + e^{rs} flag(1 + r_1)\left(b_j^i - b_j^p\right) & r_6 \le p_d \\ b_j^p & otherwise \end{cases} \text{.....2.3}$$

Où : r1, r2, r3, r4, r5 : sont des nombres aléatoires compris entre 0 et 1.

4. Fonction objectif

La mise en œuvre de l'extraction de paramètres nécessite la définition d'un algorithme adapté à la fonction objectif. Compte tenu du fait que la meilleure collection de solutions devrait produire l'ajustement le plus proche des données mesurées, la meilleure solution est donc obtenue en minimisant la différence entre les données mesurées et les données calculées. La méthode la plus populaire pour minimiser la différence entre les données mesurées et calculées est l'erreur quadratique moyenne.

$$minh(x) = RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(I_{cal}^K(x) - I_{meas}^K)^2} \text{.....2.4}$$

Où :

Ical : est la valeur de courant calculée, Imeas : est la valeur du courant mesuré

N : est le nombre de données mesurées.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu générale sur les méthodes métaheuristiques leur caractéristique et leur classification, et nous somme intéressée à les métaheuristiques à base d'une population de solution, et nous présente la méthode d'optimisation bonobo.

CHAPITRE III :
Résultats et discussion

Résultats et discussion

BO, MRFO, ABO, PSO, FPA et SDO sont utilisés pour déterminer les paramètres du SDM et du DDM. Les paramètres des modèles sont obtenus à l'aide de la fonction d'objection de l'équation. Une cellule de donnée solaire standard notable, R.T.C. La cellule solaire française à 33 °C, qui est largement rapportée dans la littérature, est choisie comme référence pour comparer et tester les algorithmes. La performance des algorithmes est en outre évaluée à partir de la courbe I-V pratique du modèle à une seule diode de STM6-40 avec 36 cellules en série à 51 ° C et du modèle à une seule diode de STP6-120 avec 36 cellules en série à 55 ° C. Ces ensembles de données sont obtenus à partir de [3]. Pour obtenir une comparaison rationnelle, les trois algorithmes sont comparés sous les mêmes paramètres, comme indiqué dans le tableau 1, 500 itérations, 100 tailles de population à travers 50 exécutions indépendantes. Les plages de recherche sont déterminées sur la base des conditions aux limites rapportées dans [3]. Les simulations ont été implémentées sur un CPU Intel Core i5-8250U@1.80 GHz, 16 Go sous Windows 1064bit avec MATLAB 2020b.

Paramètres	Cellule Solaire R.T.C France		Module STM6-40/36		Module STP6-120/36	
	Limite supérieure	Borne inférieure	Limite supérieure	Borne inférieure	Limite supérieure	Borne inférieure
$I_{ph(A)}$	1	0	2	0	8	0
$R_s(\Omega)$	0.5	0	0.36	0	0.36	0
$R_{sh}(\Omega)$	100	0	1000	0	1500	0
n,n_1,n_2	2	1	60	1	50	1
$I_o,I_{o1},I_{o2}(\mu A)$	1	0	50	0	50	0

1. Résultats pour RTC France Modèle à une seule Diode (SDM) et Modèle à Deux Diode (DDM)

Étant donné que les paramètres précis doivent encore être établis, un moyen significatif d'établir les paramètres extraits est la comparaison de leur fonction de fitness (FF). Comme décrit dans l'équation (10), le RMSE est adopté pour évaluer la fonction de fitness. Sur les 50 exécutions, l'exécution avec la fonction de fitness minimale pour chaque algorithme est sélectionnée. Le nombre d'exécutions pour la cellule solaire RTC France SDM et DDM à 33°C. D'après le tableau 2, BO présente l'écart type le plus bas, le FF minimum et le FF maximum le

plus bas pour les modèles SDM et DDM. Il ressort des résultats que BO a obtenu une extraction optimale des paramètres avec des oscillations minimales par rapport à d'autres algorithmes.

Tableau 2. Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF.

	Modèle à deux diodes (DDM)				Modèle à une seule diode (SDM)			
	Écart-type	Moyenne	Valeur minimale de la fonction objectif	Valeur maximale de la fonction objectif	Écart-type	Moyenne	Valeur minimale de la fonction objectif	Valeur maximale de la fonction objectif
BO	0.00000295	0.00098519	0.00098248	0.00100052	0.00000295	0.00098519	0.00098249	0.00100052
SDO	0.00017	0.00111	0.00098	0.00176	0.000171	0.001113	0.000984	0.001764
MRFO	0.00021562	0.00123364	0.00098452	0.00171098	0.0006	0.001234	0.000985	0.001711
ABO	0.000239804	0.00148831	0.00107507	0.0020606	0.00019812	0.001464191	0.00110559	0.001857987
PSO	0.000391466	0.00144547	0.000983104	0.00247564	0.00037916	0.001409098	0.00098637	0.002448049
FPA	0.000712527	0.00329423	0.001742104	0.00520968	0.00021841	0.001608247	0.00123105	0.002185476

Afin de justifier les valeurs des paramètres extraits comme indiqué dans le tableau 3 et le tableau 4, les valeurs sont remplacées dans l'équation (4) pour obtenir la courbe I-V et P-V pour le SDM et le DDM. Les résultats démontrent la capacité de l'algorithme BO à bien s'adapter aux données expérimentales. Le tableau 5 et le tableau 6 montrent les données expérimentales et les données calculées pour la courbe I-V. En outre, BO a utilisé le temps le plus court pour extraire les paramètres pour le SDM et le DDM, tout au long des 50 exécutions.

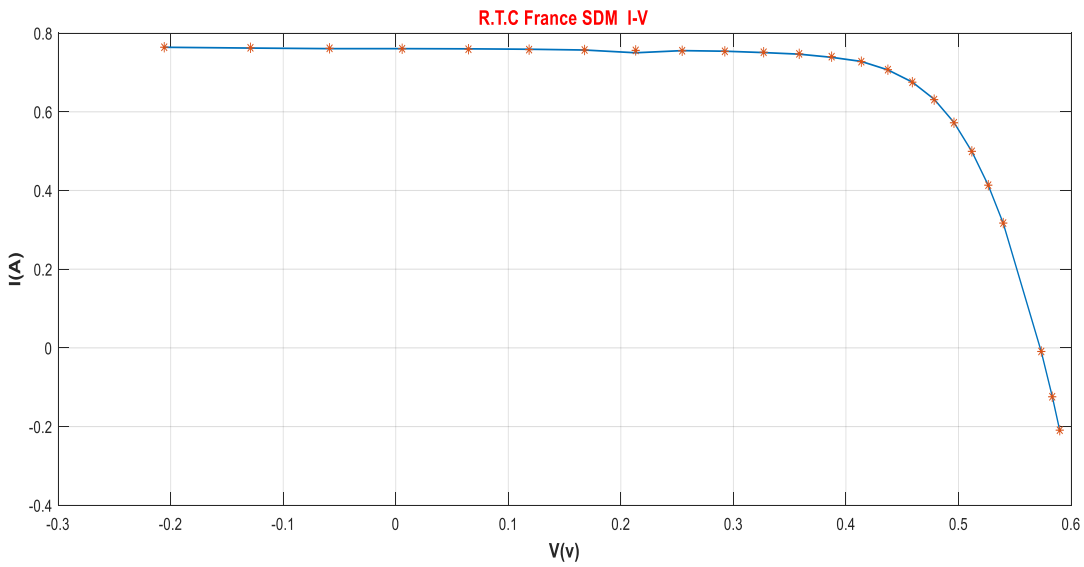
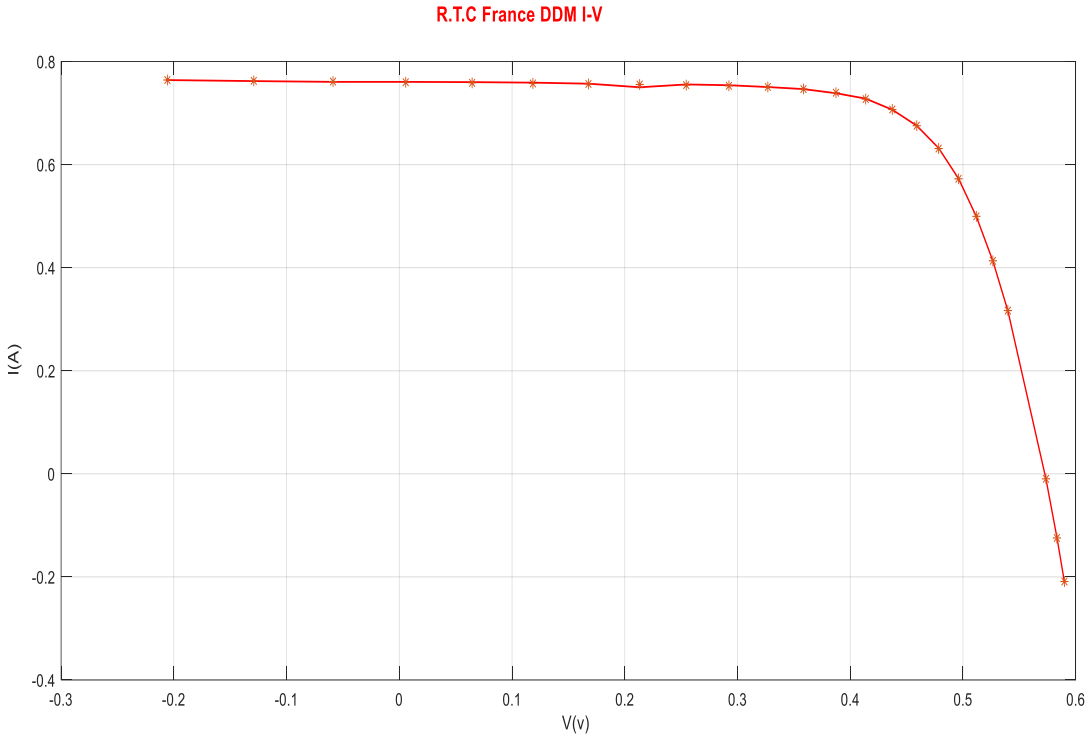


Figure III.1. R.T.C France SDM I-V.



FigureIII.2. R.T.C France DDM I-V.

Tableau 3. Paramètres extraits optimaux de RTC France SSD pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	MRFO	SDO	ABO	PSO	FPA
Run	49	1	23	36	49	42
I_{ph}	0.7607755305	0.7607571621	0.7607754965	0.7611001744	0.7607827949	0.7595131346
I_o	0.0000003230	0.0000003229	0.0000003230	0.0000004017	0.0000003186	0.0000003532
R_s	0.0363770927	0.0363815063	0.0363770838	0.0353805457	0.0364316575	0.0362325539
R_{sh}	53.718522699	53.780846761	53.718861398	55.283210547	53.342564009	68.976842040
N	1.4811835905	1.4811678529	1.4811838910	1.5035323016	1.4797978438	1.4901822291
Temps écoulé	43.07508	70.60042	72.76333	112.22356	78.26339	82.48219

Tableau 4. Paramètres extraits optimaux de RTC France DDM pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
Exécution	18	24	44	9	41	25
I_{ph}	0.7607810893	0.7607691048	0.7607743683	0.7607204717	0.760798850	0.7602945481
I_{o1}	0.0000002258	0.0000002333	0.0000002277	0.0000000000	0.0000006947	0.0000005723
R_s	0.0367410499	0.0366017040	0.0366398681	0.0355916525	0.0367859727	0.0341192527
R_{sh}	55.487603064	54.994252147	54.834589923	58.378735135	54.7912151386	97.089233631
n_1	1.4509691134	1.4556162769	1.4535325349	2.0000000000	2.0000000000	1.5406252960
I_{o2}	0.0000007504	0.0000003357	0.0000003670	0.0000003859	0.0000002279	0.0000000000
n_2	2.0000000000	1.8237018689	1.8320837572	1.4992684406	1.4514809290	1.3501730772
Temps écoulé	39.74895	67.52181	62.96226	249.60160	60.90088	81.40994

Tableau 5. La tension et le courant expérimental et calculé de R.TC France SSD pour BO, SDO, MRFO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour SDM					
V(V)	*I (A)*	BO	ODD	MRFO	ABO	OSP	APP
−0,2057	0,764	0,7644892	0,7644892	0.7645101	0.7648214	0.7646393	0,7624956
−0,1291	0,762	0.7626024	0.7626024	0,7626083	0.7629463	0.7626811	0,7609835
−0,0588	0,7605	0,7613363	0,7613363	0,761331	0,7616757	0,7613644	0.7599652
0,0057	0,7605	0,7601733	0,7601733	0.7601581	0.7605091	0,7601555	0.7590301
0,0646	0,76	0,7591076	0,7591076	0.7590842	0,7594413	0,7590495	0,758174
0,1185	0,759	0.7581214	0.7581214	0.7580921	0,7584553	0.7580297	0,7573823
0,1678	0,757	0,7571879	0,7571879	0,7571564	0,7575256	0,7570721	0.7566319
0,2132	0,757	0,7562436	0,7562436	0,7562151	0,7565888	0,7561173	0,7558641
0,2545	0,7555	0,7551766	0,7551766	0,755158	0.7555303	0,7550583	0,7549673
0,2924	0,754	0.7537203	0.7537203	0.7537193	0,7540747	0,7536324	0,7536744
0,3269	0,7505	0,7513882	0,7513882	0,7514109	0,7517181	0,7513525	0,7514881
0,3585	0,7465	0.7472689	0.7472689	0,747317	0.7475238	0,7473	0.7474783
0,3873	0,7385	0.7398967	0.7398967	0.7399649	0,7400034	0,7399934	0.7401517
0,4137	0,728	0.7269549	0.7269549	0,72703	0.7268356	0.7270954	0.7271653
0,4373	0,7065	0.7059596	0.7059596	0.7060247	0,7055864	0,7061055	0.7060315
0,459	0,6755	0,6729697	0,6729697	0,6730124	0,6724117	0,673084	0,6728371

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour SDM					
V(V)	*I (A)*	BO	ODD	MRFO	ABO	OSP	APP
0,4784	0,632	0,6259944	0,6259944	0,6260168	0,6254587	0.6260643	0,6256682
0,496	0,573	0,5627924	0,5627924	0,5628134	0,5625816	0,5628435	0,5623725
0,5119	0,499	0.4840904	0.4840904	0,484137	0,4844714	0,4841741	0,4837394
0,5265	0,413	0,3902978	0,3902978	0.3903938	0,3914176	0,3904696	0,3901971
0,5398	0,3165	0,2862293	0,2862293	0,2863767	0,2879671	0,2865062	0,2864963
0,5736	−0,01	−0,0593831	−0,0593831	−0,0591741	−0,0574303	−0,0589092	−0,0578659
0,5833	−0,123	−0,1799648	−0,1799648	−0,1797837	−0,1785751	−0,1795084	−0,1781157
0,59	−0,21	−0,2360522	−0,2360522	−0,2361043	−0,21	−0,21	−0,21

Tableau 6. La tension et le courant expérimental et calculé de R.TC France DDM pour BO, SDO, MRFO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour DDM					
V(V)	*I (A)*	*BO*	*ODD*	*MRFO*	*ABO*	*OSP*	*APP*
−0,2057	0,764	0.7641	0.7645262	0.7645101	0.7642444	0,764554	0.7624138
−0,1291	0,762	0.7625	0,7626184	0,7626083	0,7624663	0,7626426	0,7613569
−0,0588	0,7605	0.7611	0,7613374	0,761331	0.7612631	0.7613604	0.7606329
0,0057	0,7605	0.7598	0,760161	0.7601581	0.7601582	0,7601827	0,7599679
0,0646	0,76	0.7586	0,7590839	0.7590842	0,7591469	0.7591038	0,7593574
0,1185	0,759	0.7574	0,7580888	0.7580921	0,7582129	0,7581058	0,7587878
0,1678	0,757	0.7564	0,75715	0,7571564	0,7573312	0,7571621	0,758233
0,2132	0,757	0.7554	0,7562054	0,7562151	0,7564399	0,7562098	0,7576276
0,2545	0,7555	0.7543	0,7551447	0,755158	0,7554254	0,755138	0.7568411
0,2924	0,754	0.7528	0,753702	0.7537193	0,754015	0,753681	0,7555791

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour DDM					
V(V)	*I (A)*	*BO*	*ODD*	*MRFO*	*ABO*	*OSP*	*APP*
0,3269	0,7505	0.7506	0,7513897	0,7514109	0,7517069	0,7513537	0,7533049
0,3585	0,7465	0.7466	0.7472927	0,747317	0.7475667	0.7472454	0.7490456
0,3873	0,7385	0.7395	0.7499393	0.7399649	0.7401047	0.7398904	0.7412843
0,4137	0,728	0.7271	0,737006	0,73703	0.7369937	0.7369694	0,7376999
0,4373	0,7065	0.7069	0.7070049	0.7070247	0,7068837	0.7079932	0.7079313
0,459	0,6755	0.6755	0,6729978	0,6730124	0,6726099	0,6730143	0,6722487
0,4784	0,632	0.6312	0.6460046	0,6460168	0,6455994	0.6460354	0,6449768
0,496	0,573	0.5724	0,562798	0,5628134	0,5625993	0,5628132	0,5620882
0,5398	0,3165	0.4996	0,286325	0,2863767	0,2874774	0,2861564	0,2887384
0,5521	0,212	0.4133	0,17307	0,1731305	0,1745112	0,1728487	0,1762278
0,5633	0,1035	0.3168	0,0582546	0,0583128	0,0596348	0,0580264	0,0613355
0,5736	−0,01	−0,00970	−0,0592274	−0,059174	−0,058024	−0,0594505	−0,0565282
0,5833	−0,123	-0.1245	−0,1798224	−0,179784	−0,17908	−0,1800015	−0,1781746
0,59	−0,21	-0.209	−0,2360795	−0,236104	−0,2370736	−0,2360138	−0,2385659

2. Résultats pour STM6-40/36 et STP6-120/36 à une diode :

Les tableaux 7 et 8 fournissent des informations sur l'écart type calculé (SD), les valeurs moyennes et FF pour STM6-40/36 et STP6-120/36. Il est évident que BO donne les plus petites valeurs de FF pour STM6-40/36 et STP6-120/36. STM6-40/36 pour MRFO et SDO affiche des valeurs SD et moyennes minimales, mais n'a pas réussi à atteindre le plus petit FF, comme illustré dans le tableau 7. Leur SD et leurs moyennes plus petites résultent de la plage étroite de leur FF, comme le montre la figure 10. BO fonctionne mieux que tous les algorithmes pour STP6-120/36 en termes de SD, moyenne et FF. Cela démontre la lourdeur de l'algorithme BO pour l'extraction de paramètres par rapport à d'autres algorithmes.

Tableau 7. Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF pour STM6-40/36.

Facteur	BO	SDO	MRFO	ABO	PSO	FPA
Ecart type	0.000661	0.000414	0.00023	0.005806	0.072792	0.008792

Facteur	BO	SDO	MRFO	ABO	PSO	FPA
Moyenne	0.001459	0.003109	0.00268	0.020241	0.024412	0.021274
Valeur Minimale de FF	0.001459	0.001797	0.00223	0.004632	0.002637	0.006056
Valeur Maximale de FF	0.003459	0.004241	0.00323	0.02981	0.310757	0.044158

Tableau 8. Écart type, moyenne, valeur minimale FF, valeur maximale FF pour STP6-120/36.

Facteur	BO	ODD	MRFO	ABO	OSP	APP
Écart-type	0,00065	0,000406	0,000262	0,000662	0,510067	0,051422
Moyenne	0,002082	0,003253	0,002779	0,075556	0,32932	0,12537
FF Valeur minimale	0,001416	0,002144	0,001946	0,066829	0,050038	0,060189
Valeur maximale FF	0,003291	0,004131	0,003222	0,098554	1.41092	0,27506

Les résultats extraits des paramètres inconnus pour STM6-40/36 et STP6-120/36 sont présentés dans le tableau 9 et le tableau 10, respectivement. Ces résultats sont sélectionnés parmi les exécutions qui produisent le FF minimum pour chaque algorithme parmi les 50 exécutions indépendantes. Ces valeurs sont remplacées dans l'équation (4) pour obtenir la valeur de courant calculée comme indiqué dans le tableau 11 et le tableau 12. Les résultats obtenus dans le tableau 9 et le tableau 10 ont ensuite été utilisés pour comparer l'adéquation de la courbe I-V et P-V de STM6-40/36 et STP6-120/36 avec les données expérimentales. Il est évident que le paramètre calculé par BO correspond bien aux paramètres expérimentaux. Les chiffres révèlent clairement que l'algorithme BO a les meilleures performances en termes de temps de simulation minimal pour STM6-40/36 mais pas pour STP6-120/36 tout au long des 50 exécutions. FPA a atteint le plus petit temps de simulation pour STP6-120/36 mais sans atteindre le FF minimal. Ceci est une indication de convergence prématurée par l'algorithme FPA.

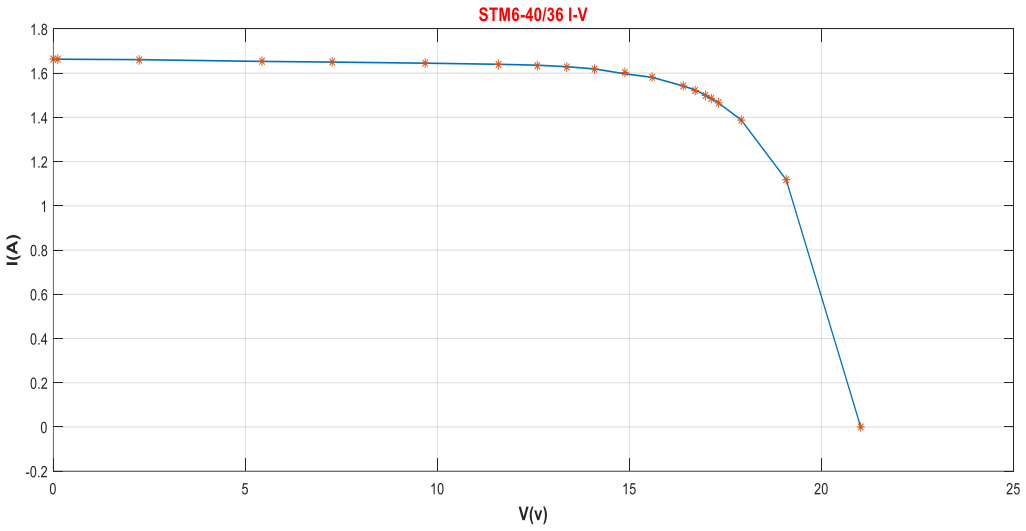
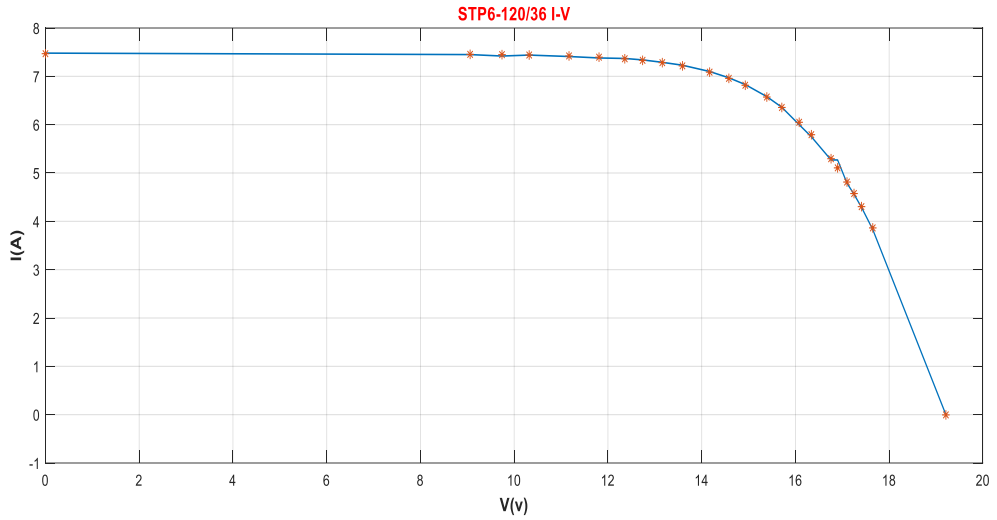


Figure.III.3.STM6-40/36 I-V.



FigureIII.4.STP6-120/36 I-V.

Tableau 9. Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	SDO	MRFO	ABO	PSO	FPA
Exécution	5	3	14	33	35	38
I_{ph}	1.663905	1.662921	1.66344	1.657659	1.661664	1.653499
I_o	1.74×10^{-6}	2.01×10^{-6}	3.06×10^{-6}	7.41×10^{-6}	4.01×10^{-6}	5.40×10^{-6}
R_s	0.004274	0.003889	0.002295	0	0.001432	0.002095
R_{sh}	15.92829	17.3181	18.29602	62.21173	22.08826	995.2841
N	1.520303	1.536179	1.585073	1.697509	1.617942	1.655169
Temps écoulé	35.4192	84.92486	70.82105	109.9931	56.22952	79.7934

Tableau 10. Paramètres extraits optimaux de STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	SDO	MRFO	ABO	PSO	FPA
Exécution	39	2	1	28	23	17
I_{ph}	7.469177	7.464503	7.473341	7.534997	7.47682	7.505643
I_o	3.41×10^{-6}	3.85×10^{-6}	4.02×10^{-6}	4.12×10^{-5}	6.62×10^{-5}	2.27×10^{-5}
R_s	0.004298	0.004239	0.004211	0.002747	0.003932	0.003185

	BO	SDO	MRFO	ABO	PSO	FPA
R_{sh}	43.80992	995.2117	45.17533	1500	1500	549.1424
N	1.292478	1.303346	1.307213	1.556064	1.353659	1.485287
Temps écoulé	23.52998	45.85164	48.23066	36.85526	25.1744	18.64645

Tableau 11. Résultats expérimentaux et calculés STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STM6-40/36					
V(V)	*I(A)*	BO	MRFO	SDO	ABO	PSO	FPA
0	1.663	1.6635	1.66292117	1.66344	1.65765939	1.66166384	1.65349868
0.118	1.663	1.6632	1.66235792	1.6630516	1.65760617	1.66140721	1.65349106
2.237	1.661	1.6539	1.65895166	1.6598245	1.65664049	1.65873025	1.65341586
5.434	1.653	1.6506	1.65375291	1.6548838	1.65506168	1.65460749	1.65319671
7.26	1.65	1.6454	1.65063729	1.6518961	1.65390403	1.6520646	1.652842
9.68	1.645	1.6392	1.64571343	1.6470932	1.65119355	1.64776789	1.65127889
11.59	1.64	1.6337	1.63938726	1.6408486	1.64590616	1.64174778	1.64702935
12.6	1.636	1.6273	1.6334902	1.635081	1.64014042	1.6359733	1.64187252
13.37	1.629	1.6183	1.62646658	1.6283112	1.63301323	1.62911169	1.63522206
14.09	1.619	1.6031	1.61651927	1.6188745	1.62288851	1.61950807	1.62551932
14.88	1.597	1.5816	1.59943252	1.6029574	1.60577071	1.60331591	1.60875888
15.59	1.581	1.5423	1.57518899	1.5807788	1.5821133	1.58082591	1.585209
16.4	1.542	1.5212	1.53055692	1.5407276	1.54009977	1.5404388	1.54276731
16.71	1.524	1.4992	1.50683545	1.5195506	1.51800725	1.51911183	1.52043796

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STM6-40/36					
V(V)	*I(A)*	BO	MRFO	SDO	ABO	PSO	FPA
16.98	1.5	1.4853	1.48183471	1.4974554	1.49523214	1.4969484	1.49723574
17.13	1.485	1.4656	1.46616111	1.48359	1.48094194	1.48303494	1.48271859
17.32	1.465	1.3876	1.44377622	1.4639751	1.46095055	1.46342751	1.46224496
17.91	1.388	1.1184	1.35343767	1.3858464	1.38265855	1.38575453	1.38131947
19.08	1.118	1.104342	1.03414803	1.1150816	1.11923948	1.11894108	1.10626389
21.02	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 12. Résultats expérimentaux et calculés de STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STP6-120/36					
V(V)	*I (A)*	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
0	7.48	7.4687	7,4645	7,4733	7.53499667	7.47682032	7.50564293
9.06	7.45	7.4547	7.45583	7,4586	7.51474383	7.46641706	7.48911528
9,74	7.42	7.4488	7.4502	7,4525	7.50398719	7.4599007	7.47999877
10.32	7.44	7.4410	7.44252	7.4444	7.49036269	7.45115383	7.46824519
11.17	7.41	7.4217	7.42309	7.4243	7.45883025	7.42946015	7.44045427
11.81	7.38	7.3966	7.39775	7.3984	7.42121315	7.40175011	7.40658704
12.36	7.37	7.3633	7.36393	7,3641	7.37442691	7.36534759	7.36373638
12.74	7.34	7.3309	7.33121	7.3311	7.33153747	7.33056871	7.32394556
13.16	7.29	7.2820	7.28239	7.2819	7.27052867	7.27924173	7.26668027
13.59	7.23	7.2163	7.21423	7.2133	7.18942674	7.20839009	7.18965044
14.17	7.1	7.08109	7.08023	7,0789	7.03923158	7.07100522	7.04490598
14.58	6,97	6.95052	6.94924	6.9477	6.89883003	6.93812038	6.90818887
14.93	6,83	6.8054	6.80384	6.8022	6.74850564	6.7918385	6.7605129
15h39	6,58	6.54725	6.54573	6.5442	6.49339037	6.53475866	6.50705075
15.71	6.36	6.33087	6.32944	6.328	6.28040097	6.31954286	6.29532996

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STP6-120/36					
V(V)	*I (A)*	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
16.08	6	6.00198	6.00135	6.0005	5.97129385	5.9962751	5.98459042
16.34	5,75	5.7926	5.75059	5,7499	5.72762172	5.74728621	5.74139715
16.76	5.27	5.17707	5.17938	5.1801	5.21451528	5.19032851	5.21929979
16.9	5.27	5.08653	5.08656	5,0863	5.08001074	5.08657396	5.09490568
17.1	4,79	4.72634	4.72912	4.7302	4.77295366	4.74256746	4.77991903
17h25	4.56	4.52339	4.5251	4.5257	4.5562867	4.53400965	4.56675918
17h41	4.29	4.22203	4.22533	4.2267	4.28399121	4.24178211	4.29118311
17h65	3,83	3.70965	3.71469	3,7169	3.81595553	3.74023422	3.81627385
19.21	0	0	0	0	0	0	0

3. Résultats pour STM6-40/36 et STP6-120/36 à double diodes :

Les résultats extraits des paramètres inconnus pour STM6-40/36 et STP6-120/36 sont présentés dans le tableau 13 et le tableau 14, respectivement. Ces résultats sont sélectionnés parmi les exécutions qui produisent le FF minimum pour chaque algorithme parmi les 50 exécutions indépendantes. Ces valeurs sont remplacées dans l'équation (4) pour obtenir la valeur de courant calculée comme indiqué dans le tableau 15 et le tableau 16. Les résultats obtenus dans le tableau 13 et le tableau 14 ont ensuite été utilisés pour comparer l'adéquation de la courbe I-V de STM6-40/36 et STP6-120/36 avec les données expérimentales. Il est évident que le paramètre calculé par BO correspond bien aux paramètres expérimentaux. Les chiffres révèlent clairement que l'algorithme BO a les meilleures performances en termes de temps de simulation minimal pour STM6-40/36 mais pas pour STP6-120/36 tout au long des 50 exécutions. FPA a atteint le plus petit temps de simulation pour STP6-120/36 mais sans atteindre le FF minimal. Ceci est une indication de convergence prématurée par l'algorithme FPA.

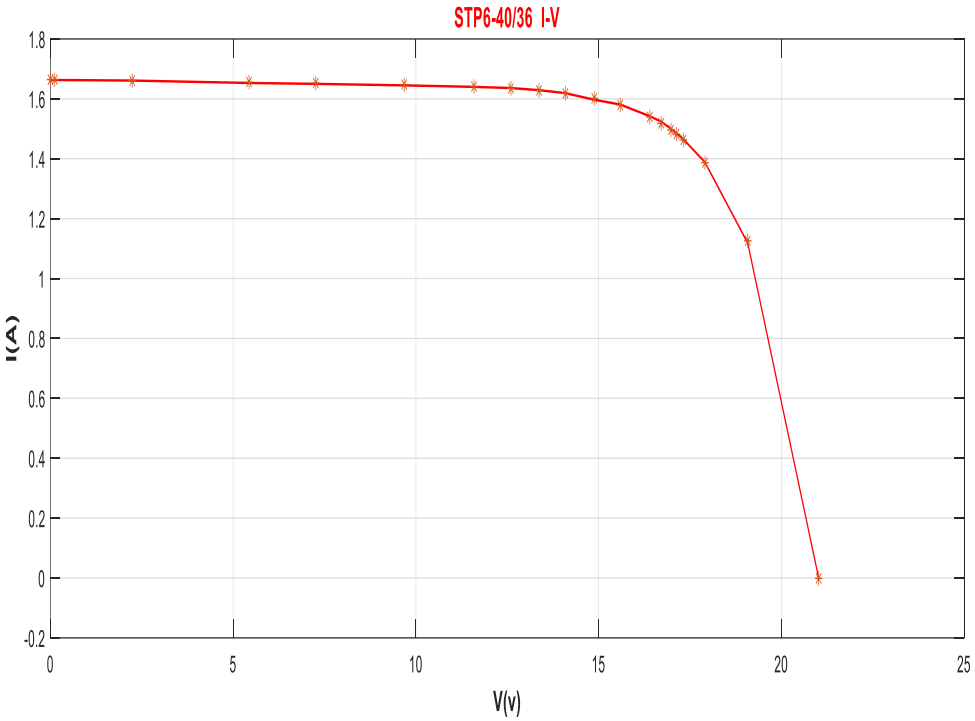


FIGURE.III.5.STP6-40/36

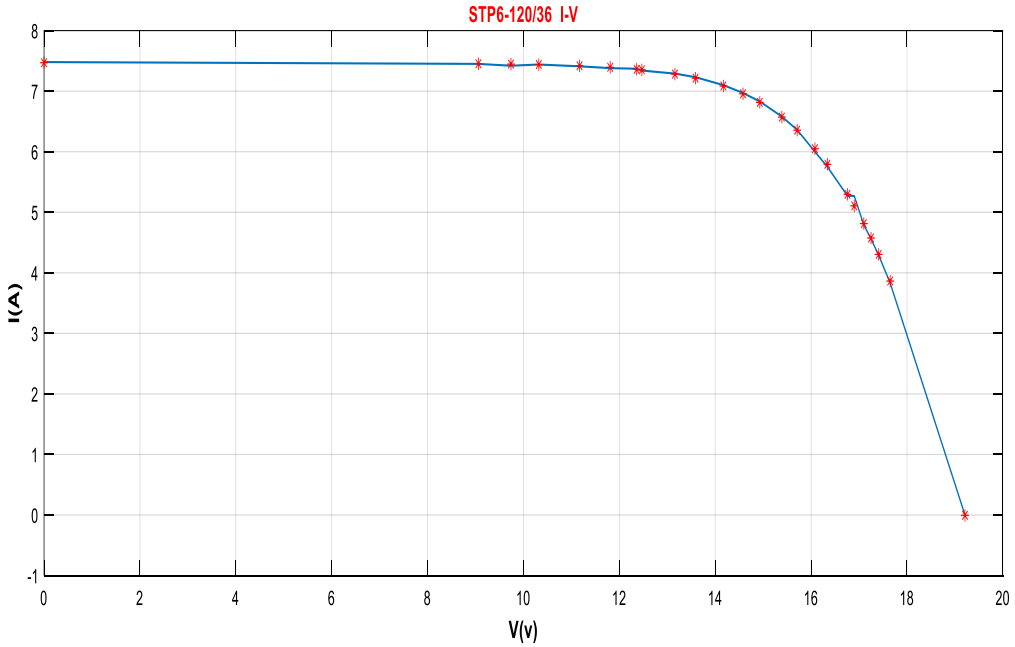


FIGURE.III.6.STP6-120/36 I-V.

Tableau 13. Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
Exécution	18	24	44	9	41	25
I_{ph}	1.664441	0.7607691048	0.7607743683	0.7607204717	0.760798850	0.7602945481
I_{o1}	0.000004275165	0.0000002333	0.0000002277	0.0000000000	0.0000006947	0.0000005723
R_s	0.0289508	0.0366017040	0.0366398681	0.0355916525	0.0367859727	0.0341192527
R_{sh}	643.9205	54.994252147	54.834589923	58.378735135	54.7912151386	97.089233631
n_1	1.626288	1.4556162769	1.4535325349	2.0000000000	2.0000000000	1.5406252960
I_{o2}	0	0.0000003357	0.0000003670	0.0000003859	0.0000002279	0.0000000000
n_2	9.350445	1.8237018689	1.8320837572	1.4992684406	1.4514809290	1.3501730772
Temps écoulé	0.833446	67.52181	62.96226	249.60160	60.90088	81.40994

Tableau 14. Paramètres extraits optimaux de STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
Exécution	18	24	44	9	41	25
I_{ph}	7.470936	0.7607691048	0.7607743683	0.7607204717	0.760798850	0.7602945481
I_{o1}	3.256266^{e}-06	0.0000002333	0.0000002277	0.0000000000	0.0000006947	0.0000005723
R_s	0.155266	0.0366017040	0.0366398681	0.0355916525	0.0367859727	0.0341192527
R_{sh}	969.1424	54.994252147	54.834589923	58.378735135	54.7912151386	97.089233631

	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
n_1	1.288559	1.4556162769	1.4535325349	2.0000000000	2.0000000000	1.5406252960
I_{o2}	0	0.0000003357	0.0000003670	0.0000003859	0.0000002279	0.0000000000
n_2	50	1.8237018689	1.8320837572	1.4992684406	1.4514809290	1.3501730772
Temps écoulé	0.048976	67.52181	62.96226	249.60160	60.90088	81.40994

Tableau 15. Résultats expérimentaux et calculés STM6-40/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		***I(A)* calculé pour STM6-40/36**					
V(V)	***I(A)***	**BO**	**MRFO**	**SDO**	**ABO**	**PSO**	**FPA**
0	1.663	1.6623	1.66292117	1.66344	1.65765939	1.66166384	1.65349868
0.118	1.663	1.6622	1.66235792	1.6630516	1.65760617	1.66140721	1.65349106
2.237	1.661	1.6508	1.65895166	1.6598245	1.65664049	1.65873025	1.65341586
5.434	1.653	1.6518	1.65375291	1.6548838	1.65506168	1.65460749	1.65319671
7.26	1.65	1.6507	1.65063729	1.6518961	1.65390403	1.6520646	1.652842
9.68	1.645	1.6477	1.64571343	1.6470932	1.65119355	1.64776789	1.65127889
11.59	1.64	1.6311	1.63938726	1.6408486	1.64590616	1.64174778	1.64702935
12.6	1.636	1.6320	1.6334902	1.635081	1.64014042	1.6359733	1.64187252
13.37	1.629	1.6259	1.62646658	1.6283112	1.63301323	1.62911169	1.63522206
14.09	1.619	1.6142	1.61651927	1.6188745	1.62288851	1.61950807	1.62551932
14.88	1.597	1.589	1.59943252	1.6029574	1.60577071	1.60331591	1.60875888
15.59	1.581	1.5734	1.57518899	1.5807788	1.5821133	1.58082591	1.585209
16.4	1.542	1.5303	1.53055692	1.5407276	1.54009977	1.5404388	1.54276731
16.71	1.524	1.5041	1.50683545	1.5195506	1.51800725	1.51911183	1.52043796

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STM6-40/36					
V(V)	***I(A)***	**BO**	**MRFO**	**SDO**	**ABO**	**PSO**	**FPA**
16.98	1.5	1.472	1.48183471	1.4974554	1.49523214	1.4969484	1.49723574
17.13	1.485	1.4524	1.46616111	1.48359	1.48094194	1.48303494	1.48271859
17.32	1.465	1.4330	1.44377622	1.4639751	1.46095055	1.46342751	1.46224496
17.91	1.388	1.356	1.35343767	1.3858464	1.38265855	1.38575453	1.38131947
19.08	1.118	1.1260	1.03414803	1.1150816	1.11923948	1.11894108	1.10626389
21.02	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 16. Résultats expérimentaux et calculés STP6-120/36 pour BO, MRFO, SDO, ABO, PSO et FPA.

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STP6-120/36					
V(V)	***I (A)***	**BO**	**MRFO**	**ODD**	**ABO**	**OSP**	**APP**
0	7.48	7.46318	7,4645	7,4733	7.53499667	7.47682032	7.50564293
9.06	7.45	7.45368	7.45583	7,4586	7.51474383	7.46641706	7.48911528
9,74	7.42	7.44885	7.4502	7,4525	7.50398719	7.4599007	7.47999877
10.32	7.44	7.44105	7.44252	7.4444	7.49036269	7.45115383	7.46824519
11.17	7.41	7.42162	7.42309	7.4243	7.45883025	7.42946015	7.44045427
11.81	7.38	7.39646	7.39775	7.3984	7.42121315	7.40175011	7.40658704
12.36	7.37	7.3608	7.36393	7,3641	7.37442691	7.36534759	7.36373638
12.74	7.34	7.3304	7.33121	7.3311	7.33153747	7.33056871	7.32394556
13.16	7.29	7.2808	7.28239	7.2819	7.27052867	7.27924173	7.26668027
13.59	7.23	7.2141	7.21423	7.2133	7.18942674	7.20839009	7.18965044
14.17	7.1	7.0801	7.08023	7,0789	7.03923158	7.07100522	7.04490598
14.58	6,97	6.9365	6.94924	6.9477	6.89883003	6.93812038	6.90818887
14.93	6,83	6.8046	6.80384	6.8022	6.74850564	6.7918385	6.7605129
15h39	6,58	6.5313	6.54573	6.5442	6.49339037	6.53475866	6.50705075

Données expérimentales		*I(A)* calculé pour STP6-120/36					
V(V)	*I (A)*	BO	MRFO	ODD	ABO	OSP	APP
15.71	6.36	6.3155	6.32944	6.328	6.28040097	6.31954286	6.29532996
16.08	6	6.00122	6.00135	6.0005	5.97129385	5.9962751	5.98459042
16.34	5,75	5.7224	5.75059	5,7499	5.72762172	5.74728621	5.74139715
16.76	5.27	5.1958	5.17938	5.1801	5.21451528	5.19032851	5.21929979
16.9	5.27	5.1061	5.08656	5,0863	5.08001074	5.08657396	5.09490568
17.1	4,79	4.7127	4.72912	4.7302	4.77295366	4.74256746	4.77991903
17h25	4.56	4.5749	4.5851	4.5257	4.5562867	4.53400965	4.56675918
17h41	4.29	4.3041	4.32533	4.2267	4.28399121	4.24178211	4.29118311
17h65	3,83	3.8638	3.71469	3,7169	3.81595553	3.74023422	3.81627385
19.21	0	-0.0048	0	0	0	0	0

6. Conclusions :

Le but primordiale recherché dans ce travaille et l'identification optimale des caractéristiques d'un panneau photovoltaïque. Plusieurs méthodes d'identification sont proposées.

Dans ce chapitre nous avons donné des résultats de courant calculer et comparais avec d'autre méthodes a une seule diode et a deux diodes et on a trouvé que l'optimiseur bonobo est le plus efficace.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion :

Cette étude présente la nouvelle application de l'algorithme BO pour l'extraction des paramètres PV. La performance de l'algorithme est comparée à d'autres algorithmes qui sont rapportés dans la littérature pour l'extraction des paramètres PV. Il ressort des résultats que BO a obtenu la meilleure précision. En ce qui concerne la fonction de fitness, le BO a atteint la fonction de fitness la plus basse en utilisant le RMSE. Le temps le plus court de l'algorithme BO pour extraire les paramètres du système PV démontre également sa robustesse et son efficacité. De plus, la cohérence de l'algorithme BO a également renforcé sa résolution pour l'extraction des paramètres PV par rapport aux cinq autres algorithmes. Alors que l'optimiseur BO discuté dans ce Mémoire s'est avéré plutôt efficace, il peut ne pas être aussi efficace dans les problèmes multi-objectifs. D'autres objectifs qui ont un impact sur les performances des systèmes PV devraient être inclus dans les recherches futures. Il serait également intéressant d'utiliser BO pour résoudre d'autres problèmes d'optimisation. [3]

REFERENCES & BIBLIOGRAPHIE

[1]Amiour, Djihane Hamza, Abir. Commande MPPT pour les systèmes photovoltaïques en utilisant l'optimisation par essaim des particules PSO, 79p.Thèse de master : Energies renouvelable : Blida, Université SaadDahlab : 2021.

[2]Dr. MORSLI, Abdelkader. Système de conversion d'énergie photovoltaïque, 59p. Cours des énergies renouvelable : énergies renouvelables : Médéa, UNIVERSITE YAHYA Farés : 2018.

[3]Abdulrahman A.Al Shamaa'a, Hammed O. Omotoso, Fahd A. Alturki. Parameter Estimation of Photovoltaic Cell/Modules Using Bonobo Optimizer. Mdpi.com [en ligne]. 2022, vol., 15n° 140, [20 juillet 2021]. P.140-141. Disponible sur [Google Scholar].

[4]Otsman, Ouissem .Diboune, Yaakoub. Identification des paramètres d'un panneau photovoltaïque à l'aide d'un algorithme de colonie de Fourmies.

[6] Mohammed, Telidjane. Modélisation des panneaux photovoltaïques et adaptation de la cyclostationarité pour le diagnostic. 132p. Thèse de Doctorat : Traitement de signal : Lyon, Université de Jean Monnet Saint-Etienne : 2017.

[7] C. CABAL, « Optimisation Energétique de l'Etage d'Adaptation Electronique Dédie à la Conversion Photovoltaïque », Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III, France, 2008

[8] S. A. TADJER, « Etude d'un Système de Compensation d'Harmonique En Utilisant un Générateur Photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université Mouhamed Bougara-Boumerdes, Algérie, 2008.

[9] Arbouche, Riadh .Aichi, Mohieddine. Identification des paramètres d'un module photovoltaïque, 78p.Thèse de master : électrotechnique Industrielle : Ouargla, UNIVERSITE KASDI MERBAH : 2022.