

République Algérienne démocratique et populaire
Université kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Nouvelles Technologies de l'information et de la
communication
Département de l'électronique et des télécommunications



Domaine : Science et technologie

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et système

Présente par : moumene said

Moumene issam eddine ayoub

Thème:

Green Triple Energy

Devant le jury

Mem. KARA FOUZIA

Président

Mr. MELHEGUEGUE NACER

Examineur

Mr. DJALLAL ABDESSEMED

Encadreur

Mr. OUARGHLI MOHAMED RIADH

Co Encadreur

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1420 هـ

إهداء

إلى والدي العزيز، إلى أروع إنسان وأعظم معلم، الذي كان لي السند والمرشد في جميع مراحل حياتي. إلى من علمني أن النجاح ليس مجرد هدف، بل هو رحلة مستمرة من الكفاح والتضحية. أنت الذي بذلت لأجلي كل ما في وسعك، وسقيتيني من معين حبك واهتمامك. لم تكن فقط الأب، بل كنت مرشدي، وصديقي، ونبراس في الحياة. هذا العمل هو ثمرة دعمك اللامحدود وركيزتي التي لا تهتز. شكراً لك من أعماق قلبي على كل لحظة من دعمك وإلهامك، وعلى كل كلمة دفعتني للأمام. إلى زميلي العزيز، والدي الذي سيتخرج معي، الذي كنت ولا زلت نعمة المساعد والأخ، في هذه الرحلة الطويلة. لقد شاركنا معاً آمالنا، وصرنا، وما نحن اليوم نحتفل سوياً بالنجاح الذي تحقق بفضل إيماننا ببعضنا. أنت لم تكن فقط زميل دراسة، بل شريك في هذا الإنجاز الكبير، وأعتبر نفسي محظوظاً لأنني سلكت هذا الطريق جنباً إلى جنب معك. أهدي هذا العمل إلى أساتذتي الأجلاء الذين لهم الفضل الكبير في تشكيل معرفتي وصقل شخصيتي الأكاديمية: عشي محمد السعيد، الذي زرع في نفسي شغف البحث وفتح لي آفاقاً واسعة من الفهم والمعرفة. شاعة مراد، الذي كان دائماً مصدر إلهام لي بتوجيهاته العميقة ورؤيته الثاقبة. رياض ورقلي، الذي كان له دور محوري في تطوير مهاراتي الأكاديمية والعلمية، وجعلني أرى الأمور بمنظور أوسع وأشمل. أشكرهم على جهودهم العظيمة وعطائهم اللامحدود، فبفضلهم وصلت إلى هذه المرحلة. أهدي هذا العمل أيضاً إلى جمعية دارتك للتكنولوجيا والذكاء الاصطناعي، التي كانت دوماً داعمة لي في مسيرتي العلمية، وإلى رئيس مصلحة الأنشطة الثقافية والعلمية، صالح محمد، وحكوم مختار، الذين كان لهم دور عظيم في تعزيز الأنشطة الثقافية والعلمية، وأسهموا بشكل فعال في إثراء تجربتي الأكاديمية. كما لا أنسى، وبكل تقدير، إسلام حبي، الذي كان لي خير رفيق في هذا المشروع، وإسلام حبي الذي منحني دعمه الكامل في كل خطوة. هشام زيدوري الذي سهر معي، وقدم لي الحلول القيمة التي ساعدتني في تجاوز التحديات. وهدي، التي كانت لي نعمة الصديقة، لم تبخل بتقديم النصيحة والمساعدة في كل مرحلة من مراحل العمل. وأهدى هذا العمل إلى أمي الحبيبة، التي لا يمكنني أن أصف حجم حبها وعطاها اللامحدود. إلى من قدمت حياتها لي، ورأيت فيها الأمل والقوة، وكنت دوماً السند الذي لا يميل. دعواتي لك أن يحفظك الله ويبارك في عمرك كما باركت في حياتي. لا كلمات تكفي لوصف ما قدمته لي، ولكن هذا العمل هو قليل من كثيرٍ تقديراً لك. وأيضاً، أهدي هذا العمل إلى إخوتي الأعزاء الذين كانوا لي خير رفقاء الدرب، ورفعوا من معنوياتي في أصعب اللحظات، وكانوا دائماً الجسر الذي عبرت عليه نحو النجاح. وأرحم برحمتك الواسعة من كانت سبباً في نجاحي، التي وعدتني، ولكن شاءت الأقدار أن تفارقني في هذه اللحظة، فلك مني كل الدعاء والمحبة. وأهدى هذا العمل إلى مشايخي الأفاضل في القرآن والدين، الذين كانت لهم بصماتهم الواضحة في تشكيل شخصيتي الروحية والعلمية. لكم مني خالص الشكر والدعاء بأن يوفقكم الله ويرزقكم العلم النافع ويبارك في جهودكم. أنتم من زرعتم في حب العلم والالتزام بالدين، ولا يسعني إلا أن أقدم لكم جزيل الشكر والتقدير. وأخيراً، أهدي هذا العمل إلى أصدقائي الأعزاء الذين كانوا لي الدعامة التي لا تنهار في كل مراحل دراستي، وإلى المجتمع الأكاديمي وكل المهتمين بمجال الطاقة المتجددة، أملاً أن أكون قد قدمت مساهمة صغيرة في مسيرة البحث والابتكار التي لن تتوقف.

Table des matières

إهداء.....	I
Table de figures.....	I
Résumé.....	III
INTRODUCTION GENERAL :	1
CHAPITRE I :.....	3
LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE POPULAIRE	3
CHAPITRE I: LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE POPULAIRES	4
Introduction :	4
I .1 Sources d'énergie renouvelable populaires	4
I .1.1 ÉNERGIE SOLAIRE :	4
I .1.2 ÉNERGIE ÉOLIENNE :.....	4
I .1.3 ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE :	5
I .1.4 HYDROÉLECTRICITÉ :.....	6
I .1.5 Énergie marine :	7
I .1.6 BIOÉNERGIE :	7
I .2 ÉNERGIE SOLAIRE	8
I.2.1 Définition de l'énergie solaire:	8
I .2.2 Historique des panneaux photovoltaïques.....	8
I .2 .3 Le principe de fonctionnement des panneaux	9
I .2.4 Les diverses types de panneaux photovoltaïques et thermiques :	9
I .2.5 Les divers panneaux photovoltaïques solaires :.....	10
I .3 Les éoliennes.....	15
I.3.1 Définition de l'énergie éolienne:	15
I.3.2 Historique :	15
I. 3.3 DESCRIPTION :	16
I. 3. 4 Les principales technologies éoliennes :.....	17
I .3. 5 Les différents types d'éoliennes :	17
I .4 Les vagues :	20
I.4.1 Définition de l'énergie des vagues:	20
I.4.2 Historique :	21
I.4.3 Principe de fonctionnement :.....	21
I.4.4 Types de systèmes d'exploitation de l'énergie vagues :	21

I .5 Le réseau complet de production d'énergie à partir des trois éléments électriques:	22
Conclusion :	24
CHAPITRE II: Étapes Réalisation de projet	26
Introduction :	26
II .1 Cote matériel.....	26
II .1. 1 Panneau solaire :	26
II 1.2 Esp 32 :	27
II .1. 3. Capteur de courant :	27
II ..14 Capteur de tension :	27
II. 1.5 Générateur AC :.....	27
II..16. Régulateur de tension : XL6009 DC-DC :.....	28
II .1.7 LCD i2c :	28
II.1.8 Relay :	28
II.1.9 Diode :.....	28
II .1.10 Battre lithium :.....	29
II .1.11 BMS (Système de gestion de batterie) :.....	29
II. 1.12 Le condensateur :	29
II. .113 SAVUNUIS :	29
II .2. Côté Logiciel	31
II .2 .1. Utilisation du logiciel Arduino IDE dans le projet :	31
II .2 .2. Utilisation du logiciel Proteus pour la conception des circuits et la simulation :.....	31
II .2 .3. Utilisation du logiciel MATLAB et la simulation :	32
II .3. Étapes de simulation de projet	32
II .3 .1. Simulation de système d'énergie solaire :.....	32
II. 3 .2. Simulation de système d'énergie éolien :	33
II .3.3 Simulation de système d'énergie global :	36
II .3.4. Simulation de système Green Triple Energie avec MATLAB SIMULINK :	37
Partie 1 : Générateur photovoltaïque (PV Array)	37
Partie 2 : Étage de conversion DC-DC	37
Partie 3 : Contrôle MPPT (Maximum Power Point Tracking)	38
II .4. Explication de l'algorithme Perturb and Observe (P&O) pour le MPPT	39
II.4. 1. Principe de base	39
II .5. Étapes de fonctionnement	39
II .6 Comparaison les résultats de Simulink et Proteus :.....	42
II .7. Résultat énergie Éolienne :	43

II .8 Total énergie :	44
CONCLUSION :	47
CONCLUSION GENERAL :	48
References	50

Table de figures

Figure 1 : les sources d'énergie.....	4
Figure 2 : énergie géothermique.....	5
Figure 3 : énergie hydroélectrique	6
Figure 4: énergie marine	7
Figure 5 : Les panneaux photovoltaïques	8
Figure 6 : fonctionnement d'un panneau solaire	9
Figure 7 : panneau monocristallin.....	10
Figure 8 : panneau polycristallins	11
Figure 9 : Éoliennes	15
Figure 10 : Type SAVONIUS.....	19
Figure 11 : Type DARRIEUS	19
Figure 12 : Type à voilure tournante	20
Figure 13 : l'énergie des vagues	20
Figure 14 : Le réseau complet.....	22
Figure 15 : Panneau solaire.....	26
Figure 16 : esp 32	27
Figure 17 : AC712	27
Figure 18 : Voltage sensor	27
Figure 19 : générateur	27
Figure 20 : XL6009 DC-DC	28
Figure 21 : LCD 2004	28
Figure 22 : Relay	28
Figure 23 : diode.....	28
Figure 24 : battre lithium	29
Figure 25 : BMS	29
Figure 26 : condensateur	29
Figure 27 : SAVUNIUS	29
Figure 28 : Arduino IDE	31
Figure 29 : Proteus.....	31
Figure 30 : Matlab Simulink.....	32
Figure 31 : Simulation d'énergie solaire	33

Figure 32 : simulation d'énergie éolien	34
Figure 33 : Circuit de conversion AC-DC 12 /5 volte	35
Figure 34 : LM7805	35
Figure 35 : Schéma global de projet.....	36
Figure 36 : system de panneau solaire	37
Figure 37 : Buck Converter	38
Figure 38 : (P&O) pour le MPPT	39
Figure 39 : Puissance Entre Et Sortie	40
Figure 40 : courant entrée et sortie	41
Figure 41 : Voltage entrée et sortie	41
Figure 42 : Comparaison les résultats de Simulink et Proteus	42
Figure 43 : Valeurs énergie Éolienne	43
Figure 44 : Valeurs Total	44
Figure 45 : prototype	46
Figure 46 : le projet final.....	46

Résumé

Le projet triple-green Energy est un système hybride innovant qui utilise le soleil, le vent et les vagues pour produire une énergie propre et durable. Il vise à électrifier les zones à faible couverture comme les plages, les routes ou les gares, en proposant une solution portable, intelligente (Arduino) et écologique. Grâce à son design simple et moderne, il permet d'éclairer et de recharger les téléphones dans des environnements isolés, tout en s'adaptant efficacement aux conditions naturelles. Malgré les défis, le projet a été mené à bien.

Mot clé : MPPT, MATLAB, Arduino IDE, Proteus, convertisseur abaisseur DC-DC, BMS, Savonius

Abstract

The triple-green Energy project is an innovative hybrid system that uses the sun, wind and waves to produce clean and sustainable energy. It aims to electrify areas with low coverage such as beaches, roads or train stations, by offering a portable, intelligent (Arduino) and ecological solution. Thanks to its simple and modern design, it allows lighting and charging phones in isolated environments, while adapting effectively to natural conditions. Despite the challenges, the project was successfully completed.

Key Word: MPPT, MATLAB, Arduino IDE, Proteus, BMS, Savonius , Buck converter DC DC

المخلص

يُجسّد مشروع "الطاقة الثلاثية الخضراء" تصوّرًا رائدًا لنظام طاقة هجين، يستمد قوته من ثلاثة مصادر طبيعية متجددة: الشمس، الرياح، والأمواج. ويأتي هذا العمل استجابةً لحاجة ملحة في المجتمعات التي تعاني من ضعف التغطية الكهربائية، لا سيما في المناطق النائية، محطات السفر، الشواطئ، الطرقات، والإدارات العمومية. لا يقتصر المشروع على مجرد توليد الكهرباء، بل يتعدى ذلك ليُقَدِّم حلاً بيئيًا واقتصاديًا مستدامًا، يعتمد على أحدث التقنيات مثل الطباعة ثلاثية الأبعاد والأنظمة الذكية للمراقبة والتحكم المعتمدة على الأردوينو، والتي تتيح تتبع أداء كل مصدر طاقة بدقة واستقلالية. يستغل هذا النظام الظروف البيئية بأقصى كفاءة؛ فيستخر أشعة الشمس خلال النهار، ويستفيد من الرياح الطبيعية أو تلك الناتجة عن حركة السيارات في الطرقات والمناطق الصحراوية، كما يُوظف حركة الأمواج في السواحل أو المجاري لتوليد طاقة نظيفة ومستدامة. وقد صُمِّم النظام ليكون محمولًا، سهل التركيب، قليل الصيانة، مما يجعله مثاليًا لتوفير الإنارة العامة وشحن الهواتف في البيئات المفتوحة ومواقع التخيم، والشركات، والجامعات، وحتى الفضاءات البحرية. وقد توصلنا في الأخير الى نتيجة الحمدالله رغم الصعوبات التي واجهتها والمتعلقة بالرياح والشمس والمولدات بالإضافة الى الألواح الشمسية الغير متواجدة.

كلمات مفتاحية: ماطلاب , ببنية التطوير أردوينو , نظام ادار البطارية، بروتيوس، متتبع النقطة القصوى، محول باك (مستمر - مستمر) ,

سافونيوس

INTRODUCTION GENERAL :

Les énergies renouvelables proviennent de sources naturelles qui se régénèrent rapidement, comme le soleil et le vent, et sont présentes partout dans l'environnement. En revanche (1), les énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) ne se renouvellent pas et prennent des millions d'années à se former. Leur combustion libère des gaz à effet de serre nocifs, notamment le dioxyde de carbone. (2) (3) Les sources d'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique du projet de tri-énergie verte ont été intégrées dans une unité de puissance hybride intégrée. Le système est basé sur une commande électronique intelligente utilisant une carte Arduino comme unité centrale de traitement, chargée d'analyser et de réguler les performances de chaque alimentation individuelle. Des capteurs AC 712 sont utilisés pour surveiller le courant électrique sortant de chaque source, ce qui permet au système d'évaluer l'efficacité de chaque unité immédiatement et individuellement. Pour maximiser l'utilisation de l'énergie produite, l'algorithme MPPT (maximum energy point tracking) est intégré, ce qui permet d'extraire le plus d'énergie possible même dans des conditions non idéales telles qu'un faible rayonnement solaire, une vitesse de vent fluctuante ou un faible débit d'eau. D'autre part, le module de relais est inclus pour activer la commutation intelligente entre différentes sources et contrôler si elle est trop élevée ou trop faible, en fonction des priorités du système et de l'état des batteries. Quant au système de gestion de la batterie, il s'agit d'un élément essentiel pour assurer la sécurité des batteries rechargeables, car il protège le système des surcharges ou des décharges profondes, en équilibrant les cellules de la batterie et en assurant une surveillance thermique et constante. Tous ces composants travaillent à l'unisson pour faire de green triple Energy une solution intégrée et efficace dans le domaine des énergies renouvelables, offrant une indépendance énergétique durable aux zones reculées, aux stations publiques et aux petites entreprises à la recherche de solutions propres et fiables



Figure 1 : les sources d'énergie

. Nous maintenant parler de la méthode de réalisation du projet, qui est divisée en deux parties, la définition des pièces électroniques utilisées et de leur fonctionnement et le côté marketing du projet. Dans le premier chapitre, nous parlerons du système hybride qui contient de l'énergie solaire, éolienne et houlomotrice, et le deuxième chapitre, nous serons divisés en la partie simulation du programme Proteus et les résultats obtenus par rapport aux résultats de la simulation, en plus de ce chapitre, la partie business model, dont nous parlerons de la façon de commercialiser et de vendre ce système.

CHAPITRE I :

**LES SOURCES D'ENERGIE
RENOUVELABLE POPULAIRE**

CHAPITRE I: LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

Introduction :

Dans ce chapitre, nous parlerons des types d'énergies renouvelables, en particulier du système hybride qui contient de l'eau, de l'énergie éolienne et solaire, où nous parlerons des types de panneaux solaires et de leur mécanisme de fonctionnement, et nous parlerons des éoliennes et des éoliennes, leurs types, formes et mécanisme de fonctionnement.

I.1 Sources d'énergie renouvelable :

I.1.1 ÉNERGIE SOLAIRE :

La ressource énergétique la plus abondante est l'énergie solaire, qui peut même être utilisée lorsque le ciel est couvert. Le taux auquel l'énergie solaire est captée par notre planète est approximativement 100000 fois plus rapide que le rythme de consommation énergétique de l'humanité. (4) (1) Les technologies solaires autorisent la production de chaleur, de fraîcheur, d'éclairage naturel, d'électricité et de combustibles pour une variété d'utilisations. Elles visent à transformer la lumière solaire en électricité, soit par l'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques, soit via des miroirs qui focalisent le rayonnement du soleil. (5) Bien que la quantité d'énergie solaire varie d'un pays à l'autre, l'énergie solaire directe peut jouer un rôle significatif dans le mix énergétique de chaque nation. (6) (2) Au cours de la dernière décennie, les frais de production des panneaux solaires ont connu une baisse spectaculaire : ils ne sont plus seulement accessibles financièrement, mais ils représentent souvent la source d'électricité la plus économique. Les panneaux photovoltaïques ont une longévité approximative de 30 ans et présentent une variété de couleurs en fonction du matériau utilisé pour leur production. (7)

I.1.2 ÉNERGIE ÉOLIENNE :

En matière d'énergie éolienne, la méthode repose sur l'utilisation de l'énergie cinétique produite par le vent à travers d'immenses éoliennes positionnées sur des terrains (éoliennes terrestres) ou en mer (éoliennes maritimes). Bien que l'énergie éolienne soit exploitée depuis des milliers d'années, les technologies terrestres et maritimes ont connu une évolution ces dernières années visant à optimiser la production d'électricité,

grâce à des turbines de hauteur accrue et des rotors de diamètre supérieur. (8) (2) Malgré les fluctuations de la vitesse du vent d'une région à l'autre, le potentiel technique de l'énergie éolienne à l'échelle mondiale dépasse celui de la production d'électricité actuelle. Dans la majorité des zones, ce potentiel est largement suffisant pour favoriser un développement considérable de l'énergie éolienne.

De nombreuses zones du globe sont sujettes à des vents puissants, cependant les lieux les plus propices à la production d'énergie éolienne peuvent se trouver à distance. L'énergie éolienne marine offre un potentiel considérable.

I.1.3 ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE :



Figure 2 : énergie géothermique

L'énergie géothermique est l'exploitation de la chaleur provenant des profondeurs terrestres. La chaleur est obtenue à partir de réservoirs géothermiques en utilisant des puits ou d'autres techniques. (9) On désigne « réservoirs hydrothermaux » ceux qui sont naturellement assez chauds et perméables, tandis que ceux qui ont une température suffisamment élevée, mais qui sont optimisés par stimulation hydraulique, sont qualifiés de « systèmes géothermiques améliorés ». Une fois à la surface, on peut utiliser des fluides de diverses températures pour générer de l'électricité. Les méthodes de production d'électricité à partir de réservoirs hydrothermaux sont éprouvées et sûres elles ont démontré leur efficacité pendant plus de cent ans. (9) (10)

(11) .

I.1.4 HYDROÉLECTRICITÉ :

Dans le cas de l'hydroélectricité, c'est l'énergie de l'eau qui descend des altitudes élevées vers les altitudes plus basses qui est mise à profit. La production peut être réalisée à partir de réservoirs et de cours d'eau. Les centrales hydroélectriques à réservoir s'appuient sur l'eau conservée dans un réservoir, alors que les centrales hydroélectriques de type fil de l'eau tirent parti de l'énergie dérivée du courant disponible dans la rivière. (12) Les bassins des centrales hydroélectriques sont généralement multifonctionnels : ils délivrent de l'eau potable et de l'eau pour l'irrigation ; ils permettent de gérer les crues et les sécheresses, tout en garantissant des services de navigation et un approvisionnement énergétique. À l'heure actuelle, l'hydroélectricité représente la principale source d'énergie renouvelable dans le domaine de l'électricité. Elle repose



Figure 2 : énergie hydroélectrique

sur des régimes de pluie habituellement constants et peut souffrir de sécheresses causées par les variations climatiques ou les modifications des écosystèmes affectant ces mêmes régimes. (12) (13) Les installations requises pour la production d'énergie hydroélectrique peuvent aussi induire des conséquences négatives sur les écosystèmes. Ainsi, beaucoup estiment que les petites centrales hydroélectriques représentent une option plus écologique et particulièrement appropriée pour les communautés situées dans des zones éloignées.

En raison de la richesse actuelle de l'Algérie en hydrocarbures, l'eau est utilisée de manière limitée pour produire de l'énergie électrique. Parmi les vingt ,trois centrales hydroélectriques en sa possession, certaines ont été déclassées, d'autres mises hors service, sans compter celles qui nécessitent une modernisation de l'équipement. Le seul aménagement qui opère de de façon constante et régulière est-ce lui de DARGUINA .

I.1.5 Énergie marine :

L'énergie marine provient de technologies exploitant l'énergie cinétique et thermique de la mer (comme les vagues ou les courants) pour générer de l'électricité ou de la chaleur. Le développement des systèmes d'énergie marine n'est encore qu'à ses balbutiements et plusieurs prototypes de dispositifs pour les vagues et les courants marins sont actuellement en cours d'examen.



Figure 4 : énergie marine

La capacité théorique de l'énergie marine dépasse de loin les exigences énergétiques actuelles de l'humanité. (14)

I.1.6 BIOÉNERGIE :

La biomasse, qui est composée de différents matériaux organiques tels que le bois, le charbon de bois, les excréments animaux et autres déchets d'élevage pour la production de chaleur et d'électricité, ainsi que les cultures agricoles pour les biocarburants liquides, est utilisée pour produire de la bioénergie. Dans les zones rurales, la biomasse est surtout utilisée pour cuisiner, éclairer et chauffer des espaces. Il s'agit généralement de personnes issues de milieux défavorisés dans les pays en voie de développement. (15) Les systèmes modernes de biomasse englobent les plantations ou les arbres destinés à cette utilisation, les restes issus de l'agriculture et de la sylviculture, en plus de différents types de déchets organiques. La biomasse, lorsqu'elle est brûlée pour produire de l'énergie, émet des gaz à effet de serre, mais ces émissions sont moindres par rapport à celles générées par la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole ou le gaz. Cependant, il est important de restreindre l'utilisation de la bioénergie à certaines situations, en tenant compte des possibles impacts négatifs sur l'environnement liés à l'expansion massive des cultures forestières et bioénergétiques, ainsi qu'à la déforestation et au changement d'usage des terres qui en découle. (16) (17)

I.2 ÉNERGIE SOLAIRE

I.2.1 Définition de l'énergie solaire:

Un panneau solaire est un dispositif qui exploite l'énergie solaire pour générer de l'électricité ou de la chaleur dans le but de réchauffer les bâtiments ou de fournir de l'eau chaude. (4) (5)



Figure 5 : Les panneaux photovoltaïques

I.2.2 Historique des panneaux photovoltaïques

Plus d'un siècle s'écoule l'histoire du photovoltaïque et le progrès des panneaux solaires photovoltaïques découle d'une série de découvertes dans le domaine de la science des matériaux et de la transformation de l'énergie solaire en électricité.

Le physicien français Alexandre-Edmond Becquerel découvre pour la première fois l'effet photovoltaïque en 1839. Il remarque que certaines substances, telles que le sélénium, génèrent une faible quantité d'électricité lorsqu'elles sont exposées au soleil. (18) À la fin du siècle, on développe les premières cellules solaires à base de sélénium. Encore peu performantes, elles sont principalement employées dans le domaine de la recherche. La technologie photovoltaïque a continué de progresser depuis les années 1970 en ce qui concerne son efficacité, sa durabilité et ses coûts. De nos jours, les panneaux solaires sont employés à travers le monde afin de générer de l'électricité renouvelable, ce qui favorise la transition vers des sources d'énergie plus durables et respectueuses de l'environnement. On les retrouve dans des environnements résidentiels, commerciaux et industriels. (19)

I.2.3 Le principe de fonctionnement des panneaux

Un panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques, constituées de strates de silicium. Ce matériau est crucial pour garantir l'effet photovoltaïque, qui consiste à convertir les rayons solaires en électricité. Le silicium, extrait de la silice présente dans le sable sur notre planète, est un matériau abondant. Le silicium possède une caractéristique essentielle pour la génération d'électricité : il est un semi-conducteur. Comme n'importe quel élément, il est composé d'atomes, un noyau qui gravite autour des électrons (charge négative). Quand les panneaux solaires sont soumis à la lumière, les électrons du silicium se déplacent d'un atome à un autre sans créer de courant électrique. Pour produire ce courant, il est nécessaire de doper le silicium ; une procédure qui implique d'une part un excès d'électrons et d'autre part une pénurie d'électrons. Ainsi, des matériaux sont incorporés sur les différentes strates du panneau solaire pour générer une différence de potentiel au-dessus de la couche lumineuse se trouve du phosphore, un matériau présentant plus d'électrons dans ses atomes que le silicium. Sur la couche inférieure, on retrouve le bore, un matériau qui présente moins d'électrons dans ses atomes que celui du silicium. Le panneau photovoltaïque présente donc une borne négative qui indique un excès d'électrons, tandis qu'une borne positive indique une pénurie d'électrons. Une fois le panneau éclairé par le soleil, les électrons du silicium se déplacent pour alimenter le dipôle, créant ainsi un courant électrique. Les panneaux solaires produisent un courant continu. L'onduleur convertit le produit électrique issu des panneaux en courant alternatif, qui est ensuite injecté dans le réseau électrique. (19) (20) (21)

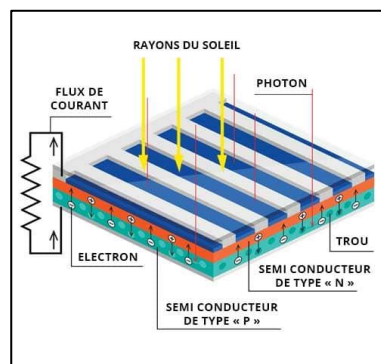


Figure 6 : fonctionnement d'un panneau solaire

I.2.4 Les diverses types de panneaux photovoltaïques et thermiques :

On distingue trois principales sortes de panneaux solaires :

Les panneaux solaires transforment la lumière solaire en électricité.

Les panneaux solaires thermiques qui génèrent de la chaleur en exploitant les rayons du soleil.

Les panneaux hybrides : ces dispositifs combinent la transformation de l'énergie solaire en électricité et en chaleur.

I.2.5 Les divers panneaux photovoltaïques solaires :

❖ Les panneaux photovoltaïques monocristallins :

Les panneaux solaires monocristallins sont les dispositifs photovoltaïques les plus efficaces disponibles sur le marché. En moyenne, avec un rendement supérieur de 20%, les panneaux solaires monocristallins surpassent ceux polycristallins d'environ 3 à 4 %. Les panneaux solaires monocristallins sont des dispositifs dotés de couches de cellules épais, fréquemment employés par les utilisateurs Leur installation solaire nécessite un espace restreint et ils accordent une grande importance à la beauté de la structure. On utilise des méthodes complexes pour produire les cellules monocristallines, comme par exemple, la création de barres monocristallines (un seul cristal) à partir du semi-conducteur de silicium, puis leur découpe en « wafers ». Les cellules photovoltaïques monocristallines, d'un bleu foncé aux noirs, présentent une grande uniformité et se caractérisent par un rendement exceptionnel. Cependant, leur prix est également nettement plus élevé. (22) (23)



Figure 7 : panneau monocristallin

● Les avantages :

Puissance et rendement élevé

Une solution efficace pour des conditions non optimales.

Très efficaces dans des zones restreintes.

● Les désavantages :

Coûteux d'achat

Mise en place par une société spécialisée.

❖ Les panneaux solaires polycristallins :

Grâce à leur apparence distinctive de grille bleu foncé, les modules solaires polycristallins se trouvent largement répandus dans notre pays. Des propriétaires de maisons individuelles les apprécient. (24) Ceci est d'une part attribuée aux coûts inférieurs des panneaux monocristallins et d'autre part à leur excellente performance. La performance moyenne des modules solaires polycristallins se situe entre 12 et 16 %. Les panneaux solaires polycristallins, construits comme des modules classiques à couches épais (tels que les monocristallins), présentent une grande robustesse face aux conditions météorologiques. C'est l'une des motivations qui pousse les producteurs à garantir une longévité de 25 à 30 ans. Le désavantage des panneaux photovoltaïques polycristallins est que leur surface présente un aspect plutôt irrégulier. C'est pour cette raison que de nombreux propriétaires attachent de l'attention accordée à la beauté de leur toit se porte sur les modules monocristallins d'un noir uniformisé. (24) (25)

● Avantages :

Une efficacité remarquable

Moins coûteuse que les monocristallins

Résistants aux conditions météorologiques.

● Les désavantages :

Moins performant que les monocristallins

❖ Les panneaux photovoltaïques en minces strates :

Les modules à couches minces (ou fines) se fabriquent en utilisant du silicium amorphe. Pour les cellules solaires amorphes, le semi-conducteur est introduit en couches extrêmement fines par évaporation ou par pulvérisation sur une surface de verre ou un autre matériau. (26) Cela facilite également la production de capteurs solaires souples, par exemple. Bien que les coûts de production des cellules solaires amorphes soient particulièrement bas, le rendement des modules est aussi faible. C'est la raison pour laquelle les panneaux solaires à cellules amorphes se retrouvent principalement dans le domaine des centrales solaires, où les dépenses d'investissement sont minimales et où la superficie ne se restreint pas.

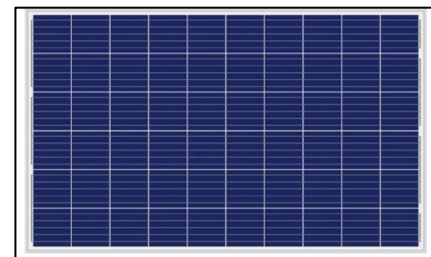


Figure 8 : panneau polycristallins

- Les avantages :

Prix abordable

Installation simple.

Souplesse d'utilisation

- Les inconvénients :

Rendement peu efficace

Plus grande surface requise

Sensible aux influences météorologiques

❖ Les divers panneaux photovoltaïques thermiques :

Parmi les diverses sortes de panneaux solaires disponibles, on retrouve également des modèles spécifiquement pensés pour la génération d'eau chaude et le chauffage dans les propriétés. (27) On désigne simplement ce genre de panneau solaire sous le terme « panneau solaire thermique » et voici les quatre exemplaires qui appartiennent à ce type.

(1) (2)

❖ Les panneaux solaires plats:

Les panneaux solaires plats sont la catégorie la plus fréquemment utilisée. Ils conviennent à la fois aux toits plats et ceux en forme de pointes. Habituellement réalisé en aluminium ou en acier inoxydable, le boîtier rectangulaire à isolation thermique est enveloppé d'un large revêtement en verre solide. Ceci favorise l'accumulation d'une quantité optimale de lumière solaire au sein du capteur, ce qui permet un rendement d'environ 60 à 85 %. De plus, il est protégé des impacts externes comme la pluie ou la grêle. (28) (29) Ils absorbent la lumière du soleil, tout comme dans une serre. L'absorbeur, qui est un métal thermoconducteur recouvert d'une couverture sombre, transforme principalement ce dernier en chaleur. (30) L'absorbeur garantit la transmission de la chaleur la plus importante au réservoir solaire. (31)

❖ Les panneaux solaires avec des tubes :

On désigne également ces capteurs sous le nom de panneaux solaires avec des tubes. Ils présentent un rendement supérieur à celui des panneaux plats, mais ils coûtent aussi

CHAPITRE 1 : LES SOURCES D'ENERGIE RENOUVELABLE

plus cher en matière d'achat. Les panneaux sont constitués de plusieurs canalisations vides d'air qui renferment chacune un absorbeur. (32)

L'isolation thermique particulièrement performante est garantie par le vide dans les tubes. À l'instar d'un thermos, il conserve la chaleur stockée en interne et empêche sa propagation en dehors. Par conséquent, un panneau solaire à tube est souvent plus performant qu'un modèle plat, offrant une efficacité potentielle dépassant les 90%.

L'absorbeur, qui conduit la chaleur, la dirige vers l'accumulateur, puis par le distributeur, à l'emplacement désiré. Les panneaux solaires à tube ont la capacité d'atteindre des températures de fonctionnement bien supérieures à celles d'un capteur plat, ce qui permet une production d'énergie accrue pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage. (33) (34)

❖ Les panneaux solaires appropriés à l'air :

Les panneaux à air présentent une similitude avec les capteurs plats, cependant, le fluide caloporteur liquide est substitué par de l'air. Généralement employés dans les grandes installations telles que les salles de sport, les piscines ou les entrepôts, ils présentent une efficacité d'environ 50 à 75 %.

Le fonctionnement des capteurs solaires à air est le suivant : un ventilateur filtre l'air frais de l'extérieur et, une fois qu'il arrive au sein du panneau, le soleil prend en charge sa chaleur. Le bâtiment reçoit directement de l'air chauffé par le biais de gaines d'air et de puits d'aération, garantissant simultanément un apport d'air frais et une chaleur plaisante tout en réalisant des économies de chauffage. y a aussi des panneaux solaires destinés à servir de collecteurs hybrides. Ils sont équipés de cellules photovoltaïques capables de générer de l'énergie pour les ventilateurs. On se retrouve alors avec un système totalement indépendant. (35)

❖ Les panneaux solaires non vitrés :

Les panneaux solaires non vitrés, aussi connus sous le nom de capteurs solaires de piscine, sont couramment employés dans les installations aquatiques. Bien qu'ils présentent un faible rendement, ils ont un faible coût d'acquisition et sont fabriqués dans un matériau qui résiste aux UV et aux conditions météorologiques. Ils opèrent comme un appareil d'arrosage solaire. L'eau s'écoule progressivement, est refroidie par le soleil

et retourne en piscine. Les panneaux solaires thermiques non vitrés, qu'ils soient sous forme de tuyau ou de tapis, conviennent à presque toutes sortes de toitures.

❖ Les panneaux solaires hybrides :

On désigne aussi le panneau solaire hybride comme un capteur photovoltaïque (PVT), comme un panneau solaire aérovoltaique, ou, plus logiquement, comme un capteur photovoltaïque et thermoélectrique. Parmi les diverses catégories de panneaux solaires, ce modèle satisfait aux exigences majeures des individus, offrant une économie d'espace supplémentaire. Comme vous le savez sans doute, ces capteurs solaires combinent dans leur configuration un module photovoltaïque et un absorbeur de chaleur solaire situé sur la partie postérieure. Comme d'habitude, les cellules solaires monocristallines captent la lumière solaire et la convertissent en électricité de manière directe. L'absorbeur, sur la face arrière, exploite la chaleur solaire et la lumière infrarouge pour les transférer via des conducteurs thermiques. Il est donc possible d'utiliser ces panneaux solaires pour générer de l'électricité, de l'eau chaude et du chauffage. Le rendement thermique des panneaux solaires hybrides est approximativement de 65 %, tandis que celui de l'énergie électrique se situe autour de 15 %. L'exactitude des valeurs dépend de la configuration du capteur hybride. Par exemple, pour les modules photovoltaïques et les modèles solaires thermiques traditionnels, le rendement moyen est de 70 à 80 %. (36)

❖ Les avantages :

La production d'électricité et de chaleur ne nécessite aucun espace additionnel pour les panneaux solaires.

Aspect homogène de chaque collecteur

Une efficacité électrique et calorifique satisfaisante

❖ Les inconvénients :

Frais de fourniture importants.

Sur le marché, il y a peu de producteurs Ce genre de panneau solaire est l'une des dernières avancées technologiques du domaine, ce qui justifie son manque de disponibilité et ses frais supplémentaires (37)

I.3 Les éoliennes

I.3.1 Définition de l'énergie éolienne:

Une éolienne est un dispositif qui convertit la force cinétique du vent en une énergie mécanique, appelée énergie éolienne, qui est par la suite généralement convertie en électricité. On désigne par « aérogénérateurs » les éoliennes générant de l'électricité, tandis que ceux qui pompent directement de l'eau sont souvent désignés comme des « éoliennes de pompage » ou des « pompes à vent ». Un type d'éolienne traditionnelle est le moulin à vent. (Y Fournis, MJ Fortin) On utilise des expressions comme « centrale éolienne », « parc éolien » ou « ferme éolienne » pour désigner des installations de production regroupées, qu'elles soient situées sur terre ou en mer. (38) La Chine, les États-Unis, l'Allemagne, l'Espagne, l'Inde, le Royaume-Uni et, par rapport à la population, le Danemark se distinguent par la présence de plusieurs champs éoliens dans le monde. (39)



Figure 9 : Éoliennes

I.3.2 Historique :

En 1888, Charles Francis Brush met en place une importante turbine éolienne pour fournir de l'électricité à sa maison, alimentée par des batteries d'accumulateurs. En 1890, POUL La Cour, un Danois, a conçu la première éolienne « industrielle » qui produit de l'électricité en utilisant l'électrolyse pour produire de l'hydrogène. Il développe ensuite l'éolienne « Lykkegard », qu'il commercialise en soixante-douze exemplaires en 1908. De 1955 à 1963, une turbine éolienne de 800 KVA fut mise en service en France, localisée à Nogent-le-Roi dans la Beauce. La conception a été réalisée par le Bureau d'études scientifiques et techniques de Lucien Romani, qui l'a utilisée au nom d'EDF. Deux turbines éoliennes Neyrpic de 130 et 1 000 kW ont également fait l'objet d'un test par EDF à Saint-Rémy-des-Landes (Manche). Une éolienne connectée au secteur sur les hauteurs d'Alger (Dély-Ibrahim) fut aussi mise en place en 1957. (40) Après avoir été légèrement négligée par la suite, il sera nécessaire d'attendre les années 70 et le premier choc pétrolier pour que le Danemark reprenne ses installations d'éoliennes.

I. 3.3 DESCRIPTION :

Une éolienne horizontale est une hélice positionnée sur un mât et perpendiculaire au vent. Pour les petites éoliennes, la hauteur est généralement de 20 m, tandis que pour les modèles plus grands, elle dépasse le double du diamètre d'une pale.

La plus grande éolienne a atteint une hauteur de 187 mètres en 2017, avec une capacité de 9,5 MW⁵. En 2019, le prototype de l'HALIADE X, qui est installé à Rotterdam et possède une puissance de 12 MW, grimpe jusqu'à 260 mètres. (41)

L'éolienne la plus fréquemment utilisée, avec un axe horizontal, comprend un mât, une nacelle et un rotor. L'installation est complétée par des composants supplémentaires, tels qu'un poste de distribution pour transférer l'électricité générée au réseau électrique. Une éolienne de ce genre est principalement modélisée par ses attributs aérodynamiques, mécaniques et électrotechniques. En réalité, on peut également différencier le « grand éolien », qui se réfère aux machines ayant une puissance supérieure à 350 kW⁷, l'éolien de catégorie moyenne (36 à 350 kW⁷) et le petit éolien (moins de 36 kW⁷). (42)

❖ Mât :

Le mât offre la possibilité de positionner le rotor à une hauteur adéquate pour faciliter son déplacement (indispensable dans les éoliennes horizontales) ou à une hauteur où le vent est plus fort et plus constant qu'au sol. Généralement, une portion des composants électriques et électroniques (comme le module, la commande, le multiplicateur, la génératrice, etc.) se trouvent dans le mât. Généralement, les mâts sont fabriqués en acier, cependant, de plus en plus de producteurs optent pour des mâts en béton (par exemple, en France, sur les 1 000 éoliennes installées par Enercon entre 2004 et début 2013, 300 ont un mât en béton). (43)

❖ Nacelle :

Au sommet du mât, la nacelle est installée et renferme les éléments mécaniques et pneumatiques, ainsi que quelques composants électriques et électroniques requis pour le bon fonctionnement des machines. La nacelle a la capacité de pivoter afin d'orienter le dispositif dans le bon sens. (44) (46)

❖ Le rotor :

Le rotor est constitué du nez de l'éolienne qui recueille les pales (habituellement trois), et il est attaché à un axe rotatif dans des paliers positionnés dans la nacelle. L'énergie du vent stimule le rotor, qui se lie aux pales. Il est connecté de manière directe ou indirecte (par le biais d'un multiplicateur de vitesse à engrenages) au dispositif mécanique qui exploite l'énergie collectée (pompe, générateur électrique, etc.). (45)

I.3.4 Les principales technologies éoliennes :

Bien que la plupart des éoliennes actuellement en place à travers le monde soient des éoliennes tri pales à axe horizontal avec une puissance moyenne par unité de 2 à 3 MW, le panel des technologies majeures dans ce domaine est plus diversifié. (47) Les turbines disponibles aujourd'hui se classent en deux catégories majeures basées sur le type de génératrice électrique utilisée : celles dotées d'une génératrice asynchrone (approximativement 75 % du marché), et celles pourvues d'une génératrice synchrone (environ 25 % du marché). (48) Dans la plupart des situations, on privilégie l'utilisation de turbines asynchrones car elles sont capables de tolérer de petites fluctuations de vitesse du vent, par exemple lors de rafales. Ces fluctuations de vitesse provoquent des contraintes mécaniques significatives sur le système, qui sont moins importantes avec une machine asynchrone. (49) L'entraînement mécanique direct entre le moyeu de l'éolienne et la génératrice est caractéristique de la turbine synchrone. Cette technologie offre l'avantage de fournir des machines comportant moins de pièces tournantes, ce qui facilite leur entretien. (50)

I.3.5 Les différents types d'éoliennes :

On retrouve des éoliennes terrestres ainsi que des éoliennes offshore, fixes ou flottantes. Destinées aux fonds de moins de 50 mètres, les éoliennes offshore fixes peuvent tirer parti des puissants vents côtiers en mer. Dotées d'une base flottante ancrée au fond par des cordages, ces turbines éoliennes peuvent être positionnées en mer à une profondeur de 30 mètres ou plus. Les turbines éoliennes peuvent être conçues avec un axe vertical ou horizontal. L'éolienne à axe horizontal à trois pales est le type le plus courant, mais on trouve également des versions d'éoliennes à axe vertical. (L Vadot - La houille blanche, 1957)

❖ Éoliennes à axe horizontal:

C'est la forme d'aérogénérateur la plus courante. Il fait appel à la force de portance du vent exercée sur les pales, semblable au fonctionnement des ailes d'un avion, pour entraîner un générateur électrique ou une pompe. (51) (52)

Dans le cas d'un axe horizontal, les puissances varient avec les Dimensions :

- Micro éoliennes : diamètre de rotor de 0,5 à 2 m : de 100 W à 1 kW.
- Petites éoliennes : diamètre de rotor de 2 à 12 m : de 1 kW à 36 kW.
- Moyennes éoliennes : diamètre de 12 à 35 m entre 36 et 350 kW.
- Grandes éoliennes : diamètre de rotor de 35 à 125 m : 350 kW à 5 MW.
- Très grandes éoliennes : diamètre de rotor de 220 m et puissance de 12MW

Les avantages de l'éolienne à axe horizontal :

- A. Meilleur rendement
- B. Plus solide
- C. Moins chère
- D. Plus silencieuse
- E. Mécanique plus simple

❖ Éoliennes à axe vertical:

- Type SAVONIUS : Ce type éolienne constitué de demi-cylindres montés sur un axe vertical, utilise la force de traînée du vent en se basant sur le principe des moulins à vent. Cette technologie est moins efficace que les éoliennes à portance, cependant elle offre la possibilité d'exploiter des vents plus tranquilles. Plus discrètes et compactes que les autres types, les éoliennes SAVONIUS adaptent parfaitement à une utilisation en milieu urbain. (52) (53)



Figure 10 : Type SAVONIUS

- Type DARRIEUS : Les éoliennes de type DARRIEUS qu'elles soient verticales, paraboliques ou hélicoïdales, exploitent la force de portance du vent, à l'instar des éoliennes traditionnelles. Toutefois, leur taille réduite est un atout pour une intégration paysagère et architecturale.



Figure 11 : Type DARRIEUS

- Type à voile tournante : Les turbines à voile tournante ont des pales dont la direction réglable optimise l'utilisation de l'énergie éolienne, à la manière d'un voilier. Les éoliennes à voile tournante ont des pales en tissu dont l'angle change en fonction de la direction du vent. Ils ont un certain air de voilier. Leurs appareils sont conçus pour profiter des vents forts et des changements d'orientation. (53) (54) Un tel équipement permet d'exploiter des vents plus forts que ceux qui peuvent être collectés par les éoliennes classiques à trois

pales. De plus, ce dispositif contribue à une réduction significative du bruit résultant.



Figure 12 : Type à voile tournante

I .4 Les vagues :

I.4.1 Définition de l'énergie des vagues:

L'énergie houlomotrice est une forme d'énergie marine renouvelable, résultant du mouvement de la surface de la mer causé par l'effet du vent sur la surface de l'eau. Cette énergie est considérée comme une combinaison d'énergie cinétique et d'énergie potentielle des vagues de la mer, et est exploitée pour déplacer des systèmes mécaniques

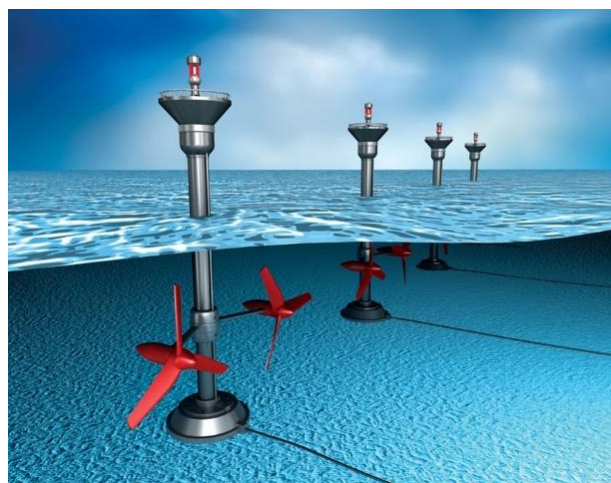


Figure 13 : l'énergie des vagues

qui convertissent ce mouvement en énergie électrique. Puisque les océans couvrent plus de 70% de la surface de la Terre, cette énergie est une ressource énorme et sous-utilisée encore aujourd'hui. (55)

I.4.2 Historique :

L'énergie houlomotrice est l'une des plus anciennes sources d'énergie renouvelable qui a attiré l'attention des scientifiques. Les premières tentatives enregistrées pour exploiter cette énergie remontent à la fin du XVIIIe siècle, plus précisément en 1799, lorsque l'inventeur français "Gérard" et son fils ont déposé un brevet pour un système basé sur le mouvement des vagues. Mais l'intérêt réel pour cette énergie n'a commencé qu'au XXe siècle, en particulier pendant les périodes de crise pétrolière des années soixante-dix, alors que le monde commençait à rechercher des alternatives propres et durables. Depuis lors, la recherche et les technologies dans ce domaine ont connu un développement important, notamment avec le besoin croissant de réduire la dépendance aux combustibles fossiles. (56)

I.4.3 Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement des systèmes d'énergie houlomotrice est basé sur la conversion du mouvement des ondes ascendantes et descendantes en énergie mécanique puis en énergie électrique. Cela se fait en installant certains dispositifs à la surface de la mer ou près des côtes, qui, selon le type de technologie utilisé, capturent le mouvement de l'eau et le convertissent en mouvement de rotation, en pression d'air ou en liquide. Des générateurs électriques sont ensuite utilisés pour convertir cette énergie mécanique en électricité utilisable. De tels systèmes se distinguent par leur capacité à fonctionner dans diverses conditions météorologiques, mais leur efficacité est liée à la taille et à la force des vagues. (57)

I.4.4 Types de systèmes d'exploitation de l'énergie vagues :

- **Pour la colonne d'eau oscillante (OWC) :** dans cette technique, une cavité partiellement remplie d'eau est utilisée, où les vagues entrent, montent et descendent, créant un mouvement d'air qui entraîne une turbine pour produire de l'électricité. (58)

- **Absorbeurs à virgule flottante (absorbeurs ponctuels)** : sont de petits flotteurs qui montent et descendent avec les vagues, et ce mouvement se convertit en énergie électrique grâce à des systèmes mécaniques internes.
- **Systèmes linéaires ou "serpents de mer" (atténuateurs)** : ils sont constitués de longues structures qui flottent à la surface de la mer et se déplacent de manière flexible avec les vagues. Le mouvement relatif entre ses parties produit de l'énergie, qui est convertie en électricité.
- **Systèmes de collision côtière (dispositifs de dépassement)** : utilisés sur les plages, où l'eau des vagues s'accumule dans des réservoirs au-dessus du niveau de la mer, puis exploite cette eau pour alimenter des turbines comme dans les barrages.
- **Systèmes basés sur la pression des vagues (Convertisseurs de surtension oscillants)** : placés sur le fond marin et déplacés par la pression latérale des vagues, produisant de l'énergie mécanique convertie en électricité.

I.5 Le réseau complet de production d'énergie à partir des trois éléments électriques:



Figure 14 : Le réseau complet

L'intégration des trois sources d'énergie renouvelables-éolienne, solaire et houlomotrice-est une étape stratégique vers la réalisation d'un réseau électrique stable, durable et efficace. Cette intégration repose sur l'exploitation de la diversité naturelle de la disponibilité de ces ressources, ce qui réduit les fluctuations de production et

CHAPITRE 1 : LES SOURCES D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

améliore la fiabilité de l'alimentation électrique. L'énergie solaire, éolienne et houlomotrice a des modes de production différents tout au long de la journée et des saisons :

- **Énergie solaire** : elle culmine pendant la journée, surtout dans les zones ensoleillées.
- **Énergie éolienne** : il est le plus actif pendant la nuit et pendant les saisons froides.
- **Énergie des vagues** : fournit une production relativement stable, car elle est influencée par le mouvement des océans qui sont moins volatils que le vent et le soleil.

En combinant ces sources, une diminution de la puissance de l'une d'elles peut être compensée par une augmentation de la puissance de l'autre, réalisant un équilibre de l'alimentation électrique. La répartition des centrales d'énergie renouvelable dans différentes zones géographiques permet de tirer parti de différentes caractéristiques climatiques :

- **Zones côtières** : adaptées à l'énergie houlomotrice et à l'éolien offshore.
- **Zones désertiques** : elles sont considérées comme idéales pour l'énergie solaire en raison de l'abondance du rayonnement solaire.
- **Zones montagneuses** : fournir des sites appropriés pour les éoliennes terrestres.

Cette distribution améliore la stabilité du réseau et réduit la dépendance à une seule source.

L'intégration de ces sources nécessite le développement de technologies de pointe pour la gestion de la production et du stockage :

- **Systèmes de contrôle intelligents** : surveille et coordonne entre différentes sources pour assurer l'équilibre de l'offre et de la demande.
- **Systèmes de stockage** : tels que batteries, stations de pompage et stockage, stockez l'énergie excédentaire pour l'utiliser en cas de besoin.
- **Réseaux intelligents** : contribuer à une distribution efficace de l'énergie et réduire les déchets.

CHAPITRE 1 : LES SOURCES D'ENERGIE RENOUVELABLE

L'intégration de l'énergie éolienne, solaire et houlomotrice représente l'avenir de l'énergie durable, offrant une solution complète pour répondre à la demande croissante d'électricité tout en préservant l'environnement.

Conclusion :

Face aux enjeux environnementaux croissants, les énergies renouvelables représentent une solution incontournable pour un avenir durable. Contrairement aux énergies fossiles, elles permettent de produire de l'électricité de manière propre, en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Exploiter des ressources naturelles comme le soleil, le vent ou l'eau, c'est non seulement préserver notre planète, mais aussi répondre aux besoins énergétiques des générations présentes et futures. Le recours aux énergies renouvelables n'est plus une option, mais une nécessité pour lutter efficacement contre le changement climatique.

CHAPITRE II :
Étapes Réalisation de projet

CHAPITRE II: Étapes Réalisation de projet

Introduction :

Les projets technologiques modernes constituent l'un des principaux moteurs du développement dans les domaines de l'ingénierie électronique et des sciences informatiques. Dans ce travail, nous abordons le projet "**Green Triple Energy**", qui repose principalement sur deux éléments clés : "**Côté Matériel**" et "**Côté Logiciel**". La première partie du projet se concentre sur "**Côté Matériel**", qui comprend les composants électroniques intégrés dans le système, tels que les dispositifs électroniques, les capteurs et les convertisseurs. Ces composants constituent la base matérielle sur laquelle repose le système pour assurer une performance optimale et garantir le bon déroulement des opérations. La deuxième partie concerne "**Côté Logiciel**", qui englobe les logiciels utilisés pour la simulation du système et le développement des programmes nécessaires à l'organisation et à la coordination des opérations entre les composants matériels. Cette section inclut l'utilisation de logiciels de simulation pour évaluer et analyser les performances du système avant sa mise en œuvre réelle, ce qui permet de garantir l'atteinte des résultats souhaités. À travers ce travail, nous cherchons à explorer comment les deux aspects matériels et logiciels du projet "**Green Triple Energy**" peuvent être intégrés pour créer un système cohérent et performant, contribuant ainsi à la réalisation des objectifs environnementaux et techniques du projet.

II .1 Cote matériel

II .1. 1 Panneau solaire :

Quatre panneaux solaires de 6 volts et 1,33 ampère ont été utilisés. En les connectant en parallèle, le système fournit une tension constante de 6 volts et un courant total de 5 ampères. Ce système a été utilisé pour charger des batteries de 5 volts.



Figure 15 : Panneau solaire

II 1.2 Esp 32 :

Une carte ESP32 a été utilisée comme composant logiciel pour le contrôle et le traitement des algorithmes et des commandes, ainsi que pour l'affichage des résultats en temps réel sur un téléphone ou un ordinateur.



Figure 16 : esp 32

II .1. 3. Capteur de courant :

Un capteur de courant a été utilisé pour mesurer les valeurs de sortie des systèmes et surveiller les courants électriques générés.



Figure 17 : AC712

II .1.4. Capteur de tension :

Un capteur de tension a été utilisé pour mesurer les valeurs de sortie des systèmes et surveiller les tensions électriques générées.



Figure 115 : Voltage sensor

II. 1.5 Générateur AC :

Ce générateur a été utilisé pour convertir l'énergie mécanique générée par le vent et les vagues en énergie électrique sous forme de courant alternatif (AC). Son rôle est de produire de l'électricité à partir de l'énergie renouvelable issue du vent et des vagues.



Figure 19 : générateur

II.16. Régulateur de tension : XL6009 DC-DC :

L'objectif de ce régulateur de tension est de convertir et stabiliser la tension d'entrée (qui peut varier) en une tension de sortie stable et ajustable, afin de fournir une alimentation constante et fiable pour les composants électroniques du système, tout en optimisant l'efficacité énergétique



Figure 20 : XL6009 DC-DC

II.1.7 LCD i2c :

Un écran LCD a été utilisé comme affichage des valeurs du système, fournissant les informations sur le courant, la tension et la puissance.



Figure 21 : LCD 2004

II.1.8 Relay :

Le relais a été utilisé dans ce système pour contrôler l'allumage et l'extinction de la haute tension dans l'une des trois sources d'énergie. Il fonctionne selon des valeurs spécifiques afin de protéger le circuit électrique contre les courants excessifs et les tensions instables, en ouvrant le circuit lorsque le courant dépasse la limite de sécurité.



Figure 22: Relay.

II.1.9 Pont Diode :

La diode a été utilisé pour empêcher le passage du courant électrique dans la direction inverse, permettant ainsi son passage dans une seule direction. Il a également été utilisé pour convertir le courant provenant du générateur en courant continu.



Figure 23 : Pont diode

II .1.10 Battre lithium :

Les batteries Lithium-Ion ont été utilisées en raison de leur haute densité énergétique, de leur longue durée de vie, de leur légèreté et de leur résistance aux températures élevées. L'objectif de leur utilisation est de stocker l'énergie et de la fournir lorsque cela est nécessaire.



Figure 24 : battre lithium

II .1.11 BMS (Système de gestion de batterie) :

Ce système a été utilisé pour gérer les batteries lithium afin de protéger la batterie contre la surcharge et la décharge profonde. Il aide à équilibrer les cellules et à améliorer leur performance, ce qui prolonge leur durée de vie et augmente leur efficacité.



Figure 25 : BMS

II .1.12 Le condensateur :

Le condensateur a été utilisé pour filtrer le bruit et les fluctuations du signal, ce qui aide à obtenir un signal stable et clair.



Figure 26 : condensateur

II .1.13 SAVUNIUS :

Ce type d'éolienne, composée de demi-cylindres montés sur un axe vertical, utilise la force de traînée du vent basée sur le principe des éoliennes, a été réalisée par une imprimante tridimensionnelle aux dimensions réelles de 25 CM long et 20 CM de large et génère 150 watts si l'on utilise la turbine à air destinée à ce type de modèle



Figure 27 : SAVUNIUS

LE VENT A OUARGLA :

À Ouargla, la vitesse moyenne du vent par heure présente une Fluctuation saisonnière modérée tout au long de l'année. La saison la plus venteuse de l'année s'étend sur 4,7

mois, du 5 mars au 27 juillet, durant laquelle les vitesses de vent moyennes dépassent les 14,5kilomètres par heure. À Ouargla, le mois où le vent souffle le plus fort est mai, affichant une vitesse moyenne de 16,2 kilomètres à l'heure. L'intervalle le plus paisible de l'année s'étend sur 7,3 mois, du 27 juillet jusqu'au 5 mars. Le mois où il y a le moins de vent à Ouargla est novembre, avec une brise moyenne de 12,8 kilomètres par heure.

L'énergie cinétique du vent dépend de sa masse et de sa vitesse selon la formule :

$$E_c = 1/2 mV^2.$$

$$\text{Débit} = \text{Vitesse} \times \text{Surface} \times \text{Rho}.$$

En liant ces deux formules, le calcul de la puissance peut s'exprimer par une formule simplifiée

$$P = 1/2 \times \text{Rho} \times S \times V^3, \text{ dans laquelle :}$$

P est la puissance (en W) ; 1watt= 1kg*m² *s⁻³

S est la surface du cercle de rayon égal à la longueur d'une pale ;

V est la vitesse du vent (en m/s, c'est-à-dire mètre par seconde) ;

Rho est la masse volumique l'air (Une valeur moyenne de 1,2kg/m³ est admise pour le calcul).

Notre éolienne a un diamètre de 0.20m par 0.25m (surface=0.05m²)

Calcule du EC a une vitesse du vent 16.2km/heure (4.5m/s)

$$P=1/2*1.2(\text{kg}/\text{m}^3) * (0.05 \text{ m}^2) * (4.5\text{m}^3 * \text{s}^{-3})= 0.135 \text{ kg}*\text{m}^2 * \text{s}^{-3} =0.135 \text{ watt} *3600$$

$$P=0.486 \text{ KWATT/heure}$$

Calcule du EC a une vitesse du vent 72km/heure(2m/s)

$$P=1/2*1.2 (\text{kg}/\text{m}^3) *(0.05 \text{ m}^2) * (2 \text{ m}^3 * \text{s}^{-3})$$

$$P= 0.06 \text{ kg}*\text{m}^2 * \text{s}^{-3}=0.06 \text{ watt} *3600$$

$$P= 0.216 \text{ KWATT/heure}$$

• L'efficacité habituelle d'une éolienne Savonius se situe entre 15 et 25 %, tandis que les éoliennes horizontales peuvent atteindre jusqu'à 45 %. Elles sont capables de

produire une énergie cinétique allant de 0,08 kW à 0,12 kW en cas de vent fort et, à vente modéré à faible vitesse, entre 0,032 kW et 0,054 kW.

II .2. Côté Logiciel

II .2 .1. Utilisation du logiciel Arduino IDE dans le projet :



Figure 28 : Arduino IDE

Dans le projet "Énergie Trinitaire Verte", le programme **Arduino** a été utilisé comme un outil clé pour le contrôle du système intelligent. Arduino se distingue par sa flexibilité et sa facilité de programmation, ce qui en fait le choix idéal pour collecter des données et traiter les entrées des capteurs utilisés pour mesurer le courant des sources d'énergie solaire, éolienne et hydraulique. En utilisant **l'IDE Arduino**, des codes ont été écrits permettant à la carte Arduino de contrôler les pompes, les générateurs et les capteurs de manière intelligente et efficace. Arduino a également contribué à améliorer la performance du système en le connectant à tous les composants du projet, assurant leur bon fonctionnement de manière cohérente et harmonieuse. (58)
(59)

II .2 .2. Utilisation du logiciel Proteus pour la conception des circuits et la simulation :

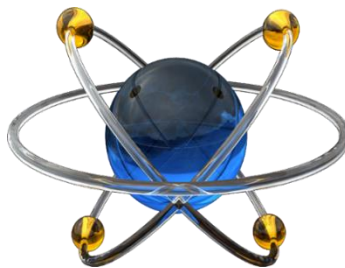


Figure 29 : Proteus

Le logiciel **Proteus** a été utilisé pour la conception des circuits électroniques et la simulation du fonctionnement du système avant sa mise en œuvre réelle. Proteus a permis de concevoir les circuits électriques de manière virtuelle, ce qui a permis à l'équipe de vérifier l'interaction correcte des composants avant de commencer la réalisation sur le terrain. Grâce aux simulations offertes par Proteus, l'équipe a pu tester

le fonctionnement des capteurs, le traitement des données et la performance du système dans différentes conditions, réduisant ainsi les erreurs lors de la fabrication et garantissant que tous les composants fonctionnaient comme prévu. Ainsi, l'intégration de l'utilisation d'Arduino et de Proteus a permis d'accélérer le développement du projet et d'assurer son succès à chaque étape. (60) (61) (62)

II .2 .3. Utilisation du logiciel MATLAB et la simulation :

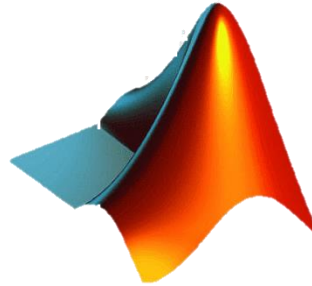


Figure 30: Matlab Simulink

MATLAB Simulink est un environnement logiciel visuel utilisé pour la modélisation, la simulation et l'analyse de systèmes dynamiques, car il est basé sur le principe de conception de blocs, permettant aux utilisateurs de créer facilement des modèles mathématiques complexes. Dans le projet tri-green Energy system, MATLAB Simulink a joué un rôle clé dans la conception et la simulation d'un système hybride combinant des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne et la biomasse pour atteindre une efficacité et une durabilité accrues. Grâce à ses capacités en analyse de performance et Évaluation de la Stabilité du Système, le projet a permis d'améliorer l'intégration des différentes sources, d'identifier les meilleures stratégies pour une distribution efficace de l'énergie avant la mise en œuvre effective, ce qui contribue à réduire les risques opérationnels et à améliorer l'efficacité technique du système. (63)

II .3. Étapes de simulation de projet

II .3 .1. Simulation de système d'énergie solaire :

J'ai réalisé une simulation d'une source d'énergie solaire à l'aide du logiciel **Proteus**, en connectant un capteur de courant **ACS712** à la sortie d'une cellule solaire virtuelle, puis en le reliant à une carte **Arduino UNO**.

La carte Arduino a été programmée à l'aide de l'environnement **Arduino IDE** afin de

lire les valeurs issues du capteur, les analyser, puis afficher la puissance générée — notamment le courant — sur un écran **LCD 20x04**

La puissance électrique a été calculée selon la formule :

$$P = V \times I$$

Avec:

- $V = 7.5V$ (tension)
- $I = 5.4A$ (courant)

Donc:

$$P = 7.5 \times 5.4 = 40.5 W$$

Cette valeur a été affichée en temps réel sur l'écran LCD, ce qui permet de suivre instantanément les performances du système.

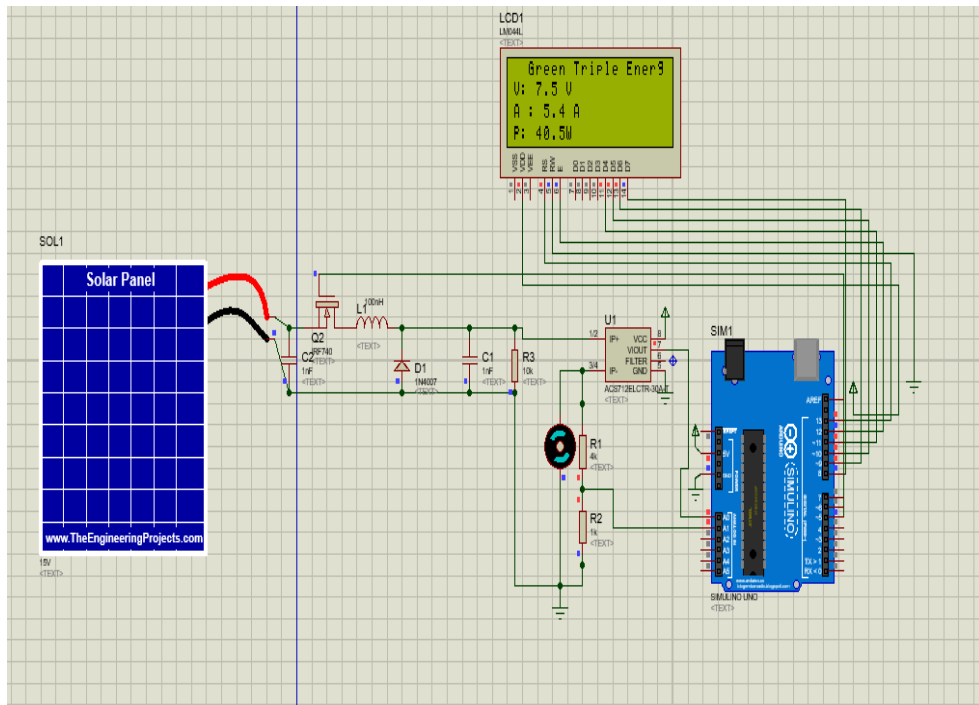


Figure 31 : Simulation d'énergie solaire

II. 3 .2. Simulation de système d'énergie éolien :

J'ai réalisé une simulation d'une source d'énergie éolienne en utilisant le programme Proteus, en connectant un capteur de mesure de courant (ACS712) à la sortie du

générateur éolien virtuel, et en le reliant à une carte Arduino UNO. L'Arduino a été programmé via Arduino IDE pour lire les valeurs produites par le capteur et les analyser, puis afficher la puissance générée par l'énergie éolienne (comme le courant produit) directement sur un écran LCD 20x04. Une diode a été utilisé pour convertir le courant alternatif (AC) produit par l'éolienne en courant continu (DC) adapté à l'utilisation du système. Le rôle de la diode est de redresser efficacement le courant, permettant ainsi sa conversion en courant continu utilisable pour le stockage ou l'alimentation des appareils. La puissance électrique calculée à partir du courant et de la tension a été affichée en utilisant la relation physique :

$$P = V \times I$$

Avec:

- $V = 5V$ (tension)
- $I = 8.43A$ (courant)

Ainsi, la puissance était :

$$P = 5 \times 8.43 = 50.58W$$

Cette valeur a été affichée directement sur l'écran LCD, permettant ainsi de suivre la performance immédiate du système.

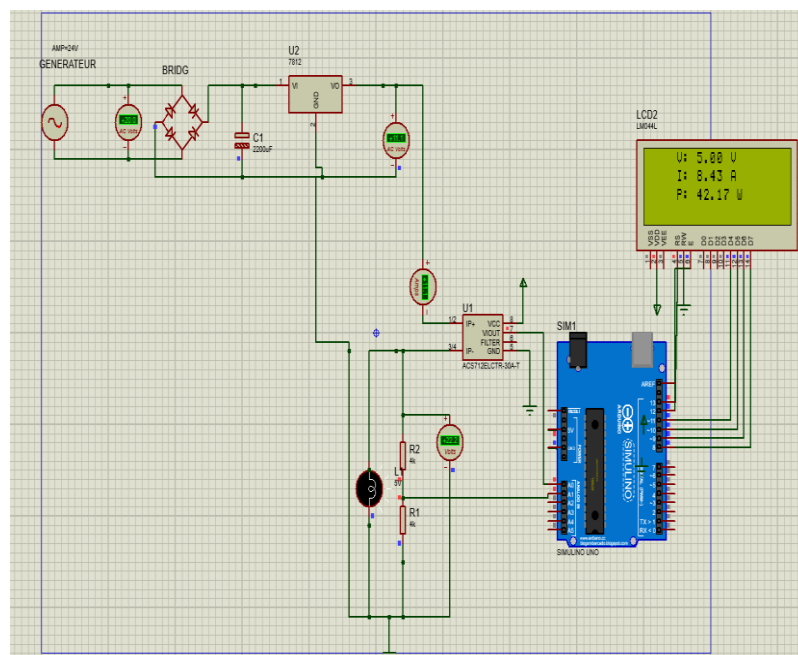


Figure 32 : simulation d'énergie éolien

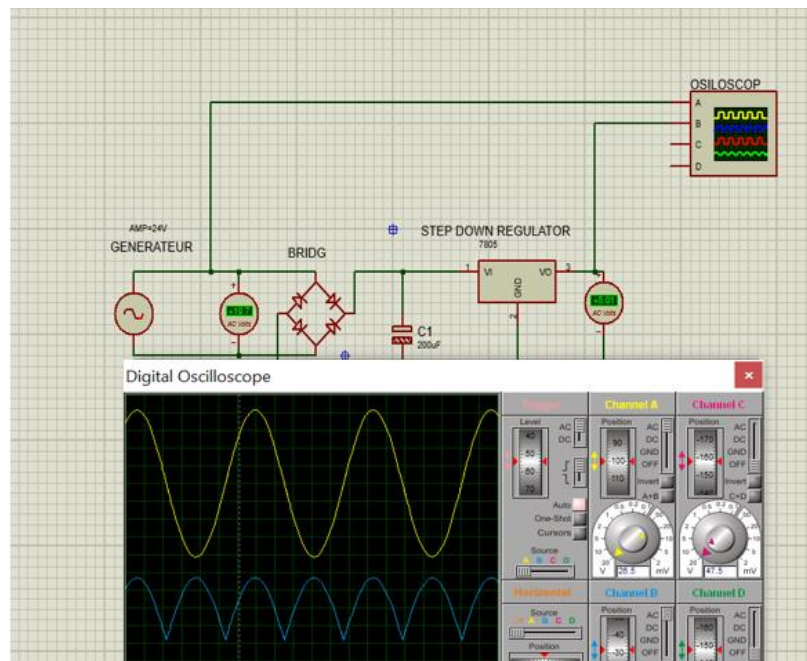


Figure 33 : Circuit de conversion AC-DC 12 /5 volte

La figure montrant une simulation dans le programme Proteus d'un circuit qui convertit le courant alternatif (AC) en jaune en courant continu (DC) en bleu à l'aide d'une diode et a été réduite de 12 volts à 5 volts à l'aide de LM7805.

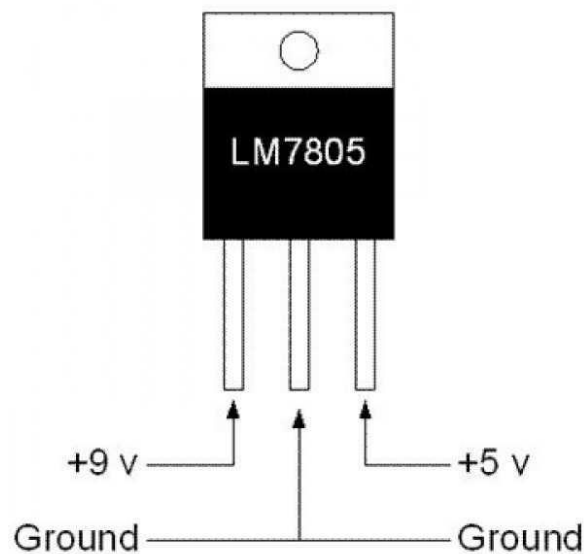


Figure 34 : LM7805

II .3.3 Simulation de système d'énergie global :

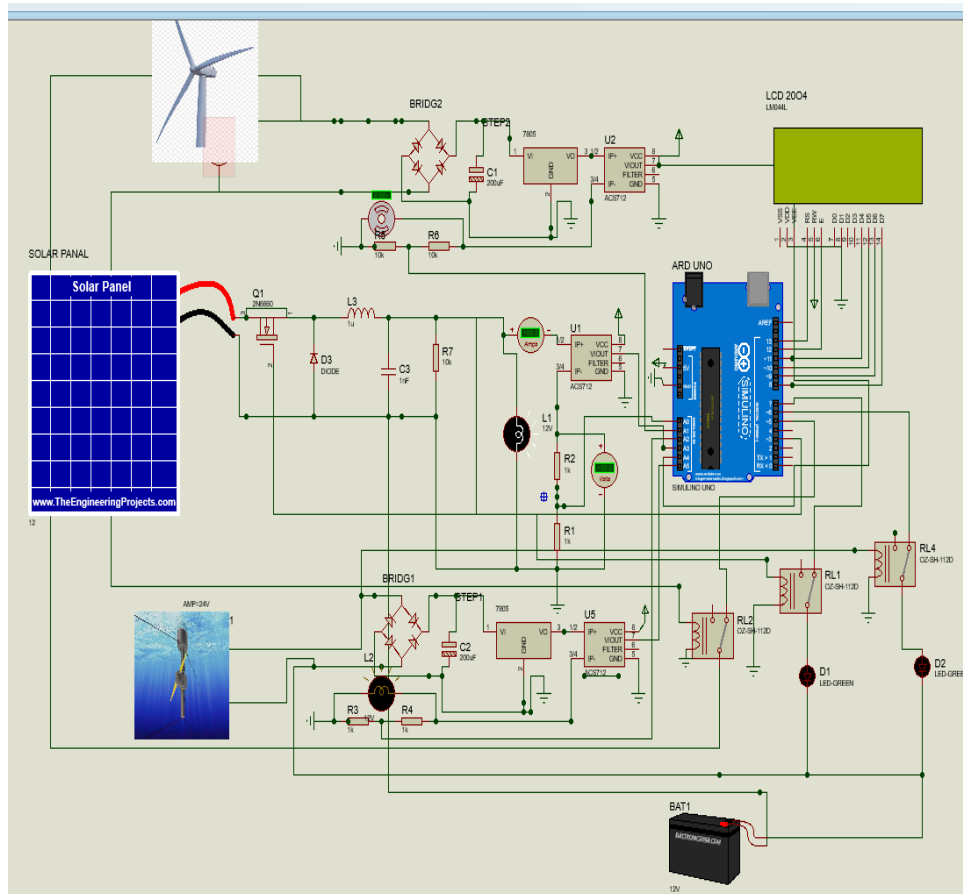


Figure 35 : Schéma global de projet

Le Schéma présente une simulation de circuit électronique dans Proteus, montrant un système intégré qui combine la production d'énergie solaire, éolienne et hydraulique. Le système est contrôlé par un **Arduino**, et les données énergétiques sont affichées sur un écran **LCD**, avec une batterie pour le stockage de l'énergie.

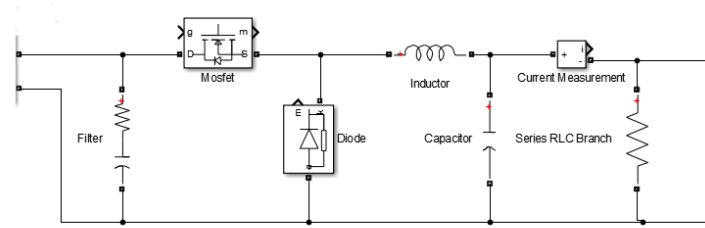


Figure 37 : Buck Converter

Partie 3 : Contrôle MPPT (Maximum Power Point Tracking)

- **Subsystem1 (Générateur PWM DC-DC)** : reçoit la tension (V_{pv}) et le courant (I_{pv}) du panneau et calcule la puissance.
- **Bloc MPPT** : contient l'algorithme de suivi du point de puissance maximale (souvent "Perturb and Observe" ou "Incremental Conductance").
- L'algorithme ajuste le signal PWM, qui est ensuite envoyé au MOSFET pour réguler la conversion.

Mesures et visualisation

- **IN_VOLT (16.14V)** et **IN_CURT (3.244A)** : tension et courant d'entrée du panneau.
- **POWER IN (52.35W)** : puissance en entrée produite par le panneau solaire.
- **Out Curt (6.555A)** et **Out Voltage (7.211V)** : courant et tension de sortie après conversion.
- **PWOET MPPT (47.27W)** : puissance réellement extraite après MPPT.

Remarques techniques

- On remarque une **augmentation du courant et une réduction de la tension** en sortie, ce qui correspond à un fonctionnement de type Buck (abaisseur), adapté pour charger une batterie efficacement.
- La différence entre la **puissance en entrée (52.35W)** et la **puissance en sortie (47.27W)** reflète les pertes dans la conversion et les dissipations.

II .4. Explication de l'algorithme Perturb and Observe (P&O) pour le MPPT

II.4. 1. Principe de base

L'algorithme Perturb and Observe (P&O) est l'une des méthodes MPPT les plus simples et les plus utilisées dans les systèmes solaires. Son fonctionnement repose sur trois étapes clés :

- Perturber légèrement la tension du panneau
- Observer le changement de puissance résultant
- Ajuster la direction en fonction de l'observation

II .5. Étapes de fonctionnement

1. Mesurer la tension $V(k)$ et le courant $I(k)$ actuels
2. Calculer la puissance instantanée : $P(k) = V(k) \times I(k)$
3. Modifier légèrement la tension (par ΔV)
4. Mesurer la nouvelle puissance $P(k+1)$
5. Comparer les puissance:
 - Si $P(k+1) > P(k)$: poursuivre dans la même direction
 - Si $P(k+1) < P(k)$: inverser la direction
6. Répéter le processus en continu

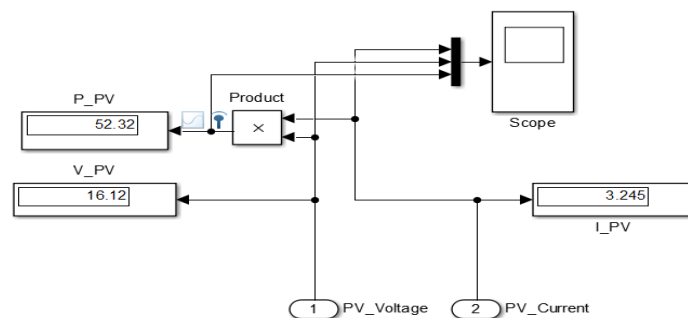


Figure 38 : (P&O) pour le MPPT

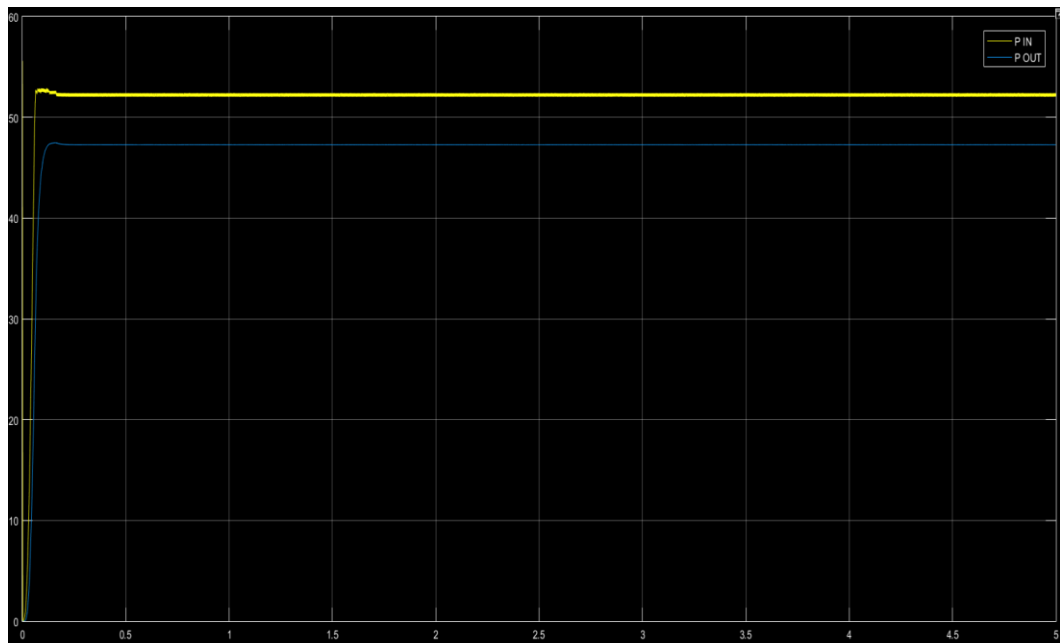


Figure 39 : Puissance Entre Et Sortie

Analyse :

1. Perte de capacité :

Perte=P

$$\text{Loss} = P_{IN} - P_{OUT} = 52.36 - 48.58 = 3.78 \text{ W}$$

Cela signifie que le système perd 3,78 watts de puissance pendant le processus de conversion ou de régulation.

2. Calcul de l'efficacité (Efficience) :

Pour calculer l'efficacité du système :

$$\text{Efficiency} = P_{IN} \div P_{OUT} \times 100 = 52.36 \div 48.58 \times 100 \approx 92.8\%$$

C'est un bon à excellent taux d'efficacité, mais il y a encore une possibilité de l'améliorer

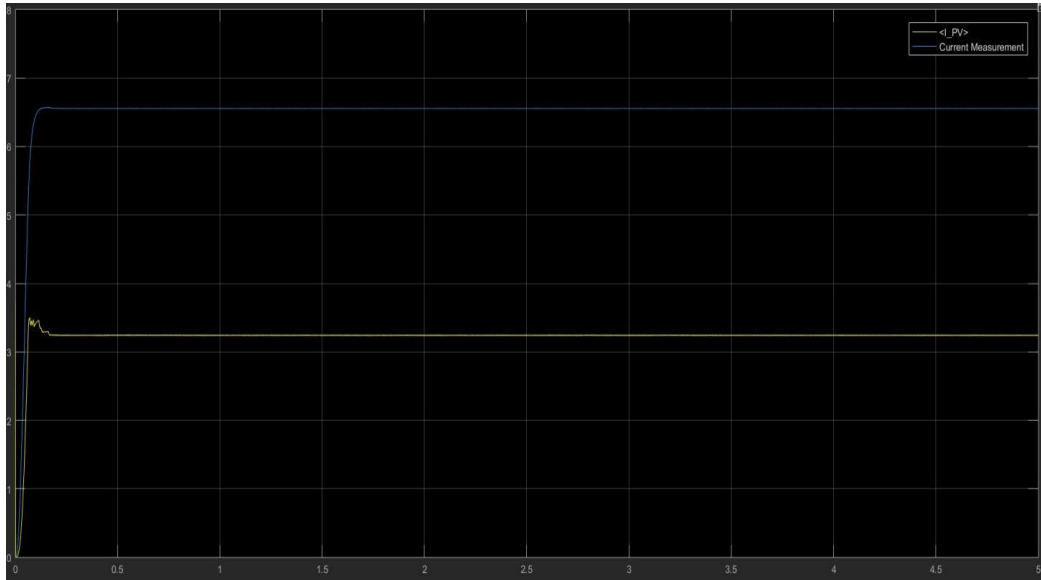


Figure 40 : courant entrée et sortie

3. La différence entre <I_PV > et la mesure de courant :

$\Delta V =$ Mesure du courant

$V = 6,5 \text{ à } 3,5 = 3 \text{ V}$

. Le rôle du MPPT :

MPPT (Maximum Power Point Tracker) est un système utilisé pour améliorer l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique. Il ajuste la tension et le courant de sorte que la capacité maximale soit extraite du panneau solaire. Dans ce cas, la tension est passée de 3,5 V à 6,5 V, ce qui signifie que le système a réussi à augmenter la tension pour obtenir une tension plus élevée

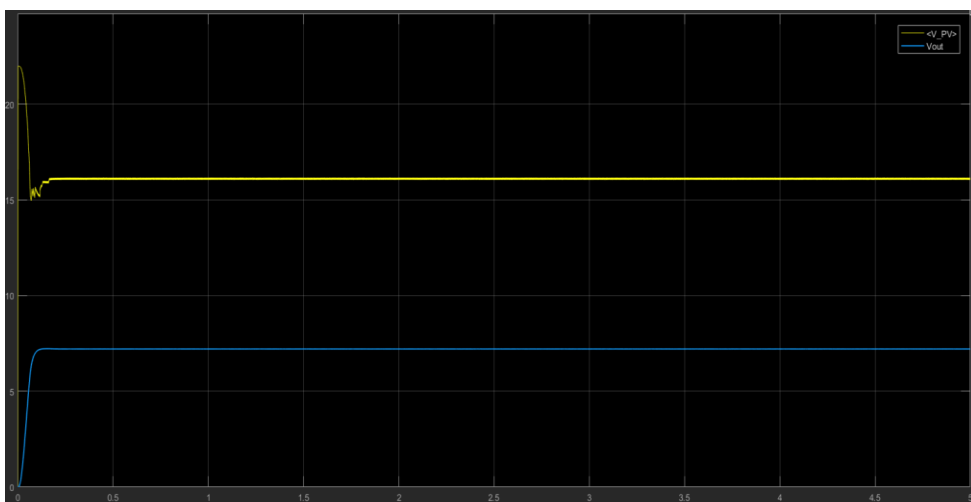


Figure 41 : voltage entrée et sortie

Dans ce cas, la tension est passée de 15 volts à 7 volts, ce qui signifie que le système a réussi à abaisser la tension pour atteindre une capacité plus élevée

II .6 Comparaison les résultats de Simulink et Proteus :

Résultat comparaison d'énergie Solar :

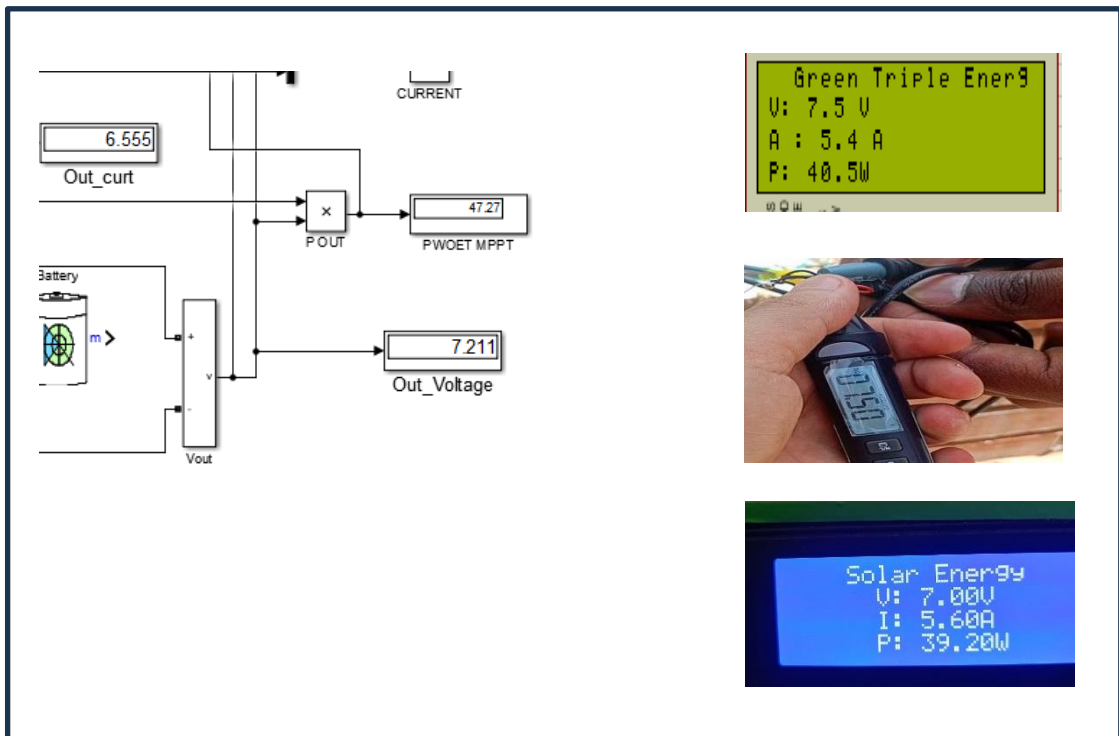


Figure 42 : Comparaison les résultats de Simulink et Proteus

Analyse des différences

➤ **Tension de la batterie (Vout) :**

Proteus : 6.9 V.

MATLAB et Simulink : 7.211 V.

Équipes :

$\Delta V = 7,211 \text{ à } 6,9 = 0,311 \text{ Volts}$

➤ **Courant de source (I) :**

Proteus : 5,4 A.

Le logiciel est disponible en 6.8 A.

Équipes :

$$\Delta I = 6,8 \text{ à } 5,4 = 1,4 \text{ A}$$

➤ **Capacité de la source (P) :**

Protée : 40,27 W.

MATLAB et Simulink : 46,9 Watts.

Équipes :

$$\Delta P = 46,9 - 40,27 = 6,63 \text{ Watts.}$$

II .7. Résultat énergie Éolienne :

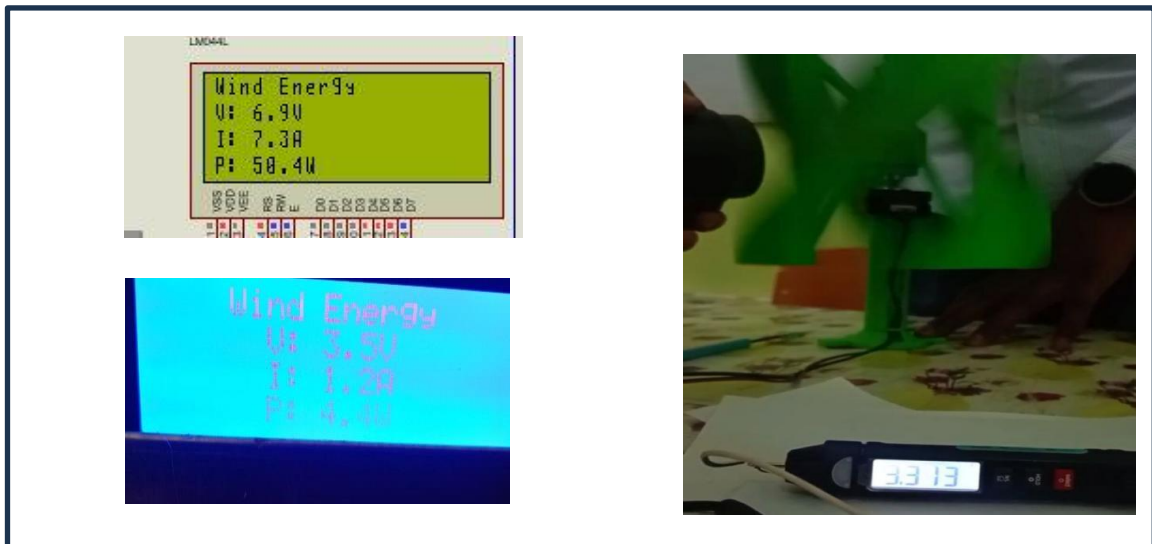


Figure 43 : Valeurs énergie Éolienne

II .7 .1 Principales observations :

➤ **Le grand écart de performance :**

L'énorme différence de puissance (50,4 W contre 4,4 W) indique :

Les conditions de fonctionnement du ventilateur sont radicalement différentes (telles que la vitesse du vent et la matière première qu'il fabrique). Problèmes techniques (dysfonctionnement de l'unité de mesure, connexions électriques incorrectes,).

➤ **L'effet de la vitesse du vent :**

La simulation suppose généralement une vitesse de vent idéale (par exemple 10-12 M / S), alors que la réalité peut être :

La vitesse réelle du vent est plus faible (par exemple 3-4 M / S), ce qui réduit considérablement la puissance. Changement de direction du vent ou de turbulence.

➤ **3. Efficacité du système :**

Dans la simulation : les pertes thermiques et mécaniques (~100% d'efficacité) sont négligées.

En fait : l'efficacité réelle peut chuter à 30-50 % en raison de:

Frottement de l'axe.

Utilisation d'un moteur pas à pas

Valeurs des condensateurs.

Résistance du câble.

II .8 Total énergie :



Figure 44 : Valeurs Total

II .8. 1. La différence de valeurs entre la simulation et la réalité :

➤ **Énergie solaire :**

Simulation (Proteus) : 46,9 W

Vérification de la réalité : 39,3 Watts

Sur une note : la valeur de l'énergie solaire dans la simulation est légèrement supérieure à la valeur réelle. Ceci est dû à l'imperfection des panneaux).

➤ **Énergie éolienne :**

Puissance de simulation (Proteus) : 48,2 W

La vérité est : 5,2 W

Sur une note : C'est la différence la plus grande et la plus évidente. La valeur de l'énergie éolienne dans la simulation est beaucoup plus élevée (près de 9 fois) que la valeur réelle.

Une étape dans la simulation : elle a été réalisée à l'aide d'un générateur spécial pour ce système. En fait, il semble que la puissance éolienne dans le système réel était très faible (5,2 W), en raison de la petite taille des ailettes, un impacteur d'air externe a été utilisé, et que l'éolienne utilisée est un moteur pas à pas, car une turbine spéciale de ce type n'est pas disponible en Algérie et son coût est élevé.

II .8. 2. Puissance totale :

Simulation (Proteus) : $46.9 + 48.2 + 44.2 = 139,3$ Watts de puissance

Fait : $39,3 + 5,2 = 44,5$ W

➤ **Observation :** la puissance totale dans la simulation est presque trois fois supérieure à la puissance totale dans le système réel.

II .8. 3. La principale conclusion :

* Le système réel montre les performances réelles dans des conditions réelles : les lectures réelles reflètent les défis du monde réel, tels que les fluctuations de la vitesse du vent, l'inefficacité réelle des composants ou l'indisponibilité de certaines sources à l'emplacement actuel.

* L'écart entre la simulation et la réalité : il existe un grand écart entre les performances de simulation et les performances réelles, en particulier en ce qui concerne l'énergie éolienne. Cet écart est naturel et attendu. En bref, la simulation montre "ce qui pourrait être" dans les meilleures conditions ou dans une configuration complète, tandis que le

système réel montre "ce qu'est un objet" déjà dans un certain environnement. Cette variabilité est au cœur du processus de conception et de développement des systèmes.

Tableau de Comparaison entre la simulation et la réalité :

Source d'énergie	Solaire	Éolienne	Vagues	Résultats général
Résultats Simulation	47.21W	50W	41.6W	138.81W
Résultats Pratique	38.2W	4.4 W	Non réalisés	42.6W

Tableau 1 : Comparaison général



Figure 45 : prototype



Figure 46 : le projet final

CONCLUSION :

Ce projet a été simulé à l'aide de programmes tels que MATLAB, Proteus et l'environnement de développement Arduino. Les résultats ont montré une bonne convergence de la simulation et de la réalité dans le cas de l'énergie solaire, compte tenu de la disponibilité d'équipements et de conditions appropriés. En ce qui concerne l'énergie éolienne, un moteur pas à pas a été utilisé comme alternative illustrative en raison du manque de turbines appropriées en Algérie et de leur coût élevé. En ce qui concerne l'énergie houlomotrice, la mise en œuvre du modèle pratique n'a pas été achevée en raison du manque d'équipement et du coût élevé des composants nécessaires.

CONCLUSION GENERAL :

Le projet "Green Triple Energy " - combinant les énergies du soleil, du vent et de l'eau - a incarné notre vision ambitieuse vers la durabilité énergétique et la dépendance aux sources renouvelables. En combinant une conception théorique rigoureuse par simulation et une vérification pratique par application réelle, ce projet a démontré un potentiel énorme pour fournir des solutions énergétiques intégrées et respectueuses de l'environnement. La comparaison des performances simulées avec les résultats du monde réel a révélé des informations précieuses ; alors que les simulations ont fourni une image optimale du potentiel du système dans des conditions optimales et de multiples sources, les lectures réelles reflétaient les défis et les opportunités disponibles dans l'environnement réel. Cet écart n'est pas un obstacle, mais un tremplin crucial vers l'amélioration et le développement continu. Le projet "Green Triple Energy " n'est pas seulement un projet de recherche, c'est un microcosme de l'avenir énergétique auquel nous aspirons. Nous avons prouvé la faisabilité de l'intégration de diverses sources d'énergie renouvelables pour assurer un approvisionnement stable et des performances efficaces. À mesure que la technologie continue d'évoluer, nous sommes impatients d'améliorer l'efficacité des systèmes existants, de réduire l'écart entre les performances théoriques et réelles et d'ouvrir de nouveaux horizons pour des applications pratiques à plus grande échelle. Notre engagement envers l'énergie propre est un investissement dans notre planète, dans la santé de nos générations futures et dans la construction d'une économie plus résiliente et durable. Le projet "Green Triple Energy “ est une étape importante dans cette voie, soulignant que la coopération entre la recherche scientifique et l'application pratique est la clé pour parvenir à une énergie durable pour tous.

<p>الشركات الرئيسية:</p> <ul style="list-style-type: none"> الموردون شركات الطاقة الهيئات الحكومية المنظمات البيئية 	<p>الأنشطة الرئيسية:</p> <ul style="list-style-type: none"> البحث والتطوير للنظام التصنيع والتكريب للنظام الدعم الفني والصيانة للنظام 	<p>القيم المقترحة:</p> <ul style="list-style-type: none"> نظام هجين للطاقة الشمسية والمائية والرياح يوفر الطاقة بشكل مستدام يعمل لتخزين الطاقة وتوفيرها التقليل من الاستهلاك العشوائي للطاقة تخفيض التكاليف العالية المرتبطة بالفواتير ضمان توفير الطاقة في كل الأوقات مع استغلال الموارد المتاحة 	<p>العلاقات مع العملاء:</p> <ul style="list-style-type: none"> الدعم الفني التدريب والصيانة التواصل المستمر 	<p>شرائح العملاء:</p> <ul style="list-style-type: none"> الأفراد والمنزل المؤسسات والشركات الصغيرة المناطق النائية المؤسسات البيئية
<p>هيكل التكاليف:</p> <ul style="list-style-type: none"> تكاليف البحث والتطوير للنظام الهجين تكاليف الدعم الفني للنظام الهجين التسويق والتوزيع للنظام الهجين التكاليف التشغيلية للنظام الهجين 	<p>مصادر الإيرادات:</p> <ul style="list-style-type: none"> البيع المباشر للنظام الهجين خدمات ما بعد البيع للنظام الهجين التسويق والشركات اشتراكات الطاقة المستدامة 			

References

1. MEUNIER, Francis. Les énergies renouvelables. Le Cavalier Bleu, 2008.
2. COLLARD, Fabienne. Les énergies renouvelables. Courrier hebdomadaire du CRISP, 2015, no 1, p. 5-72.
3. HOMMES, EXEMPLES DE MÉTIERS ACCESSIBLES AUX. ÉNERGIES RENOUVELABLES. 2014.
4. REN21, "Renewables 2022 Global Status Report
5. Agence Internationale de l'Énergie (AIE), Solar Energy : Technologies and Projects
6. International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable Power Generation Costs in 2022
7. NREL (National Renewable Energy Laboratory), "Photovoltaic Degradation Rates — An Analytical Review"
8. FERKOUS, Khaled et BENTOUNSI, A. Etude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne. 2009.
9. CHITOUR, Yassine. Contribution au dimensionnement des échangeurs de chaleur Sol-Eau en utilisant un modèle analytique.
10. VUATAZ, François D. L'énergie géothermique. Bulletin SEV/AES, 2005, vol. 15, p. 25-31.
11. FRANÇOIS-D, D°. L'énergie géothermique.
12. COTILLON, JOANNES. L'hydroélectricité dans le monde. La Houille Blanche, 1978, vol. 64, no 1-2, p. 1-85.
13. X Zhao, G Huang, Y Li, C Lu March 2023 Renewable and Sustainable Energy Reviews ELSEVIER Responses of hydroelectricity generation to streamflow drought under climate change
14. HEMDANE, Yacine, BOUHMADOUCHE, Mohamed, et ATROUNE, Farid. Identification des zones côtières à fort potentiel en énergie marine renouvelable

Référence:

(vagues/houles) à travers l'étude de la morphologie côtière et sous-marine et hydrodynamique. *Revue des Energies Renouvelables*, 2016, vol. 19, no 4, p. 543-552.

15. Sara Maen Asaad 1 2, Muhammad Tawalbeh 1 3, Abdullah Ali 4, Sara Rashid Al Kindi 3, Amani Al-Othman 4 2024, Pages 215-243 Academic press *Renewable Energy - Volume 2: Wave, Geothermal, and Bioenergy*
16. ,ASAAD, Sara Maen, TAWALBEH, Muhammad, ALI, Abdullah et al : Definition of bioenergy. In ,*Renewable Energy-Volume 2: Wave .Geothermal, and Bioenergy*. Academic Press, 2024. p. 215-243
17. ,HINTZ, Kenneth J., YOUNT, Garret L., KADAR, Ivan .et al *Bioenergy .definitions and research guidelines Alternative Therapies in Health and .Medicine*, 2003, vol. 9, no 3; SUPP, p. A13-A30
18. *Sciences humaines et sociales et Photovoltaïque, Une histoire à écrire : le photovoltaïque* Yves BOUVIER & Sophie PEHLIVANIAN 2017 <https://nmsh.hal.science/hal-03257226/document#page=44>
19. Seror, Jonathan, *Limites Theoriques du Photovoltaïque (Quantum Efficiency Theoretical Limits)* (May 28, 2010). Available at :SSRN <https://ssrn.com/abstract=3626064> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3626064>
20. AMANAINE AMASTAN, Hassane. *Caractérisation par simulation du fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques*. 2021. Thèse de doctorat. Université ibn khaldoun-tiaret.
21. Alibioma,comment fonctionne un panneau photovoltaïque <https://www.albioma.com/magazine/comment-fonctionne-un-panneau-photovoltaïque/>
22. ANTONESCU, Ion, MIRON, Mihaela, et CUCOS, Iulian. *Considérations concernant l'utilisation de panneaux photovoltaïques avec cellules flexibles au polymères semi-conductrices*. 2016.
23. K Sabiha, I Djamel, M Khddoudja - 2012 *Simulation d'un émulateur d'un panneau photovoltaïque en utilisant un hacheur Buck sous Matlab-SIMULINK*.

Référence:

24. BOITIER, V., BAGET, R., et ALONSO, C. Caractérisation de panneaux photovoltaïques. La Revue 3EI, 2008, vol. 55, p. 54-61.
25. ZAHER, Khantouch, ZAKARIA, Twaila, et al. Etude comparative de deux installations photovoltaïques à cellules polycristallines et amorphes raccordées au réseau en milieu saharien. In : Le colloque international de l'Eco-Innovation «ECONOV 2022». Le 07-09 Mai 2022. Tunisie. 2022. p. 126.
26. BENCHABANA, Mohammed Laid et BENACHOURA, Mohammed. Simulation d'une cellule solaire en couches minces à base de sulfure de plomb (PbS). Thèse de doctorat. Université KASDI-MERBAH Ouargla.
27. TOUAFEK, Khaled. Etude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique. 2005. Thèse de doctorat. Alger, Ecole Nationale Polytechnique.
28. International Renewable Energy Agency (IRENA), "Solar Thermal Energy Technologies"
29. Agence Internationale de l'Énergie (AIE), "Solar Heating and Cooling Technology Roadmap"
30. Solar Energy Industries Association (SEIA), "Solar Thermal Systems Overview"
31. Fraunhofer ISE, "Solar Thermal Collector Performance and Testing"
32. CHEDOP, Armand Noël Ngueche, DJONGYANG, Noël, et ZAATRI, ABDELOUAHAB. MODELISATION ET ETUDE COMPARATIVE DES CAPTEURS SOLAIRES PLANS ET A TUBES DANS LES REGIONS SOUDANO-SAHELIENNES DU CAMEROUN. Sciences & Technology. A, exactes sciences, 2018, p. 37-44.
33. TACHAN, Zion, RÜHLE, Sven, et ZABAN, Arie. Dye-sensitized solar tubes: A new solar cell design for efficient current collection and improved cell sealing. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2010, vol. 94, no 2, p. 317-322.
34. XIANG, Chengjie, ZHAO, Xiaoli, TAN, Liwang, et al. A solar tube: Efficiently converting sunlight into electricity and heat. Nano Energy, 2019, vol. 55, p. 269-276.

Référence:

35. NKWETTA, Dan Nchelatebe et SANDERCOCK, Jim. A state-of-the-art review of solar air-conditioning systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2016, vol. 60, p. 1351-1366.
36. MAHMOOD, Afaq Jasim. Experimental study for improving unglazed solar system. *Cogent Engineering*, 2021, vol. 8, no 1, p. 1961564.
37. BLEUTHI, Avantages et inconvénients des panneaux solaires thermiques <https://fr.bluetipower.eu/blogs/news/panneau-solaire-thermique>
38. FERKOUS, Khaled et BENTOUNSI, A. Etude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne. 2009.
39. POITIERS, Frédéric. Etude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'énergie éolienne-machine asynchrone a cage autonome-machine asynchrone a double alimentation reliée au réseau. 2003. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
40. TRACHSEL, Vincent. L'énergie éolienne et solaire: alternatives aux besoins énergétiques de la Suisse de demain. *Bulletin de la Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, 2007, no 31.
41. Seltzer P., Lasserre A., Le climat de l'Algérie, institut de météorologie de physique du globe de l'Algérie, 04272, 1930
42. Y Fournis MJ Fortin, L'ACCEPTABILITÉ SOCIALE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE UNE DÉFINITION
43. UNIVERSITY OF BATH. Wind Turbine Kit Bath .University of Bath, [s.d.] : <https://people.bath.ac.uk/kmsc20/PW3/PW1/Equipment.html> .
44. LINKEDIN. 3 - OWFs - What is a Nacelle. [s.l.]: LinkedIn, [s.d.]. Disponible sur : <https://www.linkedin.com/pulse/3-owfs-what-nacelle-hiaenergy>
45. LINDY ENERGY. Wind Turbine Rotor. [s.l.] : Lindy Energy, [s.d.] Disponiblesur : [/https://lindyenergy.com/wind-turbine-rotor](https://lindyenergy.com/wind-turbine-rotor)
46. MAERSK TRAINING. What is a Nacelle in Wind Turbines. [s.l.] : Maersk Training, [s.d.]. Disponible sur : <https://maersktraining.com/news-and-insights/industry-insights-blog/what-is-a-nacelle-in-wind-turbines>

Référence:

47. .GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). Global Wind Report 2023
Brussels : GWEC, 2023. Disponiblesur: <https://gwec.net/global-wind-report-2023>
48. .INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA)
Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series– Wind Power. Abu
Dhabi : IRENA, 2022. Disponible sur
: <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Renewable-energy-technologies-cost-analysis-series>
49. SMITH, J. et al. Wind Turbine Generators: Asynchronous vs. Synchronous
.Machines. Renewable Energy Journal, 2021, vol. 15, no 3, p. 120-135
50. MAERSK TRAINING. Wind Turbine Technology: Generators and Drive
Trains. [s.l.] : Maersk Training, [s.d.]. Disponible
sur: <https://www.maersktraining.com/wind-turbine-technology>
51. EL KHCHINE, Younes. Simulation des performances aérodynamiques d'une
éolienneà axe horizontal In: CFM 2015-22ème Congrès Français de
Mécanique. AFM, Maison de la Mécanique, 39/41 rue Louis Blanc-92400
.Courbevoie, 2015
52. SARAH, NASR et NAZIH, MOUBAYED. Etude comparative entreéolienne
à axe horizontal et éolienneà axe vertical UniversitéLibanaise, Faculté de
.Genie, 2011, vol. 1
53. .BEAUDET, Laurent Etude expérimentale et numérique du décrochage
dynamique sur uneéolienneàaxe vertical de forte soliditéTh .2014 .èse de
doctorat. Université.de Poitiers
54. S Louassa, M Merzouk, O Guerri - Journal of Renewable Energies, 2012
Evaluation des performances de quatre types d'éolienne dans une zone aride
55. Wave energy: history, implementations, environmental impacts, and future
prospects"
https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Li-et-al-2022_0.pdf
56. "Potential for power generation from ocean wave renewable energy source: A
comprehensive review on state-of-the-art technology and future prospects"

Référence:

57. Connaissance des énergies Fiche pédagogique sur l'Energie des vagues
58. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues>
59. Arduino IDE, 12 novembre 2022 Par Arduino Factory <https://arduinofactory.fr/arduino-ide/>
60. Fiche mémoire pour le logiciel ISIS Proteus Gecif.net http://fractale.gecif.net/si/logiciels/proteus/fiche_memo_proteus_complete.pdf
61. Initiation à l'utilisation du logiciel PROTEUS 2023 / 2024 univ-msila https://elearning.univ-msila.dz/moodle/pluginfile.php/766094/mod_resource/content/1/TP-1%20Proteus-ISIS.pdf
62. Découverte des composants électroniques sous Proteus http://fractale.gecif.net/si/logiciels/proteus/decouverte_des_composants_analogiques.pdf
63. F Iov, AD Hansen, P Sørensen, F Blaabjerg - 2004 Wind turbine blockset in Matlab/Simulink-general overview and description of the models