

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa

N° d'enregistrement  
/...../...../...../...../.....



كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الآلية والكهروميكانيك  
Département d'automatique et électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

## Licence professionnelle

Domaine : Sciences et technologies,  
Filière : Energies renouvelables  
Spécialité : Energies renouvelables et environnement

### Thème

## Dimensionnement d'un Système Photovoltaïque Flottant: Barrage de Douéra

Présenté par :

.MAKHLOUF Houssam eddine  
. DJEMMAL Mohammed Islam

Soutenu publiquement le 20 /05/ 2025

Devant le jury composé de :

Hacene Nacer	MCA	Univ Ghardaia	Président(e)
Medoukali Hemza	MCA	Univ Ghardaia	Encadreur
Akermi Faouzi	MAA	Univ Ghardaia	Examineur(trice)

Année universitaire 2024/2025

## ملخص

يهدف هذا العمل إلى تحجيم نظام كهروضوئي عائم على مستوى سد دوييرة بالجزائر العاصمة، من خلال محاكاة الأداء الكهربائي للنظام اعتماداً على الظروف المناخية المحلية (الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة). تم اعتماد برنامج PVSyst لإجراء عمليات التحديد والحسابات، مع دمج وحدة تخزين بالطاقة بواسطة البطاريات لضمان الاستقلالية. في هذا السياق، تم التركيز على توافق النتائج النظرية مع الخصائص الفعلية للسد، وذلك بالاعتماد على بيانات استهلاك حقيقية لسنة 2021، ما أتاح تقييماً موضوعياً لتغطية الحاجات الطاقوية للموقع. بينت نتائج المحاكاة أن النظام المقترح قادر على توفير تغطية جيدة للاستهلاك اليومي مع مردودية مستقرة، وبتكلفة إنتاج أقل من الشبكة العمومية. كما تم التوصل إلى أن فترة الاسترداد الاقتصادي للمشروع لا تتعدى 11 سنة. بينت دراسة الجدوى التقنية و الاقتصادية أن هذا النوع من الأنظمة قابلاً للتطبيق والتعميم في منشآت مماثلة، خاصة في المناطق التي تواجه تحديات مائية وطاقوية.

**الكلمات المفتاحية : النظام الكهروضوئي العائم، سد دوييرة، برنامج PVSYST ، البطاريات، المحاكاة، الجدوى التقنية والاقتصادية**

## **Résumé :**

Ce travail vise à dimensionner un système photovoltaïque flottant au niveau du barrage Douera à Alger, en simulant les performances électriques du système en fonction des conditions climatiques locales (irradiation solaire et températures). Le logiciel PVsyst a été utilisé pour effectuer les calculs et les déterminations nécessaires, avec l'intégration d'un système de stockage d'énergie par batteries afin d'assurer l'autonomie. Dans ce cadre, l'accent a été mis sur la concordance entre les résultats théoriques et les caractéristiques réelles du barrage, en se basant sur des données de consommation réelles de l'année 2021, ce qui a permis une évaluation objective de la couverture des besoins énergétiques du site. Les résultats de la simulation ont montré que le système proposé est capable d'assurer une bonne couverture de la consommation quotidienne avec un rendement stable, et à un coût de production inférieur à celui du réseau public. Il a également été constaté que la période de retour sur investissement du projet ne dépasse pas 11 ans. L'étude de faisabilité technique et économique a démontré que ce type de systèmes est applicable et généralisable à des installations similaires, en particulier dans les régions confrontées à des défis hydriques et énergétiques.

**MOTS CLES : système photovoltaïque flottant, barrage de Douera, logiciel PVsyst, batteries, simulation, faisabilité technique et économique.**

## **Summary:**

This work aims to size a floating photovoltaic system at the Douera dam in Algiers by simulating the system's electrical performance based on local climatic conditions (solar irradiation and temperature). The PVsyst software was used to carry out the necessary calculations and simulations, with the integration of an energy storage system using batteries to ensure autonomy. In this context, emphasis was placed on the consistency between theoretical results and the actual characteristics of the dam, relying on real consumption data from the year 2021. This allowed for an objective assessment of the site's energy needs coverage. The simulation results showed that the proposed system is capable of providing good coverage of daily consumption with stable efficiency and a production cost lower than that of the public grid. It was also found that the project's economic payback period does not exceed 11 years. The technical and economic feasibility study demonstrated that this type of system is applicable and scalable to similar facilities, especially in regions facing water and energy challenges.

**Keywords: floating photovoltaic system, Douera dam, PVsyst software, batteries, simulation, technical and economic feasibility.**

## **Remerciements :**

Au début de ce travail, nous exprimons notre profonde gratitude à **Monsieur Hemza Medoukali**, notre encadrant académique à l'Université de Ghardaïa, pour son accompagnement scientifique, ses conseils avisés et son suivi constant tout au long de ce projet. Ses remarques rigoureuses ont largement contribué à orienter notre réflexion et à affiner notre démarche.

Nous adressons également nos remerciements sincères à **Madame Degla Aïcha**, notre encadrante au sein du **Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER)**, pour son encadrement technique, sa disponibilité et son soutien tout au long de notre stage.

Nos remerciements vont aussi à **l'ensemble du personnel du CDER**, pour leur accueil chaleureux, leur coopération, ainsi que pour les données et ressources techniques mises à notre disposition, qui ont été d'une grande aide dans l'élaboration de cette étude.

Nous remercions également **tous les enseignants du département des sciences et technologies de l'Université de Ghardaïa**, pour la qualité de leur enseignement et leur engagement constant dans notre formation.

Un grand merci est également adressé à **tous les membres du jury**, pour avoir accepté d'évaluer ce mémoire et pour les remarques constructives qu'ils ne manqueront pas d'apporter.

Enfin, nous remercions **nos familles et amis**, pour leur soutien moral, leur patience et leur confiance, qui nous ont permis d'achever ce travail dans les meilleures conditions.

# Table des matières

ملخص.....	i
: Resumé .....	ii
Summary:.....	iii
Remerciements.....	iv
Liste des figures .....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Introduction générale .....	xi
Chapitre 1 : Photovoltaïque Flottant : Enjeux Technologiques et Hydriques en Algérie.....	13
1.1 Introduction .....	14
1.2 Energie photovoltaïque en Algérie.....	15
1.2.1 Définition et principes de base.....	15
1.2.2 Potentiel solaire de l’Algérie.....	17
❖ Cadre institutionnel et stratégies nationales:.....	17
1.3 Solaire photovoltaïque flottant .....	19
1.3.1 Tendances du marché du PV flottant.....	20
1.3.2 Structure principale du système PV flottant .....	21
1.3.3 Exemple de projets photovoltaïque flottant .....	22
1.4 Situation hydrique en Algérie.....	24
1.4.1 Ressources hydriques disponibles.....	24
1.4.2 Répartition et usages de l’eau .....	24
1.4.3 Facteurs aggravants.....	25
1.4.4 Gestion et politiques publiques .....	25

1.5 Conclusion.....	25
Chapitre 2 :Analyse et Positionnement du Barrage de Douéra.....	26
2.1 Introduction .....	27
2.2 Choix du site d'étude .....	27
2.3.1 Position géographique et topographie .....	28
2.3.2 Caractéristiques techniques et hydrauliques.....	28
2.4 Pertes et évaporation .....	29
2.5 Infrastructures de pompage et de surveillance .....	31
2.6.1 Consommation énergétique des ouvrages extérieurs (Digue et accès).....	31
2.6.2 Consommation énergétique de l'année 2021.....	32
2.7 Analyse des données .....	33
2.7.1 Périodes de forte consommation.....	34
2.7.2 Périodes de faible consommation .....	34
2.8 Problématique.....	35
2.9 Conclusion.....	35
Chapitre 3 :Dimensionnement des Composants du Système PV : Analyse et Calcul.....	36
3.1 Introduction .....	37
3.2 Données de base .....	37
3.2.1 Consommation énergétique .....	37
3.2.2 Conditions climatiques du site.....	37
3.2.3 Surface utilisée .....	37
3.3 Méthodologie et outils.....	37
3.3.1 PVsyst.....	37
3.4 Dimensionnement du champ photovoltaïque .....	41
3.5 Régulateurs MPPT (VarioString VS-120) .....	41
3.6 Stockage par batteries.....	41

3.7 Simulation PVsyst .....	42
3.7.1 Daily Input/Output Diagram (Diagramme journalier entrée/sortie) .....	43
3.7.2 Performance Ratio (PR) et Solar Fraction (SF) .....	43
3.7.3 Array Power Distribution (Distribution de puissance de l'installation) .....	44
3.7.4 Array Temperature vs. Effective Irradiance (Température vs Irradiance) .....	45
3.7.5 Résultat technique: .....	45
Conclusion générale.....	49
Bibliographies	50

# Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Panneaux photovoltaïques flottants [19].	19
<b>Figure 2 :</b> Capacité FPV mondiale installée et ajouts annuels [10].	20
<b>Figure 3 :</b> Répartition des installations PV flottants en fonction de leur taille, en décembre 2018 [10].	20
<b>Figure 4:</b> Principaux composants du PV solaire flottant[10].	22
<b>Figure 5:</b> centrale solaire flottante de la société Sungrow construite sur un lac formé par une ancienne mine de charbon inondée à Huainan [10].	23
<b>Figure 6:</b> Carte des précipitations annuelles moyennes en Algérie [10].	24
<b>Figure 7 :</b> Barrage de Douéra montrant la digue principale ainsi que les digues secondaires A et B [13].	27
<b>Figure 8 :</b> Barrage de Douéra et de ses environs urbains dans la wilaya d'Alger [20].	28
<b>Figure 9 :</b> Humidité.	30
<b>Figure 10 :</b> Consommation énergétique. [22]	33
<b>Figure 11 :</b> Profil mensuel de consommation.	38
<b>Figure 12 :</b> Inclinaison et Azimut	39
Figure 13 : Dimensionnement du champ PV	40
Figure 14 : configuration du parc de batteries.	40
<b>Figure 15 :</b> Analyse de performance d'un système photovoltaïque – Bilan énergétique et comportement thermique.	42
<b>Figure 16 :</b> Diagramme journalier entrée/sortie	43
<b>Figure 17 :</b> Performance Ratio (PR) et Solar Fraction (SF)	43
<b>Figure 18 :</b> Distribution de puissance de l'installation	44
<b>Figure 19 :</b> Température vs Irradiance	45

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Performance des différentes technologies des cellules PV.....	16
<b>Tableau 2</b> : Exemple de projets photovoltaïque flottant in France. [19] .....	22
<b>Tableau 3</b> : Capacité de stockage .....	29
<b>Tableau 4</b> : Consommation énergétique ouvrages. [22] .....	31
<b>Tableau 5</b> : Consommation énergétique administration[22].....	32
<b>Tableau 7</b> : Consommation énergétique galerie de visites et tours de prises [22] .....	32
<b>Tableau 8</b> : Consommation énergétique pompes. [22] .....	32
<b>Tableau 10</b> : Résumé du système proposé.....	41
<b>Tableau 11</b> : Coût estimatif du projet de système solaire flottant. ....	46
<b>Tableau 12</b> : Tableau récapitulatif de l'analyse économique du système solaire flottant. ..	47

## Liste des abréviations :

Abréviation	Définition
PV	Photovoltaïque
FPV	Photovoltaïque Flottant (Floating Photovoltaic)
kWh	Kilowattheure
kW <sub>p</sub>	Kilowatt-crête (puissance nominale d'un système PV)
W <sub>c</sub>	Watt-crête (puissance d'un module PV en conditions standards)
PR	Performance Ratio (taux de performance)
SF	Solar Fraction (part de l'énergie couverte par le solaire)
MPPT	Maximum Power Point Tracking (suivi du point de puissance maximale)
DOD	Depth of Discharge (profondeur de décharge d'une batterie)
DA	Dinar Algérien
CDER	Centre de Développement des Énergies Renouvelables
ANBT	Agence Nationale des Barrages et Transferts
SCADA	Système de Contrôle et d'Acquisition de Données Automatisé
HMT	Hauteur Manométrique Totale
PV <sub>sys</sub>	Logiciel de simulation et dimensionnement des systèmes photovoltaïques
ROI	Return on Investment (retour sur investissement)
LED	Light Emitting Diode (diode électroluminescente)
HTA	Haute Tension A — Moyenne tension (distribution électrique)
P <sub>PV</sub>	Puissance crête totale du champ photovoltaïque (en kW <sub>c</sub> )
E <sub>annual</sub>	Énergie annuelle produite par le système (en kWh/an)
PR	Performance Ratio – Rapport entre l'énergie réellement produite et celle attendue
SF	Solar Fraction – Proportion d'énergie solaire par rapport à la demande totale
DOD	Profondeur de décharge maximale d'une batterie
V	Tension (en Volts)
Ah	Capacité de stockage d'une batterie (en Ampère-heure)
Wh / kWh	Unité d'énergie (Wattheure ou kilowattheure)
W / kW / MW	Unité de puissance (Watt, kilowatt, mégawatt)
N <sub>modules</sub>	Nombre de modules photovoltaïques
η	Rendement du système ou d'un composant
ROI	Durée de retour sur investissement

### **Introduction générale :**

Les énergies renouvelables occupent une place de plus en plus importante dans la transition énergétique mondiale. Parmi elles, le photovoltaïque flottant émerge comme une solution innovante pour produire de l'énergie propre tout en optimisant l'utilisation des surfaces d'eau. Cette étude s'inscrit dans une démarche durable visant à évaluer le potentiel de cette technologie en Algérie, et plus précisément au niveau du barrage de Douéra.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain. Elles proviennent de phénomènes naturels cycliques ou constants. À la fin de l'année 2017, la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique mondiale était estimée à 26,5 %, répartie comme suit : 16,4 % d'hydroélectricité, 5,6 % d'éolien, 2,2 % de biomasse, 1,9 % de photovoltaïque et 0,4 % provenant d'autres sources (géothermie, solaire thermodynamique, énergies marines) [1].

Le photovoltaïque flottant, qui consiste à installer des centrales solaires sur des plans d'eau tels que les barrages et les réservoirs, présente de multiples avantages. Il permet de produire de l'électricité tout en réduisant l'évaporation des eaux. Pour un pays comme l'Algérie, confronté à des défis hydriques et à une demande énergétique croissante, cette technologie pourrait offrir une solution stratégique adaptée.

Le principal objectif de ce stage est de proposer l'installation d'une centrale photovoltaïque flottante au niveau du barrage de Douéra, situé à l'ouest d'Alger. Ce projet vise à :

- Valoriser une surface inutilisée tout en améliorant l'efficacité énergétique du site.
- Produire de l'électricité pour couvrir les besoins énergétiques du barrage, notamment pour le fonctionnement des pompes et des installations techniques.
- Réduire les pertes d'eau dues à l'évaporation, surtout en été.
- Diminuer la dépendance au réseau électrique classique dans une approche de développement durable.

Cette étude a été menée selon une démarche structurée visant à obtenir des résultats précis et applicables. Elle a débuté par une collecte approfondie des données climatiques et énergétiques propres au site du barrage de Douéra, afin de dresser un tableau clair des condi-

## Introduction générale :

tions environnementales influençant la performance d'un éventuel système énergétique. Cette étape a été suivie par une analyse de la consommation énergétique du barrage, à travers l'évaluation des besoins quotidiens et annuels, notamment pour le fonctionnement des pompes et des installations techniques.

Sur la base de ces données, un système photovoltaïque adapté aux spécificités du site a été dimensionné à l'aide du logiciel **PVsyst**, permettant de simuler avec précision la production solaire attendue, dans des conditions réelles. Par la suite, une analyse technico-économique a été effectuée afin d'évaluer la rentabilité du projet, ainsi que sa viabilité à long terme, dans une optique de réduction de la dépendance au réseau électrique classique et de promotion de solutions durables.

À travers cette étude, plusieurs objectifs ont été poursuivis :

- Acquérir une compréhension approfondie des besoins énergétiques du barrage de Douéra.
- Concevoir un système solaire performant, adapté aux caractéristiques climatiques du site.
- Vérifier la faisabilité de l'utilisation de l'énergie solaire dans ce contexte à travers des simulations réalistes.
- Estimer les coûts et les bénéfices liés à l'implantation du système.
- Ouvrir des perspectives pour des applications similaires dans d'autres sites comparables.

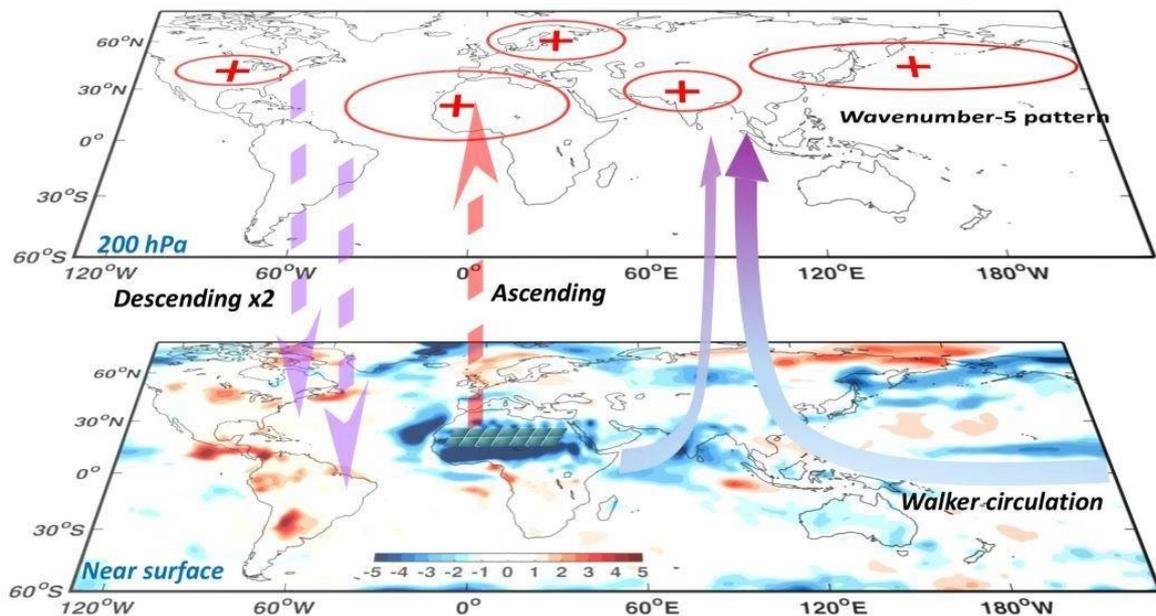
En ce qui concerne la structure du mémoire, elle se décline comme suit : Le **premier chapitre** est consacré à la présentation du concept du photovoltaïque flottant ainsi qu'à son intérêt dans la gestion des ressources en eau dans le contexte algérien. Le **deuxième chapitre** propose une analyse détaillée du site du barrage de Douéra, en tenant compte de ses caractéristiques techniques et géographiques. Enfin, le **troisième chapitre** traite des aspects liés à la conception du système photovoltaïque flottant, en intégrant à la fois le dimensionnement technique, les simulations de production, ainsi qu'une première évaluation de la rentabilité du projet.

# **Chapitre 1 :**

## **Photovoltaïque Flottant : Enjeux Technologiques et Hydriques en Algérie**

## 1.1 Introduction :

La transition vers les énergies renouvelables constitue une option stratégique face aux défis climatiques et environnementaux croissants, notamment dans les pays au climat aride et aux ressources limitées comme l'Algérie [2] ans ce contexte, l'énergie solaire photovoltaïque représente une alternative prometteuse, en raison du potentiel solaire considérable dont bénéficie le pays, en particulier dans ses régions sahariennes [3].



**Figure 1:** Un tracé schématisé résumant les mécanismes proposés par lesquels la production mondiale d'énergie solaire est perturbée par les fermes solaires photovoltaïques du Sahara à grande échelle. [4]

Ce chapitre propose une analyse conceptuelle des fondements et technologies liées au photovoltaïque, tout en dressant un panorama actualisé du secteur en Algérie, en mettant en lumière ses réalisations, ses contraintes et ses perspectives d'évolution. Il aborde également le rôle des institutions clés, notamment le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER), qui joue un rôle central dans la recherche et le développement dans ce domaine [5].

Parallèlement, le chapitre met en lumière la problématique croissante liée à l'eau, où l'Algérie fait face à une crise hydrique due aux changements climatiques, à l'augmentation de la demande et à la mauvaise gestion des ressources [6]. Une revue bibliographique analytique permet ainsi de dresser un état des lieux de la situation hydrique en Algérie, en examinant la

répartition géographique des ressources, leurs usages et les principaux enjeux de durabilité [7].

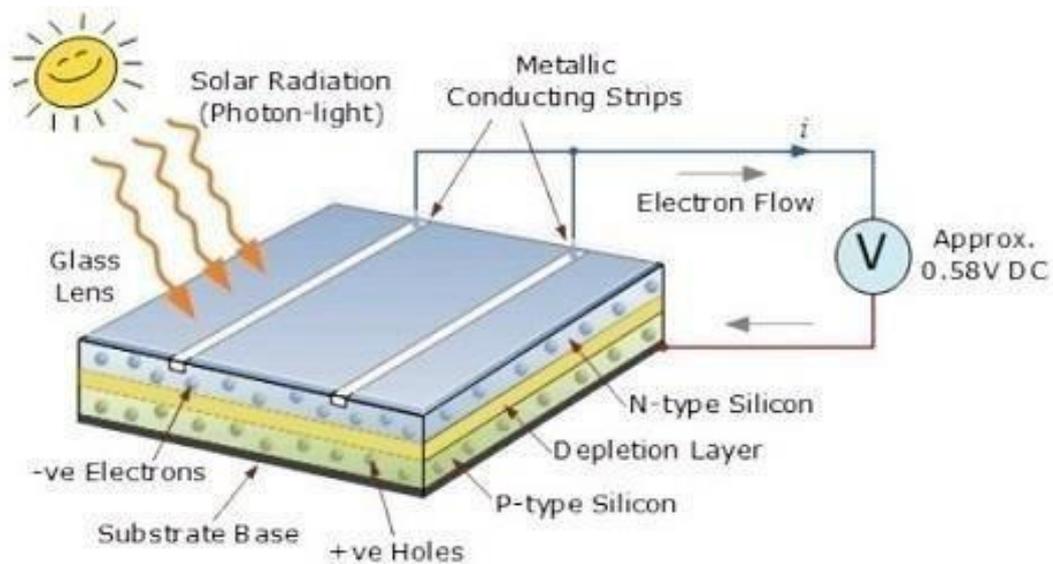
L'évaluation conjointe des aspects énergétiques et hydriques fournit un cadre d'analyse pertinent pour appréhender les enjeux liés à l'intégration d'un système photovoltaïque dans une infrastructure hydraulique, tel qu'exploré dans les chapitres ultérieurs.

## 1.2 Energie photovoltaïque en Algérie :

### 1.2.1 Définition et principes de base :

L'énergie photovoltaïque est une technologie permettant de convertir directement la lumière du soleil en électricité grâce à l'effet photovoltaïque, découvert par Becquerel en 1839 [2].

Cette technologie repose principalement sur l'utilisation de cellules semi-conductrices, généralement en silicium, capables de produire un courant électrique lorsqu'elles sont exposées à la lumière [3].



**Figure 2:** Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque. [8]

#### 1.2.1.1 Technologies photovoltaïques :

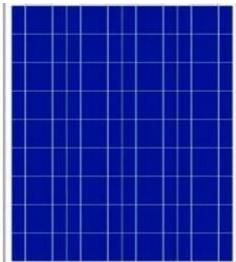
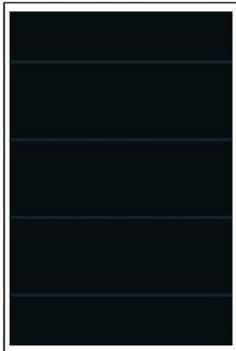
Il existe différentes générations de technologies photovoltaïques, notamment les cellules monocristallines, polycristallines et celles à couches minces, chacune offrant des performances variées en matière de rendement énergétique et de coût d'investissement.

Les recherches actuelles visent à améliorer l'efficacité de conversion énergétique tout

en réduisant les coûts de production, notamment à travers les technologies bifaciales et les cellules à pérovskites [9].

**1.2.1.2 Différentes technologies des cellules PV :**

**Tableau 1 :** Performance des différentes technologies des cellules PV.

<b>Technologie et aspect physique</b>	<b>Rendement d'un module</b>	<b>Durée de vie</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>	<b>Surface PV nécessaire pour 1 kWc</b>
 Monocrystallin (coins arrondis)	13 – 17 %	20 ans à 90 % Pc 30 ans à 80 % Pc	-Meilleur rapport puissance / surface (~150 Wc/m <sup>2</sup> )	-Coûteux et forte consommation d'énergie pour la production -Moins performant en faible luminosité	7 à 8 m <sup>2</sup>
 Polycristallin (forme carrée)	9 – 15 %	10 ans à 90 % Pc -25 ans à 80 % Pc	-Bon rapport coût / Rendement (~100 Wc/m <sup>2</sup> ) -Moins cher à produire	-Faible rendement en cas de faible éclairage	9 à 11 m <sup>2</sup>
 Amorphe (Surface uniforme)	4 – 9 %	10 ans	-Rendement 60 et 80 Wc/m <sup>2</sup> Meilleur coût par Wc -Moins de perte de rendement si T° ↑ ou ciel couvert -Intégration facile	-Très faible rendement (~60 Wc/m <sup>2</sup> ) -Grande surface requise -Diminution de performances -Durée de vie courte	16 à 20 m <sup>2</sup>

### **1.2.2 Potentiel solaire de l'Algérie :**

L'Algérie bénéficie d'un des potentiels solaires les plus importants au monde, avec un ensoleillement moyen de plus de 3000 heures par an dans certaines régions du sud [5]. Ce potentiel énergétique offre des perspectives significatives pour le développement de projets solaires à grande échelle, notamment dans les wilayas sahariennes comme Tamanrasset et Adrar [7].

#### **❖ Cadre institutionnel et stratégies nationales:**

*Le CDER : Centre de Développement des Energies Renouvelables :*



Le Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) est un établissement public à caractère scientifique et technologique, placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique en Algérie. Il est dédié à la recherche, au développement et à la promotion des technologies liées aux énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, éolienne, biomasse et géothermique [5].

Établissement public créé en 1988 (sous tutelle du ministère de l'Enseignement Supérieur)[5].

#### a) **Missions :**

- Le développement de projets de recherche appliquée et expérimentale en énergies renouvelables ;
- L'accompagnement des acteurs économiques et industriels dans l'adoption de solutions énergétiques durables ;
- La formation et l'encadrement de chercheurs et d'ingénieurs dans le domaine ;
- Le renforcement de la coopération nationale et internationale en matière de recherche énergétique.

#### b) **Implantation :** Le siège du CDER est situé à **Bouzareah (Alger)**.



**Figure 3** : Centre de Développement des Énergies Renouvelables en Algérie [5].

Le centre dispose également de plusieurs unités de recherche spécialisées à travers le territoire national :

- **UDES**  :

Unité de Développement des Équipements Solaires (Tipaza)

- **URERMS**  :

Unité de Recherche en Énergies Renouvelables en Milieu Saharien (Adrar)

- **URAER**  :

Unité de Recherche Appliquée en Énergies Renouvelables (Ghardaïa)

Centre de Développement des Énergies Renouvelables (CDER) est l'un des principaux organismes en charge de la recherche et du développement dans le domaine des énergies renouvelables en Algérie [5]. La stratégie énergétique nationale, notamment le plan de transition 2020-2030, prévoit la production de 15 000 MW à partir du solaire, soulignant ainsi l'engagement du pays envers un modèle énergétique durable [2].

### **1.3 Solaire photovoltaïque flottant :**

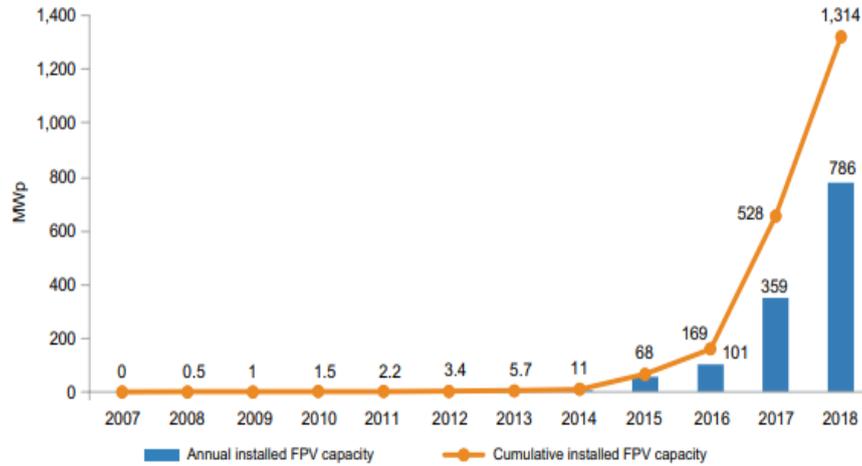
Représente une solution innovante permettant l'installation de panneaux solaires sur des surfaces aquatiques telles que les retenues artificielles ou les lacs. Cette approche présente un double avantage : elle optimise l'utilisation d'espaces inexploités tout en contribuant à la réduction de l'évaporation de l'eau grâce à l'effet d'ombrage. Par ailleurs, la présence de l'eau permet de maintenir une température modérée des panneaux, ce qui améliore leur rendement énergétique de manière significative. Ce type d'installation devient ainsi une alternative pertinente dans une logique de transition énergétique durable.

Selon le rapport "Where Sun Meets Water", le potentiel mondial de l'énergie solaire flottante est estimé à 400 GigaWatts, ce qui pourrait doubler la capacité installée actuelle du photovoltaïque terrestre [10].



**Figure 1 :** Panneaux photovoltaïques flottants [19].

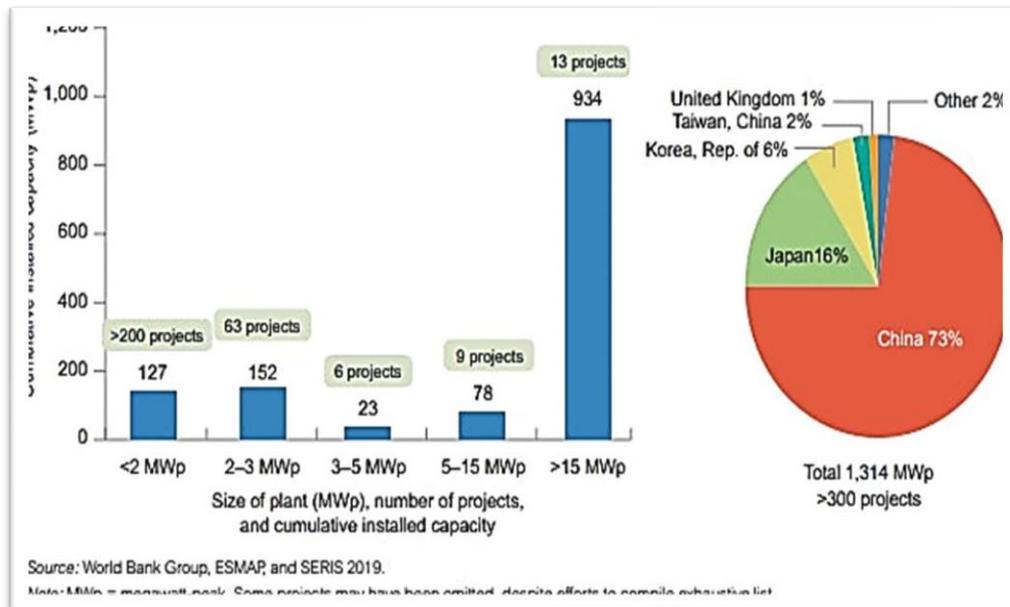
**1.3.1 Tendances du marché du PV flottant :**



Source: World Bank Group, ESMAP, and SERIS 2019.

**Figure 2 :** Capacité FPV mondiale installée et ajouts annuels [10].

Le graphique illustre l'évolution de la capacité installée annuelle et cumulative des systèmes photovoltaïques flottants (FPV) dans le monde entre 2007 et 2018. On observe une accélération notable à partir de 2016, traduisant l'intérêt croissant pour cette technologie comme solution efficace pour exploiter les surfaces aquatiques à des fins de production d'énergie renouvelable. Cette progression rapide s'explique par les avancées technologiques, la baisse des coûts et le soutien institutionnel accru aux projets FPV.



Source: World Bank Group, ESMAP, and SERIS 2019.  
Note: MWp = megawatt peak. Some projects may have been omitted despite efforts to compile exhaustive list.

**Figure 3 :** Répartition des installations PV flottants en fonction de leur taille, en décembre 2018 [10].

Le graphique met en évidence la répartition mondiale des capacités installées de systèmes photovoltaïques flottants selon la taille des installations et leur localisation géographique. Les projets de grande envergure (>15 MWp), bien que peu nombreux, représentent la majorité de la capacité installée, traduisant une orientation vers des systèmes industriels à forte puissance. Sur le plan géographique, la Chine domine largement le marché avec 73 % de la capacité totale, suivie du Japon (16 %), soulignant ainsi le rôle de l'Asie en tant que leader dans ce domaine grâce à un fort appui institutionnel et à la disponibilité de surfaces aquatiques [10].

### **1.3.2 Structure principale du système PV flottant :**

Le système photovoltaïque flottant repose sur une architecture spécifique, optimisée pour fonctionner dans un environnement aquatique. Il se compose des éléments suivants :

1. **Modules photovoltaïques** : éléments de base assurant la conversion de l'énergie solaire en électricité.
2. **Onduleurs centraux** : généralement installés à terre lorsque les conditions le permettent, afin de bénéficier d'un environnement moins humide, d'un accès facilité pour la maintenance et d'une meilleure protection. Toutefois, dans le cas de grandes installations, cette configuration peut s'avérer limitée en raison de la longueur excessive des câbles en courant continu (DC).
3. **Flotteurs** : structures flottantes servant de support aux panneaux photovoltaïques , assurant leur stabilité à la surface de l'eau.
4. **Système d'amarrage** : permet d'adapter l'installation aux variations du niveau d'eau (marnage), garantissant ainsi la sécurité et la durabilité du dispositif.
5. **Câblage** : souvent constitué de matériaux comme le polyester, reconnu pour sa résistance mécanique et sa mémoire de forme, ce qui le rend adapté aux sollicitations statiques et dynamiques du milieu aquatique.

Cette configuration modulaire est compatible avec différents types de plans d'eau, qu'ils soient dotés ou non de membranes d'étanchéité, ce qui confère au système une grande flexibilité d'intégration.



**Figure 4:** Principaux composants du PV solaire flottant[10].

### 1.3.3 Exemple de projets photovoltaïque flottant :

Le tableau suivant resumé les projets PV flottant dans la France :

## Photovoltaïque Flottant : Enjeux Technologiques et Hydriques en Algérie

**Tableau 2 : Exemple de projets photovoltaïque flottant in France. [19]**

Entreprise	Lieu	Nb. Panneaux /hectares	Puissance	Tecnologie	Investissement	Projets
Akuo Energy et Ciel & Terre	France, Piolenc (Vaucluse)	47 040 panneaux photovoltaïques sur 52 000 flotteurs, 50 hectares	17 MWc, 4 700 foyers de 10 000 personnes	Hydr elio®	12,8 millions d'euros	 <p>Première centrale solaire flottante de France</p>
Ciel et Terre	France, Lacusstre d'Illkirch - Graffenstaden au sud de Strasbourg	135 panneaux	32,9 MWh	Flotteurs fabriqués à Lille par l'entreprise Ciel & Terre	110 000 euros	 <p>Projet pilote (2010)</p>
CNR - Akuo Energy	Mornant (Rhône)	630 panneaux solaires, 5,5 hectares	230 kilowatts, 557 foyers	Hydr elio®	430 000 euros	 <p>Lac de La Madone (2018)</p>
Akuo Energy, Bouygues Energies & Services	Piolenc, Vaucluse	47 040 panneaux photovoltaïques, 17 hectares sur un lac artificiel	17 MW, 4 973 foyers	Pontons flottants Ciel & Terre	17 millions d'euros	 <p>La plus grande centrale photovoltaïque flottante d'Europe O'MEGA1</p>

À l'heure actuelle, la centrale photovoltaïque flottante la plus vaste au monde se situe à Huainan, en Chine. Réalisée par l'entreprise Sungrow, elle dispose d'une puissance installée de 40 MWc, répartie sur 160 000 panneaux solaires couvrant une superficie de 800 000 m<sup>2</sup>, ce qui permet de subvenir aux besoins en électricité d'environ 16 000 familles chinoises[10].

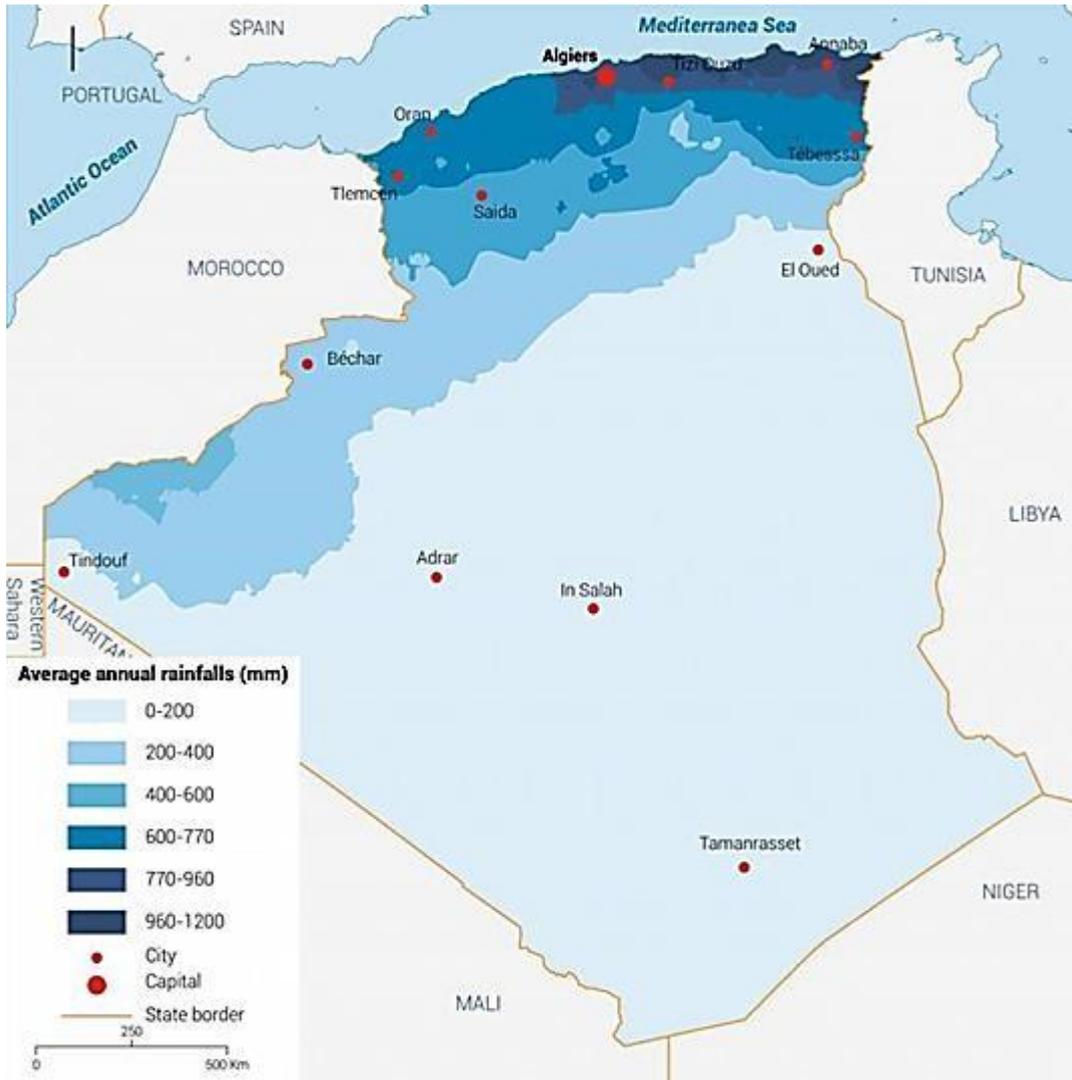


**Figure 5:** centrale solaire flottante de la société Sungrow construite sur un lac formé par une ancienne mine de charbon inondée à Huainan [10].

## **1.4 Situation hydrique en Algérie :**

### **1.4.1 Ressources hydriques disponibles :**

L'Algérie est classée parmi les pays en situation de stress hydrique, avec une disponibilité moyenne inférieure à 500 m<sup>3</sup> par habitant et par an [7]. Les ressources hydriques sont principalement constituées des eaux superficielles (barrages, oueds) et des nappes souterraines, qui sont inégalement réparties sur le territoire national [10].



**Figure 6:** Carte des précipitations annuelles moyennes en Algérie [10].

### **1.4.2 Répartition et usages de l'eau :**

L'utilisation de l'eau est dominée par le secteur agricole, qui consomme plus de 60 % des ressources, suivi par les usages domestiques et industriels [8]. Cette répartition pose problème en période de sécheresse, notamment dans le nord où la densité de population est élevée [14].

### **1.4.3 Facteurs aggravants :**

La raréfaction des ressources en eau est aggravée par les changements climatiques, qui entraînent une baisse des précipitations et une augmentation de l'évaporation [2]. D'autres facteurs comme la pollution, la surexploitation des nappes et le vieillissement des infrastructures contribuent à cette situation critique [11].

### **1.4.4 Gestion et politiques publiques :**

Pour répondre à ces défis, l'État algérien a lancé plusieurs programmes, tels que la construction de nouveaux barrages, le développement de stations de dessalement et la réutilisation des eaux usées traitées.

Cependant, la mise en œuvre reste souvent entravée par des problèmes de gouvernance, de coordination intersectorielle et de financement [7].

## **1.5 Conclusion :**

Face aux défis climatiques, énergétiques et hydriques croissants, l'Algérie doit se tourner vers les énergies renouvelables comme une nécessité stratégique. Le photovoltaïque flottant représente une solution innovante, notamment dans les zones arides à faible disponibilité foncière. Ce chapitre a présenté les bases du photovoltaïque, le fort potentiel solaire de l'Algérie, les avancées des systèmes flottants, ainsi que la situation critique des ressources en eau. Le choix du barrage de Douéra s'avère pertinent grâce à ses caractéristiques techniques, sa position géographique et son potentiel solaire élevé, en faisant un site adapté à l'intégration du photovoltaïque flottant.

# **Chapitre 2 :**

## **Analyse et Positionnement du Barrage de Douéra**

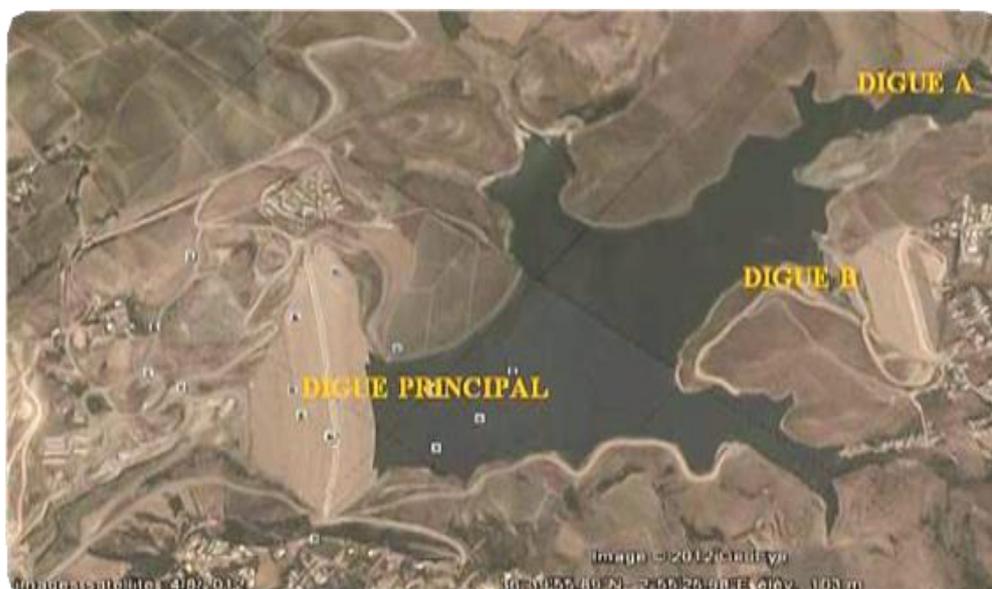
### 2.1 Introduction :

La conception et l'optimisation d'un système photovoltaïque pour alimenter un barrage nécessitent une analyse approfondie du site et de ses caractéristiques techniques, hydrologiques et énergétiques. Ce chapitre vise à établir une méthodologie claire pour sélectionner le site d'étude, collecter les données essentielles et définir la problématique liée à l'intégration de l'énergie solaire dans le fonctionnement du barrage.

### 2.2 Choix du site d'étude :

Le barrage de Douéra, situé à proximité de la capitale Alger, a été retenu comme site d'étude sur la base de plusieurs critères, notamment son importance stratégique dans l'approvisionnement en eau, sa position géographique favorable, la disponibilité de données techniques, ainsi que le fort ensoleillement de la région qui offre un potentiel optimal pour la production d'énergie solaire.

Le choix du barrage de Douéra comme site d'étude s'explique par son rôle essentiel dans l'alimentation en eau de la capitale algérienne. De plus, sa localisation dans une zone à fort ensoleillement en fait un emplacement privilégié pour envisager l'intégration de solutions solaires.



**Figure 7 :** Barrage de Douéra montrant la digue principale ainsi que les digues secondaires A et B [13].

## 2.3 Description du site et collecte des données :

### 2.3.1 Position géographique et topographie[21] :

- **Localisation** : Le barrage est implanté sur l'Oued Ben Amar, à environ 2 km au sud-ouest de la ville de Douéra et à 27 km au sud-ouest d'Alger.



Figure 8 : Barrage de Douéra et de ses environs urbains dans la wilaya d'Alger [20].

- **Coordonnées approximatives** : Latitude  $36.67^\circ$  N, Longitude  $2.95^\circ$  E.
- **Altitude** : Entre 65 m et 194 m.
- **Topographie** : Le bassin versant est relativement petit, d'une superficie de  $8,8 \text{ km}^2$ , et caractérisé par une pente forte, avec une superficie inondée pouvant atteindre  $3,4 \text{ km}^2$  à pleine capacité.

### 2.3.2 Caractéristiques techniques et hydrauliques[21] :

- **Type d'ouvrage** : Digue en terre avec noyau argileux étanche et matériaux gréseux.
- **Longueur en crête** : 850 m.
- **Hauteur maximale** : 80 m.

▪ **Capacité de stockage :**

**Tableau 3 :** Capacité de stockage.

Volume normal (RN) :	75 hm <sup>3</sup>
Volume au niveau des plus hautes eaux (PHE) :	79,5 hm <sup>3</sup>
Volume régularisé :	87 hm <sup>3</sup>
Volume mort :	4 hm <sup>3</sup>
Réserve utile :	71 hm <sup>3</sup>
Surface de la retenue :	3,4 km <sup>2</sup>

▪ **Sources d'alimentation :**

Oued Mazafran : 39 hm<sup>3</sup>.

Oued El Harrach : 71 hm<sup>3</sup>.

▪ **Usages principaux :**

Irrigation : 17 200 hectares dans la plaine de la Mitidja.

Recharge de la nappe phréatique.

Alimentation en eau potable pour l'ouest d'Alger.

## **2.4 Pertes et évaporation :**

▪ **Pluviométrie maximale probable :**

La pluviométrie maximale est 450 mm/an, selon les données historiques relevées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) dans la région d'Alger. Ces valeurs représentent une moyenne calculée sur plusieurs décennies d'observations climatiques.

▪ **Évaporation :**

L'humidité observée au sein des structures d'un barrage – telles que les digues ou les parois – correspond à la présence d'eau infiltrée dans les matériaux de construction. Cette humidité peut être évaluée à l'aide de capteurs spécifiques ou par des inspections techniques

permettant de repérer d'éventuelles fuites. Lorsque le niveau d'humidité devient excessif, cela peut constituer un indicateur de pathologies structurelles ou de défauts d'étanchéité, mettant ainsi en péril la stabilité globale de l'ouvrage hydraulique.

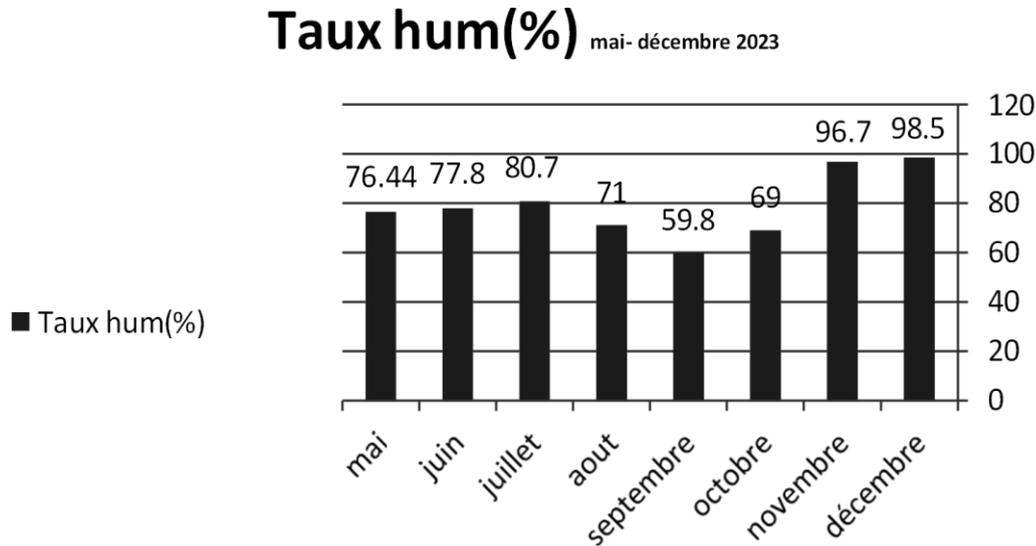


Figure 9 : Humidité.

Les données du graphique représentant les taux d'humidité enregistrés au barrage de Douéra entre mai et décembre 2023 révèlent une variation significative influencée par les facteurs climatiques saisonniers. Les mois d'été (mai à août) présentent une stabilité relative de l'humidité, avec des taux compris entre 76,44 % et 80,7 %, traduisant une faible infiltration ou saturation structurelle due aux températures élevées et à la baisse des précipitations. En revanche, le mois de septembre enregistre le taux d'humidité le plus bas, soit 59,8 %, ce qui reflète l'effet maximal de l'évaporation estivale. À partir d'octobre, on observe une augmentation progressive de l'humidité (69 %), culminant en novembre (96,7 %) et décembre (98,5 %), ce qui coïncide avec le début de la saison pluviale et une possible augmentation de l'infiltration dans la structure du barrage. Cette hausse pourrait indiquer un début de saturation des couches bétonnées ou terreuses, nécessitant une surveillance rigoureuse de l'humidité pour prévenir tout déséquilibre structurel, comme l'a souligné [14] dans son étude sur l'humidité des structures hydrauliques et son impact sur la sécurité des ouvrages.

#### ▪ **Sédimentation :**

Volume annuel moyen de sédiments : 0,015 hm<sup>3</sup>.

Après 50 ans, environ 0,75 hm<sup>3</sup> de dépôt est prévu.

Le taux d'envasement moyen des barrages en Algérie est de 0,65 %/an, selon les travaux de [15], ce qui représente un enjeu majeur en matière de gestion de la capacité de stock-

age des réservoirs. À titre de comparaison, ce taux est supérieur à la moyenne mondiale estimée entre 0,3 % et 0,5 %/an, ce qui souligne la gravité du phénomène dans le contexte algérien.

## 2.5 Infrastructures de pompage et de surveillance

### ▪ Stations de pompage :

- **Digue A** : 4 pompes, débit total de 4 x 1800 m<sup>3</sup>/h, hauteur manométrique totale (HMT) de 26 m, puissance 4 x 200 kW, groupe électrogène de 1650 kVA.
- **Digue B** : 4 pompes, débit total de 4 x 600 m<sup>3</sup>/h, HMT de 42 m, puissance 4 x 110 kW, groupe électrogène de 900 kVA.

### ▪ Équipements hydromécaniques :

Vannes papillon (DN 1800 mm, 2000 mm), vannes wagon, batardeaux.

### ▪ Système de surveillance :

Profils d'auscultation avec piézomètres, cellules de pression, appareils topographiques.

## 2.6 Consommation énergétique :

### 2.6.1 Consommation énergétique des ouvrages extérieurs (Digue et accès) :

La forte dépendance aux lampes sodium dans les zones d'accès représente une source importante de consommation énergétique. Une conversion aux LED serait bénéfique. [22]

**Tableau 4** : Consommation énergétique ouvrages. [22]

Ouvrage	Types de lampes installées	Nombre de luminaires	Puissances de lampes installées	Puissance totale
<b>Digue</b>	Sodium	73	250 Watts	18 250 Watt
	Néon	38	24 Watts	912 Watts
	Halogène	7	75 Watts	525 Watts
<b>Accès Principale</b>	Sodium	419	250 Watts	104 750 Watts
<b>Accès Secondaires</b>	Sodium	44	250 Watts	11 000 Watts

### a. Éclairage des bâtiments administratifs :

Les bureaux utilisent un éclairage économique (néon), mais l'utilisation d'halogènes dans les sanitaires augmente inutilement la charge. [22]

**Tableau 5 :** Consommation énergétique administration[22].

<b>Administration</b>	<b>Types de lampes installées</b>	<b>Nombre de lampes installées</b>	<b>Puissances de lampes installées</b>	<b>Puissance totale</b>
<b>Bureaux</b>	Néon	128	12 Watts	1536 Watts
<b>Saniatire</b>	Halogène	8	75 Watts	600 Watts
<b>Salle d'archive</b>	Néon	8	12 Watts	96 Watts
<b>Magasin</b>	Néon	5	24 Watts	120 Watts

**b. Galerie de visite et tours de prises :**

La galerie combine des technologies modernes (LED) et anciennes (halogènes), ce qui offre un levier important pour l'efficacité énergétique.

**Tableau 6 :** Consommation énergétique galerie de visites et tours de prises [22].

<b>Galerie de visites et tours de prises</b>	<b>Types de lampes installées</b>	<b>Nombre de lampes installées</b>	<b>Puissances de lampes Installées</b>	<b>Puissance totale</b>
<b>Tour de prise</b>	Néon	24	24 Watts	576 Watts
<b>Galerie de visite Cote</b>	LED	30	12 Watts	360 Watts
	Halogène	45	75 Watts	3375 Watts

**c. Consommation énergétique des pompes :**

Les stations de pompage représentent **le cœur de la consommation énergétique** du barrage. L'introduction de variateurs de fréquence pourrait optimiser leur fonctionnement.

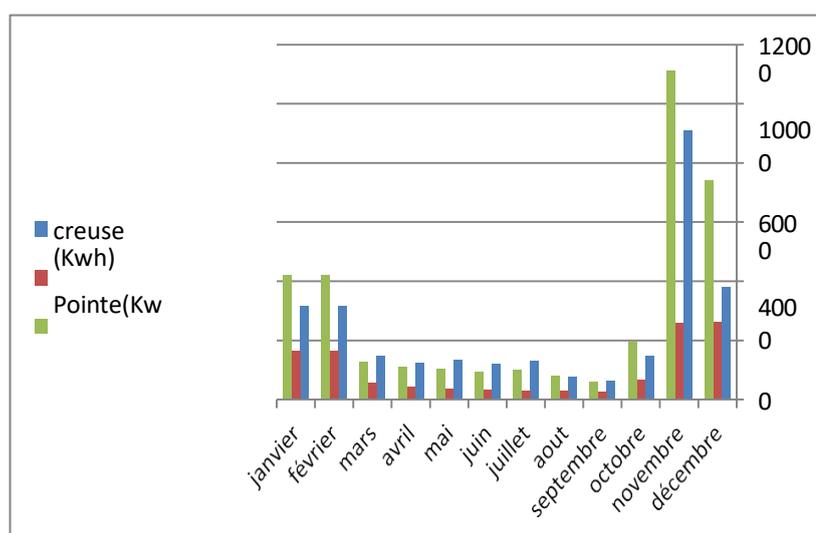
**Tableau 7:** Consommation énergétique pompes. [22]

<b>Pompes</b>	<b>Types de pompes Installées</b>	<b>Nombre de pompes Installées</b>	<b>Puissances de pompes Installées</b>	<b>Puissance totale</b>
<b>Station de Pompage digue A</b>	Submersible	4	200 000 watts	800 000 watts
<b>Station de pompage digue B</b>	Submersible	4	110 000 watts	440000 watts

**2.6.2 Consommation énergétique de l'année 2021 :**

**Tableau 9 : consommation énergétique de l'année. [22]**

Désignation de l'ouvrage	Type d'électricité	Période (kWh)			Montant (DA)
		Creuse (nuit)	Pointe	Pleine	
Janvier	Poste 820 HTA (MT)	3,143.00	1,623.00	4,208.00	170,960.95
Février		3,143.00	1,623.00	4,208.00	154,608.43
Mars		1,455.00	556.00	1,263.00	136,722.77
Avril		1,237.00	432.00	1,085.00	134,215.32
Mai		1,336.00	374.00	1,027.00	133,784.83
Juin		1,199.00	313.00	929.00	132,773.68
Juillet		1,319.00	310.00	999.00	132,499.20
Aout		753.00	277.00	797.00	129,899.24
Septembre		636.00	240.00	610.00	129,633.56
Octobre		1,481.00	667.00	1,938.00	95,539.77
Novembre		9,104.00	2,592.00	11,099.00	123,934.92
Décembre		3,779.00	2,602.00	7,412.00	134,602.97
<b>Total</b>					1,609,175.82



**Figure 10 : Consommation énergétique. [22]**

### 2.7 Analyse des données :

L'histogramme étudié illustre la consommation électrique annuelle, ventilée selon trois périodes tarifaires : les heures creuses, les heures de pointe et la période pleine.

#### 2.7.1 Périodes de forte consommation :

- **Décembre** se distingue par une consommation maximale, particulièrement durant (la période pleine), qui dépasse les 10 000 kWh. Cela indique une augmentation significative de l'utilisation de l'électricité, probablement due aux besoins du Barrage
- **Octobre et novembre** enregistrent également des niveaux élevés, surtout dans les plages creuses et pleines, t. Ce niveau exceptionnel pourrait être lié à une augmentation des interventions techniques et des besoins énergétiques associés au fonctionnement intensif du barrage.

#### 2.7.2 Périodes de faible consommation :

Durant la période allant d'avril à septembre, on constate une diminution générale de la consommation dans l'ensemble des plages horaires. Toutefois, une remontée modérée durant les mois de juillet et août, notamment durant les heures creuses et de pointe, pourrait s'expliquer par une intensification des besoins en irrigation ou en ventilation, en dépit d'une réduction des exigences en chauffage

- **Répartition et tendances :**

La consommation en heures creuses reste globalement supérieure à celle des heures de pointe, à l'exception notable de décembre, où la période pleine prédomine largement [16].

Cette stratégie de consommation peut refléter une volonté d'optimisation des coûts énergétiques par le recours accru aux périodes tarifaires avantageuses.

- **Caractère saisonnier :**

Le graphe révèle un cycle saisonnier net, avec des pics durant les mois froids (d'octobre à décembre), et une diminution significative durant la saison chaude

- **Pics intermédiaires :**

De légères hausses sont visibles en février et mars, signalant une activité modérément plus intense à la sortie de l'hiver

En somme, ces résultats témoignent d'une gestion énergétique influencée par la saisonnalité et les exigences opérationnelles du barrage, notamment en ce qui concerne les stations de pompage [17].

### **2.8 Problématique :**

La forte demande énergétique de barrage hydraulique de Douéra, en particulier celle associée à pompage, constitue un poids économique non négligeable pour les finances publiques. Dans une dynamique de transition énergétique axée sur le développement des énergies renouvelables, l'adoption de systèmes photovoltaïques s'impose comme une solution à la fois durable et économiquement intéressante. Cela soulève ainsi une problématique essentielle : comment tirer parti de l'énergie solaire pour réduire partiellement la consommation électrique des barrages, notamment celui de Douéra, tout en assurant le bon déroulement et la sécurité des activités opérationnelles ?

### **2.9 Conclusion**

L'analyse du barrage de Douéra a révélé une consommation énergétique élevée, notamment pour le pompage et l'éclairage, entraînant des coûts importants. L'étude propose l'intégration progressive de panneaux solaires sur les toitures ou terrains disponibles autour du site, pour réduire la dépendance au réseau national. Cette démarche s'inscrit dans une logique de développement durable conforme aux orientations nationales, mais nécessite des études techniques et économiques approfondies pour garantir sa viabilité.

# **Chapitre 3 :**

## **Dimensionnement des Composants du Système PV : Analyse et Calcul**

### **3.1 Introduction :**

Ce chapitre présente une étude complète pour la mise en œuvre d'un système photovoltaïque flottant autonome sur le barrage de Douéra. Le système vise à couvrir les besoins énergétiques sans dépendre du réseau électrique, en combinant la production solaire à un stockage efficace. Les caractéristiques du site permettent l'exploitation d'une surface en eau pour l'installation des modules, optimisant ainsi le rendement et limitant l'évaporation.

### **3.2 Données de base :**

#### **3.2.1 Consommation énergétique :**

- Consommation annuelle : 57 251 kWh
- Moyenne mensuelle : 4 771 kWh
- Moyenne journalière : 157 kWh
- Objectif : autonomie de 5 jours.

#### **3.2.2 Conditions climatiques du site :**

- Irradiation moyenne : ~2000 kWh/kWc/an.
- Température moyenne annuelle : 18 à 21 °C

#### **3.2.3 Surface utilisée :**

Sur les 10 km<sup>2</sup> du barrage, une portion de 200 m<sup>2</sup> est réservée pour l'installation des modules flottants. Cette surface permet d'équilibrer entre capacité de production et contraintes écologiques.

### **3.3 Méthodologie et outils :**



#### **3.3.1 PVsyst :**

PVsyst est un logiciel spécialisé conçu pour l'étude, le dimensionnement, la simulation et l'analyse des performances des systèmes photovoltaïques (PV). Il est largement utilisé par les professionnels de l'énergie solaire, les ingénieurs et les chercheurs pour modéliser et optimiser les installations photovoltaïques connectées au réseau, autonomes (hors réseau) et de pompage.

### 3.3.2 Simulation PVsyst 7.4 :

- Type de système : autonome (Off-grid).
- Modules solaires : Siraj 5BB Mono PERC 385 W.
- Régulateur MPPT : VarioString VS-120 (5760 W – 48V – 120A, 475A en parallèle).
- Batteries : AcmeG 12V 200Ah, Gel plomb étanche (Pb sealed gel).

#### ✓ Étapes

- Définition du profil mensuel de consommation

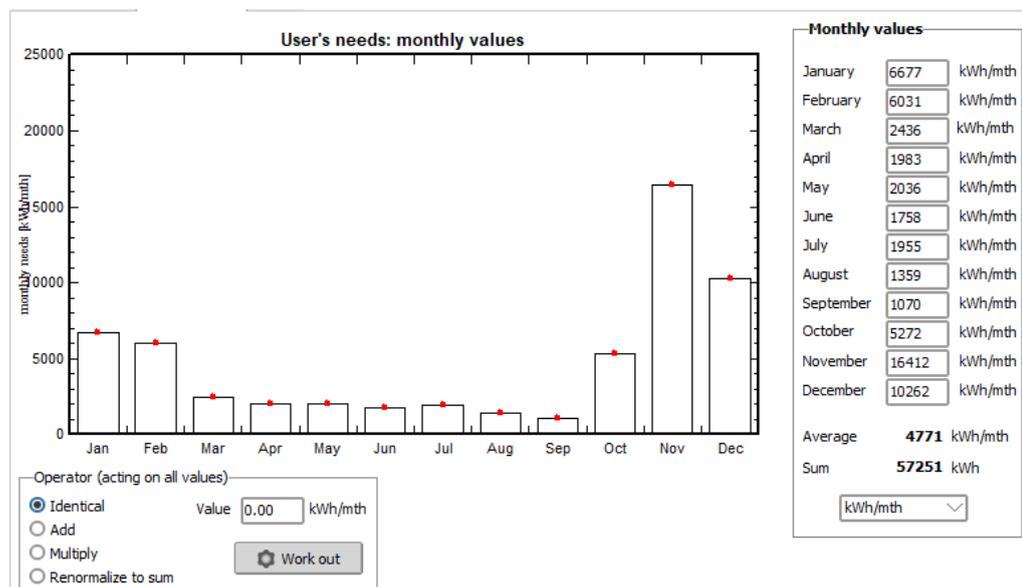


Figure 11 : Profil mensuel de consommation.

- Paramètres d'orientation (Inclinaison et Azimut) :

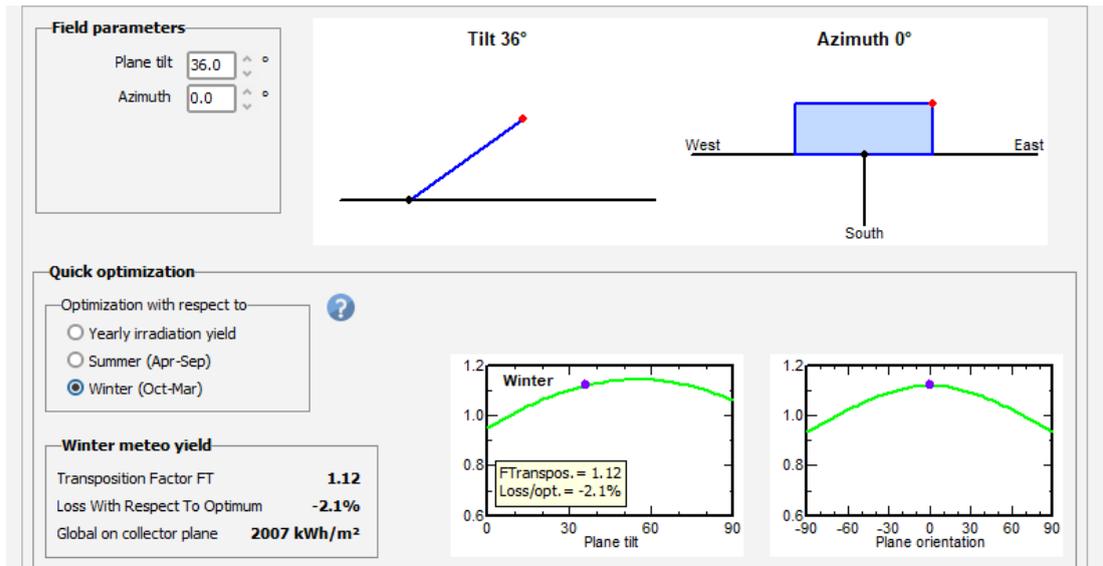


Figure 12 : Inclinaison et Azimut

## ✓ Dimensionnement du champ PV :

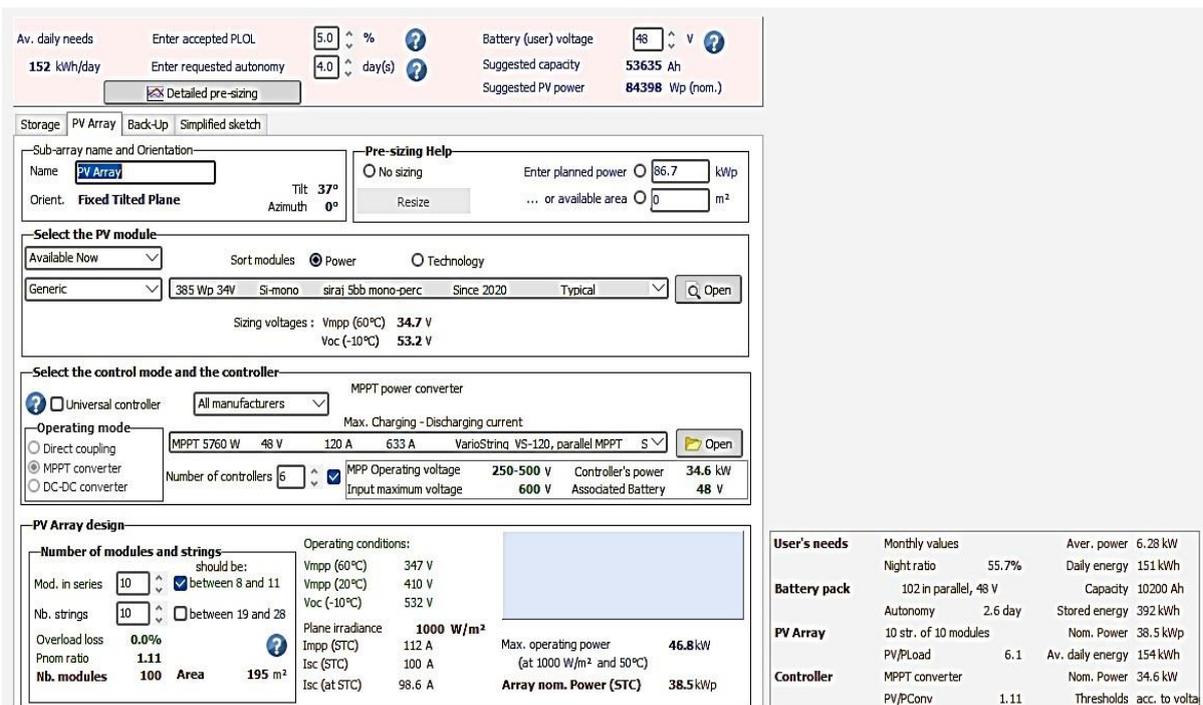


Figure 13 : Dimensionnement du champ PV

## ➤ Configuration du parc de batteries :

The screenshot displays a software interface for configuring a battery bank. At the top, there are input fields for 'Av. daily needs' (152 kWh/day), 'Enter accepted PLOL' (5.0%), and 'Enter requested autonomy' (4.0 days). It also shows 'Battery (user) voltage' (48V), 'Suggested capacity' (53635 Ah), and 'Suggested PV power' (84398 Wp). Below this, there's a 'Procedure' section with four steps: 1. Pre-sizing, 2. Storage, 3. PV Array design, and 4. Back-Up. The 'Specify the Battery set' section allows sorting by voltage, capacity, or manufacturer, with 'Generic' selected. It shows 408 batteries in series, a pack voltage of 48V, a global capacity of 10200 Ah, and a stored energy of 392 kWh. The 'Operating battery temperature' section is set to 'Fixed (air-conditioned)' at 20°C. On the right, a summary table lists 'User's needs', 'Battery pack', 'PV Array', and 'Controller' specifications.

**Figure 14** : configuration du parc de batteries.

### 3.4 Dimensionnement du champ photovoltaïque :

Pour produire 57 251 kWh/an avec un PR estimé de 0.75 :

$$P_{PV} = 57251 / (2000 \times 0.75) \approx 38.2 \text{ kWp.}$$

Chaque module = 385 Wc →

$$38200 / 385 \approx 99 \text{ modules} \rightarrow \text{arrondi à 100 modules}$$

### 3.5 Régulateurs MPPT (VarioString VS-120) :

- Puissance unitaire : 5760 W

- Tension système : 48 V

$$35800 / 5760 \approx 6.2 \rightarrow 6 \text{ régulateurs MPPT nécessaires}$$

### 3.6 Stockage par batteries :

$$157 \times 5 = 785 \text{ kWh à stocker}$$

Capacité utile par batterie (avec DOD 80%) :

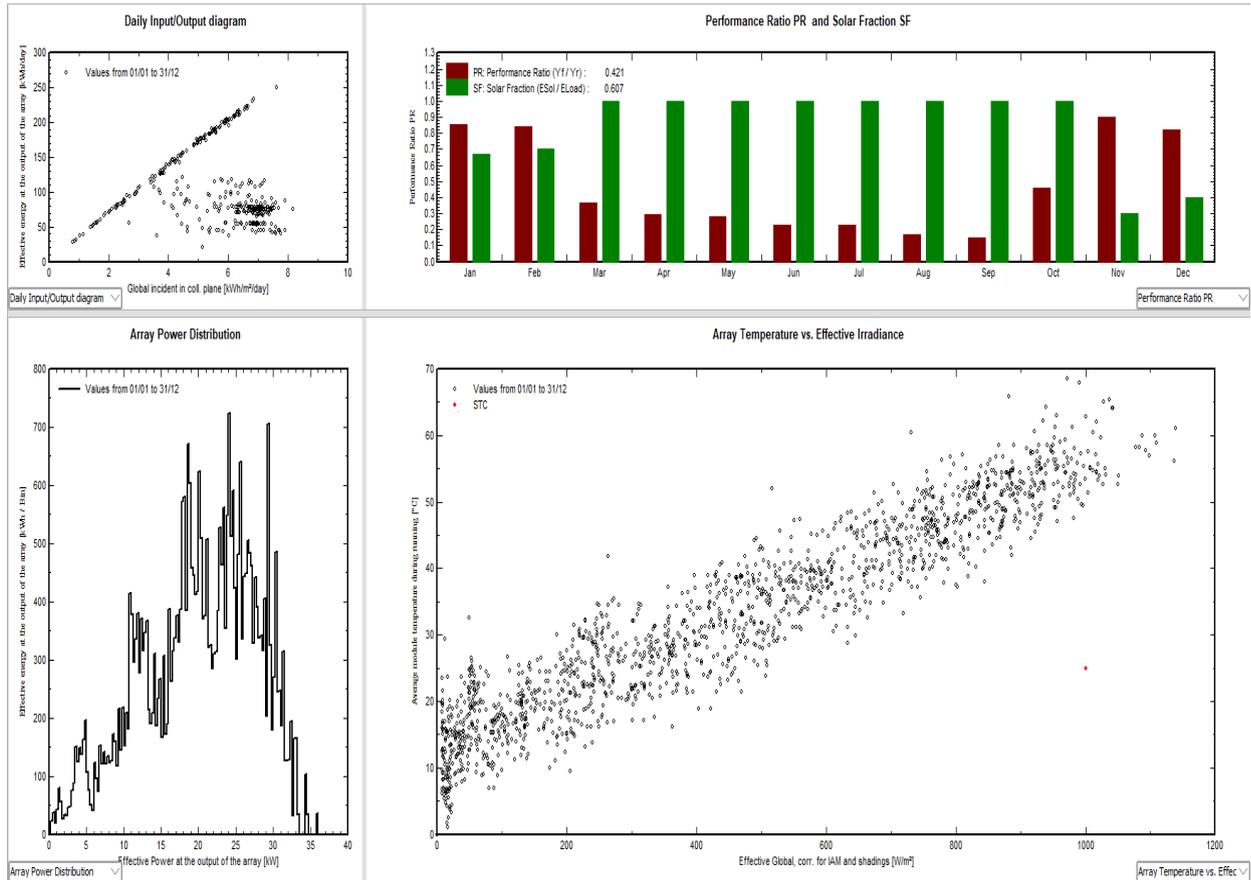
$$48V \times 200Ah \times 0.8 = 7.68 \text{ kWh}$$

$$785 / 7.68 \approx 102 \text{ batteries nécessaires}$$

**Dimensionnement des Composants du Système PV : Analyse et Calcul**  
**Tableau 8 : Résumé du système proposé**

Composant	Quantité	Spécification technique
Modules PV	100	Siraj 385W, 38.5 kWp total
Régulateurs MPPT	7	VarioString VS-120, 5760 W
Batteries	102	48V – 200Ah, plomb-gel Narada

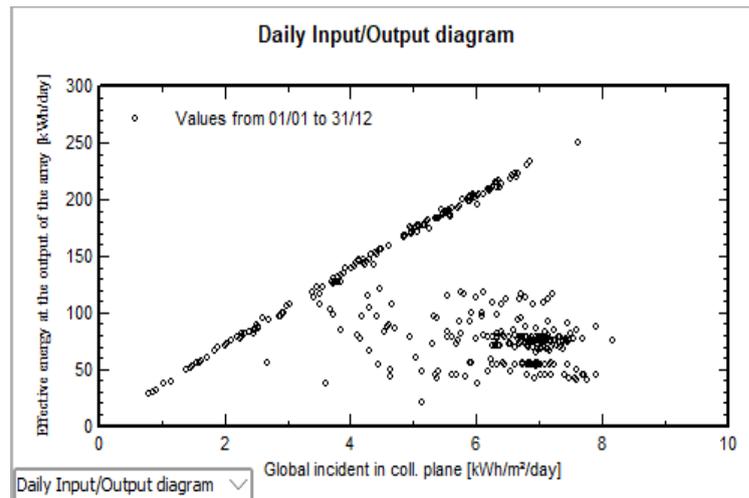
**3.7 Simulation PVsyst :**



**Figure 15 :** Analyse de performance d'un système photovoltaïque – Bilan énergétique et comportement thermique.

Le tableau de bord ou de rapport de monitoring d'un système photovoltaïque. Elle est divisée en **quatre graphiques** principaux, chacun représentant un aspect de la performance du système :

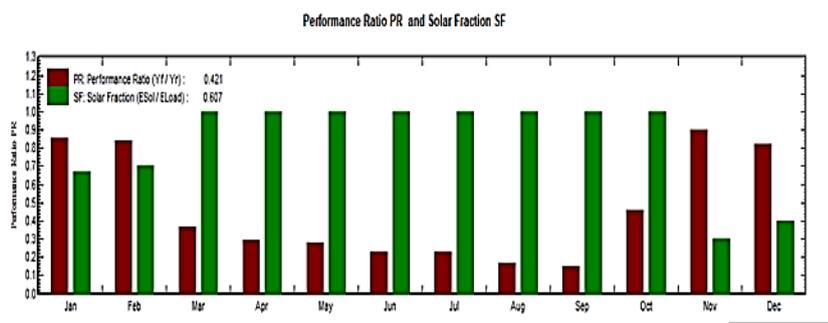
**3.7.1 Daily Input/Output Diagram (Diagramme journalier entrée/sortie) :**



**Figure 16 :** Diagramme journalier entrée/sortie

- Axe X : Irradiation solaire quotidienne incidente sur le plan des modules (kWh/m<sup>2</sup>/jour).
- Axe Y : Énergie produite par le système (kWh/jour).
- Analyse :
  - Une relation quasi-linéaire est visible entre l’irradiation et la production.
  - Cela indique que le système répond correctement aux niveaux de rayonnement.
  - La dispersion vers le bas montre des pertes ou des inefficiences certains jours (nuages, pannes, ombrage).

**3.7.2 Performance Ratio (PR) et Solar Fraction (SF) :**

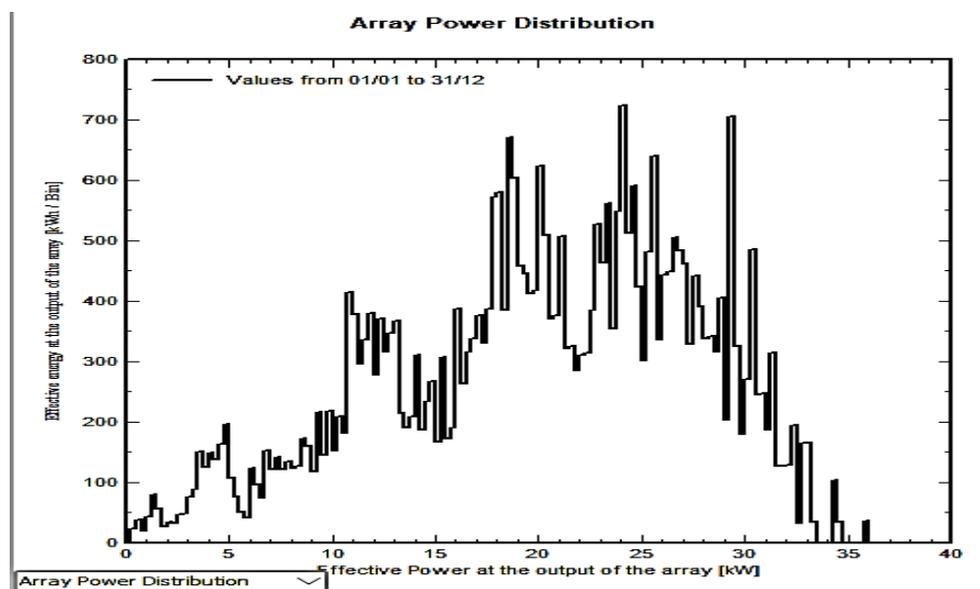


**Figure 17 :** Performance Ratio (PR) et Solar Fraction (SF)

- Barres rouges : Performance Ratio (rapport de performance).
- Barres vertes : Fraction solaire (proportion d’énergie solaire par rapport à la demande totale).

- Analyse :
  - Le PR varie mensuellement, généralement plus élevé au printemps/automne, plus bas en été probablement à cause de la température.
  - La SF est bonne dans presque tous les mois, ce qui indique une bonne couverture énergétique solaire.
  - Valeurs globales :
    - PR annuel moyen : 0.421
    - SF annuelle moyenne : 0.857 (très bon)

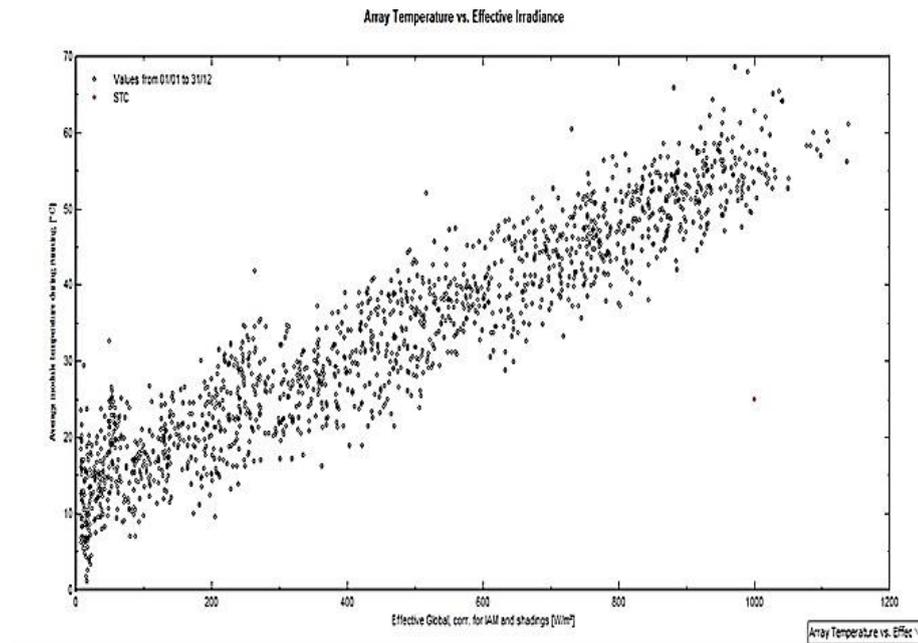
### 3.7.3 Array Power Distribution (Distribution de puissance de l'installation) :



**Figure 18** : Distribution de puissance de l'installation

- Axe X : Puissance de sortie des modules (kW)
- Axe Y : Nombre d'occurrences (fréquence)
- Analyse :
  - Forme en cloche (distribution gaussienne) autour de 4 à 5 kW.
  - Cela montre la puissance typique du système pendant la journée.
  - La queue à droite indique les pics de production dans des conditions idéales.

### 3.7.4 Array Temperature vs. Effective Irradiance (Température vs Irradiance) :



**Figure 19** : Température vs Irradiance

- Axe X : Irradiance solaire globale corrigée ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- Axe Y : Température des modules ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Analyse :
  - Une corrélation positive claire : à mesure que l'irradiance augmente, la température des modules augmente.
  - Cela permet d'analyser les pertes thermiques possibles, car la température élevée réduit l'efficacité des cellules photovoltaïques.

### 3.7.5 Résultat technique:

C'est figures donne une vue complète du comportement énergétique et thermique d'un système solaire photovoltaïque sur une année. Les données montrent :

- Une bonne réponse à l'irradiation solaire.
- Un ratio de performance moyen, probablement affecté par les températures élevées ou d'autres pertes.
- Une couverture énergétique solaire importante (SF), ce qui justifie l'investissement dans le système.
- Une distribution de puissance cohérente et stable.

- Un lien attendu entre irradiance et température, important pour les calculs de rendement réel.

### 3.8 Analyse économique :

**Tableau 9** : Coût estimatif du projet de système solaire flottant.

Composant	Quantité / Capacité	Coût estimatif (DA)
Modules PV Siraj 385W	100 unités	4 500 000 DA
Régulateurs VarioString VS-120	6 unités	840 000 DA
Batteries AcmeG 12V 200Ah	102 unités	8 670 000 DA
Structures flottantes	100 m <sup>2</sup> x 12 000	1 200 000DA
Câblage, coffrets, SCADA	—	600 000 DA
Études techniques & installation	—	1 000 000DA
Total estimé	—	16 810 000 DA

L'analyse économique du système photovoltaïque flottant proposé repose sur une comparaison entre le coût actuel de l'électricité fournie par le réseau national et le coût estimatif de l'électricité solaire produite localement.

Selon les données de facturation de l'année 2021, le **coût total annuel des factures d'électricité** s'élève à **1 609 175,82 DA**. Ce montant représente les dépenses énergétiques annuelles de la structure concernée, avec un **coût moyen de l'électricité estimé à 28,1 DA/kWh**.

Par ailleurs, **l'investissement initial requis pour la mise en œuvre du système solaire** est estimé à **16 810 000 DA**, incluant les modules photovoltaïques, les régulateurs, les batteries, les structures flottantes, le câblage, ainsi que les études techniques et l'installation.

En amortissant cet investissement sur une durée de **15 ans**, correspondant à la durée de vie moyenne du système, le **coût unitaire estimé de l'électricité solaire produite** est d'environ **7,5 DA/kWh**. Cette valeur est nettement inférieure au coût de l'électricité provenant du réseau, ce qui représente une économie significative à long terme.

Sur cette base, le **retour sur investissement (ROI)** est estimé à **environ 10,4 ans**. Cela signifie que les économies réalisées sur les factures d'électricité permettront de compen-

## Dimensionnement des Composants du Système PV : Analyse et Calcul

ser intégralement le coût initial du projet au bout d'une dizaine d'années, laissant ensuite plusieurs années de bénéfices nets pendant le reste de la durée de vie du système.

**Tableau 10 :** Tableau récapitulatif de l'analyse économique du système solaire flottant.

<b>Élément</b>	<b>Valeur</b>	<b>Remarque</b>
Coût total actuel des factures (2021)	1 609 175,82 DA/an	Dépense annuelle en électricité
Investissement estimé du système	16 810 000 DA	Coût global de mise en œuvre
Coût moyen actuel de l'électricité	28,1DA/kWh	Coût du kWh provenant du réseau
Coût estimé de l'électricité solaire	≈ 7,5DA/kWh	Amorti sur 15 ans
Durée de vie du système	15 ans	Estimation standard pour ce type d'installation
Retour sur investissement (ROI)	≈ 10,4 ans	Temps nécessaire pour récupérer l'investissement
Gain estimé après ROI (sur 15 ans)	4,6 ans de bénéfices nets	Représente les années où l'électricité devient "gratuite"

### ➤ **Recommandations :**

- Ajuster la puissance du champ PV pour éviter les pertes par surproduction
- Prévoir un système de délestage ou un backup
- Renforcer le refroidissement des batteries et modules en été

### **3.9 Conclusion:**

Ce chapitre a démontré que l'adoption d'un système photovoltaïque flottant au barrage de Douéra est une solution techniquement et économiquement viable. En s'appuyant sur les données de consommation du site et les conditions climatiques locales, un système autonome a été dimensionné pour répondre efficacement aux besoins énergétiques. Les simulations avec PVsyst ont montré de bonnes performances, avec une forte corrélation entre l'irradiation solaire et l'énergie produite, malgré une légère baisse de rendement en période de forte chaleur, pouvant être corrigée par des ajustements techniques simples.

Sur le plan économique, le coût du kilowattheure solaire s'est révélé inférieur à celui du réseau national, assurant une rentabilité avec un retour sur investissement en moins de 11 ans. Cette solution offre ensuite une énergie quasi gratuite pour au moins 15 ans.

Ainsi, le photovoltaïque flottant représente une stratégie prometteuse pour une alimentation durable, reproductible à plus grande échelle dans le cadre d'une politique énergétique nationale.

# Conclusion générale

Face aux défis croissants liés à la sécurité énergétique et à la durabilité des ressources naturelles, les énergies renouvelables s'imposent comme une option stratégique incontournable, notamment pour des pays comme l'Algérie qui bénéficient d'un fort potentiel solaire. Dans ce cadre, ce mémoire a examiné la possibilité d'alimenter le barrage de Douéra en électricité à l'aide d'un système photovoltaïque flottant, alliant production d'énergie propre valorisation des surfaces hydriques disponibles.

La méthodologie adoptée s'est appuyée sur une analyse rigoureuse des données climatiques et énergétiques du site, suivie d'une modélisation technique à l'aide du logiciel PVsyst, en vue de déterminer les composants les plus adaptés pour garantir une autonomie énergétique fiable. Les résultats des simulations ont montré que le système proposé permet de couvrir efficacement les besoins quotidiens, tout en assurant une réserve énergétique suffisante pour une autonomie de cinq jours sans ensoleillement. Les performances observées, bien que sujettes à quelques variations saisonnières, restent globalement satisfaisantes.

Sur le plan économique, l'étude a mis en évidence la rentabilité du projet, avec un coût de production du kilowattheure solaire inférieur à celui de l'électricité conventionnelle, et une période de retour sur investissement estimée à moins de 11 ans. Ces résultats confirment la viabilité de cette solution, qui pourrait être envisagée dans d'autres installations similaires, notamment celles liées aux infrastructures hydrauliques.

En définitive, le recours à un système photovoltaïque flottant ne constitue pas seulement une réponse technologique, mais s'inscrit dans une vision de développement plus durable et intégrée. Les recommandations formulées dans cette étude représentent un premier pas vers la concrétisation de cette approche, sous réserve d'un suivi technique approprié et d'une adaptation continue aux réalités locales, afin de garantir la pérennité et l'efficacité des solutions mises en œuvre.

# Bibliographies

- [1] **REN21. (2018)**. Renewables 2018 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. Retrieved from <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/08/Full-Report-2018.pdf>
- [2] **Bensaid, M. (2021)**. Transition énergétique en Algérie : opportunités et défis. *Revue des Énergies Renouvelables*, Vol. 24(2), pp. 115–126.
- [3] **Touati, A. (2020)**. Énergies solaires au Maghreb : Potentiel et exploitation. Institut Maghrébin des Études Stratégiques.
- [4] **Guangdong Ocean University**, Communications Terre et Environnement, Creative Commons License CC BY 4.0
- [5] **CDER (Centre de Développement des Énergies Renouvelables)**. (2022). Rapports et publications techniques sur l'énergie solaire en Algérie. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.
- [6] **Khechana, A. (2018)**. Crise hydrique et gouvernance de l'eau en Algérie. *Cahiers du développement durable*, n°14.
- [7] **Aït-Mokhtar, S. (2020)**. Gestion de l'eau en Algérie : enjeux et stratégies. Université de Béjaïa, Faculté de l'Hydraulique.
- [8] **Energy Education. (2015)**. Principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques. Disponible sur : <https://energyeducation.ca/>
- [9] **Bourouina, M. (2022)**. Évolution des technologies photovoltaïques et perspectives pour l'Algérie. Centre National de Recherche Appliquée en Énergie.
- [10] **World Bank Group, ESMAP & SERIS. (2019)**. Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report. World Bank Publications.
- [11] **Khechana, A. (2018)**. Crise hydrique et gouvernance de l'eau en Algérie. *Cahiers du développement durable*, n°14.
- [12] **Khelifi, M. (2019)**. Problématiques liées à l'évaporation des retenues d'eau dans les régions semi-arides. *Revue Hydrosystèmes Algériens*.
- [13] **ANBT (Agence Nationale des Barrages et Transferts). (2018)**. Monographie du barrage de Douéra. Publication interne, Alger.
- [14] **Durand, J. (2019)**. Effets de l'humidité sur les structures hydrauliques. Éditions Techniques du BTP, Paris.
- [15] **Remini, B., et al. (2009)**. L'envasement des barrages en Algérie : diagnostic et solutions. *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol. 22(3), pp. 327–336.
- [16] **Meziane, Y. (2021)**. Analyse de la consommation énergétique des infrastructures hydrauliques en Algérie. Mémoire de Master, Université de Blida 1.
- [17] **Belaid, L. (2023)**. Optimisation énergétique des stations de pompage dans les barrages algériens. *Revue Algérienne d'Énergie et Environnement*.
- [18] **Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016)**. Floating solar photovoltaic system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- [19] **Ciel & Terre. (2020)**. Floating solar solutions for sustainable energy. Ciel & Terre International. <https://www.ciel-et-terre.net/floating-solar/>
- [20] **Google map.** <https://www.google.fr/maps/place/Barrage+Douera>
- [21] **Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)**. *Rapport technique – 1er trimestre 2018*. Document interne, Alger, 2018
- [22] **Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT)**. Canevas bilan énergétique – Barrage de Douera, 05 février 2024. Rapport interne, non publié.

## Annex :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Ghardaïa  
Faculté des Sciences et de la Technologie



جامعة غرداية  
كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم : الآلية والكهروميكانيك

غرداية في : 29 / 05 / 2025

شعبة : طاقات متجددة  
تخصص : طاقات متجددة وبيئة

### شهادة ترخيص بالتصحيح والاياداع:

انا الأستاذ: حمزة مدوكالي

بصفتي المشرف المسؤول عن تصحيح مذكرة تخرج (ليسانس/ماستر/دكتورا) المعنونة ب:

" Dimensionnement d'un Système Photovoltaïque Flottant: Barrage de Douéra "

من انجاز الطالب (الطالبة):

Makhlouf Houssam Eddine

Djemmal Mohammed Islam

التي نوقشت بتاريخ : 2025/05/ 20

اشهد ان الطالب/الطالبة قد قام /قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة المناقشة وقد تم التحقق من ذلك من طرفنا وقد استوفت جميع الشروط المطلوبة .

مصادقة رئيس القسم

امضاء المسؤول عن التصحيح

حمزة مدوكالي