

الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

كلية العلوم والتكنولوجيا

Département électromécanique

Département Mécanique

قسم الكترولوميكانيك

قسم الميكانيك

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Département : Mécanique

Département : Electromécanique

Filière : Energétique

Filière : Energie renouvelable

Spécialité : Energétique

Spécialité : Energie renouvelable

Présentée par :

- Boudjir Fatima
- Chaibdakene Lakhdar

- Taibi Roua
- Tabakhi Aya

Intitulé :

Conception et développement d'un système intelligent de distribution d'eau potable dans une suite isolée

Soutenu le : **12/11/2024**

Devant le jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>Mr. MABREK Abdelhakim</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. ZAIDI Elyazid</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadrant</i>	<i>ENSH-BLIDA</i>
<i>Mr. SAAD SAOUD Marwan</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadrant</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. ZERROUGUI Raouf</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr. SAIDAN Lyamine</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mr.</i>	<i>MCB</i>	<i>Invite</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

Ce document présente les travaux effectués dans le cadre de notre projet de fin d'étude de master de Département d'Electronique de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi Bordj Bou Arreridj.

Tout d'abord, on tient à remercier Dieu le tout puissant pour ses bien faits inestimables, de nous avoir permis de terminer nos études ainsi que ce modeste travail dans de bonnes conditions.

*La réalisation et la contribution de ce mémoire a été possible grâce au notre Rapporteur **Dr. ZAIDI Elyazid, MCB** a l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida cela nous tenons à le remercier chaleureusement*

*Nous adressons nos remerciements à notre Rapporteur **Dr. SAAD SAOUD Marwan, MCB** de l'Université de Bordj Bou Arreridj, pour sa contribution et sa disponibilité à l'élaboration de ce travail.*

On profite également pour remercier les enseignants pour leur assistance que nous avons ressenti durant notre travail, aussi tout au long du cursus de notre formation, et aussi pour leurs orientations, leurs conseils. Durant tout ce temps, on a su apprécier leurs qualités scientifiques, leurs humanismes et surtout leur modestie.

Enfin on remercier tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travaille à

*Mes chers parent, pour leurs soutient morale et financier et
d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours encouragé
pour terminer mes études dans des bonnes conditions, en leur
espérant une longue vie et que ﷻ les garder*

- * *Ames chers sœurs*
- * *A mon Rapporteur **Dr. Zaidi Elyazid** et Rapporteur
Dr. SAAD SAOUD Marwan*
- * *A toute la promotion **2023-2024 Industries
Electronique sans exception.***
- * *A mes tout chers amis.*

.....

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

*Mes chers parents, pour leur soutien moral et financier
et d'être la lumière de ma vie, qui m'ont toujours
encouragé pour terminer mes études dans de
bonnes conditions en leur espérant une longue vie et
que الله les garde*

- * Ames chers sœurs*
- * A mon Rapporteur **Dr. Zaidi Elyazid** et Rapporteur
Dr. SAAD SAOUD Marwan*
- * A toute la promotion 2023-2024 Industries
Electronique sans exception.*
- * A mes tout chers amis.*

.....♦

Table des matières

1	Table des matières.....	ii
2	Liste des figures	v
	Introduction Générale	1
	Chapitre 1 : Etat de l'art sur les différents types des énergies renouvelable	
1.1	Introduction.....	3
1.2	Ressources renouvelables	4
1.3	Différentes types des sources d'énergies renouvelables.....	5
3.1.1	Energie solaire.....	5
3.1.2	Solaire thermique	5
3.1.3	Solaire photovoltaïque	7
3.1.4	L'énergie solaire thermodynamique	9
3.1.5	L'énergie éolienne.....	11
3.1.6	L'énergie hydraulique.....	13
1.4	L'énergie de la biomasse	15
1.5	Biogaz	17
1.5.1	Composition chimique de biogaz.....	17
1.5.2	Caractéristiques du biogaz	18
1.6	Biocarburant.....	20
1.7	Piles à combustible	21
1.8	Conclusion	23
	Chapitre 2 : Méthode d'accès à l'eau pour les animaux en zones arides et reculées	
2.1.	Introduction.....	28
2.2.	Sources d'eau dans les zones isolées.....	28
3.1.7	Eaux souterraines et eaux de surface	28
3.1.8	Dessalement et collecte des eaux de pluie	30
3.1.9	Défis et durabilité des ressources en eau.....	32
2.3.	Méthodes d'approvisionnement en eau pour les animaux dans les zones isolées.....	34
2.3.1	Sources naturelles et durabilité de l'eau	34

2.4. Technique d'approvisionnement en eau pour les animaux	35
3.4.11 Défis et solutions durables pour l'approvisionnement en eau dans les zones isolées	36
2.5. Conclusion	38

Chapitre 3 : Réalisation expérimentale

3.1 Introduction.....	41
3.2 Problématique	41
3.3 Solutions proposes traditionnelle.....	42
3.4 Solution propose dans notre projet étudié.....	43
3.5 Composants.....	44
3.5.1 Arduino UNO.....	44
3.5.2 Capteurs.....	45
2.6 Panneau solaire photovoltaïque	48
2.6.1 Avantage des panneaux solaires.....	48
2.6.2 Différents types de panneaux solaires.....	49
2.6.3 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)	49
2.7 Pompe	50
3.7.1 Définition simple.....	50
3.7.2 Différents types de pompes	51
3.7.3 Avantages des pompes 12V	51
2. 8 Description du banc expérimental	51
3.8.1 Capteur de mouvement	52
3.8.2 Capteur du niveau de puits.....	53
3.8.3 Capteurs du niveau de réservoir.....	53
3.8.4 Capteurs du niveau de bassine	54
3.8.5 Pompe de puits	54
3.8.6 Pompe de réservoir.....	55
3.8.7 Carte de commandé.....	55
3. 8.8 Caméra	56
3.9 Description générale de principe de fonctionnent du système.....	57
3.10Programme de la carte commande.....	58

3.10.1 Arduino	58
3.10.2 Microcontrôleur.....	58
3.10.3 Mémoire	58
3.10.4 Ports d'Arduino	59
3.1.5 Partie programme	59
3.11 Architecteur du système en temps réel	64
3.11.1 Fonctionnement:.....	64
3.11.2 Objectifs:	64
3.12 Conclusion	66
<i>Conclusion générale</i>	68
Annexe A : Animaux assoiffés	70

Liste des figures

Figure 1-1 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique.....	6
Figure 1-2 Principe de la conversion photovoltaïque.	8
Figure 1-3 Centrale solaire thermodynamique.....	10
Figure 1-4 Différents composants d'une éolienne.	12
Figure 1-5 L'énergie hydraulique.	14
Figure 1-6 L'énergie de la biomasse.....	16
Figure 1-7 Schéma de fonctionnement du biogaz.....	18
Figure 1-8 Schéma de biocarburant.	20
Figure 1-9 Schéma de principe de fonctionnement d'une pile à combustible.	22
Figure 2-1 Eaux souterraines et les eaux de surface.	29
Figure 2-2 Réservoir de pluie dans une zone isolée.....	30
Figure 2-3 Système de pompage solaire approvisionnant un abreuvoir pour animaux.	32
Figure 2-4 Effets du climat et les inondations sur la disponibilité des ressources en eau.	34
Figure 2-5 Technique d'abreuvoir pour animaux.	35
Figure 2-6 Système de pompage solaire approvisionnant un abreuvoir pour animaux.	36
Figure 2-7 Sécheresses dans les zones isolées.	37
Figure 2-8 Conception d'une station d'irrigation intelligente avec panneaux solaires, capteurs et systèmes de contrôle à distance.	37
Figure 3-1 Oiseau buvant au robinet.....	42
Figure 3-2 Arduino Uno R3 (China).....	44
Figure 3-3 Capteur de mouvement.....	45
Figure 3-4 Capteur de mouvement et position infrarouge de type PIR HC-SR501.	46
Figure 3-5 Capteur niveau d'eau étanche détecteur anti débordement 8mm flotteur liquide cuve réservoir.	47
Figure 3-6 Panneau Photovoltaïque.	48
Figure 3-7 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).	49
Figure 3-8 Pompe 12V.....	51
Figure 3-9 Photographie du banc expérimental.	52

Figure 3-10 Méthode de câblage de capteur de mouvement.	52
Figure 3-11 Capteurs du niveau de puits.	53
Figure 3-12 Capteurs du niveau bas et haut de réservoir.	53
Figure 3-13 Capteurs du niveau bas et haut du bassin.	54
Figure 3-14 Pompe de puits.	55
Figure 3-15 Pompe de réservoir.	55
Figure 3-16 Carte de commande du système.	56
Figure 3-17 Caméra de surveillance.	57
Figure 3-18 Logo de la marque Arduino.	58
Figure 3-19 Microcontrôleur de la carte Arduino UNO.	58
Figure 3-20 Entrées/sorties de la carte Arduin.	59
Figure 3-21 Structure générale de programme Arduino.	60
Figure 3-22 Structure d'un programme Arduino.	60
Figure 3-23 Initialisation de la sortie LED sur la carte en mode OUTPUT (sortie).	61
Figure 3-24 Montage de capteur de mouvement PIR HC-SR501 avec Arduino Uno.	62
Figure 3-25 Montage de capteur de niveaux avec Arduino Uno.	63
Figure 3-26 Simulation et expérimentale du système étude.	65

Introduction Générale

L'accès à une eau potable de qualité est un enjeu majeur, en particulier dans les zones isolées. Ce projet vise à concevoir et à développer un système intelligent de distribution d'eau potable, capable de répondre aux besoins spécifiques d'une suite isolée. En combinant les dernières avancées en matière de technologies de l'eau, nous proposons une solution innovante pour garantir une gestion optimisée et durable de cette ressource essentielle.

Les suites isolées, bien qu'offrant un cadre de vie privilégié, posent des défis particuliers en termes d'approvisionnement en eau potable. Ce travail présente une approche novatrice pour répondre à cette problématique. En intégrant des capteurs, des actionneurs et une intelligence artificielle, nous développons un système intelligent capable d'optimiser la distribution d'eau, tout en minimisant les impacts environnementaux.

L'accès à une eau potable de qualité est un droit fondamental, pourtant de nombreuses zones isolées, notamment en milieu rural ou touristique, sont confrontées à des difficultés d'approvisionnement. Ce projet vise à développer une solution innovante et durable pour garantir une gestion optimisée de l'eau potable dans ce type d'environnement. Nous proposons un système intelligent capable de surveiller en temps réel la consommation d'eau, de détecter les fuites et d'ajuster automatiquement le débit en fonction des besoins. Ce système, alimenté par des énergies renouvelables, contribuera non seulement à préserver cette ressource précieuse, mais également à réduire les coûts énergétiques et à améliorer le confort des occupants de la suite isolée.

Ce travail se subdivise en trois chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art des énergies renouvelable et des actionneurs électriques, leurs avantages et leurs inconvénients.

Le deuxième chapitre présente le dispositif expérimental mis en place pour évaluer les performances du système intelligent de distribution d'eau. Nous décrivons en détail les composants matériels (capteurs, actionneurs, carte de commande) et la méthodologie de test.

Le troisième chapitre est consacré à la mise en œuvre pratique du système intelligent. Nous détaillerons le montage expérimental, depuis l'assemblage des composants jusqu'à la programmation de la carte de commande. Finalement, nous concluons notre travail par une conclusion général.

Chapitre 1 :

Etat de l'art sur les différents types des énergies renouvelable

Chapitre 1 : Etat de l'art sur les différents types des énergies renouvelable

1.1 Introduction

Les énergies renouvelables, issues du soleil, du vent, de la géothermie, de l'hydroélectricité et de la biomasse, constituent une alternative durable aux énergies fossiles [1]. Leur exploitation ne génère peu, voire pas, de pollution. Malgré un taux de pénétration encore faible (15% de l'électricité mondiale), elles offrent de multiples bénéfices : diminution de la dépendance énergétique, atténuation du changement climatique et promotion d'une économie plus verte. Afin de contribuer à la transition énergétique, ce chapitre présente un état de l'art des systèmes d'énergie renouvelable et de stockage, en mettant l'accent sur leurs performances et leurs potentialités [1].

Dans ce chapitre, nous effectuons un état de l'art approfondi sur les différents types de systèmes d'énergie renouvelable et de batteries. L'objectif est de constituer une base de connaissances solide qui nous permettra d'évaluer de manière critique leurs performances respectives et de justifier le choix technologique retenu pour notre étude.

Tableau 1.1 Différentes sources renouvelables employées à des fins énergétiques [1].

<i>Quelle source</i>	<i>Comment la capter et la transformer</i>	<i>Sous quelle forme utiliser</i>
<i>Photovoltaïque</i>	-Cellules Photovoltaïques	-Électricité directe ou stockée en batteries -Électricité injectée dans le réseau
<i>Thermique</i>	-Serres, murs capteurs	-Chauffage
	-Capteurs solaires basse température	-Eau chaude sanitaire
	-Capteurs solaires haute température	-Chauffage par le plancher -Électricité injectée dans le réseau -Chaleur à très haute température dans un four
<i>Eolien</i>	-Moulin à vent	-Force mécanique (mouture de céréales)
	-Eolienne mécanique	-Force mécanique (pompage de l'eau)
	-Aérogénérateur	-Électricité directe ou stockée en batteries -Électricité injectée dans le réseau
<i>Hydraulique</i>	-Moulin à eau	-Force mécanique (mouture de céréales)
	-Petite centrale hydroélectrique	-Électricité directe ou stockée en batteries
	-Grande centrale hydroélectrique	-Électricité directe ou stockée en batteries

		-Électricité injectée dans le réseau
	-Marémotrice (courants marins et vagues)	-Électricité injectée dans le réseau
Biomasse	-Distillerie, unité d'estérification (blé, betterave, colza, tournesol)	-Biocarburants pour les transports
	-Chaudière biocombustibles (bois, sciure, paille, rafles de maïs)	-Chauffage -Électricité (cogénération) injectée dans le réseau
	-Bio digesteur, méthaniser (déchets, organiques, poubelles)	-Biogaz pour les transports, pour le chauffage ou l'électricité
Géothermie	-Pompes à chaleur (source a moins de 30°C)	-Chauffage -climatisation
	-Centrales basse et moyenne énergie (130°C a 150°C)	-Chauffage
	-Centrales haute énergie (plus de 150°C)	-Chauffage -Électricité injectée dans le réseau

1.2 Ressources renouvelables

Les énergies renouvelables sont des formes d'énergie qui proviennent d'une source renouvelable, c'est à-dire une source inépuisable qui se renouvelle de telle sorte que l'utilisation actuelle n'ait pas d'impact sur la disponibilité future. Ces ressources renouvelables sont des sources d'énergie issues de phénomènes naturels provoqués par les astres, principalement le soleil (rayonnement) et la terre (énergie géothermique). Elles représentent une alternative intéressante pour les énergies classiques (fossiles). Les quatre principales sources d'énergies renouvelables sont : le solaire, l'éolien, l'hydraulique et la géothermie [1].

Les ressources renouvelables sont des ressources naturelles qui se reconstituent à une vitesse supérieure ou égale à celle à laquelle elles sont consommées. Elles constituent une alternative durable aux ressources fossiles, qui s'épuisent avec le temps. Parmi les principales sources d'énergie renouvelable, on retrouve l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et la biomasse. Ces ressources offrent de nombreux avantages, tels que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la diminution de la dépendance énergétique et la création d'emplois [2] [3].

Face aux défis du changement climatique et de l'épuisement des ressources fossiles, le développement des énergies renouvelables est devenu une priorité mondiale. Ces sources d'énergie propre et inépuisable offrent une solution durable pour répondre à la demande énergétique croissante. Cependant, leur déploiement à grande échelle nécessite des

investissements importants, ainsi que des efforts de recherche et développement pour améliorer leur efficacité et réduire leurs coûts [2] [3].

Les énergies renouvelables présentent de nombreux avantages, notamment leur caractère propre et renouvelable, leur contribution à la lutte contre le changement climatique et leur potentiel de création d'emplois. Néanmoins, elles sont confrontées à certains défis, tels que l'intermittence de certaines sources (soleil, vent), les coûts d'investissement initiaux élevés et la nécessité de développer des réseaux de distribution adaptés [2] [3].

1.3 Différentes types des sources d'énergies renouvelables

1.1.1 Energie solaire

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme, L'utilisation de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité et c'est l'énergie photovoltaïque [3] [4] [5]. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (kWc/m^2) répartie sur tout le spectre de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année.

La plupart des utilisations de l'énergie solaire sont directes, comme en agriculture, à travers la photosynthèse ou dans diverses applications de séchage et chauffage. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, une quantité encore importante arrive à la surface du sol. On peut ainsi compter sur $1000 W/m^2$ dans les zones tempérées et jusqu'à $1400 W/m^2$ lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau [4] [5]. Ce qui nous intéresse c'est l'utilisation directe de l'énergie solaire. Cette dernière est transmise à la Terre à travers l'espace sous forme de particules d'énergie, les photons du rayonnement.

L'énergie solaire est actuellement exploitée selon deux techniques : la conversion du rayonnement solaire en chaleur par des capteurs thermiques (**conversion hélio- thermique**), et sa transformation en électricité grâce à des panneaux photovoltaïques (**conversion électrique**) [5].

1.1.2 Solaire thermique

Le principe de l'énergie solaire thermique repose sur la conversion du rayonnement solaire en énergie calorifique. Cette conversion s'effectue grâce à un fluide

caloporteur qui circule dans des panneaux solaires thermiques (Figure 1.1). En effet, l'énergie solaire thermique peut être utilisée directement pour chauffer de l'eau sanitaire. On parle alors de chauffe-eau solaire individuel (CESI). Si l'objectif est de produire de l'électricité, il est nécessaire d'utiliser un générateur qui convertira l'énergie thermique en énergie électrique, comme un moteur à air chaud ou une turbine à vapeur. L'énergie solaire thermique présente de nombreux avantages pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire. En effet, elle est une source d'énergie renouvelable et gratuite, qui ne rejette pas de gaz à effet de serre, de plus, elle permet de réduire significativement la facture énergétique des foyers.

Dans certains pays, le chauffage de l'eau chaude sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétiques d'un foyer. L'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de ces besoins, ce qui représente une économie financière importante [5].

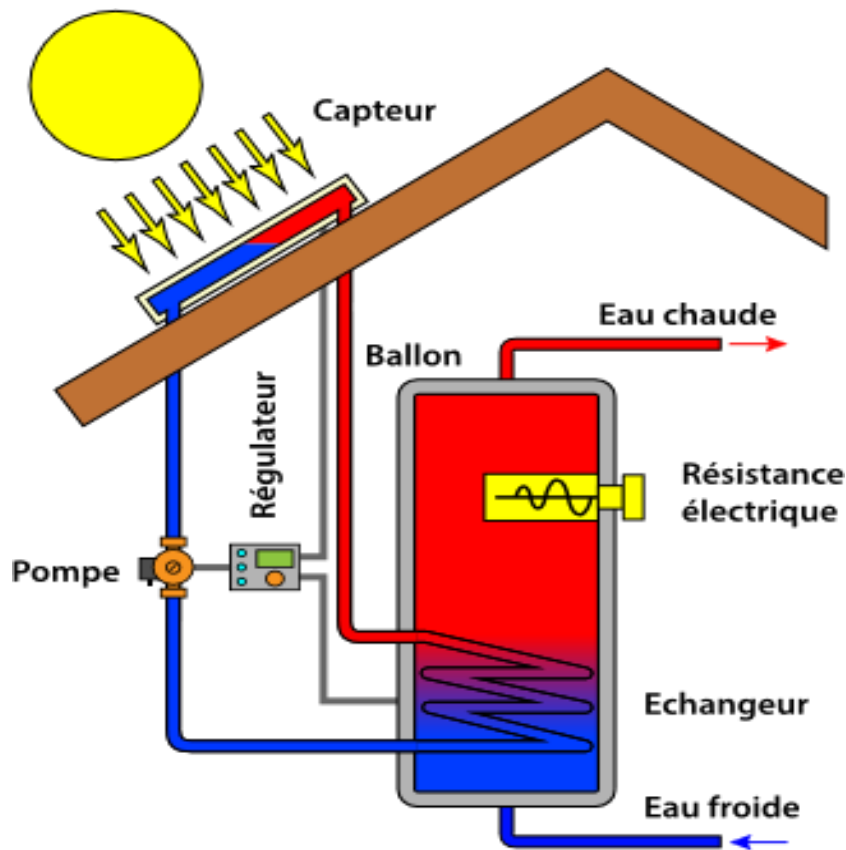


Figure 1-1 Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique.

a) Avantages

- Soleil est une source d'énergie inépuisable et gratuite, accessible dans de nombreuses régions du monde ;

- L'énergie solaire thermique ne produit pas de CO₂ ni d'autres polluants, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique ;
- Installations solaires thermiques permettent de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et aux fournisseurs d'énergie externes ;
- Une fois l'installation initiale réalisée, les coûts d'exploitation et de maintenance sont relativement faibles ;
- Systèmes solaires thermiques sont bien établis et fiables, avec une longue durée de vie ;
- Peut être utilisé pour le chauffage de l'eau, le chauffage des bâtiments, la production de vapeur pour des processus industriels, et même la production d'électricité (centrales solaires thermiques).

b) Inconvénients

- Production d'énergie dépend de la disponibilité du soleil, ce qui peut être problématique dans les régions avec un faible ensoleillement ou par temps nuageux ;
- Coûts d'installation des systèmes solaires thermiques peuvent être élevés, bien que ceux-ci puissent être compensés par des économies à long terme et des subventions gouvernementales ;
- Capteurs solaires thermiques nécessitent une surface relativement grande pour capter suffisamment d'énergie, ce qui peut être une contrainte dans les zones urbaines ou pour les grandes installations industrielles ;
- Stockage de la chaleur pour une utilisation ultérieure nécessite des solutions de stockage thermique efficaces, ce qui peut augmenter les coûts et la complexité du système ;
- Bien que les coûts de maintenance soient généralement faibles, les équipements tels que les collecteurs solaires et les réservoirs de stockage peuvent nécessiter des réparations ou des remplacements après plusieurs années d'utilisation ;
- Production et l'élimination des composants des systèmes solaires thermiques, tels que les panneaux solaires et les fluides caloporteurs, peuvent avoir un impact environnemental.

1.1.3 Solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque exploite la lumière du soleil pour convertir l'énergie des photons en électricité. Cette transformation se produit au niveau d'un semi-conducteur,

formant ainsi une cellule photovoltaïque. Connue sous le nom d'effet photovoltaïque, ce processus se déroule sans action mécanique, bruit, pollution ou besoin de combustible. Il a été découvert par le physicien français A. Becquerel en 1839 [6] [7]. Le terme "photovoltaïque" vient du grec "**phos**" signifiant "lumière" et du patronyme du physicien Alessandro Volta, qui a contribué de manière significative à la recherche en électricité [6].

Lorsque la lumière solaire frappe un matériau semi-conducteur, les photons interagissent avec les atomes du matériau, provoquant l'excitation et la libération d'électrons des couches de valence [7]. Contrairement à une simple conversion en chaleur, dans les cellules photovoltaïques, certains électrons libérés créent une tension électrique continue faible. Ainsi, une partie de l'énergie cinétique des photons est directement transformée en énergie électrique [6]. L'effet photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique à l'aide de cellules généralement composées de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, ces cellules sont reliées ensemble pour former un module solaire [7].

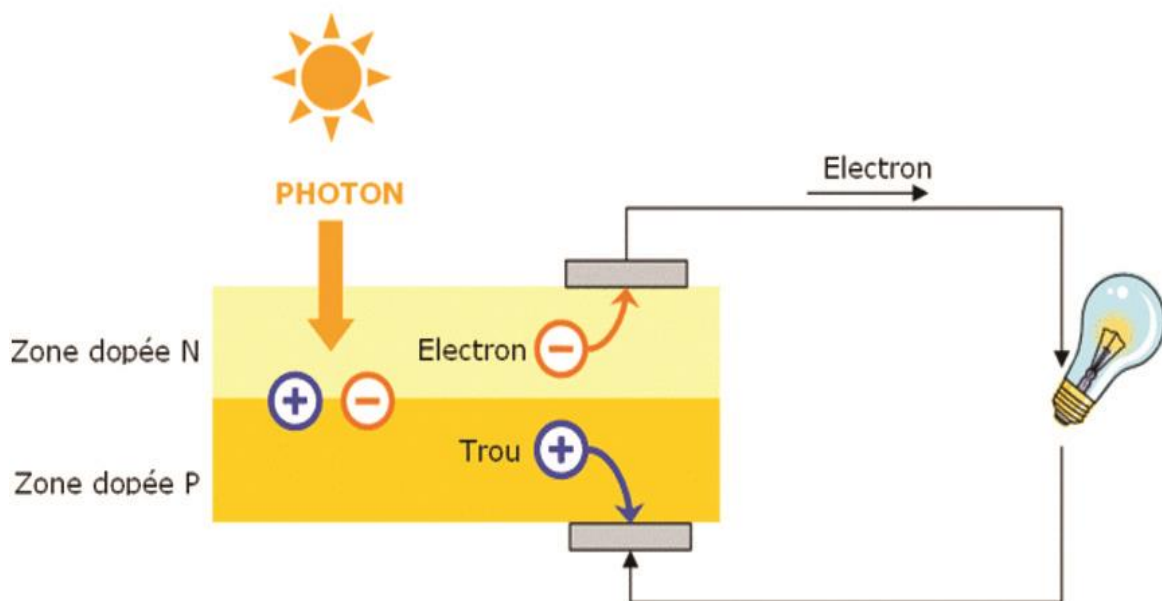


Figure 1-2 Principe de la conversion photovoltaïque.

a. Avantages

- L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable, contrairement aux combustibles fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel ;
- Panneaux solaires ne produisent pas de gaz à effet de serre pendant leur fonctionnement, ce qui contribue à la réduction de l'empreinte carbone et à la lutte contre le changement climatique ;

- Une fois installés, les panneaux solaires peuvent réduire considérablement les factures d'électricité, surtout dans les régions ensoleillées ;
- Systèmes photovoltaïques nécessitent peu de maintenance après l'installation. Les panneaux solaires ont une durée de vie longue, souvent plus de 25 ans ;
- L'énergie solaire permet aux utilisateurs de produire leur propre électricité, réduisant ainsi leur dépendance vis-à-vis des fournisseurs d'énergie et des fluctuations de prix du marché de l'énergie ;
- L'industrie solaire crée des emplois dans les domaines de la fabrication, de l'installation, de la maintenance et de la recherche et développement.

b. Inconvénients

- L'installation de panneaux solaires photovoltaïques nécessite un investissement initial important, bien que les coûts aient diminué ces dernières années grâce aux progrès technologiques et aux subventions gouvernementale ;
- Production d'électricité solaire dépend de la lumière du soleil, ce qui signifie qu'elle est intermittente. La production est faible ou inexistante pendant la nuit ou les jours nuageux ;
- Panneaux solaires nécessitent une surface importante pour installer suffisamment de panneaux afin de produire une quantité significative d'électricité, ce qui peut poser un problème dans les zones à forte densité de population ;
- Fabrication de panneaux solaires nécessite des matériaux rares et des processus industriels qui peuvent avoir des impacts environnementaux, notamment la consommation d'énergie et la pollution ;
- Pour pallier l'intermittence, des systèmes de stockage d'énergie, comme les batteries, sont nécessaires, ce qui ajoute un coût supplémentaire et des défis technologiques ;
- L'efficacité des panneaux solaires photovoltaïques est encore limitée par rapport à d'autres sources d'énergie.
- Plupart des panneaux ont une efficacité de conversion d'environ du 15 à 20 %, ce qui signifie qu'une grande partie de l'énergie solaire reçue n'est pas convertie en électricité.

1.1.4 L'énergie solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est une méthode pour générer de l'électricité tout en stockant l'énergie thermique requise pour cette production pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, dans des centrales solaires à concentration [8] [9]. Cette technique consiste

à concentrer la chaleur du soleil à l'aide de miroirs pour chauffer un fluide à haute température (plusieurs centaines de degrés Celsius), ce qui génère de la vapeur par échange thermique pour alimenter une turbine et produire de l'électricité. Le fluide utilisé peut maintenir sa chaleur pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, permettant ainsi la production d'électricité en début de soirée, lorsque la demande est la plus élevée [9].



Figure 1-3 Centrale solaire thermodynamique.

a) Avantages

- Utilise l'énergie solaire, une ressource inépuisable tant que le soleil brille.
- N'émet pas de gaz à effet de serre pendant la production d'électricité, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.
- Possibilité de stocker la chaleur dans des sels fondus ou d'autres matériaux pour une utilisation ultérieure, permettant de produire de l'électricité même lorsque le soleil ne brille pas (la nuit ou par temps nuageux).
- Certaines technologies de concentration, comme les miroirs paraboliques et les tours solaires, sont bien développées et ont prouvé leur efficacité.
- Construction et maintenance des centrales solaires créent des emplois locaux.
- Permet aux pays ensoleillés de réduire leur dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles importés.

b) Inconvénients

- Coûts de construction des centrales solaires thermodynamiques sont élevés par rapport à d'autres sources d'énergie renouvelable.
- Nécessite de grandes surfaces pour installer les miroirs ou les lentilles, ce qui peut perturber les écosystèmes locaux.
- Dépendance à l'ensoleillement, ce qui peut entraîner des variations dans la production d'énergie en fonction des conditions météorologiques.
- Systèmes de suivi solaire et de concentration de la lumière nécessitent une maintenance régulière et une technologie avancée.
- Centrales thermiques solaires peuvent nécessiter de l'eau pour le refroidissement, ce qui peut être problématique dans les régions arides où l'eau est une ressource rare.
- Installations de grande taille peuvent avoir un impact visuel significatif sur le paysage.

1.1.5 L'énergie éolienne

La ressource éolienne résulte du déplacement des masses d'air, qui est indirectement causé par l'ensoleillement de la Terre [10]. Ce phénomène crée une différence de pression en réchauffant certaines régions et en refroidissant d'autres, ce qui entraîne le mouvement continu des masses d'air [11]. Bien qu'exploitée depuis l'antiquité, cette forme d'énergie a été largement négligée pendant de nombreuses années, jusqu'à connaître un essor considérable au cours des 30 dernières années, notamment en raison des premiers chocs pétroliers. À l'échelle mondiale, l'énergie éolienne maintient une croissance annuelle d'environ 30% depuis une décennie.

Une éolienne se compose généralement de trois pales, montées sur un rotor et placées au sommet d'un mât vertical. Ces éléments sont fixés à une nacelle abritant un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter la partie supérieure de manière à ce qu'elle soit toujours face au vent. Les pales transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, tournant généralement entre du 10 à 25 tour par minute. La vitesse de rotation dépend de la taille des pales : plus elles sont grandes, moins elles tournent rapidement [10].

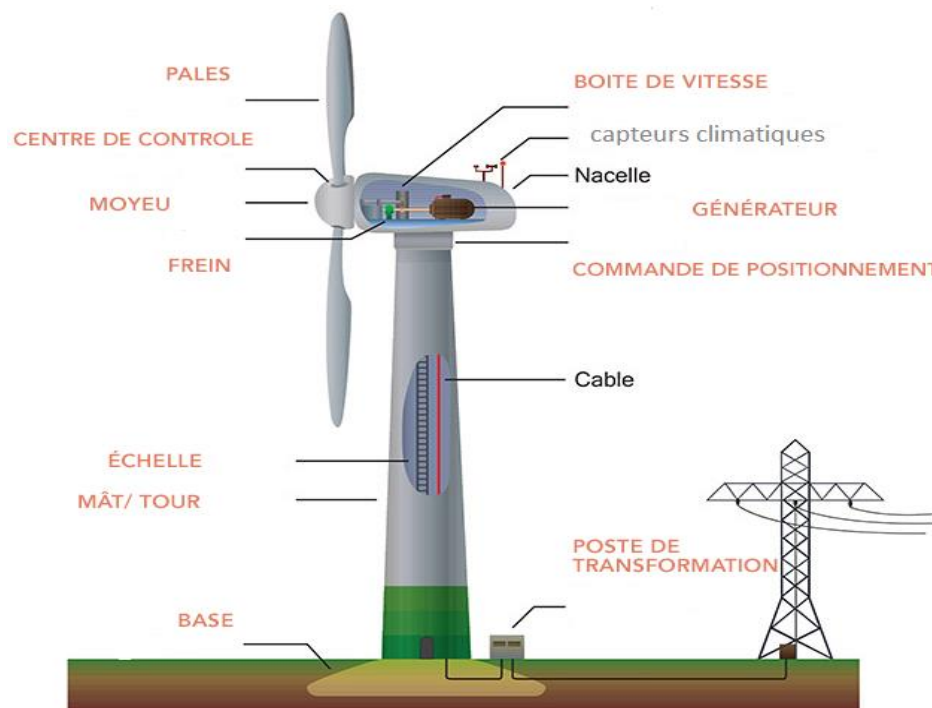


Figure 1-4 Différents composants d'une éolienne.

a. Avantages

- Vent est une ressource naturelle renouvelable et inépuisable, contrairement aux combustibles fossiles.
- L'énergie éolienne ne produit pas de CO_2 ni d'autres gaz à effet de serre pendant son fonctionnement, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.
- Elle permet de réduire la dépendance aux importations de combustibles fossiles et d'améliorer la sécurité énergétique des pays.
- Après l'installation initiale, les coûts d'exploitation et de maintenance des éoliennes sont relativement bas.
- Développement de parcs éoliens crée des emplois dans les domaines de la construction, de la maintenance et de la fabrication.
- Eoliennes peuvent coexister avec d'autres usages des terres, comme l'agriculture, ce qui permet une utilisation optimale des ressources terrestres.

b. Inconvénients

- Production d'énergie éolienne dépend de la vitesse du vent, qui peut être variable et imprévisible, nécessitant des solutions de stockage d'énergie ou des sources de secours.
- Eoliennes peuvent être considérées comme des nuisances visuelles et produire du bruit, ce qui peut provoquer des objections de la part des communautés locales.

- Eoliennes peuvent présenter des dangers pour les oiseaux et les chauves-souris qui risquent de heurter les pales en rotation.
- Coûts initiaux de fabrication, d'installation et de raccordement au réseau électrique peuvent être élevés.
- Construction des éoliennes nécessite des matériaux rares et des métaux précieux, dont l'extraction peut avoir des impacts environnementaux.
- Meilleures localisations pour les éoliennes sont souvent éloignées des centres de consommation d'énergie, ce qui nécessite des infrastructures de transport d'électricité adaptées.

1.1.6 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique provient du mouvement de l'eau sous diverses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée et vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, comme avec un moulin à eau, ou plus couramment converti en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique. Essentiellement, l'énergie hydraulique est une forme d'énergie cinétique liée au déplacement de l'eau, qu'il s'agisse des courants marins, des cours d'eau, des marées, des vagues, ou de l'utilisation de l'énergie potentielle, comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages [12].

Cette énergie hydraulique est en fait une manifestation indirecte de l'énergie solaire, tout comme de nombreuses autres sources d'énergie renouvelable sur terre, telles que l'énergie éolienne, l'énergie des vagues et la biomasse [12]. Sous l'influence du soleil, l'eau s'évapore des océans pour former des nuages, qui se déplacent avec les vents. Les variations de température au-dessus des continents provoquent la condensation de la vapeur d'eau, donnant lieu aux précipitations sous forme de pluie et de neige. Ces précipitations alimentent ensuite les glaciers et les rivières, qui s'écoulent progressivement vers les océans, suivant le cycle de l'eau.

L'énergie hydraulique peut également être convertie en une autre forme d'énergie, le plus souvent en électricité [13]. Une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute et du débit d'un cours d'eau;

- Centrale marémotrice utilise l'énergie des marées ;
- Hydrolienne utilise celle des courants marins ;
- L'énergie des vagues qui exploitée.

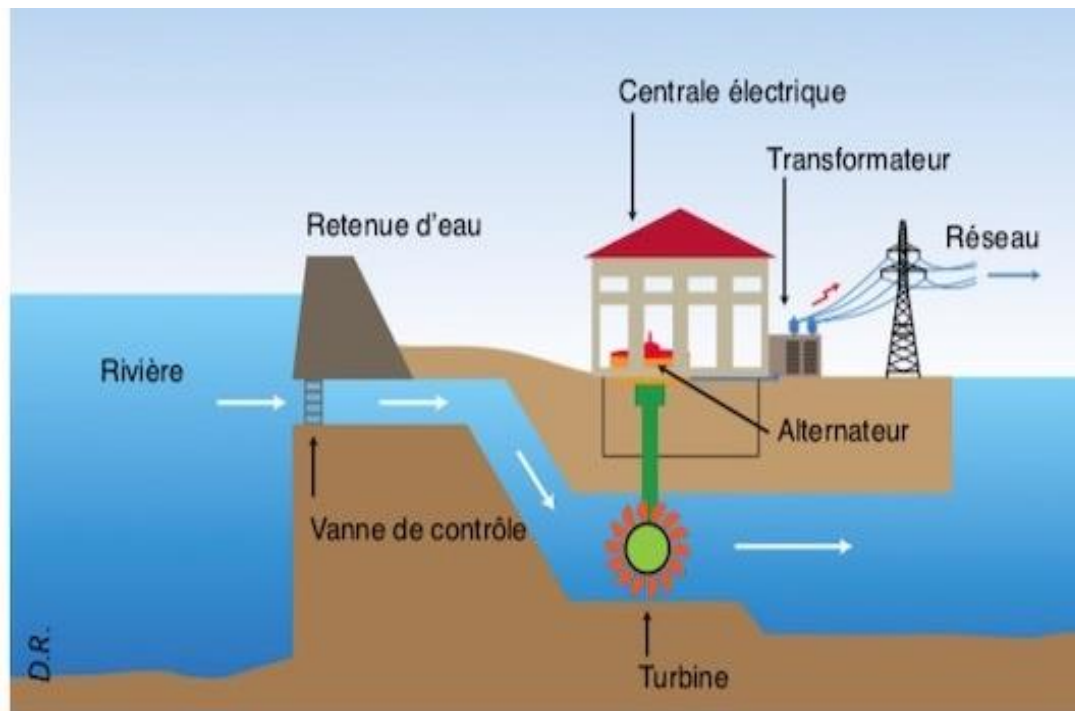


Figure 1-5 L'énergie hydraulique.

a) Avantages

- L'eau est une ressource renouvelable, ce qui signifie que tant qu'il y a des précipitations, l'énergie hydraulique peut être produite de manière continue.
- Contrairement aux combustibles fossiles, les centrales hydroélectriques n'émettent pas de gaz à effet de serre lors de la production d'électricité, contribuant ainsi à la réduction du réchauffement climatique.
- L'énergie hydraulique est généralement très fiable et peut produire de l'électricité de manière constante, contrairement à certaines autres sources d'énergie renouvelable comme l'énergie solaire ou éolienne qui dépendent des conditions météorologiques.
- Barrages hydroélectriques permettent de stocker de grandes quantités d'eau, qui peuvent être libérées pour produire de l'électricité lorsque la demande est élevée. Cela permet de réguler l'offre d'électricité et de stabiliser le réseau électrique.
- Une fois construite, une centrale hydroélectrique a des coûts d'exploitation relativement faibles comparés à d'autres sources d'énergie, car elle utilise l'eau comme carburant.
- Grands projets hydroélectriques peuvent fournir de l'électricité aux zones rurales et favoriser le développement économique local en créant des emplois et en améliorant l'infrastructure.

b) Inconvénients

- Construction de barrages et de réservoirs peut avoir des effets négatifs sur les écosystèmes aquatiques et terrestres, notamment la modification des habitats naturels, la perturbation des migrations des poissons et la perte de biodiversité.
- Les projets de barrages hydroélectriques peuvent entraîner le déplacement de populations locales, souvent de manière forcée, ce qui peut provoquer des tensions sociales et des problèmes de réinstallation.
- Centrales hydroélectriques dépendent des précipitations et des niveaux d'eau des rivières, ce qui les rend vulnérables aux variations climatiques et aux périodes de sécheresse.
- Construction de barrages et de centrales hydroélectriques nécessite des investissements initiaux très importants, ce qui peut représenter un obstacle pour de nombreux pays ou régions en développement.
- Bien que rare, la rupture d'un barrage peut provoquer des inondations catastrophiques en aval, mettant en danger des vies humaines et des biens matériels.
- Barrages retiennent les sédiments qui devraient normalement circuler en aval, ce qui peut entraîner l'érosion des lits des rivières et des plages en aval, affectant ainsi les écosystèmes et les activités humaines dépendant de ces sédiments.

1.4 L'énergie de la biomasse

Les plantes, grâce à l'énergie solaire, à l'eau et aux minéraux contenus dans le sol, absorbent le dioxyde de carbone et renouvellent ainsi le stock d'oxygène de notre atmosphère par le biais de la photosynthèse, processus par lequel elles fabriquent des hydrates de carbone, constituant principal des matières végétales [14]. Le terme **biomasse** englobe de manière générale l'ensemble de la matière vivante. Depuis le choc pétrolier de 1973, cette terminologie s'applique aux produits organiques végétaux ou animaux utilisés à des fins énergétiques ou agronomiques [15].

. On les classe généralement en deux grandes familles en fonction de leur taux d'humidité :

La biomasse sèche, comprenant la biomasse ligneuse (**comme les bûches, les rémanents forestiers, les petits bois de haie, les résidus de la transformation du bois, les élagages urbains et les bordures de routes, les bois de rebut, ainsi que les pailles et autres résidus de récoltes**).

La biomasse humide, regroupant les déchets organiques provenant de l'activité agricole (**tels que les déjections animales**), des industries agroalimentaires (abattoirs, laiteries, distilleries de cidre, etc...) et des collectivités (**déchets verts, boues d'épuration, fraction**

fermentescible des ordures ménagères, graisses organiques et produits résiduaire). Selon une autre définition, la biomasse désigne toute matière provenant du vivant, possédant la caractéristique d'être une source soit d'énergie, soit de matière première [14] [15].

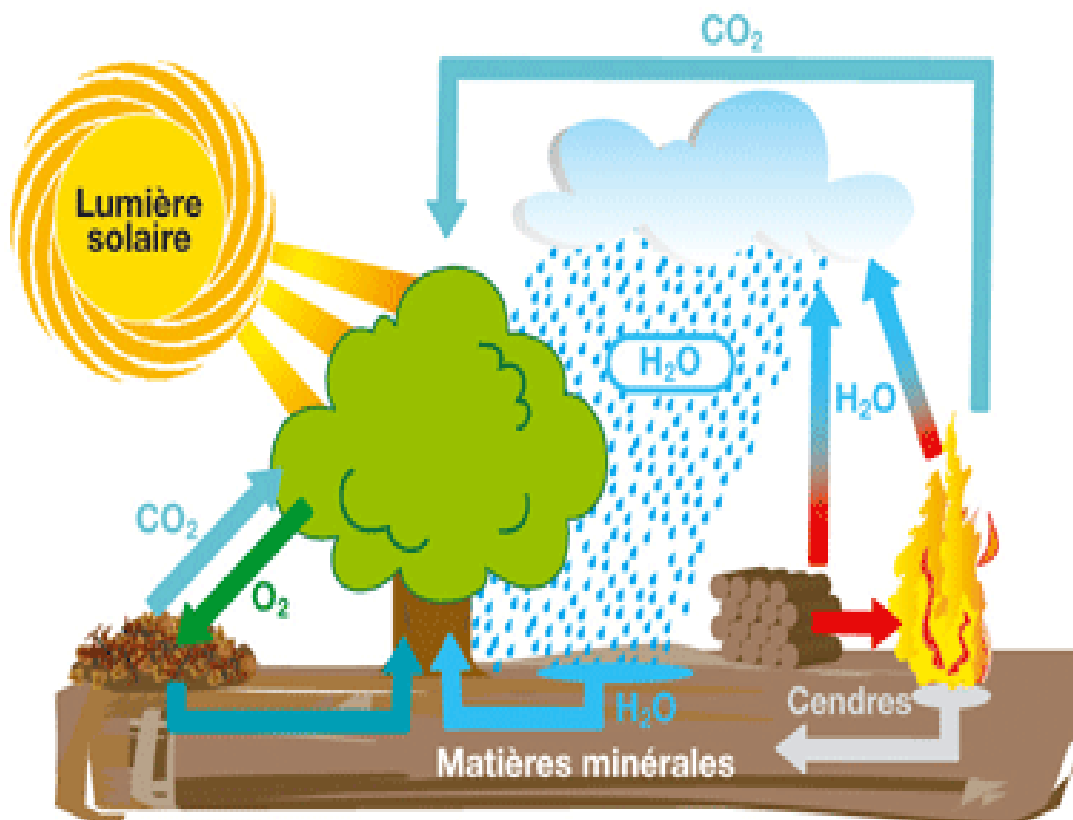


Figure 1-6 L'énergie de la biomasse.

a) Avantages

- * Biomasse est une source d'énergie renouvelable puisqu'elle provient de matières organiques qui peuvent être régénérées par la nature ou par des activités humaines comme l'agriculture et la sylviculture.
- * Utiliser des déchets agricoles, alimentaires ou verts pour produire de l'énergie aide à réduire la quantité de déchets qui finissent dans les décharges.
- * Combustion de biomasse libère du dioxyde de carbone, mais ce CO_2 est généralement réabsorbé par les plantes utilisées pour produire la biomasse, ce qui peut rendre le processus globalement neutre en carbone.
- * Production de biomasse peut créer des opportunités économiques dans les zones rurales en fournissant des emplois liés à la culture, à la récolte et à la transformation de la biomasse.

- ✳ L'ajout de la biomasse au mix énergétique peut aider à diversifier les sources d'énergie, réduisant ainsi la dépendance à des sources uniques comme les combustibles fossiles.

a) Inconvénients

- ✳ La demande accrue de biomasse peut entraîner la déforestation si les forêts sont abattues plus rapidement qu'elles ne peuvent se régénérer.
- ✳ La combustion de biomasse peut libérer des particules fines et d'autres polluants atmosphériques, contribuant ainsi à la pollution de l'air et à des problèmes de santé publique.
- ✳ Cultiver des cultures énergétiques peut entrer en concurrence avec les terres utilisées pour la production alimentaire, ce qui peut affecter la sécurité alimentaire.
- ✳ Le bilan carbone de la biomasse dépend fortement de la manière dont elle est produite, récoltée et transportée. Si ces processus sont énergivores, le bilan carbone peut être moins favorable.
- ✳ La disponibilité de la biomasse est limitée par la quantité de matières organiques disponibles, ce qui peut limiter la capacité de cette source d'énergie à répondre à une demande énergétique croissante.

1.5 Biogaz

Le biogaz est un mélange de gaz carbonique et de méthane résultant de la décomposition des matières organiques, qu'elles soient d'origine végétale ou animale, dans un environnement privé d'oxygène, processus également appelé fermentation anaérobie ou méthanisation. Cette fermentation est le produit de l'activité microbienne, qu'elle soit naturelle ou contrôlée (Solagro en 2001) [16].

1.5.1 Composition chimique de biogaz

La composition chimique du biogaz est variable et dépend de nombreux facteurs, notamment la nature des matières premières utilisées (déchets agricoles, effluents d'élevage, etc.), les conditions de température et de pression dans le digesteur, ainsi que le taux d'humidité [17]. En général, le méthane représente entre 50 et 70% du volume du biogaz, tandis que le dioxyde de carbone constitue le reste. Des traces d'autres composés, comme l'hydrogène sulfuré (très corrosif), l'ammoniac (NH_3), et des siloxanes peuvent également être présentes. La présence et la concentration de ces composés peuvent avoir un impact sur l'utilisation du biogaz, notamment sur son pouvoir calorifique et sa corrosivité [17].

Tableau 1.2 Composition volumique du biogaz issu de déchets organiques.

Gaz produits en conditions anaérobies	Teneurs habituels
CH ₄	50 à 70 %
CO ₂	30 à 50 %
H ₂ S	0 à 8 %
N ₂	0 à 20 %
CO	Traces

1.5.2 Caractéristiques du biogaz

Le biogaz est un combustible renouvelable produit par la décomposition anaérobie de la matière organique, comme les déchets agricoles, les boues d'épuration ou les déchets alimentaires. Ses principales caractéristiques incluent une teneur en méthane (CH₄) de 50 à 75%, ce qui lui confère un bon pouvoir calorifique, proche de celui du gaz naturel. Il contient également du dioxyde de carbone (CO₂) en quantités significatives (25 à 50%), ainsi que des traces de composés comme l'hydrogène sulfuré (H₂S) et l'azote (N₂) [17]. Le biogaz est souvent utilisé pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du carburant après un traitement qui élimine les impuretés, notamment le CO₂ et le H₂S. Sa combustion est moins polluante que les combustibles fossiles, ce qui en fait une solution écologique pour la transition énergétique [17].

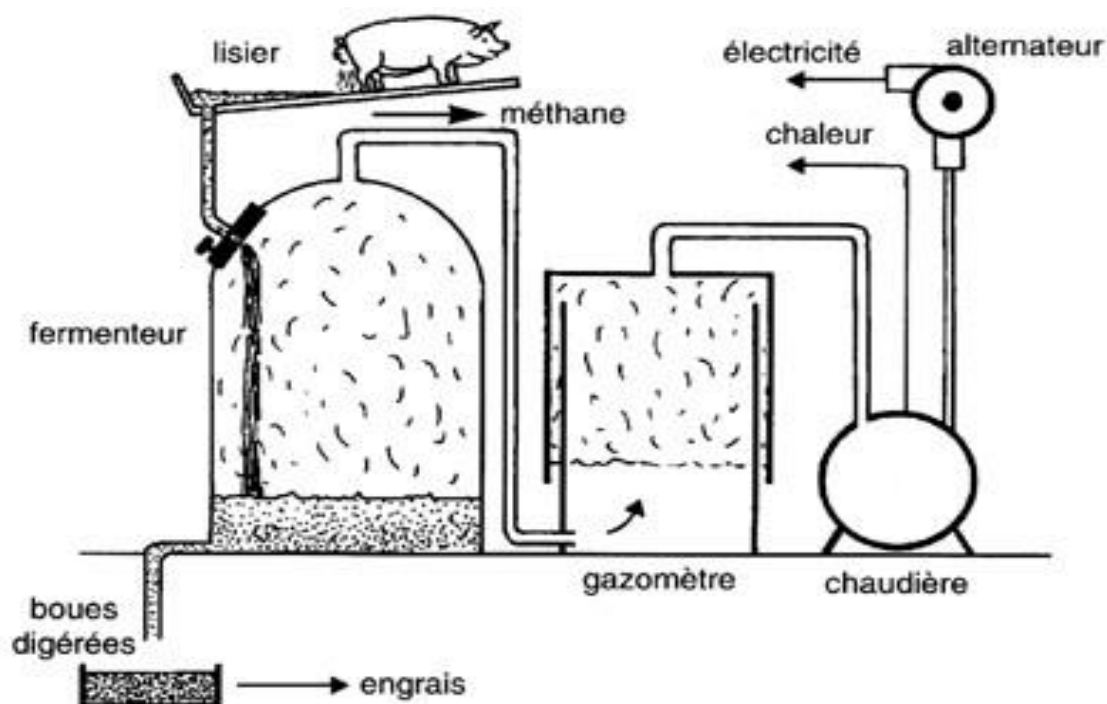


Figure 1-7 Schéma de fonctionnement du biogaz.

a) Avantages

- * Biogaz est produit à partir de matières organiques comme les déchets alimentaires, les résidus agricoles, et les excréments animaux, ce qui en fait une source d'énergie renouvelable et durable.
- * L'utilisation de déchets organiques pour produire du biogaz permet de réduire la quantité de déchets envoyés en décharge, ce qui diminue les émissions de méthane et autres gaz à effet de serre.
- * Digeste sous-produit de la production de biogaz, peut être utilisé comme fertilisant riche en nutriments pour l'agriculture.
- * Biogaz brûle plus proprement que les combustibles fossiles, réduisant ainsi les émissions de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4) par rapport aux déchets organiques non traités.
- * Production locale de biogaz peut réduire la dépendance vis-à-vis des importations de combustibles fossiles, renforçant ainsi la sécurité énergétique.
- * Biogaz peut être utilisé pour produire de l'électricité, de la chaleur, et même du carburant pour les véhicules.

b) Inconvénients

- * Mise en place d'installations de production de biogaz nécessite des investissements importants en termes de construction et de technologies.
- * Production de biogaz dépend de la disponibilité des matières premières organiques, qui peut varier selon la saison et la région.
- * Biogaz, composé principalement de méthane, nécessite des infrastructures spécifiques pour son stockage et son transport, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires.
- * Comparé à d'autres sources d'énergie, le rendement énergétique du biogaz peut être relativement faible, nécessitant de grandes quantités de matière première pour produire des quantités d'énergie significatives.
- * Installations de biogaz peuvent générer des odeurs désagréables, nécessitant une gestion rigoureuse pour minimiser les nuisances olfactives pour les communautés locales.
- * Processus de production de biogaz peut être complexe et nécessite une gestion et un entretien spécialisés pour assurer une production efficace et sécurisée.

1.6 Biocarburant

Les biocarburants sont des fluides produits à partir de matériaux organiques non fossiles et provenant de la biomasse, ou des matières premières considérées comme la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus de l'agriculture, de la sylviculture, ainsi que de leurs industries connexes, sans oublier la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux [18]. Ils représentent une source d'énergie renouvelable, présentant peu de risques pour l'environnement, et constituent ainsi une voie de développement durable et soutenable. En effet, les biocarburants contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, améliorant par conséquent la qualité de l'air. De plus, ils peuvent remplacer les carburants fossiles et assurer une certaine stabilité économique en diminuant la dépendance énergétique [18].

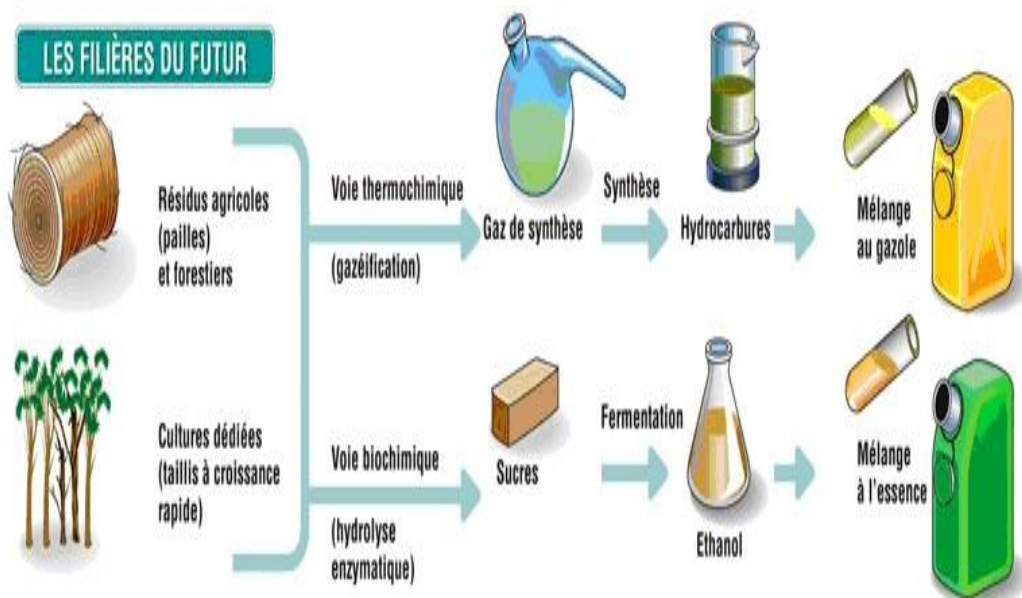


Figure 1-8 Schéma de biocarburant.

a. Avantages

- ➔ Biocarburants sont produits à partir de ressources renouvelables, contrairement aux combustibles fossiles qui sont limités et non renouvelables.
- ➔ Combustion des biocarburants peut entraîner des émissions de CO₂ moindres par rapport aux carburants fossiles. Les plantes utilisées pour produire des biocarburants absorbent du CO₂ pendant leur croissance, ce qui compense partiellement les émissions lors de la combustion.
- ➔ Biocarburants sont généralement biodégradables et moins toxiques que les carburants fossiles, réduisant ainsi les risques de pollution en cas de déversement.

- ➔ Biocarburants permettent de diversifier les sources d'énergie et de réduire la dépendance aux importations de pétrole.
- ➔ Production de biocarburants peut créer des emplois dans les zones rurales et stimuler les économies locales en augmentant la demande de matières premières agricoles.

b. Inconvénients

- ➔ Production de biocarburants peut nécessiter de grandes surfaces agricoles, ce qui peut entrer en concurrence avec la production alimentaire et entraîner la déforestation ou la conversion d'habitats naturels.
- ➔ Culture des matières premières pour les biocarburants peut nécessiter une grande quantité d'eau, ce qui peut être problématique dans les régions où l'eau est une ressource limitée.
- ➔ Tous les biocarburants n'ont pas le même rendement énergétique. Certains nécessitent beaucoup d'énergie pour être produits, réduisant ainsi les avantages environnementaux.
- ➔ Biocarburants peuvent être plus coûteux à produire que les carburants fossiles, surtout en l'absence de subventions ou d'incitations fiscales.
- ➔ Conversion des terres pour la production de biocarburants peut entraîner des émissions indirectes de gaz à effet de serre, notamment par la déforestation et le changement d'affectation des sols.
- ➔ Certaines technologies de production de biocarburants (comme les biocarburants de deuxième et troisième génération) ne sont pas encore pleinement développées ou commercialement viables.

1.7 Piles à combustible

Le rôle de la pile à combustible en tant que source d'énergie propre devient de plus en plus important car de très grandes quantités de polluants sont ajoutées à l'environnement chaque année, et aujourd'hui les piles à combustible sont utilisées dans de nombreuses applications telles que les automobiles, les engins spatiaux, les communications.... L'avantage d'une pile à combustible est que son efficacité n'est pas soumise à la loi de Carnot, c'est-à-dire qu'elle est indépendante de la température du réservoir. Elle a un rendement plus élevé à charge partielle par rapport aux moteurs à combustion interne. Elles sont classées soit par le type d'électrolyte utilisé, soit par le type de combustible [19].

Une pile à combustible est un générateur électrochimique d'énergie qui permet de transformer de l'énergie chimique en énergie électrique et en énergie thermique. Un

générateur électrochimique est un générateur de tension continue et rechargeable. Parmi toutes les piles à combustible, nous avons choisi d'étudier la pile à combustible à hydrogène. Une pile à hydrogène est composée de dihydrogène et de dioxygène. Le dioxygène est une molécule composée de deux atomes d'oxygène, notée O₂. Et le dihydrogène est une molécule comportant deux atomes d'hydrogène, de formule chimique H₂ [20].

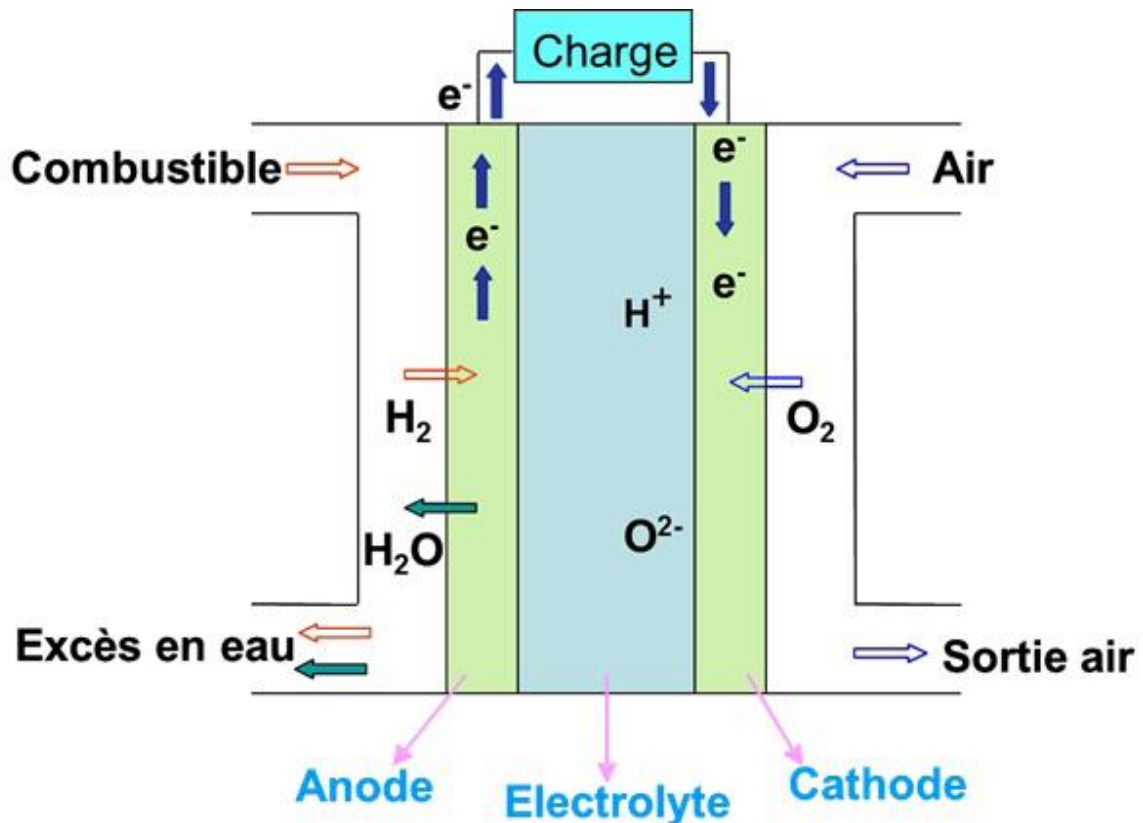


Figure 1-9 Schéma de principe de fonctionnement d'une pile à combustible.

En gros, le choix de l'électrolyte dicte la plage de température de fonctionnement de la pile à combustible. La température de fonctionnement et la durée de vie utile d'une pile à combustible dictent les propriétés physicochimiques et thermomécaniques des matériaux utilisés dans les composants de la cellule (c'est-à-dire les électrodes, l'électrolyte, l'interconnexion, le collecteur de courant, etc.). La température de fonctionnement joue également un rôle important dans la détermination du degré de traitement du carburant requis. Dans les piles à combustible à basse température, tout le carburant doit être converti en hydrogène avant d'entrer dans la pile à combustible. De plus, le catalyseur de l'anode des piles à combustible à basse température (principalement du platine) est fortement empoisonné par le CO₂. Dans les piles à combustible à haute température, le CO₂ et même le CH₄ peuvent être convertis en hydrogène ou même en interne directement oxydé électro-chimiquement. Le

tableau 1 donne un aperçu des principales caractéristiques des principaux types de piles à combustible [20].

a. Avantages

- Piles à combustible peuvent avoir un rendement élevé, notamment lorsqu'elles sont utilisées dans des applications de cogénération (production simultanée d'électricité et de chaleur).
- Lorsqu'elles utilisent de l'hydrogène pur comme combustible, les piles à combustible n'émettent que de la vapeur d'eau, ce qui réduit considérablement les émissions de gaz à effet de serre et les polluants atmosphériques.
- Contrairement aux moteurs à combustion interne, les piles à combustible fonctionnent de manière quasi silencieuse, ce qui est bénéfique pour les applications en milieu urbain.
- Bien que l'hydrogène soit le combustible le plus couramment utilisé, les piles à combustible peuvent également fonctionner avec d'autres combustibles tels que le méthanol, le gaz naturel, et d'autres hydrocarbures.

b. Inconvénients

- Piles à combustible sont encore relativement coûteuses à produire, en raison des matériaux utilisés (comme le platine pour les catalyseurs) et des processus de fabrication complexes.
- ravitaillement en hydrogène est encore peu développé dans de nombreuses régions, ce qui limite l'adoption à grande échelle des véhicules à pile à combustible et autres applications.
- L'hydrogène est un gaz léger et hautement inflammable, ce qui pose des défis en termes de stockage et de transport sûrs et efficaces.
- Piles à combustible peuvent se dégrader au fil du temps, ce qui peut réduire leur efficacité et leur durée de vie. La contamination des catalyseurs et les cycles de démarrage/arrêt fréquents peuvent également affecter leur performance.
- Certains matériaux nécessaires à la fabrication des piles à combustible, comme le platine, sont rares et coûteux, ce qui pose des défis en termes de disponibilité et de coût.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni une description générale des différents moyens de produire de l'énergie électrique à partir de sources renouvelables. Chaque type

d'énergie renouvelable proposé présente des avantages et des inconvénients évidents. Parmi toutes ces énergies renouvelables, nous avons retenu pour notre projet l'énergie solaire photovoltaïque, car c'est l'énergie du futur, c'est l'une des formes d'énergie les plus abondantes et faciles à utiliser par rapport à d'autres énergies, qui peuvent être utilisées dans des zones reculées ou isolées, elle constitue la meilleure solution.

Référence bibliographique

- [1] M. NADJIB « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau » Mémoire de Magister de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2013.
- [2] K. HELAL « Modélisation D'une Cellule Photovoltaïque : Etude Comparative » Mémoire de magister de l'Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 2012.
- [3] T. ESRAM and P. L. CHAPMAN « Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques » *IEEE Trans. Energy Convers.*, 22(2), 439–449, 2007.
- [4] M. BEKHTI, and R. SAIM « Revue sur les nano fluides et leurs applications dans le domaine de l'énergie solaire. *Journal of Renewable Energies*, 24(1), 152-176, 2021.
- [5] H. FARSI « Analyse comparative des ressources solaires de sites de centrales solaires thermodynamiques » *Journal of Renewable Energies*, 23(2), 282-303, 2020.
- [6] H. A. HALAROU, S. D. N. HAROUNA, H. S. OUSMANE, D. ABDOURAHIMOUN, and I. M. MOCTAR « Étude et réalisation d'un suiveur solaire à l'aide de la carte Arduino pour une installation solaire photovoltaïque » *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 35(1), 36-41, 2021.
- [7] M. CASTAÑO-GOMEZ, and J. J. GARCIA-RENDON « Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia » *Lecturas de Economía*, (93), 23-64, 2020.
- [8] Moreno Rendon, David Alejandro. *Solutions alternatives de chauffage pour les communautés subarctiques éloignées: Analyse technico-économique des systèmes hybrides géothermiques, à la biomasse et d'énergie solaire à Umiujaq, au Nunavik » Canada. Doctoral dissertation. Maîtrise en sciences de la terre, 2023.*
- [9] C. GRIGORAS, T. MATEESCU, and N. C. CHERECHEXS « analyse du comportement thermodynamique pour deux systèmes de chauffage solaire-murs échangeurs de chaleur » *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, 57(3), 91, 2011.
- [10] M. CHENG, and Z. YING « The state of the art of wind energy conversion systems and technologies: A review » *Energy conversion and management* 88, 332-347, 2014.
- [11] L. FAN, S. YUVARAJAN, and R. KAVASSERI « Harmonic analysis of a DFIG for a wind energy conversion system » *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25(1), 181-190, 2009.
- [12] C. Rodrigo « Basic Comparison of Three Aircraft Concepts: Classic Jet Propulsion, Turbo-Electric Propulsion and Turbo-Hydraulic Propulsion » MS thesis. Aircraft Design and Systems Group (AERO), Department of Automotive and Aeronautical Engineering, Hamburg University of Applied Sciences, 2019.
- [13] T. ZDANKUS, J. CERNECKIENE, A. JURELIONIS, and J. VAICIUNAS « Experimental study of a small scale hydraulic system for mechanical wind energy conversion into heat » *Sustainability*, 8(7), 637, 2016.

- [14] K. SORNEK «Prototypical biomass-fired micro-cogeneration systems—energy and ecological analysis» *Energies*, 13(15), 3909, 2020.
- [15] R. SEGURADO, S. PEREIRA, D. CORREIA, and M. COSTA « Techno-economic analysis of a trigeneration system based on biomass gasification» *Renewable and Sustainable Energy REVIEWS*, 103, 501-514. 2019.
- [16] G. LEONZIO « An innovative trigeneration system using biogas as renewable energy» *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 26(5), 1179-1191. 2018.
- [17] W. GAZDA, and W. STANEK «Energy and environmental assessment of integrated biogas trigeneration and photovoltaic plant as more sustainable industrial system» *Applied Energy*, 169, 138-149. 2016.
- [18] P. A. MUSELLI, J .N. ANTONIOTTI and M. MUSELLI « Climate Change Impacts on Gaseous Hydrogen (H₂) Potential Produced by Photovoltaic Electrolysis for Stand-Alone or Grid Applications in Europe» *Energies* 2023, 16, 249. (2022).
- [19] I. MALICO, A. P. CARVALHINHO, and J. TENREIRO «Design of a trigeneration system using a high-temperature fuel cell» *International Journal of Energy Research*, 33(2), 144-151. 2009.
- [20] E. BANIASADI, S. TOGHYANI, and E. AFSHARI «Exergetic and exergoeconomic evaluation of a trigeneration system based on natural gas-PEM fuel cell » *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(8), 5327-5339. 2017.

Chapitre 2 : Méthode d'accès à l'eau pour les animaux en zones arides et reculées

Chapitre 2 : Méthode d'accès à l'eau pour les animaux en zones arides et reculées

2.1.Introduction

Dans les zones isolées, l'accès à l'eau constitue un défi majeur en raison des contraintes géographiques et climatiques. Ces régions, souvent éloignées des sources d'eau traditionnelles, rencontrent de nombreux obstacles pour subvenir aux besoins en eau, non seulement pour les populations locales, mais aussi pour la faune, les agriculteurs et les éleveurs, qui jouent un rôle clé dans l'économie locale. La gestion durable des ressources en eau devient donc essentielle pour garantir la survie des animaux tout en maintenant l'équilibre écologique. En Algérie, ce défi s'est intensifié ces dernières années en raison de périodes de sécheresse prolongées, parfois supérieures à dix ans. Cette situation rend indispensable l'attention accordée à ce secteur pour prévenir l'extinction et la mortalité des plantes et des animaux causées par le manque d'eau.

Ce chapitre examine les diverses sources d'eau disponibles dans les zones isolées, telles que les eaux souterraines et de surface, ainsi que les méthodes d'approvisionnement en eau pour le bétail. En analysant ces approches, nous mettrons en évidence les défis et les solutions potentielles pour une gestion efficace et durable des ressources en eau.

2.2. Sources d'eau dans les zones isolées

1.1.7 Eaux souterraines et eaux de surface

Dans les régions éloignées des grands réseaux d'approvisionnement en eau, les eaux souterraines constituent souvent la principale ressource hydrique. Ces réserves d'eau douce, accumulées dans les couches souterraines, sont alimentées par l'infiltration progressive des précipitations. Contrairement aux eaux de surface, plus vulnérables à l'évaporation et à la pollution, les eaux souterraines sont généralement plus propres et plus stables [1].

Lorsque la pluie s'infiltré dans le sol, une partie de l'eau est absorbée par les plantes, une autre s'évapore, mais le reste continue son chemin vers les profondeurs. Au fur et à mesure qu'elle s'enfonce, elle rencontre des couches de roches et de sédiments plus ou moins perméables. Les eaux souterraines se concentrent alors dans les zones où les roches sont poreuses et fissurées, formant ainsi des nappes phréatiques. Pour accéder à ces réserves, on utilise des forages qui permettent d'atteindre la nappe phréatique. La profondeur du forage dépend de la profondeur de la nappe et de la nature du terrain [1].

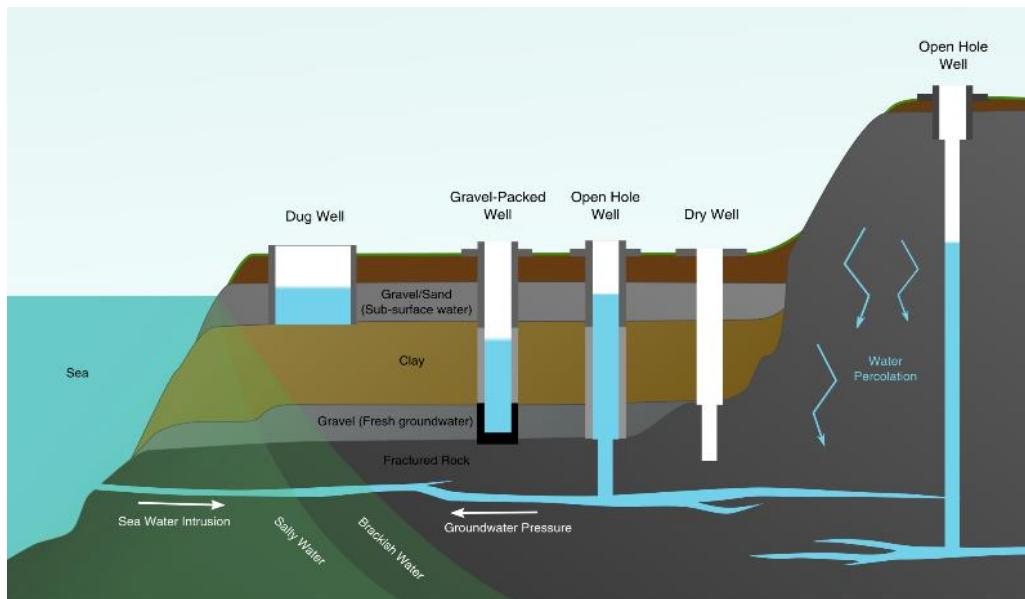


Figure 2-10 Eaux souterraines et les eaux de surface.

1.1.7.1 Eaux souterraines

a. Avantage :

- 1- **Stabilité de la disponibilité** : Les eaux souterraines sont souvent moins sujettes aux variations saisonnières et aux sécheresses, ce qui les rend plus fiables sur le long terme.
- 2- **Qualité de l'eau** : Elles sont généralement de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont naturellement filtrées par le sol, réduisant la présence de contaminants microbiologiques.
- 3- **Faible évaporation** : Contrairement aux eaux de surface, les eaux souterraines sont protégées de l'évaporation, ce qui est particulièrement bénéfique dans les régions arides.

b. Inconvénients :

- 1- **Difficulté d'accès** : L'extraction des eaux souterraines nécessite souvent des forages coûteux et un équipement spécialisé.
- 2- **Surexploitation** : Un usage intensif peut entraîner une baisse du niveau de la nappe phréatique, affectant à terme la disponibilité en eau.
- 3- **Contamination par les activités humaines** : Les eaux souterraines peuvent être contaminées par les pesticides, les engrais ou les polluants industriels, compromettant leur qualité.

1.1.7.2 Eaux de surface

a) Avantage :

- 1) **Facilité d'accès** : Les lacs, rivières et retenues d'eau sont généralement plus accessibles et nécessitent moins d'infrastructures pour l'approvisionnement.

- 2) **Recharge naturelle** : Les précipitations et les ruissellements rechargent régulièrement les eaux de surface, surtout en saison humide.
- 3) **Source pour l'irrigation** : Les eaux de surface sont couramment utilisées pour l'irrigation, car elles peuvent être facilement captées et distribuées aux champs.

b) Inconvénients :

- 1) **Sensibilité à l'évaporation** : En raison de leur exposition, ces eaux s'évaporent rapidement, surtout dans les climats chauds et secs, ce qui peut réduire leur disponibilité.
- 2) **Qualité de l'eau variable** : Les eaux de surface sont souvent sujettes aux contaminations par les activités humaines, telles que les rejets industriels, agricoles ou urbains.
- 3) **Variation saisonnière** : Leur disponibilité peut fluctuer en fonction des saisons et des précipitations, ce qui peut poser des problèmes en période de sécheresse.

1.1.8 Dessalement et collecte des eaux de pluie

Le dessalement et la récupération des eaux de pluie sont deux technologies essentielles pour améliorer l'approvisionnement en eau dans les zones isolées où les ressources en eau sont limitées. De plus, le dessalement consiste à transformer l'eau salée, comme l'eau de mer, en eau douce utilisable pour des besoins humains et agricoles. Diverses techniques, telles que l'osmose inverse et la distillation, permettent de dessaler l'eau. Bien que ces procédés offrent une source d'eau fiable, ils présentent des inconvénients majeurs : leur coût élevé et leur impact environnemental, notamment la consommation d'énergie et l'élimination des eaux de rejet, sont des défis importants à surmonter [2].



Figure 2-2 Réservoir de pluie dans une zone isolée.

La récupération de l'eau de pluie, quant à elle, représente une solution efficace dans les zones isolées pour exploiter les précipitations. Cette méthode consiste à mettre en place des systèmes de

collecte et de stockage, tels que des réservoirs et des bassins de rétention. L'eau ainsi recueillie peut répondre aux besoins agricoles, à l'abreuvement du bétail et à la consommation humaine, réduisant ainsi la dépendance aux sources d'eau conventionnelles. La collecte des eaux de pluie est aussi considérée comme une approche durable, car elle contribue à diminuer l'érosion des sols et à recharger les nappes souterraines [2].

1.1.8.1 Dessalement

a) Avantages

- 1- **Source quasi illimitée:** L'eau de mer étant abondante, la ressource est potentiellement inépuisable.
- 2- **Qualité de l'eau:** L'eau dessalée est généralement de très bonne qualité, débarrassée de la plupart des contaminants.
- 3- **Indépendance:** Les installations de dessalement peuvent être autonomes, permettant aux régions isolées d'accéder à une source d'eau potable.
- 4- **Développement technologique:** Les technologies de dessalement sont en constante évolution, devenant de plus en plus efficaces et moins énergivores.

b) Inconvénients

- 1- **Coût élevé:** La construction et l'exploitation d'une usine de dessalement nécessitent des investissements importants, tant en termes financiers qu'énergétiques.
- 2- **Impact environnemental:** Le rejet des saumures concentrées en sels peut perturber les écosystèmes marins et côtiers. De plus, la production d'électricité nécessaire au dessalement peut générer des émissions de gaz à effet de serre.
- 3- **Consommation énergétique:** Le dessalement est un processus énergivore, notamment pour les technologies thermiques.
- 4- **Production de déchets:** Les procédés de dessalement génèrent des déchets solides qu'il faut gérer de manière adéquate.

1.1.8.2 Collecte des eaux de pluie

a. Avantages

- 1) **Coût réduit:** Les systèmes de collecte des eaux de pluie sont généralement moins coûteux à mettre en place que les usines de dessalement.
- 2) **Respect de l'environnement:** La collecte des eaux de pluie est une méthode douce qui n'a pas d'impact négatif sur les ressources en eau souterraines.
- 3) **Polyvalence:** L'eau de pluie peut être utilisée pour différents usages : arrosage, lavage, alimentation des animaux, etc.

- 4) **Autonomie:** Les systèmes de collecte peuvent être adaptés à différentes échelles, des petites installations domestiques aux grands systèmes collectifs.

b. Inconvénients

- 1) **Intermittence:** La disponibilité de l'eau de pluie dépend des précipitations, ce qui peut poser problème en période de sécheresse.
- 2) **Qualité variable:** La qualité de l'eau de pluie peut être altérée par la pollution atmosphérique.
- 3) **Stockage:** Le stockage de l'eau de pluie nécessite des réservoirs adaptés, ce qui peut représenter un coût supplémentaire.
- 4) **Utilisation limitée:** L'eau de pluie n'est pas toujours adaptée à tous les usages, notamment pour la consommation humaine, qui nécessite un traitement spécifique.

1.1.9 Défis et durabilité des ressources en eau

Les systèmes d'irrigation intelligents sont aujourd'hui reconnus comme des solutions efficaces pour renforcer la durabilité des ressources en eau, notamment dans les zones isolées. Ces systèmes s'appuient sur des technologies modernes pour collecter et analyser des données, permettant ainsi de déterminer les besoins en eau avec précision et de contrôler finement les quantités utilisées. Grâce aux capteurs et à des outils avancés, les pertes d'eau sont considérablement réduites, et l'efficacité de son utilisation est optimisée, contribuant ainsi à la sécurité hydrique et alimentaire [3].



Figure 2-3 Système de pompage solaire approvisionnant un abreuvoir pour animaux.

Face aux défis environnementaux et climatiques croissants, tels que la raréfaction des ressources en eau et les périodes de sécheresse prolongées, le développement de systèmes d'irrigation intelligents devient de plus en plus crucial. Ces systèmes permettent de réduire la pression sur les ressources disponibles et renforcent la résilience des agriculteurs et des éleveurs

face aux changements climatiques. Leur mise en œuvre exige toutefois des investissements en technologie et en infrastructures, ainsi qu'un accompagnement technique et une formation des agriculteurs, sensibilisant ces derniers à l'importance d'une gestion durable de l'eau. Ainsi, l'adoption des systèmes d'irrigation intelligents représente une nécessité urgente pour assurer la durabilité des ressources en eau dans les zones isolées et promouvoir un développement durable dans les domaines de l'agriculture et de l'élevage. En préservant les ressources végétales et animales, ces systèmes contribuent à la continuité de la faune et au maintien des activités agricoles dans ces régions [3].

a) Avantages

- 1- **Soutien de la vie:** L'eau est essentielle à tous les êtres vivants, pour la consommation, l'agriculture, l'industrie et les écosystèmes.
- 2- **Régulation du climat:** Les océans et les grands lacs jouent un rôle crucial dans la régulation du climat mondial.
- 3- **Production d'énergie:** L'hydroélectricité est une source d'énergie renouvelable importante.
- 4- **Transport:** Les voies navigables sont des axes de transport essentiels pour le commerce et le tourisme.
- 5- **Loisirs et tourisme:** Les activités nautiques et les paysages aquatiques attirent de nombreux touristes.

b) Inconvénients

- 1- **Pénurie d'eau:** De nombreuses régions du monde souffrent de pénuries d'eau douce, exacerbées par la croissance démographique, l'industrialisation et le changement climatique.
- 2- **Pollution de l'eau:** Les activités humaines rejettent des polluants dans les cours d'eau, les lacs et les océans, dégradant la qualité de l'eau et mettant en danger la santé humaine et les écosystèmes.
- 3- **Gestion complexe:** La gestion des ressources en eau est un défi complexe, nécessitant une coordination entre différents acteurs et une prise en compte de multiples enjeux.
- 4- **Inégalités d'accès:** L'accès à l'eau potable et à l'assainissement n'est pas équitablement réparti dans le monde, laissant des millions de personnes dans une situation précaire.
- 5- **Changement climatique:** Le réchauffement climatique perturbe le cycle de l'eau, entraînant des événements extrêmes (sécheresses, inondations) et modifiant les régimes de précipitations.

2.3.Méthodes d'approvisionnement en eau pour les animaux dans les zones isolées

2.3.1 Sources naturelles et durabilité de l'eau

Dans les zones isolées, l'approvisionnement en eau pour les animaux repose principalement sur des sources naturelles comme les rivières saisonnières, les étangs, les puits souterrains, et les plans d'eau dans les prairies formés par les précipitations. Ces ressources sont essentielles pour la faune et le bétail, mais leur durabilité est mise à mal par les changements climatiques et la baisse des précipitations [4]. Pour préserver ces sources, des techniques simples mais efficaces sont employées, telles que la construction de petits barrages pour retenir l'eau de pluie et la création de réservoirs pour stocker l'eau en prévision des périodes de sécheresse.

Des méthodes visant à limiter l'évaporation, comme l'ajout de couvertures isolantes sur les étangs, permettent également de conserver l'eau sur une plus longue période [4]. Ces mesures contribuent à assurer un approvisionnement en eau suffisant pour les animaux et à réduire la pression sur les ressources hydriques, renforçant ainsi la durabilité de l'eau dans ces zones où les conditions sont souvent difficiles [4].



Figure 2-4 Effets du climat et les inondations sur la disponibilité des ressources en eau.

a) Avantages

- 1) **Renouvellement naturel:** Les sources naturelles d'eau, comme les rivières, les lacs et les nappes phréatiques, se renouvellent grâce au cycle hydrologique.
- 2) **Biodiversité:** Ces milieux aquatiques abritent une biodiversité riche et variée, essentielle pour l'équilibre des écosystèmes.
- 3) **Régulation climatique:** Les grands lacs et les océans jouent un rôle important dans la régulation du climat en absorbant la chaleur et en influençant les courants océaniques.

- 4) **Services éco-systémiques:** Les zones humides, par exemple, fournissent de nombreux services éco-systémiques comme la purification de l'eau, la protection contre les inondations et le stockage du carbone.
- 5) **Potentiel énergétique:** L'hydroélectricité, produite à partir de l'énergie de l'eau, est une source d'énergie renouvelable.

b) Inconvénients

- 1) **Vulnérabilité aux pollutions:** Les sources d'eau naturelles sont sensibles aux pollutions d'origine agricole (pesticides, engrais), industrielle (déchets, produits chimiques) et urbaine (eaux usées).
- 2) **Surexploitation:** Une exploitation excessive des ressources en eau peut entraîner un épuisement des nappes phréatiques, une diminution des débits des rivières et une dégradation de la qualité de l'eau.
- 3) **Changement climatique:** Le réchauffement climatique modifie le cycle de l'eau, entraînant des événements extrêmes (sécheresses, inondations) et une altération des régimes de précipitations.
- 4) **Conflits d'usage:** L'eau étant une ressource limitée, des conflits peuvent surgir entre différents utilisateurs (agriculture, industrie, ménages) pour accéder à cette ressource.

2.4. Technique d'approvisionnement en eau pour les animaux

Dans les zones isolées, l'approvisionnement en eau pour les animaux représente un défi majeur en raison de l'éloignement des sources d'eau traditionnelles. Les méthodes d'approvisionnement varient selon la géographie de ces zones et les besoins spécifiques des espèces locales. Une méthode courante consiste à utiliser des réservoirs portables, qui peuvent être déplacés en fonction des besoins et alimentés en eau provenant de sources proches, comme des puits ou des cours d'eau saisonniers [5].



Figure 2-5 Technique d'abreuvoir pour animaux.

Des systèmes de transport d'eau par canalisation sont également employés, reliant des puits ou réservoirs centraux aux points de distribution situés à proximité des groupes d'animaux. Ces méthodes permettent de répondre aux besoins en eau tout en adaptant l'approvisionnement aux contraintes des zones isolées.

Dans les zones bénéficiant d'une forte exposition solaire, des pompes à eau alimentées par l'énergie solaire sont utilisées pour acheminer l'eau vers les abreuvoirs des animaux, assurant ainsi un approvisionnement durable et fiable sans dépendre de sources d'énergie coûteuses ou peu accessibles. L'intégration de systèmes d'irrigation intelligents, qui régulent le débit d'eau en fonction des besoins précis et des horaires d'abreuvement des animaux, permet également de réduire le gaspillage. Cette approche améliore l'efficacité de la distribution d'eau et renforce la durabilité des ressources hydriques disponibles [5].



Figure 2-6 Système de pompage solaire approvisionnant un abreuvoir pour animaux.

2.4.2 Défis et solutions durables pour l'approvisionnement en eau dans les zones isolées

2.4.2.1 Défis climatiques et environnementaux

L'accès à l'eau dans les régions isolées est de plus en plus compromis par les bouleversements climatiques. Les sécheresses prolongées, comme celles qui frappent régulièrement le Sahel ou le sud-ouest des États-Unis, et les inondations soudaines, de plus en plus fréquentes dans certaines régions tropicales, mettent à rude épreuve les ressources hydriques. Ces événements extrêmes ont des conséquences directes sur les réserves en eau : les nappes phréatiques s'épuisent, les cours d'eau voient leur débit diminuer, voire tarir, et les points d'eau traditionnels se raréfient [6].

D'un autre côté, les inondations causées par de fortes précipitations entraînent la contamination des sources d'eau et endommagent les infrastructures de distribution, pouvant même affecter les barrages, ce qui rend l'approvisionnement en eau potable plus complexe. De plus, l'élévation des températures accélère le taux d'évaporation, en particulier dans les zones désertiques, réduisant ainsi les quantités d'eau disponibles et rendant ces ressources insuffisantes pour divers usages. Ces défis

climatiques exercent une pression supplémentaire sur les ressources hydriques des zones isolées, nécessitant des solutions innovantes et durables pour répondre à ces problématiques et garantir un approvisionnement en eau adéquat aux citoyens, aux éleveurs [6].



Figure 2-7 Sécheresses dans les zones isolées.

2.4.2.2 Solutions durables et innovations technologiques

Les solutions durables et les innovations technologiques représentent un moyen efficace pour faire face aux défis de l'approvisionnement en eau dans les zones isolées. Parmi ces solutions, les systèmes d'irrigation intelligents, basés sur des capteurs et des dispositifs de contrôle à distance, permettent de fournir des quantités précises d'eau en réduisant les pertes, ce qui améliore l'efficacité de l'utilisation des ressources disponibles [7].

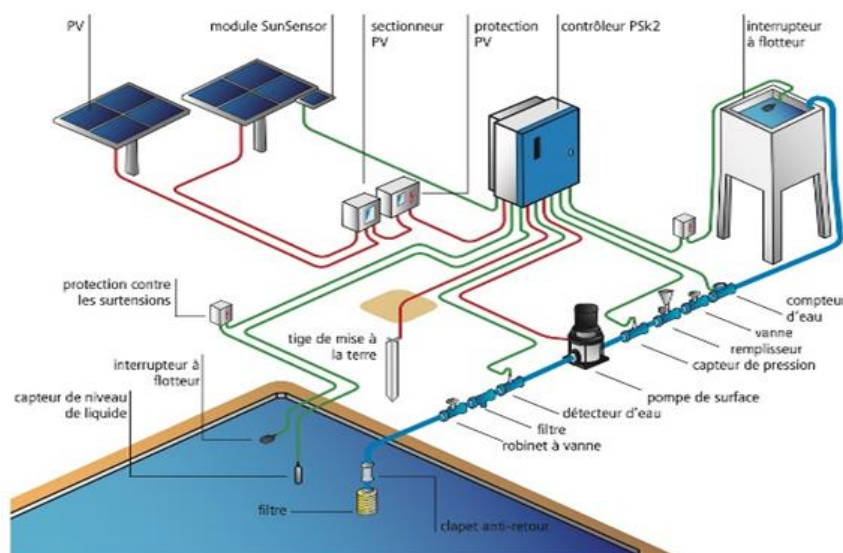


Figure 2-8 Conception d'une station d'irrigation intelligente avec panneaux solaires, capteurs et systèmes de contrôle à distance.

De plus, les énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, constituent une option idéale pour alimenter les pompes à eau dans des régions dépourvues d'infrastructure électrique traditionnelle,

assurant ainsi un approvisionnement en eau durable sans dépendre de sources d'énergie coûteuses ou peu accessibles [7].

2.5. Conclusion

Ce chapitre a mis en évidence l'importance cruciale de l'approvisionnement en eau dans les zones isolées et les défis liés à cette problématique. Les systèmes d'irrigation intelligente émergent comme une solution innovante et durable pour garantir l'accès à l'eau pour les populations et la faune dans ces régions. En combinant des technologies avancées, telles que les capteurs, l'énergie solaire et la télé surveillance, ces systèmes optimisent la gestion de l'eau, réduisent les pertes et favorisent un équilibre écologique fragile.

Au-delà de leurs avantages techniques, les systèmes d'irrigation intelligente offrent de nombreuses perspectives pour les communautés locales. En améliorant la sécurité alimentaire, en soutenant l'élevage et en préservant la biodiversité, ils contribuent à renforcer la résilience des écosystèmes et à améliorer les conditions de vie des populations. Cependant, la mise en œuvre de ces systèmes nécessite des investissements importants et une adaptation aux contextes locaux spécifiques. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour développer des solutions encore plus efficaces et abordables, en particulier dans les régions les plus reculées.

En définitive, les systèmes d'irrigation intelligente représentent un pas en avant significatif vers une gestion durable des ressources en eau dans les zones isolées. En associant innovation technologique et approche éco-systémique, ils ouvrent la voie à un avenir où l'accès à l'eau sera garanti pour tous, tout en préservant notre environnement pour les générations futures.

Référence Bibliographique

- [1] M. BOUKHALFA « Gestion des ressources en eau dans les zones arides : Cas des oasis du Sahara algérien » Mémoire de Magister, Université de Béchar, Algérie, 2017.
- [2] N. AIT HAMMI « Potabilisation de l'eau par filtration membranaire : Application dans les zones rurales » Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie, 2015.
- [3] R. SAADI « Etude des ressources hydriques souterraines et superficielles dans les zones désertiques » Journal of Water Ressources and Management, 22(3), 200-217, 2019.
- [4] L. AMARA « Conception et optimisation d'un système d'abreuvement pour le bétail dans les régions sahariennes » Mémoire de Magister, Université de Ouargla, Algérie, 2016.
- [5] Y. MESSAOUDI « Impact du changement climatique sur la disponibilité de l'eau pour les animaux en zone désertique » Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, Algérie, 2020.
- [6] P. C. MARTIN and J. E. DAVIS « Water management stratégies for livestock in arid regions» International Journal of Sustainable Agriculture, 15(4), 324-332, 2018.
- [7] A. BENSAID « Utilisation des énergies renouvelables pour les systèmes d'irrigation et d'abreuvement dans les régions arides » Mémoire de Master, Université de Biskra, Algérie, 2019.
- [8] H. CHERIF « Conception d'un système de pompage solaire pour les besoins en eau des zones rurales isolées » Journal of Renewable Energy Technologies, 30(1), 85-99, 2021.
- [9] R. GHERIBI et K. SAOUDI « Les énergies renouvelables pour l'irrigation et l'abreuvement dans les régions sahariennes » Journal of Renewable Energies, 26(2), 143-157, 2020.
- [10] S. MEKHAIL « Gestion des ressources en eau face aux défis du changement climatique dans le désert algérien » Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, Algérie, 2022.
- [11] N. KHIRI « Techniques de récupération et de conservation de l'eau en zones arides : Un modèle pour les éleveurs » Mémoire de Magister, Université de Tamanrasset, Algérie, 2018.
- [12] M. SALHI, A. FERHAT « Impact du changement climatique sur les ressources hydriques et solutions d'adaptation » Journal of Environmental Management, 32(3), 245-260, 2022.

Chapitre 3 :

Réalisation expérimentale

Chapitre 3 : Réalisation expérimental

3.1 Introduction

L'accès à l'eau potable est un enjeu majeur des animaux, particulièrement dans les zones isolées où les infrastructures de distribution sont limitées. Ces régions sont souvent confrontées à des problèmes de pénurie d'eau, de qualité de l'eau dégradée et de difficultés d'accès aux sources d'approvisionnement. Ce projet vise à développer un système intelligent de distribution d'eau potable autonome, capable de répondre aux besoins spécifiques de ces zones isolées. En s'appuyant sur les technologies de l'Internet des objets et de l'intelligence artificielle, ce système permettra d'optimiser la gestion de l'eau, de réduire les pertes et d'améliorer la qualité de vie des populations. Les résultats de ce projet permettront de proposer une solution innovante et durable pour l'accès à l'eau potable dans les zones isolées.

La distribution efficace et durable de l'eau potable dans les zones isolées représente un défi crucial pour assurer la qualité de vie et la santé des animaux. Dans cette optique, l'implémentation d'un système intelligent de distribution d'eau se présente comme une solution innovante et prometteuse. Ce dispositif expérimental combine des technologies avancées telles que la surveillance en temps réel, l'analyse des données, et la gestion automatisée pour optimiser l'alimentation en eau, garantissant ainsi une utilisation efficace des ressources tout en répondant aux besoins spécifiques de la communauté isolée. Cette description détaille les composants clés, les principes de fonctionnement et les bénéfices attendus de cette initiative pionnière

Ce chapitre est consacré à la mise en œuvre pratique du système intelligent. Nous détaillerons le montage expérimental, depuis l'assemblage des composants jusqu'à la programmation de la carte de commande. Les tests effectués pour évaluer les performances du système seront également présentés.

3.2 Problématique

Les régions isolées, qu'il s'agisse de vastes déserts, de montagnes reculées ou de zones polaires, sont confrontées à des conditions environnementales extrêmes et à une pénurie de ressources. Malgré cela, elles abritent une étonnante diversité d'espèces animales qui ont su évoluer et s'adapter à ces environnements hostiles. Cependant, la survie de cette faune dans ces zones isolées est de plus en plus menacée par divers facteurs. La déforestation, la fragmentation des habitats, la surexploitation des ressources naturelles, ainsi que les impacts du changement climatique, tels que les sécheresses prolongées et les températures extrêmes, compromettent l'accès aux ressources vitales

pour ces animaux. En parallèle, les activités humaines, comme l'expansion des infrastructures, le tourisme et l'exploitation des ressources dans ces zones reculées, intensifient la pression exercée sur les écosystèmes locaux. L'accumulation de ces menaces rend la survie de la faune sauvage encore plus incertaine.

Les déserts, par exemple, figurent parmi les environnements les plus inhospitaliers de la planète, avec leurs températures extrêmes, leurs faibles précipitations et leur rareté en eau. Pourtant, ces écosystèmes abritent une faune surprenante qui a su, au fil des siècles, s'adapter à ces conditions rigoureuses. Toutefois, cette faune désertique fait face à des menaces croissantes. La désertification, due à des pratiques agricoles non durables, à la surexploitation des terres et aux effets du changement climatique, réduit les habitats et les ressources alimentaires disponibles. Les tempêtes de sable, les longues périodes de sécheresse et les fluctuations de température aggravées par le changement climatique ajoutent de nouvelles difficultés pour les espèces qui tentent de survivre dans ces environnements extrêmes.

La question reste posée : Comment peut-on assurer la survie des espèces animales et des populations humaines dans des écosystèmes caractérisés par des conditions environnementales extrêmes et une rareté des ressources, tout en atténuant les menaces croissantes telles que la désertification, le changement climatique et les pressions humaines croissantes ?

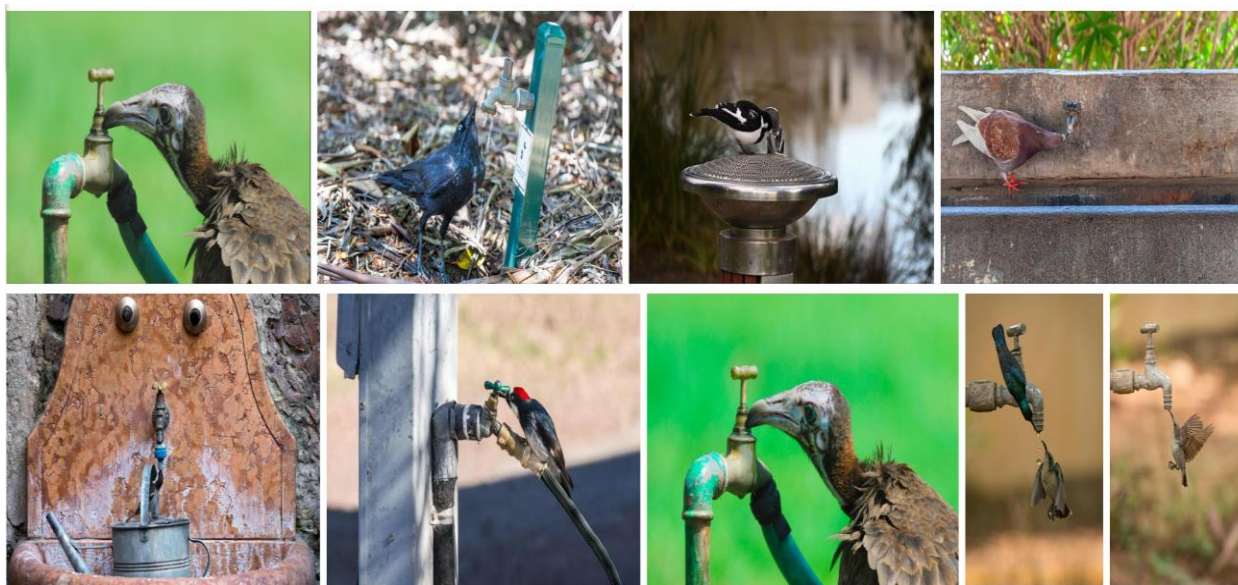


Figure 3-1 Oiseau buvant au robinet.

3.3 Solutions proposes traditionnelle

L'une des solutions les plus courantes à travers le monde pour venir en aide aux animaux souffrant de la soif dans les régions isolées est l'utilisation de camion-citerne spécialement équipés pour acheminer de l'eau vers ces zones reculées. Ces camions sont souvent déployés dans le cadre

de programmes d'urgence pour répondre aux besoins d'eau des animaux sauvages lors de sécheresses prolongées ou en cas de pénurie. Grâce à leur capacité à transporter de grandes quantités d'eau, ils peuvent atteindre des endroits difficiles d'accès pour approvisionner en eau potable la faune locale. Cette approche est utilisée dans de nombreux pays pour répondre aux besoins immédiats des animaux en détresse et favoriser leur survie dans des environnements hostiles.

Une autre solution largement mise en œuvre est l'installation de points d'eau artificiels, tels que des abreuvoirs ou des réservoirs, placés à des endroits stratégiques. Ces points d'eau sont régulièrement remplis par des organisations de conservation ou des bénévoles pour garantir un approvisionnement continu en eau pour la faune. Cette initiative est particulièrement importante durant les périodes de sécheresse, lorsque les sources naturelles d'eau sont rares. Elle permet de maintenir la santé des populations animales et contribue à préserver l'équilibre écologique dans ces régions isolées.

Une troisième approche, de plus en plus adoptée à l'échelle internationale, consiste à utiliser des drones pour livrer de l'eau aux animaux. Ces drones, équipés de réservoirs, survolent des zones spécifiques où la faune a besoin d'eau, et larguent l'eau de manière ciblée. Cette méthode innovante permet d'atteindre rapidement les zones difficiles d'accès et de fournir une aide immédiate aux animaux en situation critique, notamment dans les régions touchées par des conditions environnementales extrêmes.

3.4 Solution proposée dans notre projet étudié

Ce projet propose une solution intégrée et durable pour l'approvisionnement en eau potable, destinée aussi bien aux animaux qu'aux humains dans des zones isolées, en utilisant un système intelligent alimenté par des panneaux solaires et commande à base d'une carte commande. L'objectif est d'optimiser l'efficacité du système d'irrigation tout en préservant les ressources naturelles. Cette approche innovante vise à répondre aux besoins essentiels des populations dans des environnements reculés.

Le cœur de ce projet repose sur le développement du contrôleur intelligent. Ce dispositif est équipé de capteurs permettant de surveiller divers paramètres, tels que le niveau et la qualité de l'eau. Grâce à ces données en temps réel, le contrôleur prend des décisions automatisées pour optimiser la gestion de l'eau et assurer un approvisionnement continu en eau potable pour les animaux ou les habitants.

En utilisant l'énergie solaire pour alimenter le système de distributions d'eau potable, le système gagne en durabilité et en résilience, notamment dans les régions où l'accès à l'électricité conventionnelle est limité ou inexistant.

3.5 Composants

3.5.1 Arduino UNO

La carte Arduino est une carte électronique, plus exactement un microcontrôleur programmable qui permet de réaliser des prototypes facilement et rapidement à un coût très faible. Arduino fait référence à une plate-forme ou une carte électronique open source et au logiciel utilisé pour la programmer (Figure 2-2) [1]. Arduino est conçu pour rendre l'électronique plus accessible aux artistes, designers, amateurs et ayons intéressés par la création d'objets ou d'environnements interactifs. Les utilisateurs peuvent adapter les cartes à leurs besoins, ainsi que mettre à jour et distribuer leurs propres versions [1].

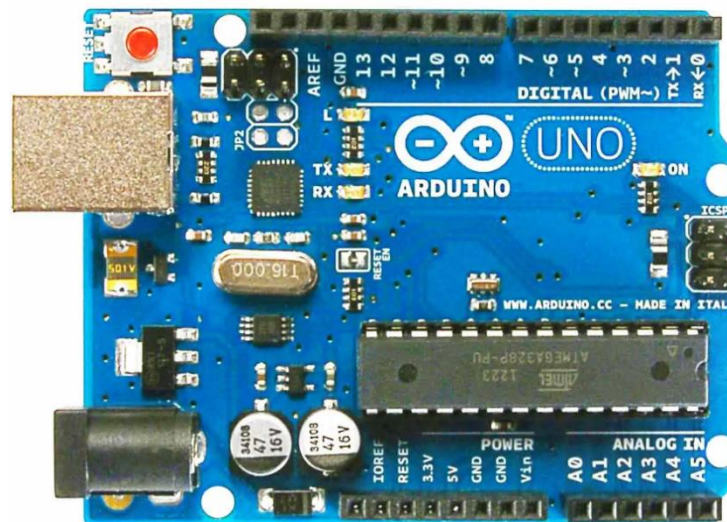


Figure 3-2 Arduino Uno R3 (China).

3.5.1.1 Principe de fonctionnement

La carte Arduino utilise un convertisseur **analogique/numérique** (convertisseur CAN) pour permettre la lecture du signal par le microcontrôleur. Un signal sera converti sur **10 bits**. La valeur pourra être lue sur une échelle **1024** points. Chaque carte Arduino possède son propre microcontrôleur [2].

Les différentes versions des Arduino fonctionnent sous le même principe général qui se pose sur [2]:

- ➔ Broches dites numériques **1** ou **0** (**tout ou rien**) ; elles offrent en sortie du **5 V** et acceptent en entrée du **5V** sur le même principe.
- ➔ Fonctions digital Write et digital Read .
- ➔ Ports PWM analog Write.
- ➔ Broches dites analogiques, valeur entre **0V** et **5V**.
- ➔ Fonction analog Read.
- ➔ Différentes broches d'alimentation [2] :

- * Rouge : sortie 5V (+).
- * Orange : sortie 3,3V (+).
- * Noire : les masses (-).
- * Jaune : entrée reliée à l'alimentation (7V-12V).

Il y a des variations entre les différentes cartes (par exemple : UNO) la patte 13 est équipée d'une résistance.

3.5.2 Capteurs

3.5.2.1 Définition

Il s'agit d'un capteur qui détecte l'état physique environnant et remplit plusieurs fonctions, notamment la mesure de la température, de la pression, du rayonnement et des électrons ou des protons (Figure 2-3) [3]. Il convertit les signaux qui lui parviennent en impulsions électriques qui peuvent être mesurées ou comptées par un appareil. Avec cela, nous pouvons connaître l'intensité de l'effet. Il existe également des types qui peuvent être reliés à des ordinateurs et, grâce à la programmation, une image de la distribution des mesures peut être formée, comme c'est le cas dans l'imagerie par résonance magnétique, qui détecte les tumeurs chez l'homme [3].



Figure 3-3 Capteur de mouvement.

3.5.2.2 Types de capteurs utilisés

Les capteurs sont des éléments clés de notre système. Ils nous permettent de collecter en continu des données sur différents paramètres physiques tels que le mouvement et les niveaux [4]. Ces informations sont ensuite traitées pour assurer un fonctionnement optimal et fiable du système.

a) Capteur de mouvement

- **Définition :** Un détecteur de mouvement est assez simple. Cet appareil électronique, de

petite taille intégrée dans le système d'alarme, est doté d'un dispositif optique [4]. Ce dernier permet d'observer un espace donné selon un angle de vision choisi (Figure 2-4).

- **Généralement :** En utilisant la technique de l'infrarouge, le capteur de mouvement perçoit les formes, les déplacements ou les volumes dans l'intention d'assurer son rôle sécuritaire. Un détecteur de mouvement ne détecte, comme son nom l'indique, que les corps en mouvement



Figure 3-4 Capteur de mouvement et position infrarouge de type PIR HC-SR501.

b) Détecteur de mouvement PIR

* Capteurs infrarouges thermiques

Transducteur qui convertit l'énergie radiante dans la bande spectrale infrarouge en un signal électrique proportionnel à la puissance incidente. Il est généralement constitué d'un élément sensible à la chaleur, comme un bolomètre ou un photo-détecteur, couplé à un système optique de focalisation [4]. En effet, les capteurs infrarouges thermiques où les capteurs infrarouges piézoélectriques utilisent l'infrarouge comme source de chaleur pour détecter des objets. Leur sensibilité est indépendante de la longueur d'onde. Le temps de détection et la vitesse de réponse sont lents.

* Capteurs infrarouges quantiques

Un dispositif électronique qui exploite les propriétés quantiques de la matière pour détecter et mesurer le rayonnement infrarouge. Il convertit l'énergie des photons infrarouges en un signal électrique, permettant ainsi de déterminer la température d'un objet. En effet, les capteurs quantiques détectent les photons, en fonction de la longueur d'onde, et sont plus sensibles que ceux qui détectent la chaleur [4]. Ces capteurs sont rapides dans la détection et la réponse, tout en nécessitant un refroidissement fréquent pour effectuer des mesures précises.

➤ Caractéristiques techniques du capteur de mouvement

- ➔ Tension d'alimentation : DC du 4,5V à 20V
- ➔ Courant de fonctionnement : $\leq 65\text{mA}$
- ➔ Fréquence de détection : 50 Hz

- Angle de détection : $\leq 110^\circ$
- Distance de détection : $\leq 7\text{m}$
- Temps de réponse : 1 seconde
- Temps de délai réglable : du 3s à 5min
- Niveau de sensibilité réglable
- Sortie : niveau logique haut/bas
- Taille : 3.2 x 3.2 x 4.5 cm

c) Capteur de niveau à flotteur

- **Définition :** Un capteur de niveau est un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du matériau, en général du liquide, dans un réservoir ou un autre récipient [5]. Une partie intégrante du contrôle de procédé dans de nombreuses industries, les capteurs de niveau se divisent en deux types principaux. Le capteur de niveau de mesure de point est utilisé pour marquer une seule hauteur de liquide discrète une condition de niveau prédéfinie (Figure 2-5).

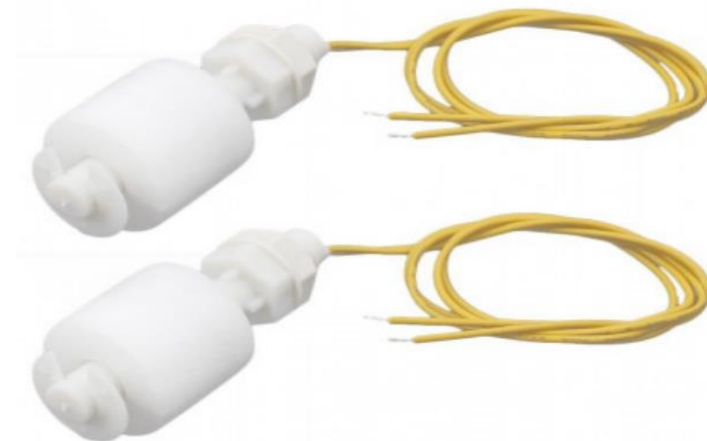


Figure 3-5 Capteur niveau d'eau étanche détecteur anti débordement 8mm flotteur liquide cuve réservoir.

- **Généralement :** Ce type de détecteur de niveau fonctionne comme une alarme haute, pour signaler une condition de débordement, ou en tant qu'indicateur pour une condition d'alarme basse. La sonde de niveau continu est plus sophistiquée et peut assurer une surveillance de niveau de tout un système. Il mesure le niveau de liquide dans une plage, plutôt qu'à un seul point, ce qui produit une sortie analogique qui est directement corrélée au niveau de la cuve. Pour créer un système de gestion de niveau, le signal de sortie est relié à une boucle de commande de procédé et à un indicateur visuel [5].
- **Principe fonctionnement :** Un capteur de niveau pour le niveau minimum et un pour le niveau maximum. Lorsque le niveau atteint le point minimum, la sortie numérique commute le système de remplissage de nouveau liquide. Dès que le réservoir atteint le niveau

maximum, le ravitaillement s'arrête [5].

➤ Caractéristiques Techniques du Capteur de Niveau à Flotteur :

- ➔ Courant maximal de commutation : 0.5A
- ➔ Tension maximale de commutation : 100V DC
- ➔ Plage de température : 10 à 85 degrés Celsius
- ➔ Puissance nominale : 10W
- ➔ Matériau du boîtier du capteur : Plastique
- ➔ Matériau du boîtier du capteur : Plastique

3.6 Panneau solaire photovoltaïque

Un panneau solaire photovoltaïque est un dispositif qui convertit directement la lumière du soleil en électricité (Figure 2-6) [6]. Les panneaux solaires sont composés de nombreuses cellules photovoltaïques. Lorsque la lumière du soleil frappe ces cellules, elle crée un mouvement d'électrons, générant ainsi un courant électrique continu [6]. Ce courant peut ensuite être stocké dans des batteries ou directement utilisé pour alimenter des appareils électriques [6]. De plus, les panneaux solaires photovoltaïques sont une solution durable et efficace pour produire de l'électricité à partir d'une source d'énergie propre et inépuisable. Ils peuvent alimenter :

- ➔ **Habitations individuelles:** En complément ou en remplacement du réseau électrique.
- ➔ **Bâtiments professionnels:** Bureaux, usines, etc...
- ➔ **Infrastructures publiques:** Éclairage public, bornes de recharge pour véhicules électriques.
- ➔ **Systèmes isolés:** Là où le réseau électrique n'est pas accessible.



Figure 3-6 Panneau Photovoltaïque.

2.6.1 Avantage des panneaux solaires

- * **Énergie propre et renouvelable:** Le soleil est une source d'énergie inépuisable.

- * **Réduction de la facture d'électricité:** L'autoconsommation permet de réduire sa dépendance au réseau électrique et de faire des économies.
- * **Indépendance énergétique:** Les panneaux solaires offrent une certaine autonomie énergétique.
- * **Respect de l'environnement:** La production d'électricité solaire ne produit pas d'émissions de gaz à effet de serre.

3.6.2 Différents types de panneaux solaires

Il existe différents types de panneaux solaires, qui se distinguent par leur technologie et leurs performances [6] :

- **Panneaux monocristallins:** Composés de cellules en silicium monocristallin, ils offrent un rendement élevé mais sont généralement plus coûteux.
- **Panneaux polycristallins:** Composés de cellules en silicium polycristallin, ils sont moins chers que les panneaux monocristallins mais leur rendement est légèrement inférieur.
- **Panneaux amorphes:** Plus flexibles et moins efficaces que les panneaux cristallins, ils sont souvent utilisés pour les applications où l'esthétique est importante.
- **Panneaux à couches minces:** Ces panneaux utilisent des matériaux semi-conducteurs déposés en couches minces, offrant une alternative plus légère et flexible.

3.6.3 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Un régulateur **MPPT** (Maximum Power Point Tracking) est un dispositif électronique qui optimise la production d'énergie d'un panneau solaire (Figure 3-7) [8]. En effet, le régulateur de charge est composé d'un convertisseur **DC/DC** à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions [8] :

- * Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- * Conversion **DC/DC**.
- * Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (**Bulk, Absorption et Floating**).



Figure 3-7 Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking).

a) Principe fonctionnement

- **Point de puissance maximale (PPM) :** Chaque panneau solaire possède un point de fonctionnement où il produit le maximum d'énergie électrique. Ce point dépend de plusieurs facteurs, tels que l'ensoleillement et la température.
- **Rôle du régulateur MPPT :** Le régulateur **MPPT** a pour mission de trouver et de maintenir en permanence le panneau solaire à ce point de puissance maximale. Il ajuste en continu la tension et le courant de sortie du panneau pour s'assurer qu'il fonctionne dans les conditions optimales.

b) Avantages de MPPT

- **Maximiser la production d'énergie :** En faisant fonctionner le panneau solaire à son point de puissance maximale, le régulateur **MPPT** permet d'augmenter de manière significative la quantité d'énergie produite.
- **Protéger la batterie :** Il protège la batterie de la surcharge et de la sous-charge, en régulant la tension de charge et en coupant la charge lorsque la batterie est pleine.
- **Meilleur rendement énergétique :** Jusqu'à **30%** de rendement en plus par rapport à un régulateur standard.
- **Plus grande durée de vie de la batterie :** Grâce à une charge optimisée, la batterie dure plus longtemps.
- **Flexibilité :** Les régulateurs **MPPT** permettent d'utiliser différents types de panneaux solaires et de batteries.

3.7 Pompe

3.7.1 Définition simple

Une pompe **12V** est un appareil électrique qui utilise une tension de **12 volts** pour déplacer un fluide (liquide ou gaz) d'un endroit à un autre (Figure 3-8) [9]. Cette pompe est fonctionnée grâce à un moteur électrique alimenté par une source de courant continu de **12 volts**. Ce moteur entraîne une roue à aubes ou un piston qui crée une dépression, aspirant ainsi le fluide et le poussant vers la sortie. Les pompes **12V** ont de nombreuses applications, notamment [9] :

- * **Dans les véhicules:** Pour alimenter le lave-glace, le circuit de refroidissement, etc.
- * **Dans les systèmes d'arrosage:** Pour pomper l'eau depuis un réservoir vers les plantes.
- * **Dans les aquariums:** Pour faire circuler l'eau et oxygéner le milieu.
- * **Dans les systèmes de refroidissement:** Pour faire circuler un liquide de refroidissement.
- * **Dans les applications portables:** Comme les batteries externes avec système de refroidissement par circulation d'eau.

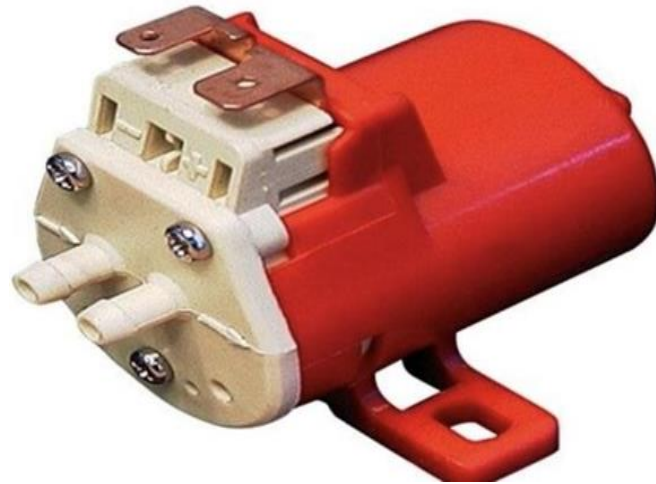


Figure 3-8 Pompe 12V-4A.

3.7.2 Différents types de pompes

Il existe différents types de pompes 12V, chacun adapté à une application spécifique :

- **Pompes submersibles:** Entièrement immergées dans le liquide, elles sont idéales pour pomper de l'eau dans des puits ou des réservoirs.
- **Pompes de surface:** Placées à l'extérieur du liquide, elles aspirent le liquide par une crépine.
- **Pompes péristaltiques:** Utilisent un tube flexible pour déplacer le fluide, elles sont adaptées aux liquides visqueux ou contenant des particules solides.
- **Pompes à diaphragme:** Fonctionnent grâce à un diaphragme qui se déplace pour créer une dépression et refouler le liquide.

3.7.3 Avantages des pompes 12V

- **Facilité d'utilisation:** Alimentées par une tension basse, elles sont simples à installer et à utiliser.
- **Compacité:** Leur petite taille les rend faciles à transporter et à intégrer dans différents systèmes.
- **Fiabilité:** Les moteurs 12V sont généralement robustes et durables.

3.8 Description du banc expérimental

La structure matérielle de la plateforme expérimentale est représentée sur la Figure 3-9, elle est composée :

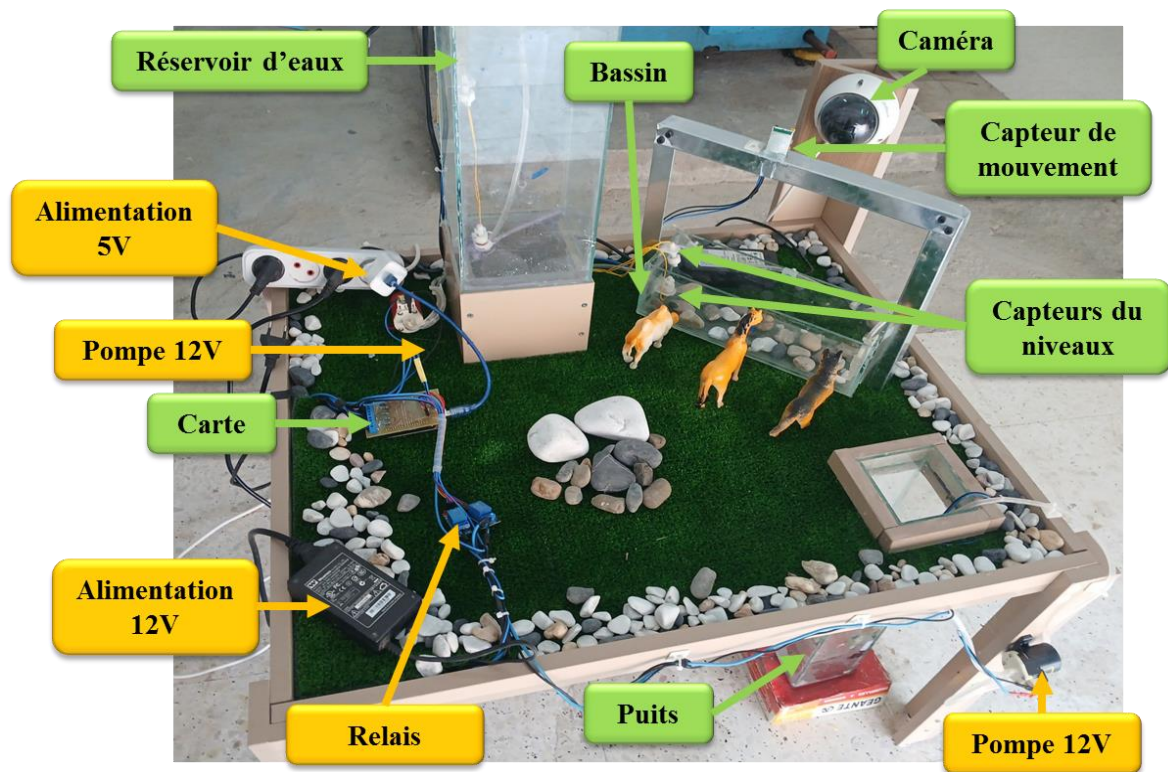


Figure 3-9 Photographie du banc expérimental.

3.8.1 Capteur de mouvement

Un capteur de mouvement représente une solution innovante pour garantir l'approvisionnement en eau des animaux (Figure 3-10). Positionné à proximité d'une bassine, ce dispositif intelligent est capable de détecter la présence d'animaux assoiffés s'approchant pour boire. Dès qu'un mouvement est capté, il déclenche automatiquement l'activation d'une pompe, assurant ainsi un remplissage rapide et régulier de la bassine. Cette solution, particulièrement adaptée aux environnements ruraux éloignés des réseaux d'eau, offre une gestion optimisée des ressources en eau, tout en améliorant le bien-être animal.

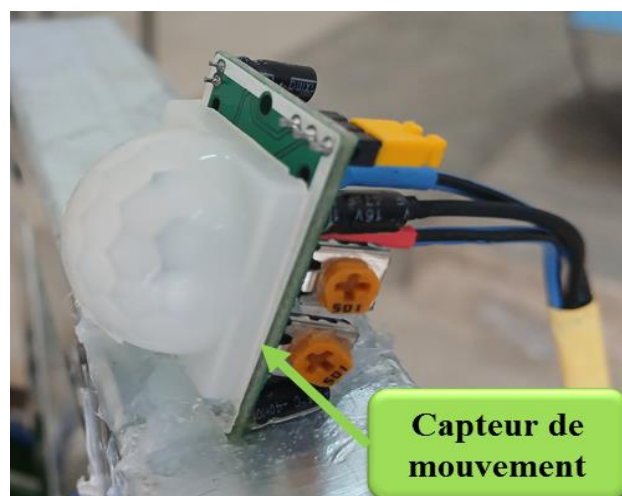


Figure 3-10 Méthode de câblage de capteur de mouvement.

3.8.2 Capteur du niveau de puits

Un capteur de niveau, installé au fond du puits, permet de surveiller en continu la quantité d'eau disponible. Lorsqu'il détecte que le niveau d'eau est inférieur à un seuil prédéfini, il envoie un signal à un automate qui déclenche automatiquement la mise en marche de la pompe. Celle-ci aspire alors l'eau du puits pour remplir le réservoir, assurant ainsi un approvisionnement constant en eau, même en période de sécheresse



Figure 3-11 Capteurs du niveau de puits.

3.8.3 Capteurs du niveau de réservoir

Un système de double capteur permet une gestion optimisée du remplissage du réservoir. Le capteur de niveau bas, placé au fond du réservoir, déclenche la mise en marche de la pompe de puisage dès que le niveau d'eau descend en dessous d'un seuil prédéfini. L'eau est alors pompée du puits jusqu'au réservoir. Inversement, le capteur de niveau haut, situé près de la partie supérieure du réservoir, ordonne l'arrêt de la pompe lorsque le réservoir est plein.

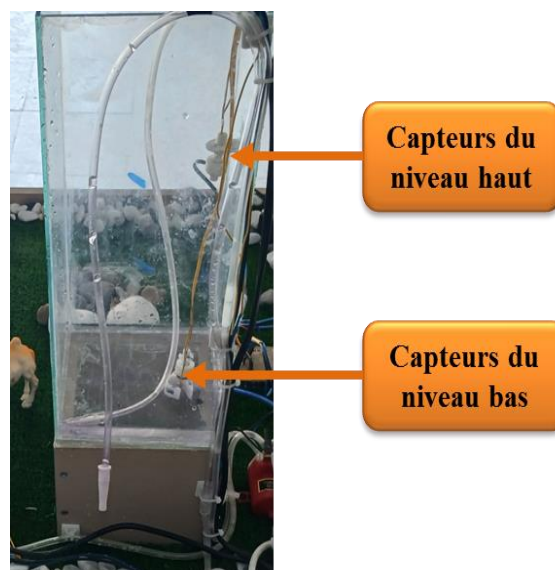


Figure 3-12 Capteurs du niveau bas et haut de réservoir.

Le capteur de niveau bas, positionné à la partie inférieure du réservoir, joue un rôle crucial dans l'alimentation en eau de la bassine. Lorsqu'il détecte que le niveau d'eau dans le réservoir est en dessous d'un seuil prédéfini, il envoie un signal à l'automate qui commande la pompe de refoulement. Cette dernière se met alors en marche pour transférer l'eau du réservoir vers la bassine, assurant ainsi un approvisionnement continu.

3.8.4 Capteurs du niveau de bassine

Un système de double capteur assure une gestion optimale du niveau d'eau dans la bassine. Le capteur de niveau bas, situé à la partie inférieure de la bassine, déclenche la mise en marche de la pompe de refoulement lorsque le niveau d'eau est insuffisant. Inversement, le capteur de niveau haut, placé près de la surface de la bassine, ordonne l'arrêt de la pompe lorsque la bassine est pleine. Ce dispositif permet de maintenir un niveau d'eau constant dans la bassine, évitant ainsi les risques de manque d'eau ou de débordement. Grâce à l'utilisation de capteurs de niveau, le remplissage de la bassine sont entièrement automatisés. Ce système intelligent évite les interventions manuelles, souvent fastidieuses et sources d'erreurs. De plus, il permet d'optimiser la consommation d'eau en adaptant le fonctionnement de la pompe aux besoins réels. Enfin, il préserve la durée de vie de la pompe en évitant les démarrages et arrêts intempestifs.

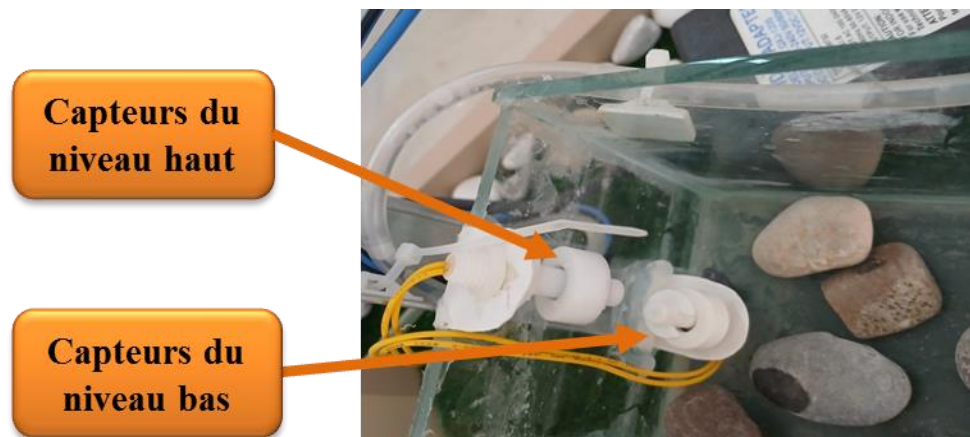


Figure 3-13 Capteurs du niveau bas et haut du bassin.

3.8.5 Pompe de puits

La pompe de puits, élément central de ce système, est chargée d'acheminer l'eau du forage vers le réservoir. Son fonctionnement est entièrement automatisé grâce à deux capteurs de niveau. Lorsque le niveau d'eau dans le réservoir atteint son seuil bas, le capteur correspondant déclenche la mise en marche de la pompe. Inversement, lorsque le réservoir est plein, le capteur de niveau haut ordonne l'arrêt de la pompe. Ce système garantit ainsi un remplissage optimal du réservoir sans intervention humaine.

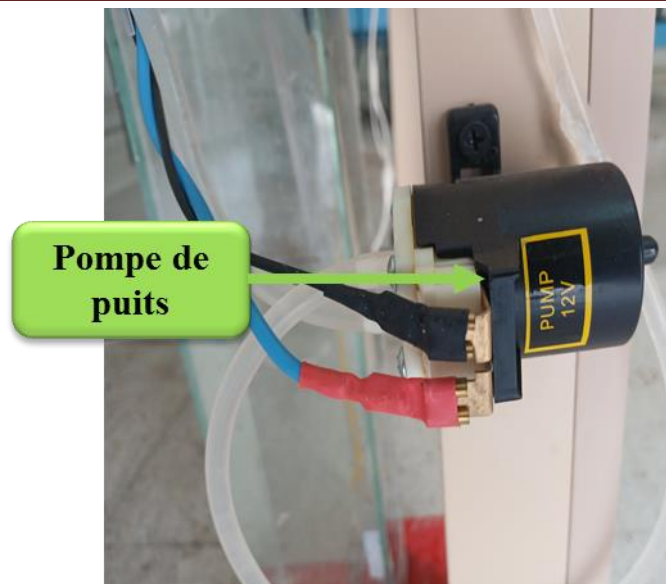


Figure 3-14 Pompe de puits.

3.8.6 Pompe de réservoir

La pompe de réservoir, élément central de ce système, est chargée de transférer l'eau d'un réservoir vers un bassin. Son fonctionnement est entièrement automatisé grâce à deux capteurs de niveau. Lorsque le niveau d'eau dans le bassin atteint son seuil bas, le capteur correspondant déclenche la mise en marche de la pompe. Inversement, lorsque le bassin est plein, le capteur de niveau haut ordonne l'arrêt de la pompe. Ce système garantit ainsi un remplissage optimal du bassin sans intervention humaine.



Figure 3-15 Pompe de réservoir.

3.8.7 Carte de commandé

Une carte Arduino Uno est utilisée comme carte de commande. Les capteurs de niveau à flotteur envoient des signaux numériques à la carte. Le programme Arduino compare les valeurs reçues aux seuils de niveau préprogrammés et active les sorties numériques correspondantes. Ces

sorties commandent des relais électromécaniques qui alimentent les pompes. Une horloge en temps réel permet de programmer des cycles de fonctionnement spécifiques et d'enregistrer les données de fonctionnement.

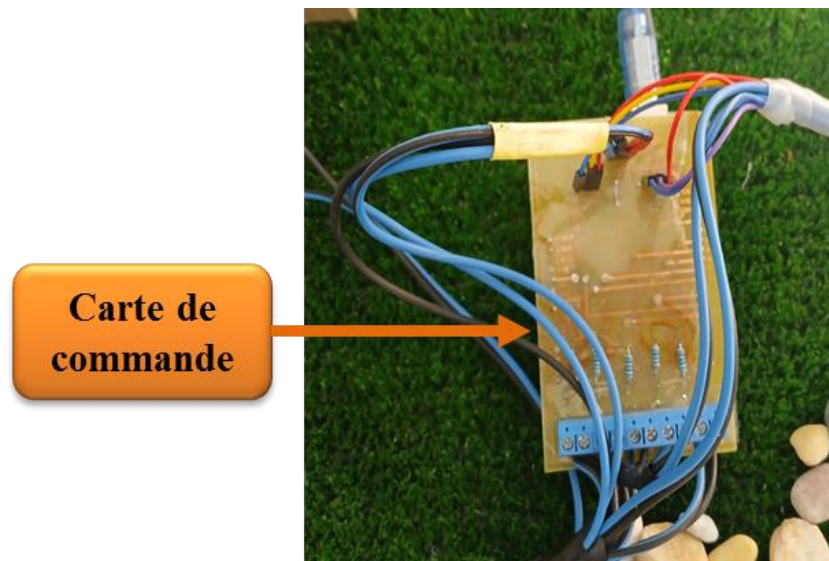


Figure 3-16 Carte de commande du système.

La carte de commande constitue le cerveau de ce système d'alimentation en eau. Elle reçoit les signaux des capteurs de niveau bas et haut, situés respectivement dans le réservoir et le bassin. En fonction de ces informations, elle active ou désactive les relais qui commandent les pompes. Lorsque le niveau d'eau dans le réservoir est bas, le relais de la pompe de puits est activé pour remplir le réservoir. De même, lorsque le niveau d'eau dans le bassin est bas, le relais de la pompe de réservoir est activé pour remplir le bassin. Ce système garantit un fonctionnement automatisé et optimal des deux pompes.

3.8.8 Caméra

Les caméras de surveillance utilisées pour l'étude de la faune sont généralement des modèles résistants aux intempéries et dotés d'une autonomie importante grâce à des batteries ou des panneaux solaires. Elles sont équipées de capteurs de mouvement haut sensibilité qui déclenchent l'enregistrement dès qu'un animal passe devant l'objectif. Les données capturées sont stockées sur une carte mémoire interne et peuvent être téléchargées périodiquement pour analyse."

L'utilisation de caméras de surveillance présente de nombreux avantages pour l'étude de la faune sauvage. Ces dispositifs non intrusifs permettent d'observer les animaux dans leur environnement naturel sans les déranger, offrant ainsi des données plus fiables et plus complètes. De plus, les caméras de surveillance peuvent être déployées sur de longues périodes, permettant de suivre l'évolution des populations animales au fil des saisons et des années.



Figure 3-17 Caméra de surveillance.

3.9 Description générale de principe de fonctionnement du système

Ce travail décrit les composants et le fonctionnement d'un système intelligent de gestion de l'eau dans une cité isolée, conçu pour répondre aux besoins en eau des animaux et assurer un approvisionnement optimal. Il présente un capteur de mouvement qui détecte la présence d'animaux assoiffés pour activer une pompe remplissant une bassine. Le système inclut également des capteurs de niveau pour surveiller l'eau dans un puits, un réservoir et la bassine, garantissant une gestion automatisée et efficace des ressources en eau. Les pompes sont commandées par une carte Arduino, et des caméras de surveillance sont utilisées pour observer les animaux.

A. Avantages

Les avantages de ce système intelligent de gestion de l'eau sont les suivants :

- ➔ **Approvisionnement automatisé** : Le système fonctionne de manière autonome grâce aux capteurs de mouvement et de niveau, évitant ainsi toute intervention humaine.
- ➔ **Optimisation des ressources en eau** : Le contrôle précis des niveaux d'eau dans le puits, le réservoir et la bassine minimise le gaspillage d'eau en adaptant l'approvisionnement aux besoins réels.
- ➔ **Réponse rapide aux besoins des animaux** : Le capteur de mouvement détecte la présence des animaux assoiffés, assurant un remplissage immédiat de la bassine.
- ➔ **Amélioration du bien-être animal** : Les animaux ont un accès constant et fiable à l'eau, même dans des environnements éloignés ou isolés.
- ➔ **Surveillance à distance** : Les caméras de surveillance permettent de suivre l'activité des animaux sans les perturber, tout en assurant une surveillance continue du système.
- ➔ **Durabilité et fiabilité** : L'automatisation basée sur une carte Arduino garantit un fonctionnement régulier, avec une gestion optimisée des cycles de la pompe, prolongeant ainsi la durée de vie des équipements.

3.10 Programme de la carte commande

3.10.1 Arduino

L'Arduino est une plateforme open-source de prototypage électronique pour la création d'objets interactifs à des fins créatives. Elle permet aux utilisateurs de concevoir des dispositifs électroniques interactifs à partir de cartes électroniques et d'un environnement de programmation dédié.



Figure 3-18 Logo de la marque Arduino.

3.10.2 Microcontrôleur

Le microcontrôleur est le cœur de la carte Arduino. Il reçoit le programme que l'utilisateur crée, le stocke dans sa mémoire, puis l'exécute. Grâce à ce programme, le microcontrôleur peut prendre des décisions, effectuer des calculs, mesurer le temps, ainsi que transmettre des données à un ordinateur ou contrôler des moteurs.



Figure 3-19 Microcontrôleur de la carte Arduino UNO.

3.10.3 Mémoire

La mémoire est l'un des composants essentiels d'un microcontrôleur, comme l'**ATMEGA**, qui constitue le cœur de l'**Arduino**. Ses principales caractéristiques incluent :

- Capacité de stockage,
- Vitesse de lecture et d'écriture (en mégaoctets par seconde : Mb/s),
- Capacité à conserver les données dans le temps,
- Nombre de cycles d'écriture avant que la mémoire ne devienne obsolète.

3.10.4 Ports d'Arduino

La LED située à côté de la broche numéro 13, la carte Arduino ne contient aucun composant utilisable directement pour la programmation, comme des LED ou des moteurs. Ces composants doivent être ajoutés en les connectant à la carte via des connecteurs, également appelés broches. Sur de nombreuses cartes Arduino, les broches sont disposées au même endroit, permettant ainsi la connexion de cartes d'extension. Les broches d'entrée et de sortie de l'Arduino se répartissent de la manière suivante :

- Entrées/sorties numériques
- Entrées/sorties analogiques
- Terre ou masse (0V)
- Alimentation +5V
- Alimentation +3.3V
- Alimentation non stabilisée Vin (correspond au même voltage que celui à l'entrée de la carte)

Il existe également d'autres broches, comme illustré dans la Figure 3-20.

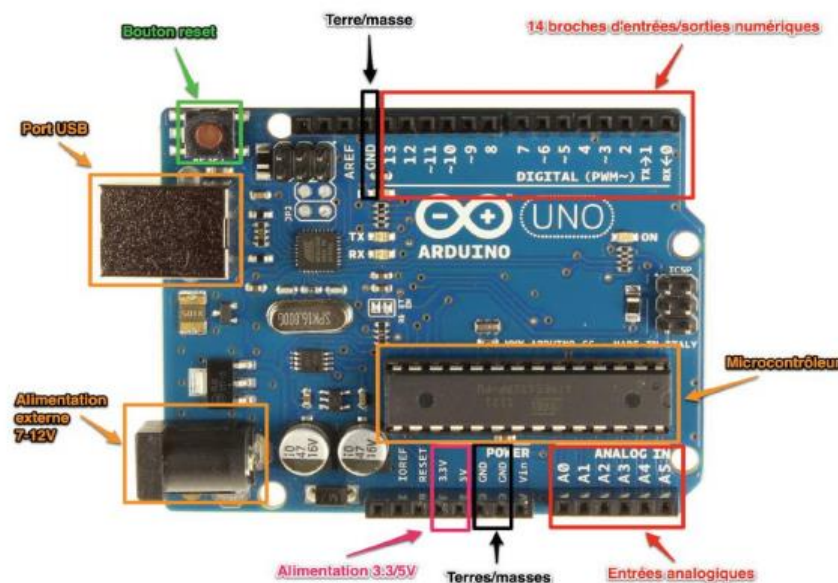


Figure 3-20 Entrées/sorties de la carte Arduino.

3.10.5 Partie programme

3.10.5.1 Structure d'un programme Arduino

Les programmes Arduino peuvent être divisés en trois parties : la structure, les valeurs (variables et constantes), et les fonctions. Dans cet article, nous allons nous concentrer sur la structure, qui constitue le squelette de tout programme Arduino. De la même manière qu'un squelette est essentiel à la vie humaine, il est indispensable au fonctionnement d'un programme

Arduino. Dans le vocabulaire Arduino, un fichier de programme est appelé « [Sketch](#) » en anglais, ou « [Croquis](#) » en français.



Figure 3-21 Structure générale de programme Arduino.

La structure d'un programme Arduino inclut nécessairement deux fonctions principales :

- **Fonction *setup()*** : utilisée pour initialiser les paramètres de l'environnement (elle ne s'exécute qu'une seule fois au début).
- **Fonction *loop()*** : qui contient le cœur du programme et s'exécute en boucle indéfiniment.

La Figure 3-13 représenté la structure de base d'un [programme Arduino](#). Ces deux fonctions sont obligatoires, même vides, pour que le programme soit transféré à la [carte Arduino](#).

Une capture d'écran de l'IDE Arduino 1.8.5 montrant le squelette d'un programme. Le code visible est :

```
void setup()
{
}

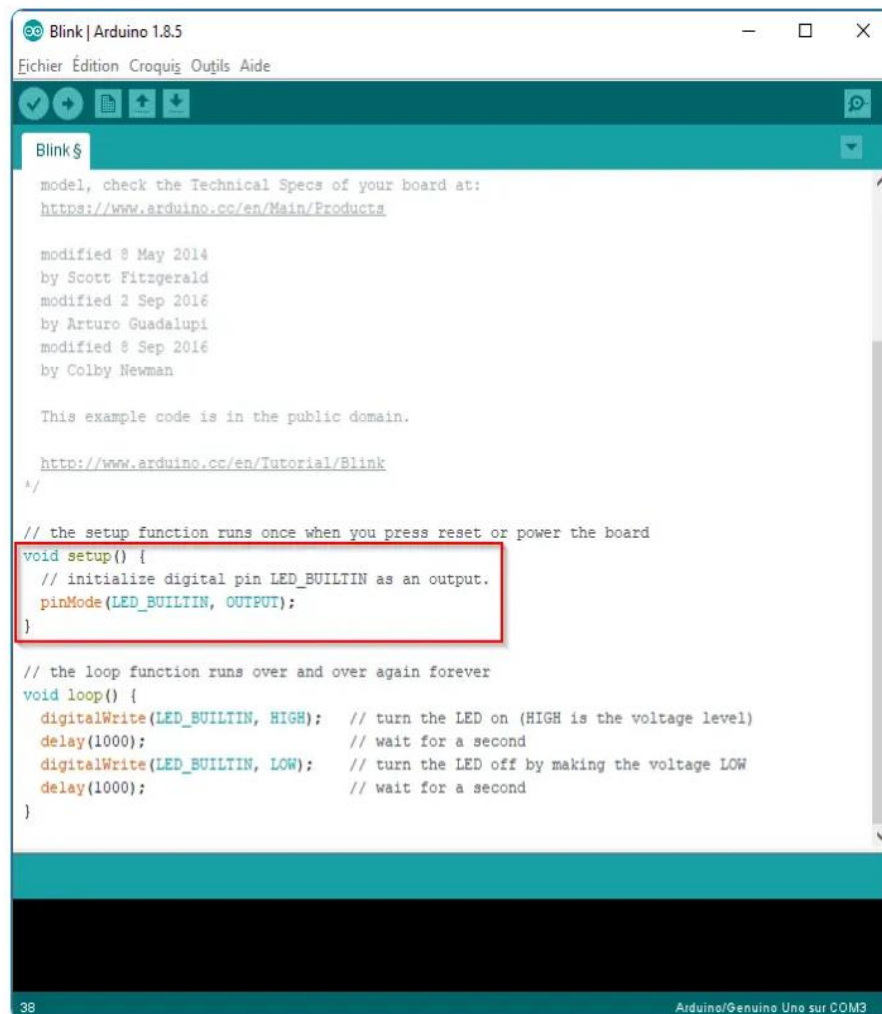
void loop()
{
}
```

Figure 3-22 Structure d'un programme Arduino.

a) Fonction `setup()`

La fonction `setup()` est la fonction d'initialisation de votre Arduino. C'est la première fonction exécutée lors du démarrage de la carte. C'est ici que vous configurez différents éléments, comme les objets, les protocoles de communication, ainsi que la configuration des entrées et sorties. Pas d'inquiétude, nous détaillerons tout cela au fur et à mesure du cours. Ce qu'il faut simplement retenir, c'est que la fonction `setup()` se lance automatiquement dès que la carte Arduino démarre ou redémarre (après un **RESET**). Cela inclut également la mise sous tension de la carte.

Dans l'exemple suivant, nous initialisons la **LED intégrée** à la carte en la configurant comme une sortie :



```
Blink | Arduino 1.8.5
Fichier Édition Croquis Outils Aide

Blink $

model, check the Technical Specs of your board at:
https://www.arduino.cc/en/Main/Products

modified 8 May 2014
by Scott Fitzgerald
modified 2 Sep 2016
by Arturo Guadalupi
modified 8 Sep 2016
by Colby Newman

This example code is in the public domain.

http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
*/

// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}

38 Arduino/Genuino Uno sur COM3
```

Figure 3-23 Initialisation de la sortie LED sur la carte en mode OUTPUT (sortie).

b) Fonction `loop()`

La fonction `loop()` est la deuxième fonction à être exécutée sur votre Arduino, immédiatement après la fonction `setup()`. Comme son nom l'indique, cette fonction fonctionne sous forme de boucle infinie (*loop* signifiant "boucle" en anglais). Une fois que la dernière ligne de la

fonction `loop()` est atteinte, le programme revient automatiquement à la première ligne, et ce cycle se répète indéfiniment.

Dans cet exemple, la **LED** intégrée à la carte s'allume et s'éteint toutes les secondes. Lorsque la dernière ligne est exécutée, la fonction `loop()` recommence depuis le début, créant ainsi un cycle continu. Voici un exemple simple de code utilisant la fonction `loop()` :

3.10.5.2 Programme de capteur de mouvement PIR HC-SR501 avec Arduino

Pour programmer un capteur de mouvement **PIR HC-SR501** avec Arduino, il faut d'abord connecter le capteur aux broches de la carte Arduino : la broche de signal (**OUT**) du capteur à une entrée numérique, et les broches d'alimentation (**VCC et GND**) à la carte. Dans la fonction `setup()`, on initialise la broche de signal du capteur en tant qu'entrée avec `pinMode()`. Ensuite, dans la fonction `loop()`, on utilise `digitalRead()` pour lire les données du capteur et détecter les mouvements. Lorsque le capteur détecte un mouvement, il envoie un signal haut (**HIGH**) à la broche Arduino, permettant d'exécuter des actions prédéfinies, telles que l'activation d'une **LED**, d'une alarme ou l'envoi d'une notification. Le **PIR** peut aussi être réglé pour ajuster la sensibilité et la durée de déclenchement à l'aide des potentiomètres présents sur le module.

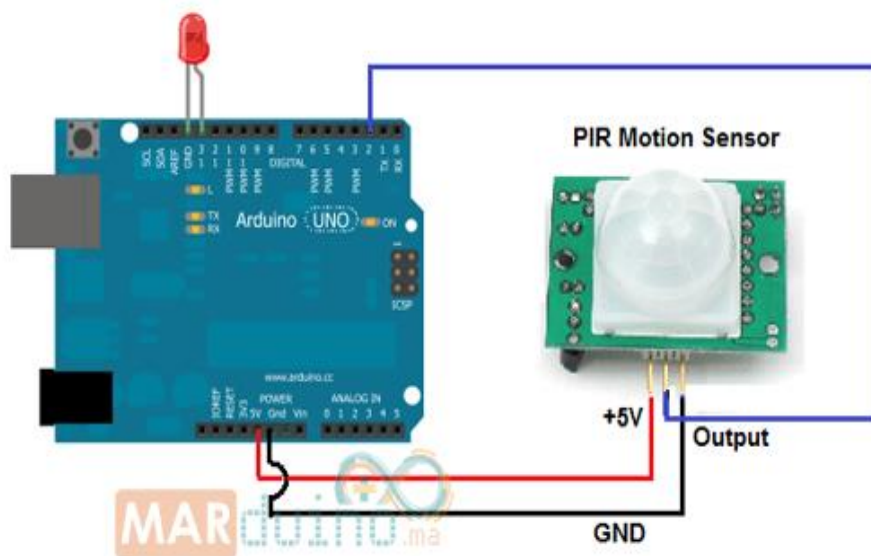


Figure 3-24 Montage de capteur de mouvement PIR HC-SR501 avec Arduino Uno.

Le code ci-dessous peut être utilisé pour détecter les mouvements avec le capteur de mouvement **PIR HC-SR501** et allumer une **LED** lorsque le mouvement est détecté.

```
const int LED = 13;
const int motionSensor = 2;

void setup() {
  pinMode(LED, OUTPUT);
  pinMode(motionSensor, INPUT);
}

void loop() {
  int sensorValue = digitalRead(motionSensor);
```

```

if (sensorValue == HIGH) {
  digitalWrite(LED, HIGH);
} else {
  digitalWrite(LED, LOW);
}
}
}

```

3.10.5.3 Programme capteur de niveaux avec Arduino

Pour programmer un capteur de niveaux avec Arduino, la méthode consiste d'abord à connecter le capteur aux broches appropriées de la carte Arduino, généralement via des broches analogiques ou numériques selon le type de capteur. Ensuite, dans la fonction `setup()`, il faut initialiser les broches du capteur comme entrées et, si nécessaire, configurer les communications (*comme Serial pour afficher les données*). Dans la fonction `loop()`, on lira régulièrement les données envoyées par le capteur à l'aide de `analogRead()` ou `digitalRead()` pour surveiller le niveau mesuré. Selon les valeurs recueillies, on peut programmer des actions spécifiques, comme allumer un voyant, déclencher une alarme ou envoyer les données vers un écran ou un ordinateur pour les visualiser. Des ajustements peuvent être effectués, tels que des filtres logiciels ou des seuils, afin d'améliorer la précision des mesures et la réactivité du système.

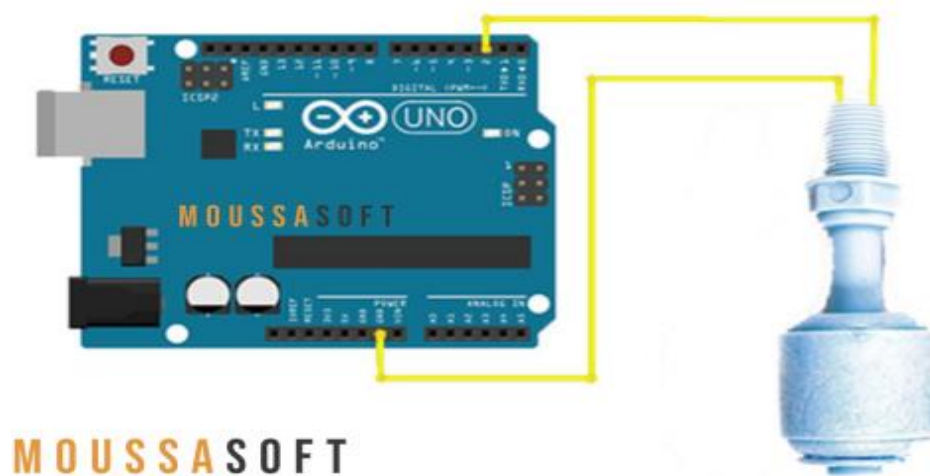


Figure 3-25 Montage de capteur de niveaux avec Arduino Uno.

Le code ci-dessous peut être utilisé pour détecter les mouvements avec le capteur de niveaux et allumer une **LED** lorsque le niveau est détecté.

```

const int floatSensorPin = 2;
const int ledPin = 3;

void setup() {
  pinMode(floatSensorPin, INPUT_PULLUP);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int floatSensorState = digitalRead(floatSensorPin);

```



```
if (floatSensorState == HIGH) {
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  Serial.println("Niveau d'eau - Élevé");
} else {
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  Serial.println("Niveau d'eau - Bas");
}

delay(1000);
}
```

3.11 Architecteur du système en temps réel

Ce système intelligent de gestion de l'eau est un dispositif automatisé conçu pour fournir de l'eau potable aux animaux dans un environnement isolé. Il utilise une combinaison de capteurs, d'actionneurs et d'une plateforme de contrôle pour assurer une gestion optimale des ressources en eau, en fonction des besoins des animaux.

3.11.1 Fonctionnement:

1. **Détection des besoins:** Un capteur de mouvement est utilisé pour détecter la présence d'animaux à proximité de la bassine d'eau. Lorsque la présence d'un animal est détectée, le capteur envoie un signal à la carte Arduino.
2. **Activation de la pompe:** La carte Arduino, recevant le signal du capteur de mouvement, active la pompe pour remplir la bassine d'eau jusqu'à un niveau prédéfini.
3. **Surveillance des niveaux d'eau:** Des capteurs de niveau sont installés au niveau du puits, du réservoir et de la bassine. Ces capteurs permettent de surveiller en continu les niveaux d'eau et d'ajuster le fonctionnement de la pompe en conséquence.
4. **Contrôle automatisé:** La carte Arduino centralise la gestion du système, en prenant des décisions en fonction des données fournies par les capteurs. Elle gère l'activation et l'arrêt de la pompe, ainsi que d'autres fonctions éventuelles.
5. **Surveillance visuelle:** Des caméras de surveillance sont installées pour observer les animaux et vérifier le bon fonctionnement du système. Les images capturées peuvent être utilisées pour l'analyse et la maintenance du système.

3.11.2 Objectifs:

- **Satisfaire les besoins en eau des animaux:** Garantir un approvisionnement en eau suffisant et régulier pour les animaux présents dans la zone.
- **Optimiser la gestion de l'eau:** Réduire la consommation d'eau en adaptant la distribution en fonction des besoins réels.
- **Automatiser les opérations:** Réduire l'intervention humaine et assurer un fonctionnement continu et fiable du système.

- **Surveiller l'état du système:** Permettre une maintenance préventive et une détection rapide des éventuels problèmes.

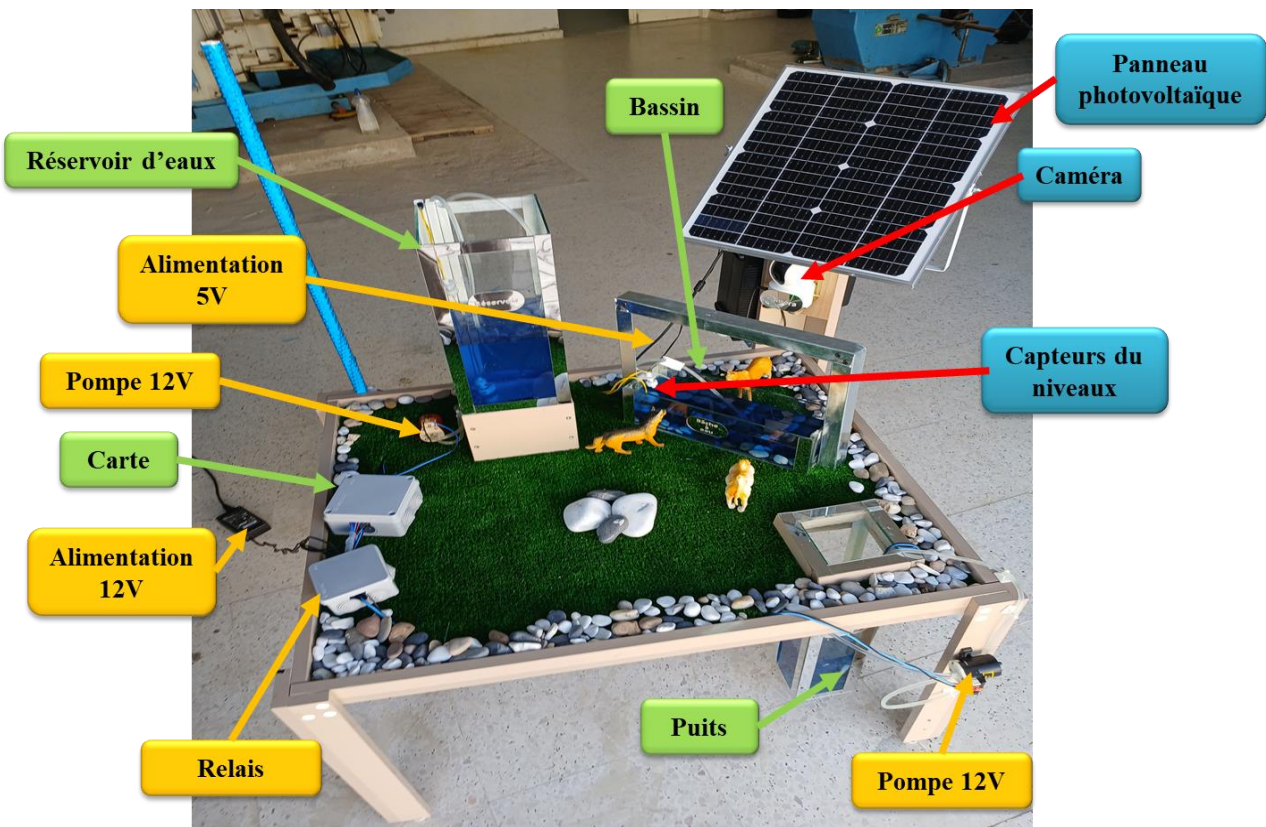
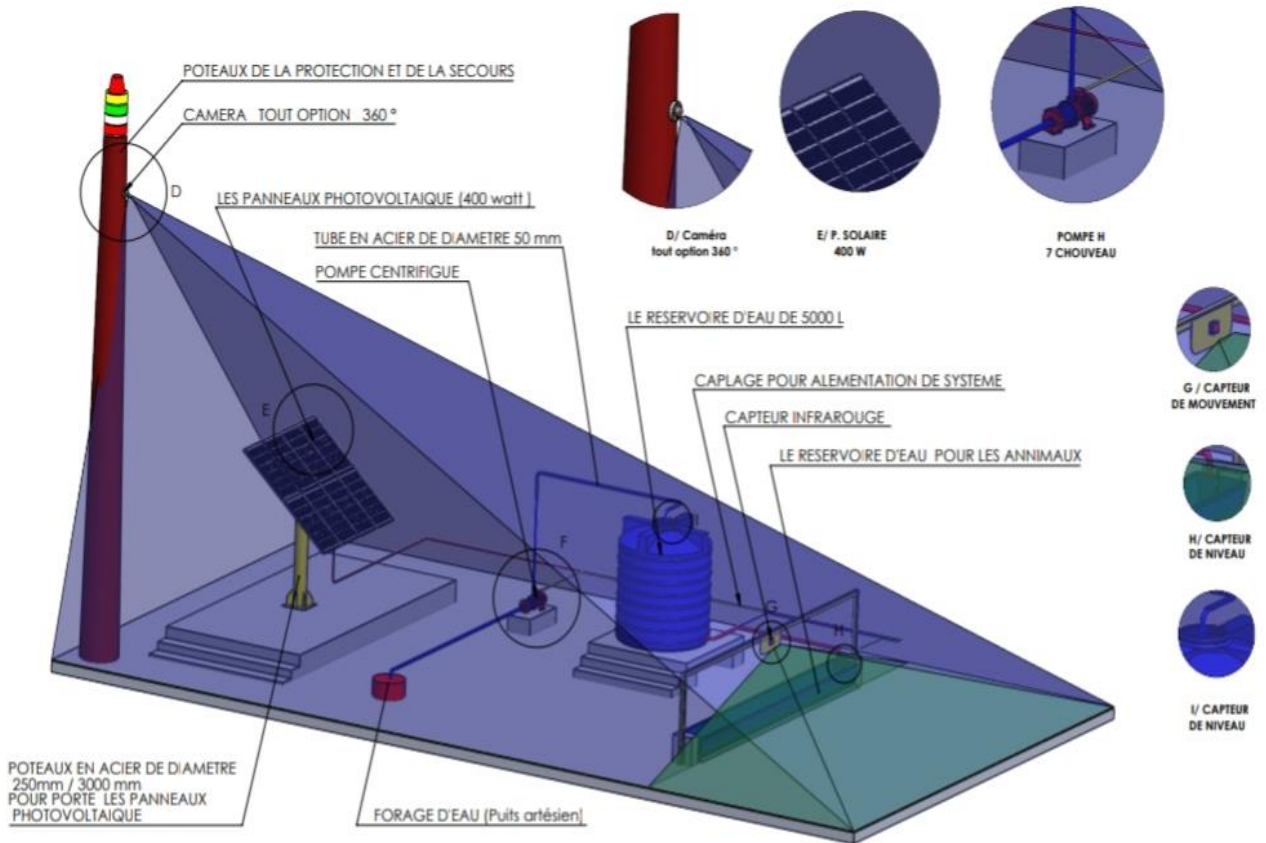


Figure 3-26 Simulation et expérimentale du système étude.

3.12 Conclusion

Ce système intelligent de gestion de l'eau représente une solution efficace et durable pour assurer l'approvisionnement en eau dans des zones isolées, en particulier pour les animaux. Grâce à une automatisation complète, basée sur l'intégration de capteurs de mouvement et de niveau, ainsi que d'une carte Arduino, le système garantit une distribution optimale de l'eau, sans intervention humaine. De plus, la surveillance à distance via des caméras offre une observation continue des animaux, contribuant ainsi à leur bien-être. Ce dispositif minimise les pertes d'eau, améliore l'efficacité des ressources, et garantit la durabilité des équipements, répondant ainsi parfaitement aux exigences des environnements ruraux ou isolés.

Référence Bibliographique

- [1] Fournieris, . euronews. [Online] 3 octobre 2022. <https://fr.euronews.com/>.
- [2] Slimane, Nedjraoui Dalila e Bédrani. [Online] avril 2008. <https://doi.org/10.4000/vertigo.5375>.
- [3] Positron-libre. arduino.php. [Online] <https://www.positron-libre.com/>.
- [4] Dominique, Guillaume, Jean-Luc. [Online] 12 novembre 2014. <https://www.locoduino.org/>.
- [5] Genium360. les-composants-40-comment-choisir-les-capteurs-de-donnees. [Online] 27 mars 2019. <https://blogue.genium360.ca/>. [6] panneaux-solaires-photovoltaïques. [Online] <https://www.quelleenergie.fr/>.
- [7] principe-de-fonctionnement-d-un-regulateur-solaire. [Online] <https://www.solaris-store.com/>.
- [8] mini-pompe-a-eau-dc6-12v-r385. [Online] <https://mhtronic.com/>.
- [9] Dominique, Guillaume, Jean-Luc. [Online] 12 novembre 2014.

Conclusion générale

Ce mémoire a démontré que l'utilisation de l'énergie solaire couplée à des systèmes de contrôle intelligents constitue une approche efficace pour garantir l'accès à l'eau potable dans les zones isolées. Cette solution, en optimisant la distribution de l'eau et en réduisant les pertes, contribue à la préservation des ressources naturelles et à la protection de la biodiversité. Les perspectives d'avenir sont prometteuses, notamment en termes de développement de systèmes plus performants et de leur déploiement à grande échelle.

Les résultats de cette étude démontrent la faisabilité et l'efficacité d'une solution innovante pour pallier la problématique de l'accès à l'eau dans les zones isolées. En combinant les avantages des énergies renouvelables et de l'intelligence artificielle, la station d'eau solaire intelligente développée dans le cadre de ce travail offre une alternative durable et autonome aux systèmes d'approvisionnement en eau traditionnels. Cette approche, en optimisant la gestion des ressources hydriques et en réduisant l'empreinte environnementale, contribue significativement à la préservation des écosystèmes fragile.

Le premier chapitre présente un panorama des principales technologies de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelables. Chacune de ces technologies présente des spécificités et des potentiels propres, rendant leur choix dépendant des contextes d'application. Parmi ces différentes options, l'énergie solaire photovoltaïque s'est imposée comme une solution particulièrement adaptée à notre projet, en raison de son abondance, de sa flexibilité d'implantation et de ses coûts en constante diminution. Les avancées technologiques récentes, notamment en matière de stockage d'énergie, ouvrent des perspectives prometteuses pour une utilisation encore plus large du photovoltaïque, contribuant ainsi à la transition énergétique et à la lutte contre le changement climatique.

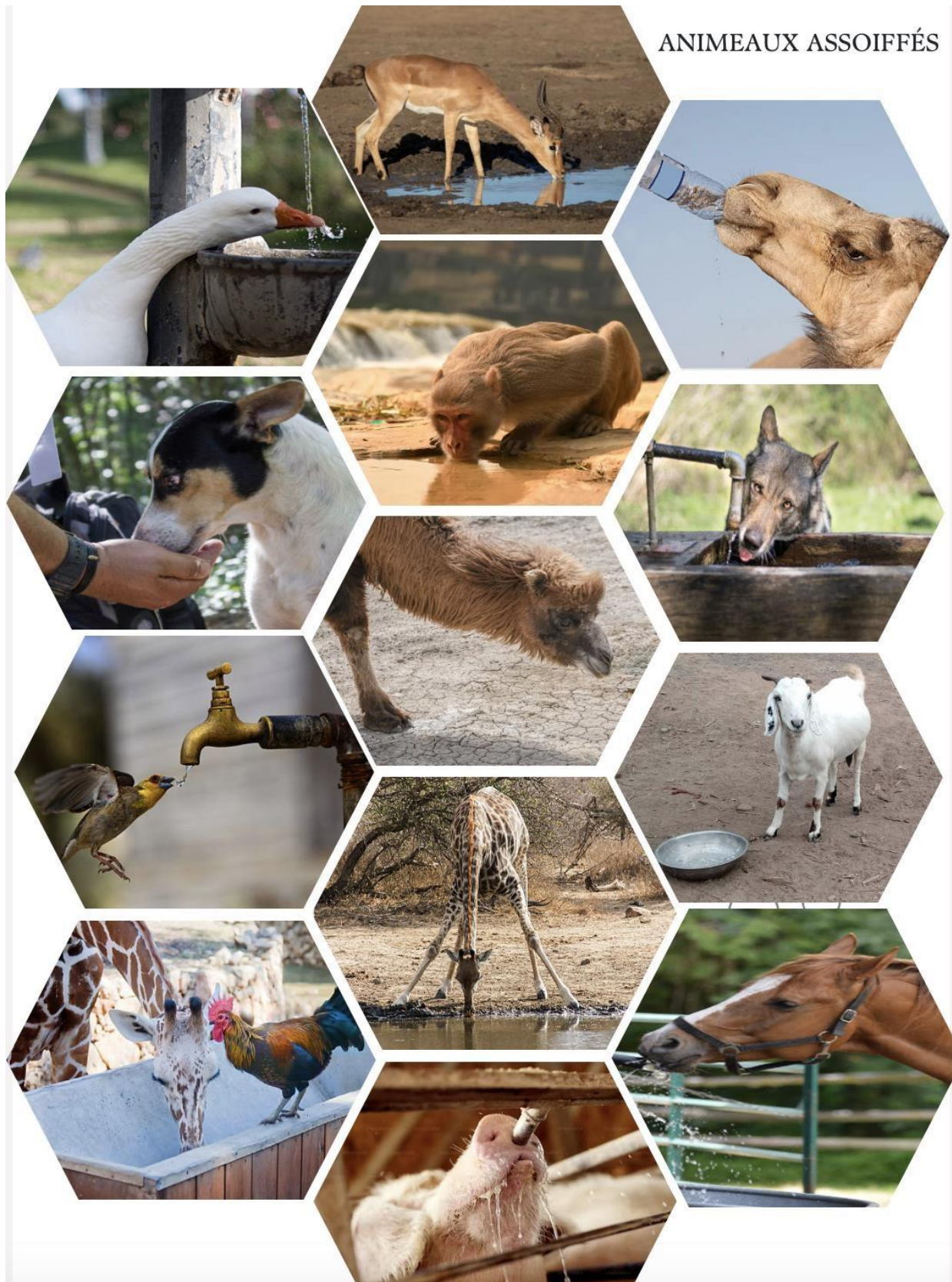
Dans **le deuxième chapitre**, nous avons présenté l'étude menée qui a démontré la faisabilité technique et économique des systèmes de pompage photovoltaïque. En s'affranchissant des contraintes liées aux réseaux électriques, ces systèmes offrent une solution adaptée aux zones rurales et isolées. Au-delà de l'aspect technique, le déploiement de ces systèmes présente de nombreux avantages environnementaux et socio-économiques. En réduisant la consommation d'énergies fossiles et en limitant les émissions de gaz à effet de serre, ils contribuent à la lutte contre le changement climatique. Par ailleurs, ils améliorent l'accès à l'eau potable pour les populations rurales, favorisant ainsi le développement durable et l'amélioration des conditions de vie

Dans le **dernier chapitre**, nous avons étudié le principe le système intelligent de gestion de l'eau présenté dans ce chapitre constitue une avancée significative dans le domaine de l'approvisionnement en eau dans les zones isolées. Grâce à une combinaison innovante de technologies, telles que l'Internet des objets et l'intelligence artificielle, ce système offre une solution durable et adaptable aux besoins spécifiques des environnements ruraux. En optimisant la distribution de l'eau et en réduisant les pertes, il contribue à la préservation de cette ressource vitale et favorise le développement durable des zones rurales.

Comme suit de ce travail on site :

- ✚ Commande d'association du système suite à un défaut.
- ✚ Mise en œuvre expérimentale des différentes techniques de commande ;
- ✚ Application d'autres approches de commande non linéaire.

Annexe A : Animaux assoiffés



ملخص:

يتناول العمل المقدم في هذه المذكرة مشكلة ندرة المياه في المناطق المعزولة، وخاصة في ما يتعلق بتوفير مياه الشرب للحيوانات البرية. انطلاقاً من هذه الحاجة، قمنا بابتكار محطة ذكية لتوفير المياه، تهدف إلى تقديم حل جذري لهذه التحديات التي يواجهها عمال المحميات الطبيعية والآبار الرعوية والمناطق النائية. تعاني هذه المناطق من نقص في مصادر المياه والطاقة التقليدية، مما يجعل من الصعب توفير المياه للحيوانات، إن وجدت. الحل المقترح يعتمد على محطة ذكية تعمل بالطاقة الشمسية عبر الألواح الكهروضوئية، وتوفر المياه للحيوانات عبر نظام تحكم ذكي يعتمد على مراقبات حساسة للحركة ومضخات مياه تتحكم بها تلقائياً عند استشعار اقتراب أي حيوان، مهما كان نوعه أو حجمه، دون الحاجة إلى تدخل بشري. هذا الابتكار يساهم في تحسين كفاءة نظام الري وتوفير الجهد والوقت، ويعد الأول من نوعه، مما يفتح آفاقاً جديدة في التقنيات المستخدمة لحل مشكلة نفوق الحيوانات بسبب نقص المياه في المناطق المعزولة.

كلمات مفتاحية: الحيوانات ، محطة ذكية ، مراقبات ، مضخات.

Abstract:

The work presented in this thesis addresses the pressing issue of water scarcity in remote areas, particularly concerning the provision of drinking water for wild animals. To tackle this challenge, we have developed an innovative solar-powered smart water station designed to provide a sustainable solution for wildlife reserves, pastoral wells, and remote regions. These areas often suffer from a lack of both water and traditional energy sources, making it difficult to supply water to animals. Our proposed solution employs a solar-powered system with intelligent controls that utilize motion sensors and automated pumps to dispense water upon detecting any animal, regardless of size or species. This innovation enhances irrigation efficiency, saves time and effort, and represents a groundbreaking approach to addressing wildlife mortality caused by water shortages in isolated areas.

Keywords: Animals, intelligent control, detecting, pumps.

Résumé :

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de traite le problème urgent de la pénurie d'eau dans les régions isolées, en particulier en ce qui concerne l'approvisionnement en eau potable pour les animaux sauvages. Pour relever ce défi, nous avons développé une station d'eau base sur la commande intelligente alimentée par l'énergie solaire, conçue pour fournir une solution durable aux réserves de faune sauvage, aux puits pastoraux et aux régions éloignées. Ces régions souffrent souvent d'un manque d'eau et de sources d'énergie traditionnelles, ce qui rend difficile l'approvisionnement en eau des animaux. Notre solution proposée utilise un système alimenté par l'énergie solaire avec des contrôles intelligents qui utilisent des capteurs de mouvement et des pompes automatisées pour distribuer de l'eau dès qu'un animal est détecté, quelle que soit sa taille ou sa espèce. Cette innovation améliore l'efficacité de l'irrigation, économise du temps et des efforts, et représente une approche révolutionnaire pour résoudre le problème de mortalité de la faune causé par le manque d'eau dans les zones isolées.

Mots clés : Animaux, contrôles intelligents, contrôle, pompe.