



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla
Faculté des Science Appliquées
Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de master en Génie Mécanique

Spécialité: énergétique

Présenté Par :

SADAoui Mourad

LAHZIEL Youcef

Thème

ETUDE ET CONCEPTION D'UN
SYSTÈME D'IRRIGATION DES
CÉRÉALES ALIMENTÉ PAR L'ENERGIE
SOLAIRE DANS LE SUD ALGÉRIEN

Soutenu devant le jury :

<i>Pr. Boubekeri Abdghani</i>	<i>Université K.M.Ouargla</i>	<i>Président</i>
<i>Dr. Achouri El Hadj</i>	<i>Université K.M.Ouargla</i>	<i>Examineur</i>
<i>Pr. Dokkar Boubekour</i>	<i>Université K.M.Ouargla</i>	<i>Encadreur</i>

Année universitaire : 2022 - 2023

Remerciement

Avant tous nous remercions ALLAH tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir cette étude.

En premier lieu nous remercions notre encadreur Pr. DOKKAR Boubekour pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette enquête, ainsi que ses conseils qui nous ont guidé dans notre travail et nous a aidés à l'améliorer et trouver des issues pour avancer.

Nous remercions également tous les membres de jury Pr. BOUBEKRI Abdelghani et Dr. ACHOUURI Elhadj d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Résumé

En Algérie, la production des céréales apparaît comme stagnante et faible, particulièrement concernant la production de blé dont la rentabilité par hectare est considérée comme des plus faibles relativement aux normes établies dans la plupart des autres états du monde. Cette faiblesse est due d'abord aux politiques agraires appliquées et aux conditions climatiques non appropriées, en particulier le phénomène de sécheresse. Ceci nécessite l'adoption d'une nouvelle approche pour assurer les besoins d'irrigation. Ce travail présenté une étude sur la conception d'un système d'irrigation innovant. Le système est alimenté en énergie solaire et qui montre une importante rationalisation de la consommation d'eau et d'énergie.

ملخص

في الجزائر، يُلاحظ أن إنتاج الحبوب يكون ضعيفاً، وخاصة فيما يتعلق بإنتاج القمح الذي يعتبر أقل ربحية للمهكتار مقارنة بالمعايير المعتمدة في معظم الدول الأخرى في العالم. يعزى هذا الضعف في المقام الأول إلى السياسات الزراعية المتبعة والظروف المناخية غير المناسبة، وخاصة ظاهرة الجفاف. وهذا يستدعي اعتماد نهج جديد لضمان احتياجات الري. تقدم هذه الدراسة تصميمًا لنظام ري مبتكر، يعتمد على الطاقة الشمسية ويظهر تقليلاً كبيراً في استهلاك المياه والطاقة.

Abstract

In Algeria, cereal production appears to be stagnant and low, particularly regarding wheat production, which has a lower profitability per hectare compared to established standards in most other countries around the world. This weakness is primarily due to applied agricultural policies and unsuitable climatic conditions, especially the phenomenon of drought. This necessitates the adoption of a new approach to ensure irrigation needs. This study presents research on the design of an innovative irrigation system. The system is powered by solar energy and demonstrates significant optimization of water and energy consumption.

Table des matières :

Introduction Générale	1
Chapitre 1 : Agriculture de céréale	4
1.1 Généralités sur l'agriculture	5
1.2 Céréale dans le monde	6
1.3 Céréale en Algérie	8
1.4 Importance des céréales dans les régions sahariennes	9
1.5 Culture du blé dur.....	10
1.5.1 Origines génétiques et géographiques.....	10
1.5.2 Amélioration du blé dur	11
1.6 Cycle de développement des céréales	13
1.6.1 Période végétative	13
1.6.2 Période reproductive.....	13
1.7 Exigences de la culture céréaliculture (le blé dur).....	14
1.7.1 Climat	14
1.7.2 Sol	15
1.7.3 Semis	16
1.7.4 Irrigation.....	16
1.7.5 Fertilisation d'eau.....	16
Chapitre 2 : Pompage d'eau et irrigation des céréales.....	18
2.1 Ressources d'eau dans le monde.....	19
2.1.1 Eaux souterraines.....	19
2.1.2 Eau de pluie	20
2.1.3 Barrage	20
2.2 Ressources de l'eau en Algérie	21
2.2.1 Eaux de surface	21
2.2.2 Eaux souterraines	22
2.3 Moyens d'exploitation des ressources souterrains	22
2.3.1 Forage	22
2.3.2 Pompage	25
2.4 Ressources d'électricité	28
2.4.1 Réseau électrique	28
2.4.2 Groupe électrique	28
2.4.3 Photovoltaïque (PV)	29
2.5 Irrigation des céréales	31
2.5.1 Pulvérisation axiale	31
2.5.2 Irrigation les espaces	32
2.5.3 Irrigation goutte à goutte.....	33
2.6 Choix de système d'irrigation	34
Chapitre 3 : Dimensionnement de système d'irrigation.....	35
3.1 Introduction.....	36
3.2 Irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée.....	36
3.3 Pompage d'eau	37
3.3.1 Notions hydrauliques.....	37

3.3.2 Débit d'eau	38
3.3.3 Hauteur manométrique totale.....	38
3.3.4 Energie hydraulique et électrique quotidiennes requises.....	41
3.3.5 Taille du générateur photovoltaïque.....	42
3.3.6 Méthode analytique.....	42
3.3.7 Puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.....	43
3.3.8 Consommation d'eau dans la culture du blé dur.....	43
3.3.9 Hauteur manométrique totale.....	44
3.3.10 Calcul d'énergie hydraulique.....	46
3.3.11 Calcul énergie électrique.....	47
3.3.12 Calcul de la puissance du générateur(puissance crête) et nombre des modules	48
3.4 Système irrigation.....	51
3.4.1 Première variante: système à fil fixe.....	52
3.4.2 Système d'irrigation à câble mobile.....	54
3.5 Composants du système d'irrigation.....	56
3.6 Principe de fonctionnement du système d'irrigation.....	57
3.6.1 Système de file fixe.....	58
3.6.2 Système d'irrigation dans le cas d'un câble mobile.....	59
3.7 Approche économique	61
3.8 Conclusion	63
Conclusion générale.....	64
Bibliographies.....	65

Liste des figures

N°	TITRE	PAGE
Figure 1	Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde.....	6
Figure 2	Evolution de la production des céréales en Algérie.....	9
Figure 3	Champ de céréale à Hassi Ben Abdallah Ouargla.....	10
Figure 4	Phylogénie des espèces de blés.....	11
Figure 5	Evolution du nombre de variétés de céréales inscrites au catalogue officiel.....	13
Figure 6	Cycle de développement des céréales.....	14
Figure 7	Étapes de formation des eaux souterraines.....	19
Figure 8	Composants de machine de forage de puits.....	23
Figure 9	Les différents types de forages.....	24
Figure 10	Pompe centrifuge à plusieurs étages.....	26
Figure 11	Pompe immergée.....	27
Figure 12	Panneau solaire.....	29
Figure 13	Principe de la conversion photovoltaïque.....	30
Figure 14	Pompage d'eau photovoltaïque.....	31

Figure 15	Schéma du pivot traditionnel.....	32
Figure 16	Système d'arrosage de l'espace pour céréales.....	33
Figure 17	Système d'arrosage goutte à goutte pour céréales.....	33
Figure 18	rayonnement solaire pour chaque type de changement d'angle de plaque	37
Figure 19	Hauteur manométrique total.....	38
Figure 20	Besoins d'eau de la culture du blé dur.....	44
Figure 21	Courbe des évolutions de hauteur manométrique totale en mois.....	46
Figure 22	Énergie hydraulique du pompage	47
Figure 23	Energie électrique (pour trois modes d'angle du panneau solaire)	48
Figure 24	Puissance crête (pour trois modes d'angle de panneau solaire)	50
Figure 25	Nombre des modules (pour les trois modes d'inclinaison).	50
Figure 26	Puissance crête du système d'irrigation de la deuxième variante.....	53
Figure 27	Nombre des modules solaires pour un système d'irrigation de première variante.....	53
Figure 28	Puissance crête du système d'irrigation de la deuxième variante.....	55
Figure 29	Nombre des modules solaires pour un système d'irrigation de deuxième variante.....	55
Figure 30	Vue longitudinale du système d'irrigation proposé avec un fil fixe.....	58
Figure 31	coupe transversale de l'enroulement du tuyau à l'intérieur du couvert	58
Figure 32	Vue de dessous de la partie supérieure du système à fil fixe.....	59
Figure 33	Vue de face du deuxième système d'irrigation à câble mobile.....	60
Figure 34	coupe transversale de l'enroulement du tuyau à l'intérieur du couvert de protection pour le deuxième système.....	60
Figure 35	vue de dessus du deuxième système d'irrigation.....	61

Liste des Tableaux

N°	TITRE	PAGE
Tableau 1	Superficies emblavées (106 ha) en blé dur, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs	7
Tableau 2	Moyennes, de la période 2005 à 2015, de la production (Prodi, 103 t) et du rendement (RDT, t/ha) du blé dur des principaux pays producteurs	8
Tableau 3	Gamme variétale acquise par L'ITGC et mises en production des semences	12
Tableau 4	Disponibilité des ressources en eau	21
Tableau 5	Valeurs d'irradiation pour trois modes	37
Tableau 6	Coût de l'installation des systèmes d'irrigation des céréales	63

Liste des abréviations

N°	Abréviation	La définition
1	CIMMYT	Centre international d'amélioration du maïs et du blé
2	FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
3	DSA	La direction des services Agricola
4	INRAA	Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie
5	CCCE	Canadian chemistry conference and exhibition
6	IGC	Institut des grandes cultures
7	IDGC	Institut de développement des grandes cultures
8	ICARDA	Centre International pour la Recherche Agronomique en Zones Sèches
9	ITGC	ITGC Institut Technique des Grandes Cultures

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générales

Les travaux visant à améliorer les variétés de céréales, notamment le blé dur [1] et le blé tendre [2], ont commencé au début de la deuxième moitié du siècle dernier en exploitant la variabilité existante au sein des différentes formes de variétés-populations [3]. Ces travaux ont permis d'isoler des souches locales plus ou moins homogènes, dont certaines sont encore largement cultivées.

Vers le début des années 1970, l'avènement de la révolution verte, qui a été initiée par les travaux du CIMMYT, a donné lieu à des résultats spectaculaires au Mexique, en Inde et au Pakistan. En conséquence, les services de recherche agronomique en Algérie ont introduit du matériel végétal provenant de ce centre international dans le but de sélection et d'utilisation. Cette sélection a permis de développer un grand nombre de variétés, dont certaines ont été largement adoptées par l'agriculture intensive. Les effets de cette sélection ont été positifs sur la production [4].

En 2050, la demande mondiale en blés augmentera de plus de 40% à cause de la croissance de la population, du changement climatique et l'urbanisation plus soutenue. Pour satisfaire cette augmentation de la demande alimentaire, notamment dans la région méditerranéenne, la production du blé dur doit augmenter à un rythme de 5.85% de 2017 à 2023 [5]. De ce fait de nouvelles variétés plus adaptées aux divers défis futurs, notamment en termes de changement climatiques doivent être développées.

Le mémoire se compose de trois chapitres, où le premier chapitre aborde la culture céréalière (blé dur) dans le monde et en Algérie, en particulier le sud (Sahara) et les moyens d'améliorer la production de blé. Ainsi, il représente le pourcentage de pluie et d'engrais contribuant à la croissance des plantes avec toutes ses caractéristiques. [4]

Le deuxième chapitre aborde les sources d'eau utilisées dans le processus d'irrigation, telles que les précipitations, les eaux souterraines, les réservoirs et les moyens utilisés pour acheminer l'eau depuis ses différentes sources. Il mentionne également l'utilisation de l'énergie solaire pour produire de l'électricité afin d'extraire l'eau à l'aide de pompes submersibles. Différents systèmes d'irrigation sont également mentionnés, notamment l'irrigation par distillation, l'irrigation des surfaces et l'irrigation par pivot. [3]

Le troisième et dernier chapitre consiste en le calcul de certaines données et variable

Introduction Générale

telles que la pression totale, la puissance et le débit, afin de proposer un nouveau système d'irrigation pour la culture des céréales (blé dur) répondant aux exigences de faible coût en premier lieu, tout en contribuant à la rationalisation de la consommation d'eau et en répondant aux besoins hydriques des plantes de manière appropriée. [2]

Chapitre 01

Agriculture de Céréale

1.1 Généralités sur l'agriculture

L'agriculture désigne l'ensemble des savoirs faire et activités ayant pour objet la culture des terres, et d'une manière générale, l'ensemble des travaux de conservation et de transformation du milieu naturel permettant de cultiver et prélever des végétaux et des animaux utiles à l'être humain [6].

Le secteur de l'agriculture, y compris les sous-secteurs de l'hydraulique agricole des forêts et des pêches, occupe une place importante dans l'économie nationale puisqu'il emploie près de 25% de la population active totale, participe pour 12% au PIB et réalise près de 15% de la valeur ajoutée [7].

Historique

Le blé est une céréale essentielle dans l'alimentation mondiale, fournissant environ 20 % des calories consommées à l'échelle mondiale, principalement sous forme de pain. Il s'agit d'une culture ancienne, cultivée depuis environ 8 000 à 10 000 ans. Les premières variétés de blé sont originaires de la région eurasiennne, notamment du nord de la péninsule arabique, de l'Irak, de l'Iran et de la Syrie [8]

En Europe, les premières variétés de blé ont été cultivées dans la région méditerranéenne. Au Moyen Âge, la culture du blé s'est répandue en Europe centrale, et le pain blanc est devenu courant parmi les riches au XIe siècle. Aujourd'hui, la culture du blé est présente dans le monde entier, avec une production mondiale d'environ 760 millions de tonnes en 2020, ce qui en fait la deuxième céréale la plus cultivée après le maïs. Les principaux exportateurs de blé sont la Russie, les États-Unis, le Canada, la France et l'Ukraine. Le blé est également utilisé comme alimentation animale dans certaines régions [8]

Le prix du blé est négocié sur les marchés à terme mondiaux, et quelques grandes entreprises dominent le marché mondial du blé. Les principales variétés de blé sont cultivées en fonction du climat et du sol, avec le blé d'hiver représentant la plus grande part des récoltes mondiales. Le blé dur est cultivé dans la région de la Méditerranée et au Moyen-Orient, principalement utilisé pour produire des pâtes, de la semoule, du boulgour et du couscous. Le blé tendre, également appelé blé à pain, est cultivé dans les régions tempérées et utilisé pour la fabrication du pain et d'autres produits de boulangerie. Pour la culture du blé, les sols argileux riches en nutriments et ayant une bonne rétention d'eau sont idéaux. Les terres noires fertiles d'Ukraine et de Russie sont bien adaptées à sa culture. [8]

1.2 Céréale dans le monde

La production mondiale du blé dur avoisine les 36 millions de tonnes, soit 5% de la production mondiale totale des blés dur et tendre qui, au cours des 3 dernières années, a dépassé les 700 millions de tonnes. Historiquement la principale zone de culture du blé tétraploïde est la région du pourtour de la méditerranée. L'avènement de nouvelles variétés plus adaptées à divers milieux a conduit à l'extension de la culture de cette espèce vers d'autres régions. En effet on rencontre actuellement la culture du blé dans les régions au climat de type méditerranéen comme l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Egypte), le sud de l'Europe (Espagne, France, Italie, Grèce), le Moyen Orient (Turquie, Syrie, Palestine), les plaines intérieures des USA, le Canada, le nord du Mexique, la Russie, le Kazakhstan, l'Australie, l'Inde et l'Argentine ([9],[1]) Figure 1.

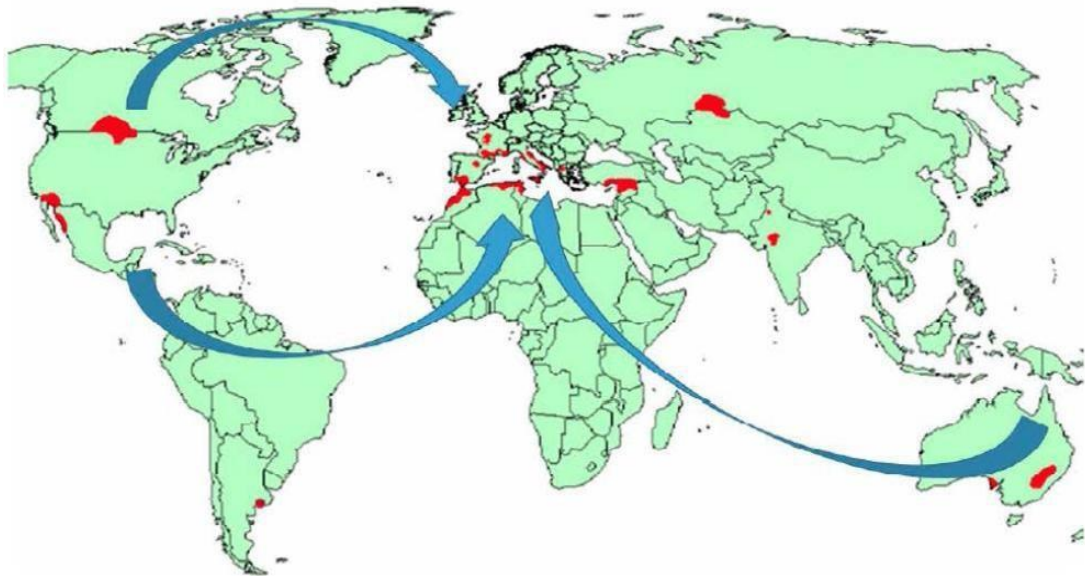


Figure 1 : Lieux de production, routes d'échanges et d'utilisation du blé dur dans le monde [10] .

Dans le monde, la moyenne des superficies emblavées en blé dur, des 10 dernières années, est de 16.9 millions d'hectares ce qui représente 7.6% de la superficie totale réservée à la culture des blés. Les superficies emblavées, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs sont donnés au tableau 1. [10]

Pays	Sup (Milionis d'hectares)	Pays	Sup (Milionis d'hectares)	Pays	Sup (Milionis d'hectares)
Kazakhstan	2.28	Tunisia	0.67	Afghanistan	0.19
Canada	1.97	Espagne	0.63	Iran	0.17
Torque	1.67	Russia	0.61	Pakistan	0.13
Italia	1.42	Grèce	0.49	Irak	0.11
Algeria	1.26	France	0.43	Argentine	0.09
Maroc	0.98	Mexique	0.31	Arabie Saoudite	0.07
Etats Unis	0.93	Chine	0.30	Egypt	0.05
Syrie	0.90	Australia	0.26	Chili	0.01
India	0.69	Ethiopia	0.25		

Tableau 1 : Superficies emblavées (106 ha) en blé dur, moyennes de la période 2005 à 2015, des principaux pays producteurs. [10]

La production du bassin méditerranéen varie considérablement car elle est dépendante de la pluie (Tableau 2). En Afrique du Nord et en Europe du Sud, les rendements sont fortement influencés par la sécheresse. Les besoins en blé dur des pays du bassin méditerranéen sont supérieurs à ce qu'ils produisent, ce qui fait que chaque année, plus de 5 millions de tonnes sont acheminés vers ces pays, venant pour la plupart des USA et du Canada. Parmi les pays de la Méditerranée, l'Italie est le principal producteur de blé dur avec une moyenne de 4,0 millions de tonnes. La Turquie, la France et l'Algérie suivent avec des moyennes, respectives, de 3,0, 2,0 et 2,0 millions de tonne [10].

Pays	Prod, 10 ³ t	RDT, t/ha	Pays	Prod, 10 ³ t	RDT, t/ha
Canada	4 493	2.30	Chine	1 245	4.10
Italie	4 281	3.04	India	1 060	1.55
Turquie	3 030	1.82	Grèce	991	2.03
Kazakhstan	2 400	1.04	Australie	470	1.82
Etats Unis	2 305	2.47	Afghanistan	386	1.99
France	2 070	4.83	Iran	339	1.93
Algérie	2 045	1.59	Pakistan	331	2.63
Syrie	1 962	2.15	Ethiopie	321	1.38
Mexique	1 772	5.67	Egypt	280	5.69
Maroc	1 452	1.46	A. Saoudite	277	4.16
Russie	1 315	2.16	Irak	222	2.35
Espagne	1 287	2.03	Argentine	210	2.37
Tunisie	1 259	1.87	Chili	56	4.50

Tableau 2 : Moyennes, de la période 2005 à 2015, de la production (Prod, 10³ t) et du rendement (RDT, t/ha) du blé dur des principaux pays producteurs [10].

1.3 Céréale en Algérie

En Algérie, les céréales, sont devenues un produit de première nécessité, leur importance dépasse le rôle traditionnel considéré comme aliment, elles ont, aujourd’hui, un rôle social, économique et politique. La culture de ces espèces, soumise à un climat très variable, est conduite en sec. A partir des années 1990, la superficie de la culture du blé dur se stabilise à une moyenne de 1.5 millions d’hectares, pour une superficie totale de 3.4 millions d’hectares allouée aux céréales à pailles. Pour la période allant de 1925 à 1949, des valeurs variant de 1.06, en 1949 à 1.25 millions d’hectares en 1929 soit une moyenne de 1.19 millions d’hectares, pour un total des blés dur et tendre de 1.55 millions d’hectares. La production annuelle de blé dur, de la période actuelle, varie grandement dans une fourchette allant de 1.0 à 4.0 millions de tonnes, soit une moyenne pondérale de 2.0 millions de tonnes [11].

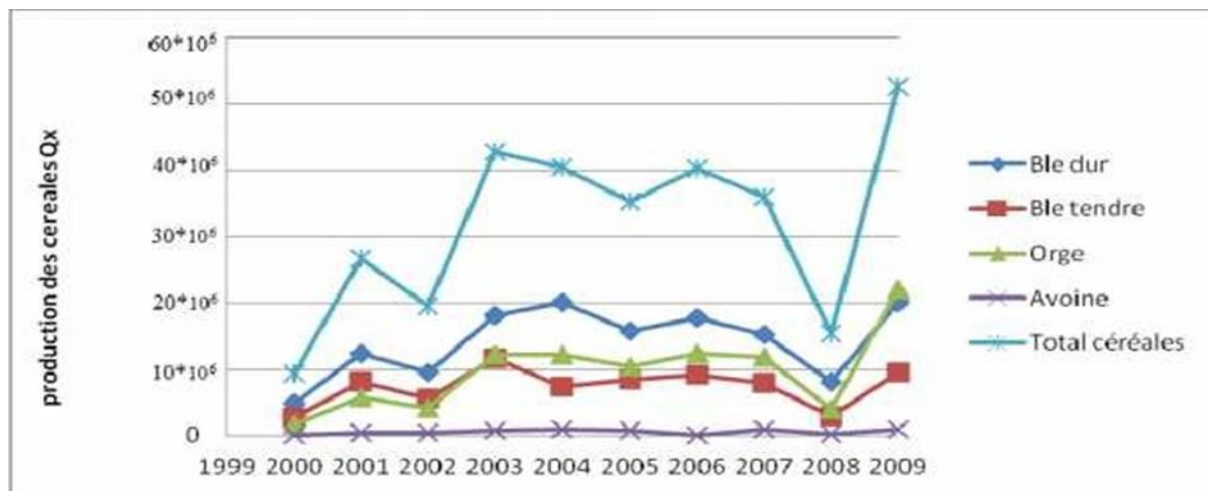


Figure 2 : Evolution de la production des céréales en Algérie [7].

1.4 Importance des céréales dans les régions sahariennes

La céréaliculture en tant que spéculation stratégique pour l'alimentation des populations, joue un rôle prépondérant sur le plan socio-économique. Cette filière représente un intérêt certain pour le développement des régions sahariennes et conditionne leur sécurité alimentaire. Malgré les résultats obtenus à travers les niveaux de production et de rendements enregistrés, aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle régionale [12].

La céréaliculture sous pivot dans les régions sahariennes a été introduite pour la première fois en 1986, avec 02 pivots, soit une superficie totale de 62 ha. Avec les nouvelles techniques de production et les nouveaux objectifs visant l'exploitation maximale de ressources, le nombre de pivots a évolué et les superficies emblavées ont connu une extension remarquable. Le nombre de pivots est passé à 54 pivots en 1994 dont, 78% étaient fonctionnels. Ainsi, la surface totale allouée à la céréaliculture sous centre de pivots, est passée de 62 ha à 1660ha en 1994, avec 81% de surface réellement emblavée [13]. Depuis cette date les différentes zones céréalières ont connues des fluctuations annuelles des superficies pour atteindre, en 2016/17, 1894 ha à Ouargla et 4.169 ha à Ghardaïa. Les productions et aussi des rendements ont également connue de grandes variations et au titre de la même campagne agricole 2016/17 la wilaya de Ghardaïa est arrivée à obtenir 40.8 qx/ha alors que la wilaya de Ouargla n'a pas dépassé 27.4 qx/ha d'après les bilans des deux DSA. Face à la régression de la production des céréales en Algérie et à l'augmentation du volume des importations, et en raison des limites avérées qui s'imposent au développement de cette culture dans les régions du nord et des hauts plateaux, la question du développement de la céréaliculture dans les régions sahariennes reste d'actualité, malgré les résultats non satisfaisants obtenus durant les précédentes tentative de son développement [14].



Figure 3 : Champ de céréale à Hassi Ben Abdallah Ouargla [15].

1.5. Culture du blé dur

1.5.1. Origines génétiques et géographiques

Le blé dur appartient à la famille des Poaceae, au genre *Triticum*, espèce. Le blé est une espèce allo tétraploïde ($2n = 4x = 28$) possédant 7 paires de chromosomes homologués associées à deux génomes différents A et B. Le génome A vient du blé sauvage *Triticum urartu* Tum. plus connu sous le nom einkorn de constitution génomique diploïde AA. Par contre le génome B vient de l'espèce sauvage, diploïde, *Aegilops speltaoides* Tausch. (Figure 04), [16] .

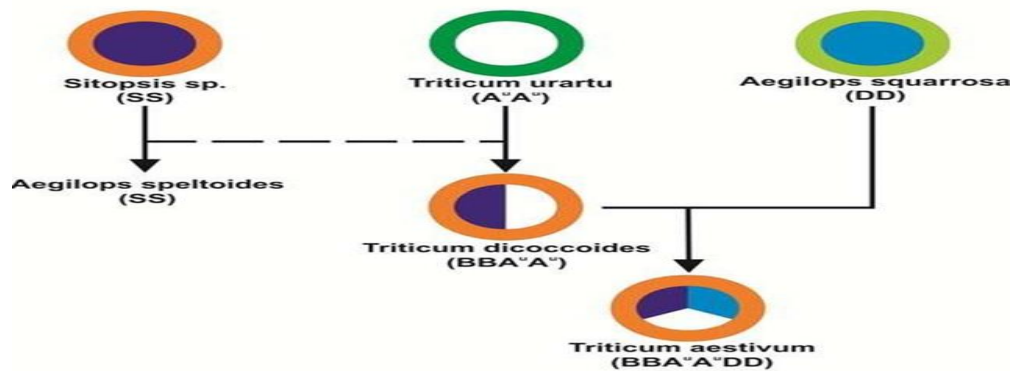


Figure 4 : Phylogénie des espèces de blés [16].

1.5.2 Amélioration du blé dur

a. Historique de l'amélioration du blé dur en Algérie

En Algérie, il existe au moins 22 variétés botaniques différentes et à l'intérieur de ces variétés botaniques, un grand nombre de races. Ce polymorphisme avait incité Orlov et Vavilov (1921) à considérer l'Algérie, sinon comme un « centre primaire d'origine » des blés durs, ou du moins comme « un centre secondaire de diversification ». Cette diversification exige un temps assez long, ce qui suppose que le blé dur existait en Afrique du Nord avant les invasions arabes, puisqu'il avait remplacé de bonne heure l'Amidonniér dans les pays bordant la Méditerranée [4]. A partir de 1930, la pratique de l'amélioration par sélection généalogique appliquée aux formes plus diversifiées existantes (tardivité, mauvaise qualité des grains) n'était plus envisagée vu que ces blés d'introduction ancienne ne dépassaient pas ceux déjà obtenus. La station d'amélioration des plantes de maison carrée s'est alors orientée vers la création d'hybrides nouveaux tout en continuant à introduire des variétés nouvelles de l'extérieur. Les blés durs, par contre, ont fait l'objet d'introduction plus récente et la diversification considérable de cette espèce, en Algérie, invitait Vavilov à considérer l'Afrique du Nord comme un centre secondaire d'origine de *Triticum durum*. Les nombreuses variétés botaniques comprenant chacune de multiples races issues des croisements spontanés, ont exigé un temps assez long pour se stabiliser [17].

De 1963 à 1969 le Centre Algérien de la Recherche Agronomique Scientifique et Economique et l'INRAA continuent à maintenir les collections existantes tout en faisant un travail de recherche limité au testage de différentes variétés ou populations [18]. Dès 1969, mesurant l'importance de la production céréalière, le ministère de l'Agriculture, entamait la première expérience de mise en culture de variétés

améliorées à haut rendement. La création par la suite du projet céréales était le prélude au processus de développement, et d'intensification de la production céréalière.

L'objectif essentiel du projet céréales était l'accroissement de la production avec les concours extérieurs de la FAO (projet Algérie/37), de CIMMYT, et la CCCE. Le projet céréales a hérité d'une grande partie des activités de l'INRA en matière de céréales. Ce projet donna, 3 années plus tard (1974) naissance à l'IGC puis l'IDGC, qui pris le relais et fut chargé de l'organisation du développement des céréales, fourrages et légumes secs [18].

Vers les années 70, la production céréalière en Algérie était constituée par un ensemble de populations naturelles ou de sélections à l'intérieur de ces populations tel que Bidi 17, Oued Zénati 368, Hedba 3, Mohamed Ben Bachir. Au cours de cette période, l'amélioration génétique est à ses débuts et se confinait dans la sélection massale. [18].

L'amélioration des populations locales était l'une des préoccupations de l'ITGC dont l'objectif était l'obtention de variétés mieux adaptées aux différentes conditions de cultures auxquelles elles sont soumises. Au cours des années 1980, l'ICARDA a participé au développement de la recherche des grandes cultures avec l'IDGC, devenant dès lors l'ITGC.

B. Acquis de l'amélioration du blé dur en Algérie

Les travaux de recherche menés au niveau de l'ITGC ont permis d'isoler un nombre important de variétés qui sont actuellement proposées pour la multiplication de semence en vue de leur adoption par la grande culture. Au volet variétal s'ajoute, la mise au point d'un itinéraire technique qui donne de bons résultats en production des semences. Ainsi des rendements de pointe allant jusqu'à 55 q/ha (variété de blé tendre HD 1220), voire 60 q/ha (variété Bousselam), ont été obtenus chez des producteurs de semences.

Actuellement 60 nouvelles variétés de blé dur, 49 de blé tendre, 32 d'orge, 20 de triticale et 12 d'avoine sont homologuées (Tableau 03). La figure 4 montre l'évolution du nombre de variétés des céréales (entre autre le blé dur) inscrites au catalogue officiel. La figure 4 montre l'aire d'adaptation variétés des céréales par zone de production [19]

Espèce	Var. homologues	Var. en production semences
Blé dur	60	22
Blé tendre	49	17
Orge	32	6
Avoine	12	5
Triticale	20	3
Total	173	53

Tableau 3 : Gamme variétale acquise par l'ITGC et mises en production des semences

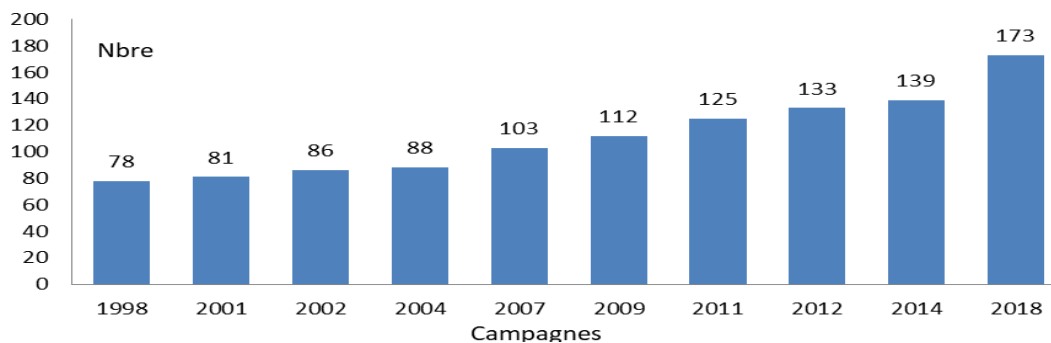


Figure 5 : Evolution du nombre de variétés de céréales inscrites au catalogue officiel [19]

1.6 Cycle de développement des céréales

1.6.1 Période végétative

a. Germination : correspond à l'entrée de la semence en vie active et au tout début de Croissance de l'embryon.

b. Levée : cette période est caractérisée par le nombre de feuilles de la jeune plante et leur stade de développement [20].

c. Tallage: le début du tallage est marqué par l'apparition de l'extrémité de la 1^{ère} feuille de la talle latérale puis d'autres talles naissent successivement, formant un plateau du tallage situé juste au niveau du sol. Le fin tallage est celle de la fin de la période végétative, elle marque le début de la phase reproductive [21].

1.6.2 Période reproductive

a. Montaison : ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement) [20].

b. Epiaison : est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille. [20]

c. Floraison : est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades :

- Le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint sa dimension définitive; (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin)
- Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement. (Le grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué). [20]

d. Maturité complète : la teneur en humidité atteint environ 20% ; le grain est mûr et prêt à

être récolté, c'est alors la période des moissons. [20]

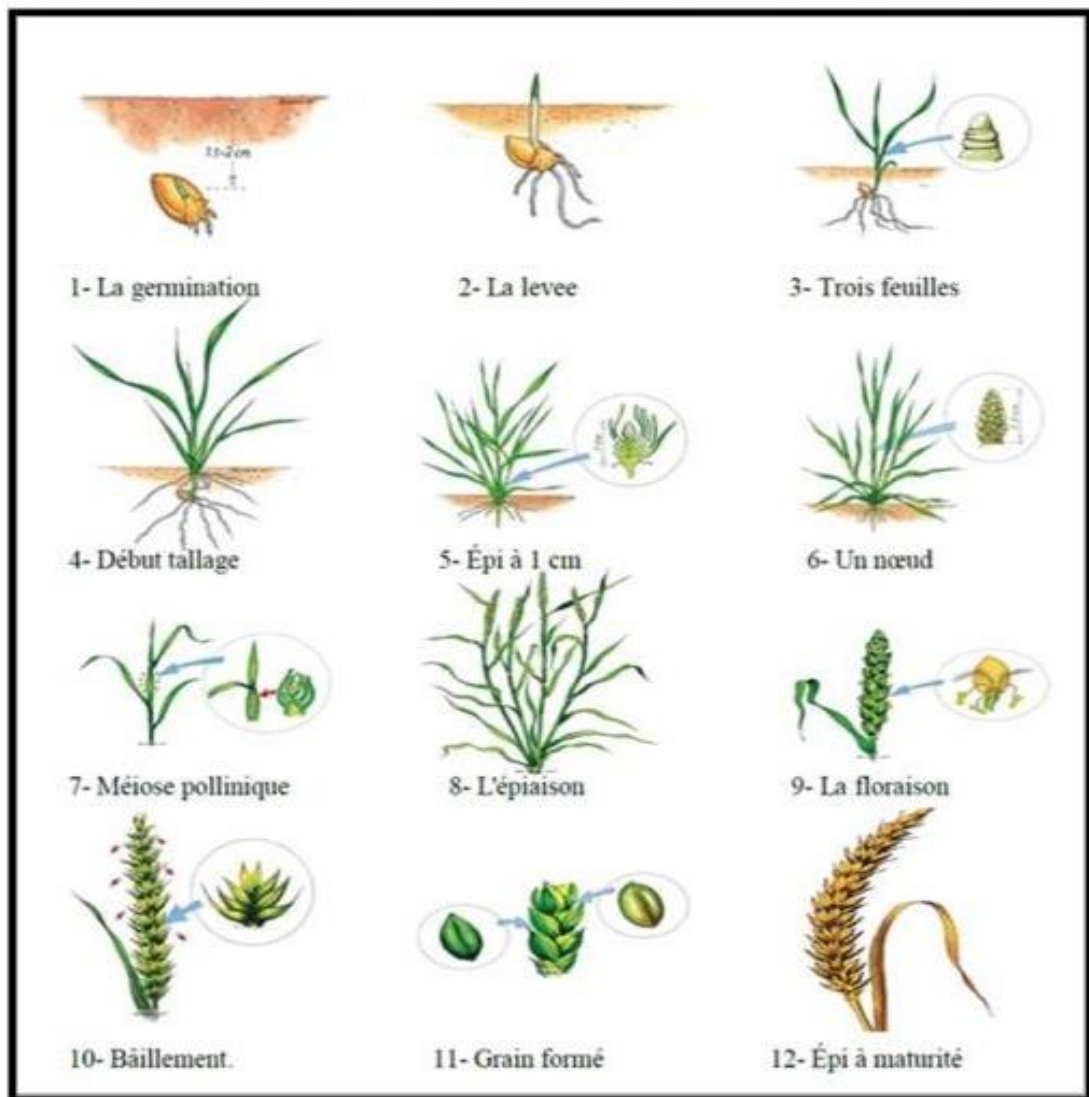


Figure 6 : cycle de développement des céréales [22] .

1.7 Exigences de la culture céréaliculture (le blé dur)

1.7.1 Climat

Les exigences de la céréaliculture vis-à-vis de trois composantes du climat : la température, l'eau, et l'ensoleillement d'après [23].

a. Besoins en températures

Les températures permettant une croissance optimale et un rendement maximum sont comprises entre 15 et 20°C.

En conditions méditerranéenne, les fortes températures au-dessous de 30°C sont stressantes, elles provoquent une levée trop rapide et parfois un déséquilibre entre la partie aérienne et la partie souterraine. Elles affectent aussi le poids final des grains en réduisant la durée de remplissage.

Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de l'organe ou de la plante.

Quant aux basses températures et la tolérance au froid, le blé dur a la capacité de supporter les températures inférieure à 4°C considérée comme la température minimale pour la croissance. Cependant, une seule journée à une température minimale de l'ordre de -4°C entre le stade épi 1 cm et un nœud, pénalise le nombre de grains par épi [24].

b. Besoins en eau

La sécheresse est l'une des causes principales des pertes de rendement du blé dur, qui varient de 10 à 80% selon les années. Les besoins en eau de la culture varient de 450 à 650 mm. Au début du cycle, ces besoins sont relativement faibles. C'est à partir de la phase épi 1 cm jusqu'à la floraison qu'ils sont les plus importants. En effet, la période critique en eau se situe de 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison [25].

De nombreuses recherches ont été faites dans ce contexte : une étude souligne l'effet pénalisant du manque d'eau sur la physiologie de la plante et les composantes du rendement montrant qu'un déficit hydrique survenant au stade jeune tallage réduit surtout la croissance en hauteur et le nombre d'épis par unité de surface.

Par contre, lorsque ce déficit survient aux stades gonflement ou anthèse, il réduit plutôt le poids des épis et le rendement en grain.

C'est cependant le stade juste avant épiaison qui demeure le plus sensible au déficit hydrique puisqu'une sécheresse survenant à ce stade peut réduire les rendements en grains d'environ 70% [26].

c. Eclaircissement

Durée du jour et intensité lumineuse :

Une certaine durée de jour (photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du stade épi 1 cm précédant la montaison. Quant à l'intensité lumineuse, et à l'aération, elles agissent directement sur la photosynthèse, dont dépend à la fois la résistance des tiges à la verse et le rendement [23].

1.7.2 Sol

Les Céréales s'accoutument avec des terres bien différentes, si l'on emploie les fumures et les variétés appropriées. Les caractéristiques qui font la bonne terre sont :

- Une texture fine : limono-argileuse, qui assurera aux racines fasciculées des céréales une grande surface de contact, et une bonne nutrition.
- Une structure stable : qui résiste à la dégradation par les pluies.

1.7.3 Semis

D'après la date de semis est un facteur limitant vis à vis du rendement, c'est pourquoi la date propre à chaque région doit être respectée

Sérieusement pour éviter les méfaits climatiques, il peut commencer dès la fin d'octobre avec un écartement entre les lignes de 15 à 25 cm et une profondeur de semis de 2,5 à 3 cm. La dose de semis varie entre 200 à 225 Kg /ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinatif et la fertilité du sol [23]

1.7.4 Irrigation

La céréaliculture a des exigences en eau de l'ordre de 10000 mm/an dans les régions sahariennes, bien répartis sur le cycle de développement. Une bonne alimentation en eau est particulièrement importante entre l'épiaison et la floraison et entre les stades "grains laiteux" et "grain pâteux" [27].

1.7.5 Fertilisation

La fertilisation azoto-phosphorique est très importante dans les régions sahariennes dont les sols sont squelettiques, elle sera en fonction des potentialités de la variété [28] .

a. L'azote :

C'est un élément très important pour le développement de céréaliculture estime qu'il faut 3Kg d'azote pour produire 1 quintal de blé dur. Jusqu'au début de la montaison, les besoins sont assez modestes 40 à 45 Kg /ha puis jusqu'à la floraison tout l'azote est absorbé, il faut que la plante ait dès le début de la montaison tout l'azote nécessaire à son développement . Les besoins en azote de la culture lors du gonflement et à la floraison sont en effet extrêmement importants; c'est à ce moment que la matière végétale augmente le plus vite et que se détermine le nombre d'épis. A la récolte, plus de 75 % de l'azote total de la plante se trouve dans les grains [28].

b. Phosphore :

Il favorise le développement des racines, sa présence dans le sol en quantités suffisantes est signe d'augmentation de rendement. Il intervient dans la plupart des processus physiologique (photosynthèse ...etc.) et favorise la croissance, la précocité, et

la résistance au froid [29].

c. Potassium

Le potassium est un élément important des cellules végétales. Il influence aussi l'assimilation de l'eau par les racines en plus de jouer un rôle dans la respiration et la photosynthèse. Les teneurs en glucides et en amidon de cultures comme la pomme de terre et la tomate peuvent être influencées par les concentrations de potassium. La plupart des cultures ont besoin de parts égales de potassium et d'azote [30].

Chapitre 02
Pompage et irrigation
des céréales

2.1 Ressources d'eau dans le monde

2.1.1 Eaux souterraines

Il s'agit de l'eau qui est présente dans les pores des roches et qui provient de différentes sources telles que la pluie, les rivières, la fonte des glaces et l'eau absorbée depuis la surface de la terre. Cela forme la recharge des nappes phréatiques. Les eaux souterraines sont cruciales pour la vie et les moyens de subsistance des populations rurales et urbaines. Les ressources en eaux souterraines sont généralement abondantes et de bonne qualité ou adaptées à leur usage prévu, et sont présentes dans la plupart des régions. [31] Les systèmes d'eau souterraine sont alimentés par les précipitations et les eaux de surface, et se déversent dans les cours d'eau, les océans ou s'évaporent dans l'atmosphère lorsqu'elles ne sont pas utilisées. Les populations rurales et bédouines dépendent largement de l'agriculture et prélèvent environ 60 % de l'eau souterraine, tandis que les secteurs local et industriel se partagent le reste. Dans certains pays, comme l'Estonie, l'Islande et la Mongolie, les eaux souterraines couvrent plus de 75 % des besoins en eau , La figure 2.1 montre une boucle qui résume les étapes de la formation des eaux souterraines [32]

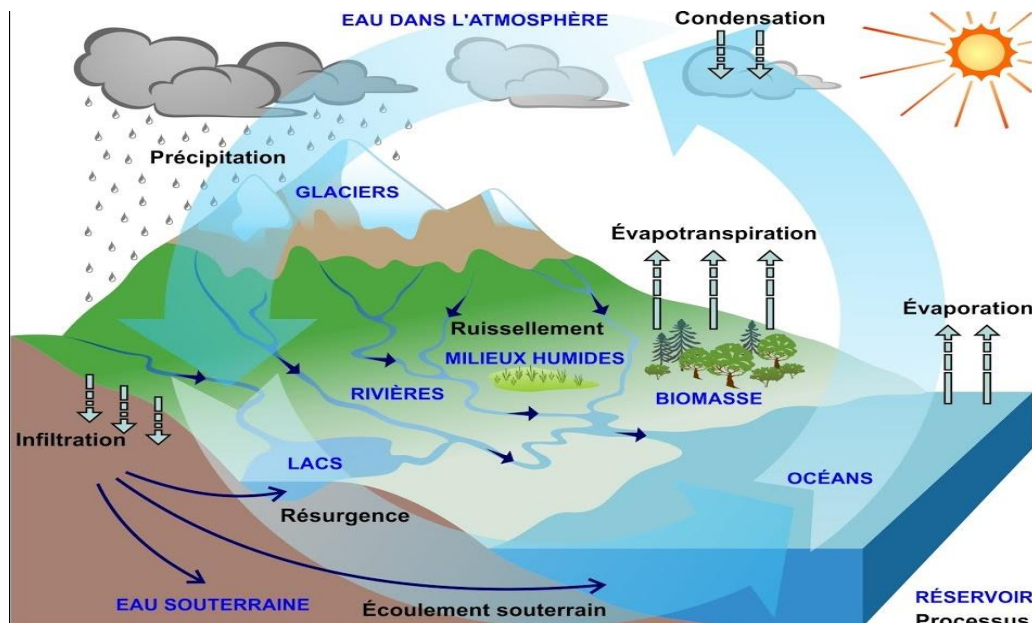


Figure 7 : Étapes de formation des eaux souterraines [33].

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

2.1.2 Eau de pluie

Selon la jurisprudence française de la Cour de cassation, les eaux pluviales comprennent les eaux de pluie, de fonte des neiges, de grêle et d'infiltration. La gestion des eaux de pluie consiste à récupérer et stocker l'eau de pluie pour une utilisation humaine, en utilisant des méthodes simples comme des bidons et des pots, ainsi que des techniques sophistiquées de collecte et de stockage. La pluie peut être utilisée à de nombreuses fins. [34]

- L'irrigation des jardins et des espaces verts.
- L'alimentation en eau des piscines et des spas.
- L'approvisionnement en eau des piscines et des spas.
- Réserve d'eau en cas d'incendie.

2.1.3 Barrage

a. Définition de barrage

Les barrages sont des structures qui sont construites pour réguler le débit d'un cours d'eau et stocker de l'eau à des fins diverses, telles que la gestion des crues, l'irrigation, la production d'énergie hydroélectrique, l'aquaculture, et la création de réserves d'eau potable. Les barrages sont des ouvrages complexes qui impliquent des interactions entre l'eau, l'air, les sédiments et la structure elle-même. Les barrages de castors sont des exemples de constructions animales qui modifient les cours d'eau à leur usage. [35]

b. Eléments constitutifs des barrages

Le barrage est un ouvrage complexe qui se compose de plusieurs éléments constitutifs :

- Le réservoir du barrage : c'est la zone en aval du barrage qui est retenue par l'ouvrage et où l'eau s'accumule.
- L'évacuateur de crues : il permet d'écouler le surplus d'eau du réservoir en cas de crue.
- Les ouvrages de prise d'eau : ils permettent de prélever de l'eau depuis le réservoir.
- Les ouvrages de contrôle : ils assurent la régulation du débit de l'eau dans le barrage.
- Les ouvrages de drainage du corps du barrage : ils permettent de drainer l'eau infiltrée dans le barrage.
- Les ouvrages de dissipation d'énergie en amont : ils permettent de réduire la vitesse de l'eau en amont du barrage pour éviter l'érosion des berges.

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

2.2 Ressources de l'eau en Algérie

Les ressources en eau renouvelable sont estimées à environ 19 milliards de mètres cubes par an (Tableau 4), soit environ 450 mètres ne cubes par personne par an. Cela est inférieur aux 500 mètres ne cubes par personne recommandés annuellement et reconnus comme le seuil de pénurie d'eau, indiquant une crise de l'eau [36]. Les ressources en eau présentent une grande disparité [37].

Ressources en eau	Volume (milliards de mètres cubes)	Région
Eaux de surface renouvelables	11	Nord et Sud
Eaux souterraines renouvelables	2.5	Nord
Eaux souterraines non renouvelables	6.1	Sud

Tableau 4: Disponibilité des ressources en eau [37].

2.2.1 Eaux de surface

L'Algérie est divisée en cinq bassins hydrographiques principaux, comprenant un total de 17 réservoirs d'eau, principalement concentrés dans le nord . Les ressources en eau de surface renouvelables sont estimées à 11 milliards de mètres cubes. [38] Les débits d'eau de surface sont faibles dans le bassin du désert, avec un total de 0,5 milliard de mètres cubes par an. En revanche, le nord dépend principalement des eaux de surface, avec environ 7 milliards de mètres cubes collectés dans plusieurs grands et moyens barrages. Les écoulements de surface se produisent sous forme d'inondations rapides et puissantes qui alimentent les barrages pendant la courte saison des pluies, qui s'étend généralement de décembre à février. [39]

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

2.2.2 Eaux souterraines

Les ressources en eaux souterraines sont estimées à environ 7,6 milliards de mètres cubes, mais la demande est beaucoup plus élevée dans le nord du pays. Les bassins d'eau souterraine dans le grand désert répondent à environ 96% de la demande en eau dans le sud. [40]

Les bassins d'eau souterraine dans la région montagneuse du nord sont peu profonds et sont exploités à l'aide de puits et de sources. Bien que ces bassins soient naturellement rechargés à un rythme de 1,9 milliard de mètres cubes par an, le total des prélèvements d'eau est estimé à 2,4 milliards de mètres cubes par an. La principale raison de ce déficit est le manque de gestion efficace des eaux souterraines, lié à une faible connaissance de la ressource, à un grand nombre de puits illégaux et à un manque de coordination entre les autorités de l'eau. [41] .

Les eaux souterraines dans le sud sont principalement des eaux fossiles avec une capacité de renouvellement très faible. Les ressources en eau se trouvent dans deux bassins principaux superposés, le Complexe Terminal et l'Intercluse Continentale, qui constituent le système aquifère du nord-ouest du grand désert, traversant les frontières. Le Complexe Terminal (avec une profondeur allant de 100 à 400 m) et l'Intercluse Continentale (avec une profondeur allant de 1000 à 1500 m) renferment d'énormes réserves estimées entre 30 000 et 40 000 milliards de mètres cubes .Les eaux souterraines profondes sont principalement extraites à l'aide de puits profonds, tandis que les eaux des bassins peu profonds sont extraites à l'aide du système traditionnel de qanat. [42]

2.3 Moyens d'exploitation des ressources souterraines

2.3.1 Forage

a. Définition

Un puits ou un forage est une structure de captage verticale permettant l'extraction de l'eau d'une nappe aquifère située dans les interstices ou les fissures d'une formation géologique souterraine. L'exploitation de cette ressource en eau peut être effectuée à l'aide d'un simple récipient tel qu'un seau, ou plus couramment à l'aide d'une pompe manuelle ou motorisée pour remonter l'eau jusqu'à la surface.[43]

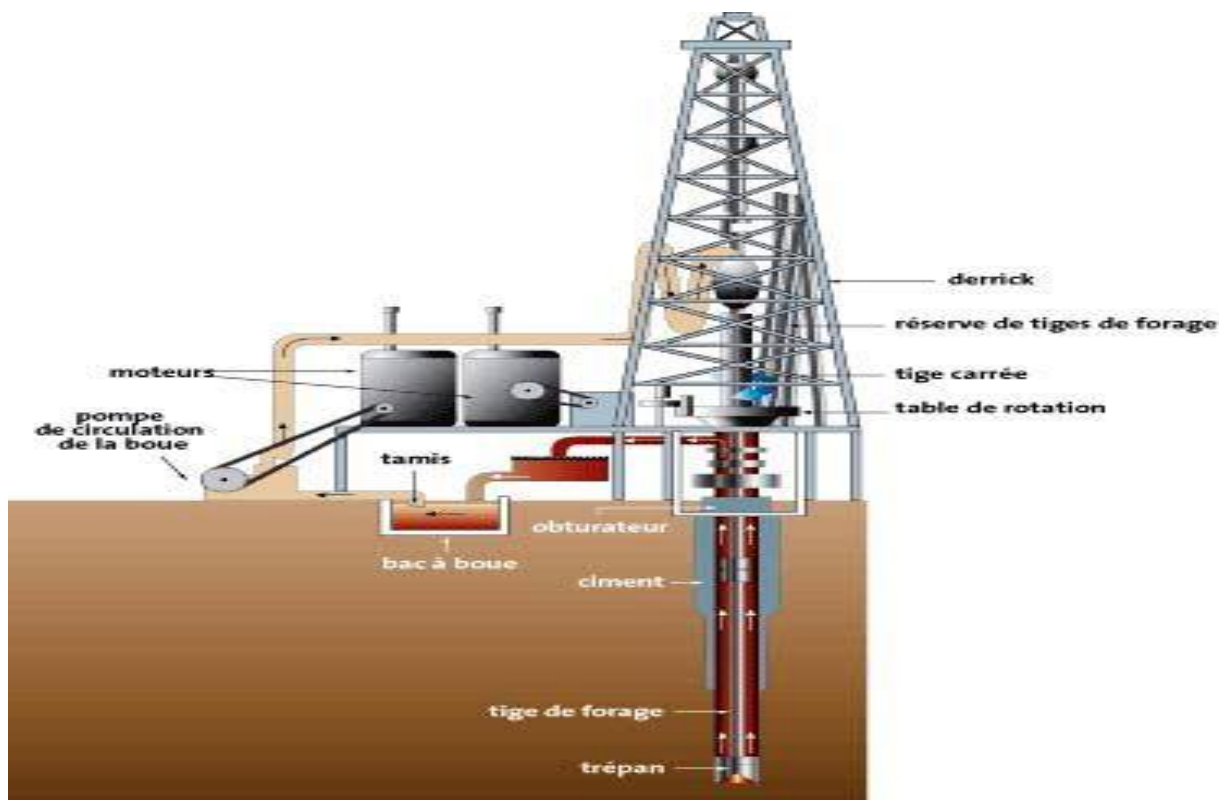


Figure 8 : Composants de machine de forage de puits [44].

b. L'objectif de réalisation des forages

La réalisation d'un ouvrage répond en premier lieu à un besoin spécifique, un usage pour lequel il est destiné. Ces utilisations peuvent être diverses et inclure :

- La production d'eau pour la consommation humaine et animale (à travers des captages publics, des puits domestiques, etc.) .
- L'irrigation des cultures .
- Les prélèvements industriels (pour les eaux de processus, de refroidissement, etc.) .
- La surveillance des nappes (à travers l'utilisation de piézomètres et de qu'altimètres) .

c- Différents types de forage

Le forage est une technique utilisée dans l'industrie pétrolière pour explorer et extraire les réserves d'hydrocarbures présentes dans le sous-sol. Il existe plusieurs types de forage, notamment, Voir figure 9 [43]

Forage vertical : qui permet de creuser un puits à la verticale de la zone où le pétrole est susceptible d'être présent dans le sous-sol.

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

Forage dévié : qui permet de forer plusieurs puits depuis un même site de forage. Cette méthode permet de limiter le nombre de sites en surface et d'utiliser les installations existantes.

Forage horizontal : qui permet d'atteindre plusieurs cibles dans le sous-sol depuis un même site et de maximiser la surface d'échange avec le réservoir, réduisant ainsi le nombre de forages nécessaires.

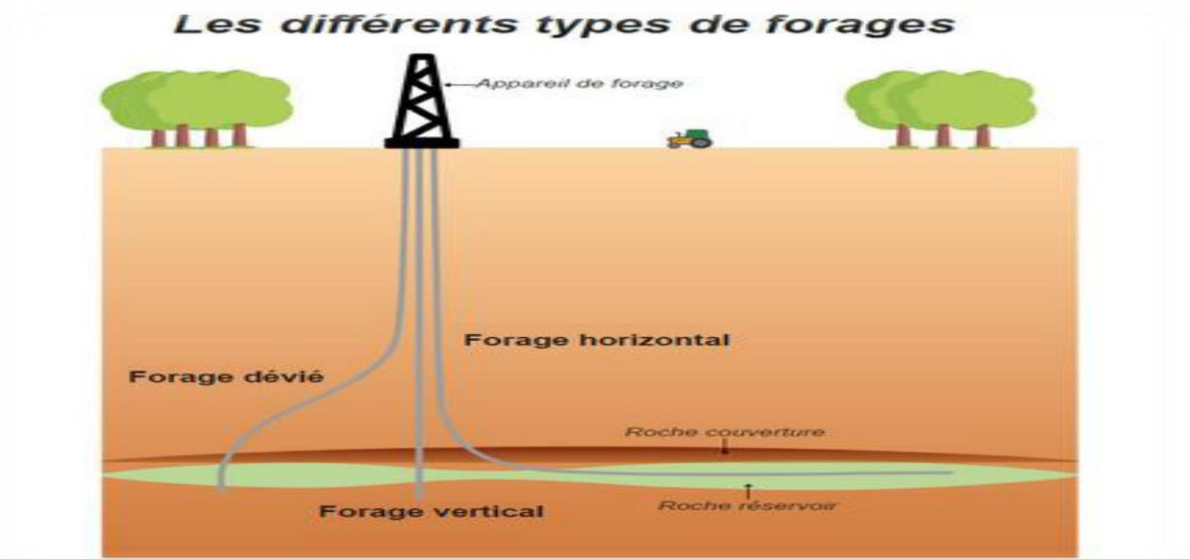


Figure 9 : Les différents types de forages [35].

d. Fonctionnement d'un forage

L'exploration et l'extraction d'hydrocarbures nécessitent la technique de forage, qui consiste à creuser profondément dans le sous-sol en traversant différentes couches géologiques. Une plateforme est installée en surface pour accueillir l'appareil de forage et ses outils, et la boue est utilisée pour refroidir l'outil de forage, faciliter le creusement et faire remonter les débris de roche. La boue est constamment recyclée dans un circuit fermé. Le forage se fait en trois sections profondes, chacune avec un tube en acier descendu dans le puits pour l'étanchéité horizontale et la consolidation du trou foré. L'espace entre le tube et la roche est cimenté pour assurer l'étanchéité verticale du puits, protégeant ainsi la qualité des eaux souterraines et garantissant la solidité et la durabilité de l'ouvrage [43]

e. Facteurs affectant l'établissement de puits

A Tarîqa, des puits sont construits, certains sont simples et d'autres complexes, incluant des puits artésiens qui sont complets et ne contiennent pas d'eau. Un grand équipement mécanique est utilisé pour forer des trous profonds dans des sols rocheux, en particulier pour les puits profonds atteignant des profondeurs de plusieurs dizaines de mètres

La méthode de construction dépend de nombreux facteurs, dont le plus important est :

- La distance verticale entre la nappe phréatique et la surface du chène doit être mesurée.
- Les composants et propriétés du sol doivent être analysés depuis la surface du chène jusqu'au fond des couches portantes.
- Le taux de prélèvement d'eau requis doit être déterminé.
- Les sources possibles d'infiltration dans la zone doivent être identifiées. Si le puits d'eau potable est situé à plus de 34 mètres de la fosse septique, l'emplacement du puits doit être éloigné d'au moins 38 mètres par rapport à celle-ci. Si le puits d'eau potable se trouve sous le courant, une analyse de l'écoulement des eaux souterraines doit être effectuée et la distance entre le puits et le courant ne doit pas être inférieure à 68 mètres.
- L'emplacement des puits proposés doit être examiné par rapport aux puits adjacents afin d'éviter tout chevauchement entre les puits.

2.3.2 Pompage

Une gamme étendue de pompes solaires est disponible, offrant une hauteur manométrique totale allant jusqu'à 200 m et des débits pouvant atteindre 250 m³/jour ou plus. Les technologies de pompage solaire continuent de se perfectionner. Il est crucial d'utiliser la pompe la plus efficace possible, car la différence de coût entre deux pompes de rendement différent est minime, comparée au coût supplémentaire d'une surface de panneaux photovoltaïques plus grande.. [45]

a. Pompe centrifuge

La pompe immergée centrifuge est le type de pompe le plus fréquemment utilisé dans les forages. Une turbine tourne à une vitesse très élevée dans un boîtier appelé étage. La turbine expulse l'eau radialement vers l'extérieur du boîtier grâce à la force centrifuge. Si la pression souhaitée dépasse la capacité d'un étage, des étages supplémentaires sont ajoutés (pompe centrifuge multi-étages). La figure 2.4 montre la structure structurelle d'une pompe centrifuge , La figure 2.5 montre également ses composants. [45]

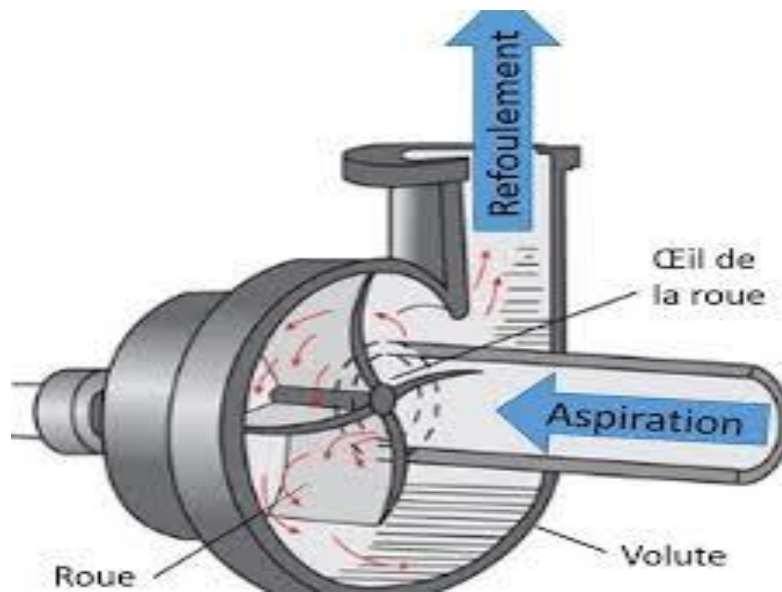


Figure 10 : Pompe centrifuge à plusieurs étages [46].

Pompe immergée

Une pompe submersible est conçue pour fonctionner avec l'ensemble du groupe, composé d'une pompe et d'un moteur, totalement immergés dans le liquide ou le milieu à traiter. Ce type de pompe comprend un moteur hermétiquement scellé et étroitement associé au corps de la pompe. Généralement, le boîtier entourant le moteur est rempli d'huile pour le protéger contre les dommages en empêchant l'entrée de tout liquide susceptible de provoquer un court-circuit. Lorsque la pompe est submergée dans l'eau, il y a une pression positive du liquide à l'entrée de la pompe. Cette condition peut créer une plus grande efficacité en raison de la réduction de l'énergie requise pour transporter le liquide le long du trajet liquide dans la pompe.

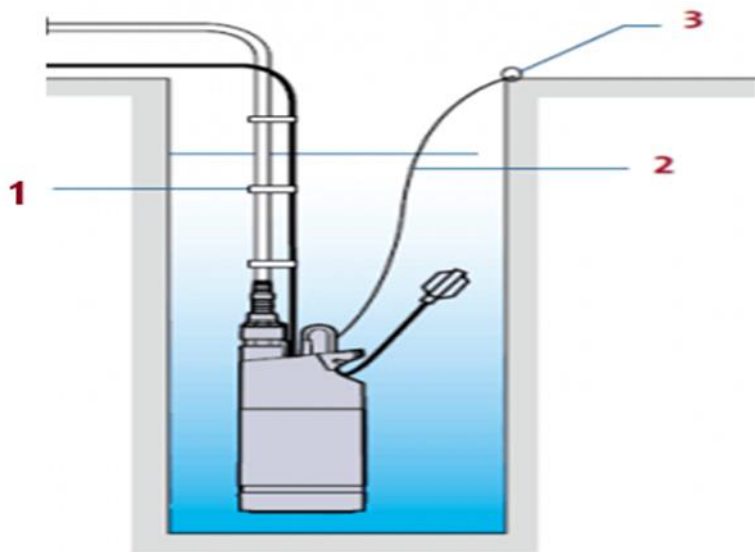


Figure 11 : Pompe immergée.

Avantages et inconvénients des pompes submersibles

Les pompes submersibles offrent plusieurs avantages clés par rapport aux autres types de pompes :

Auto-amorçage : Elles n'ont pas besoin d'être amorcées. Elles sont auto-amorçantes car elles fonctionnent sous la surface du liquide pompé.

Cavitation : Étant complètement immergées, les pompes submersibles ne sont pas sujettes à la cavitation. Cela peut être un problème avec les pompes centrifuges et d'autres types de pompes à déplacement positif.

Efficacité : Lorsque la pompe est submergée dans l'eau, il y a une pression positive du liquide à l'entrée de la pompe. Cela peut augmenter l'efficacité en raison de la réduction de l'énergie requise pour déplacer le liquide le long du trajet liquide dans la pompe.

Bruit : Étant immergées, ces pompes sont très silencieuses dans la plupart des applications.

Il y a également quelques inconvénients qui doivent être pris en compte :

Accessibilité : Il est souvent difficile d'accéder facilement aux pompes submersibles pour les inspections ou la maintenance de routine, en particulier dans les applications de puits profonds. Cela rend difficile la réalisation d'une maintenance préventive, et dans de nombreux cas, les pompes sont laissées en service jusqu'à ce qu'elles tombent en panne et doivent être remplacées.

Corrosion : Une exposition prolongée à n'importe quel type de liquide entraînera une corrosion. Les pompes submersibles sont souvent utilisées pour manipuler des liquides

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

corrosifs et abrasifs. Les joints d'étanchéité sont particulièrement sujets à la corrosion, ce qui entraîne des fuites et des dommages au moteur. Pour faire face à la corrosion, ces pompes doivent être fabriquées à partir de matériaux résistants à la corrosion, ce qui peut les rendre plus coûteuses que les autres types de pompes ayant la même capacité.

Dans la mesure du possible, les pompes submersibles doivent être inspectées aussi souvent que possible. De cette manière, toutes les réparations nécessaires peuvent être effectuées pour prolonger la durée de vie de la pompe. [47]

b. Pompe à vis hélicoïdale excentrée

La pompe à vis hélicoïdale excentrée est un autre type de pompe souvent utilisé en tant que pompe immergée. Elle est composée d'un rotor en spirale, généralement en acier inoxydable, qui tourne à l'intérieur d'un stator hélicoïdal souple en caoutchouc résistant à l'usure causée par le frottement du métal. Les surfaces hélicoïdales du rotor forcent l'eau à se déplacer de manière positive lorsque le rotor tourne. Le débit de sortie de l'eau est proportionnel à la vitesse de rotation, ce qui le rend facilement ajustable. Ce type de pompe ne nécessite pas de clapet anti-retour car le rotor et le stator en font office. Le débit d'eau maximal de cette pompe est d'environ 3 m³/h (= 18 m³/jour) et elle est uniquement adaptée pour des petits apports en eau. . [45]

2.4 Ressources d'électricité

2.4.1 Réseau électrique

Les réseaux électriques sont composés de tous les équipements destinés à la production, au transport, à la distribution et à l'utilisation de l'électricité, depuis la centrale de production jusqu'aux clients les plus éloignés.

Les réseaux électriques ont pour fonction d'interconnecter les centres de production tels que les centrales hydrauliques, thermiques... avec les centres de consommation (villes, usines...) [48]

2.4.2 Groupe électrique

Un générateur électrique est un dispositif produisant un courant alternatif, entraîné par un moteur thermique, récupérant généralement un courant monophasé à une fréquence de 50/60 Hz. Les modèles de groupes électrogènes existent également en trois phases. Le groupe électrogène peut être soit fixe soit mobile. [49]

Groupes électrogènes pour divers applications industrielles, télécoms, hôtelleries, hôpitaux, supermarché, centre d'appel, travaux publiques.

2.4.3 Photovoltaïque (PV)

a. Définition

Les panneaux photovoltaïques ou l'énergie photovoltaïque sont un système électro-optique qui utilise l'énergie solaire pour produire de l'électricité à faible coût. Les villes ont commencé à les utiliser largement, surtout après l'augmentation significative des prix du pétrole.

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ : Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800° K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en [50]

- 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$).
- 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$).
- 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

b. Panneau solaire

Pour optimiser le rendement d'un système photovoltaïque en augmentant l'énergie solaire reçue, il est essentiel de maximiser l'efficacité de la capture en choisissant l'inclinaison appropriée de la surface des modules photovoltaïques. Ainsi, les panneaux solaires doivent être orientés perpendiculairement au soleil vers le sud dans l'hémisphère nord, et vers le nord dans l'hémisphère sud. Les capteurs solaires doivent être installés sur des toits ou au sol, en évitant les zones ombragées, et doivent être inclinés à un angle (β) optimal pour obtenir un rendement énergétique maximal.



Figure 12 : Panneau solaire [51].

c. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsque les photons porteurs d'énergie ($E_{ph} = h\nu$) du rayonnement solaire atteignent la surface de la cellule solaire, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction. Si cette énergie est suffisante, elle peut exciter les électrons de la bande de valence du matériau semi-conducteur, les faisant passer à la bande de conduction et créant des paires « électron-trou ». Les électrons (charges N) et les trous (charges P) sont alors séparés par une barrière de potentiel créée par un champ électrique. Si une charge est connectée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone N migrent vers les trous de la zone P à travers la connexion externe, créant une différence de potentiel et un courant électrique qui circule. Ce phénomène est à l'origine de la production d'électricité par les cellules solaires (Figure 13) [52].

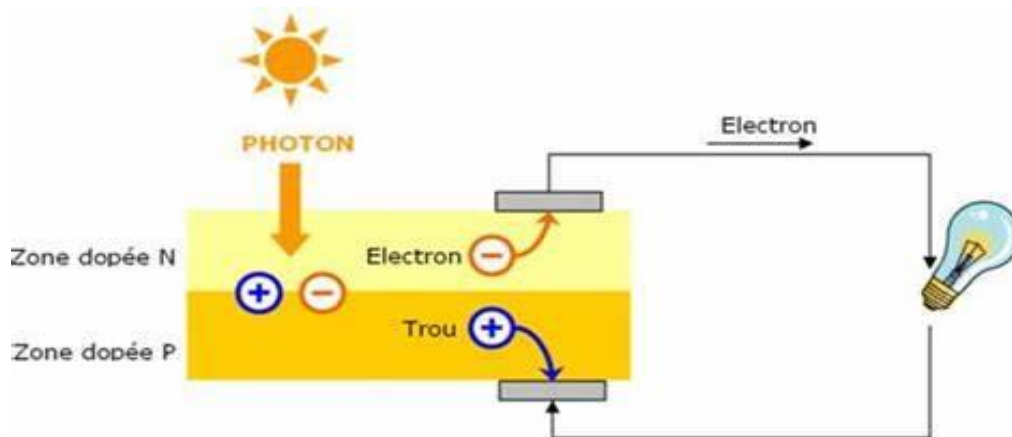


Figure 13 : Principe de la conversion photovoltaïque [53].

d. Pompage photovoltaïque

La méthode de pompage « au fil du soleil » permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple, plus fiable et moins coûteux qu'un système utilisant des batteries pour stocker de l'énergie d'abord. En effet, dans cette première technique, c'est l'eau elle-même qui est pompée et stockée lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement. On parle alors d'un stockage Hydraulique. L'eau est stockée dans un réservoir à une hauteur au-dessus du sol pour qu'elle soit, au besoin ensuite, distribuée par gravité. Il faut bien signaler ici que le réservoir d'eau peut souvent être construit localement. En plus, il ne requiert pas un entretien complexe et peut être réparé localement. La capacité de stockage peut varier d'un à plusieurs jours selon les modèles.

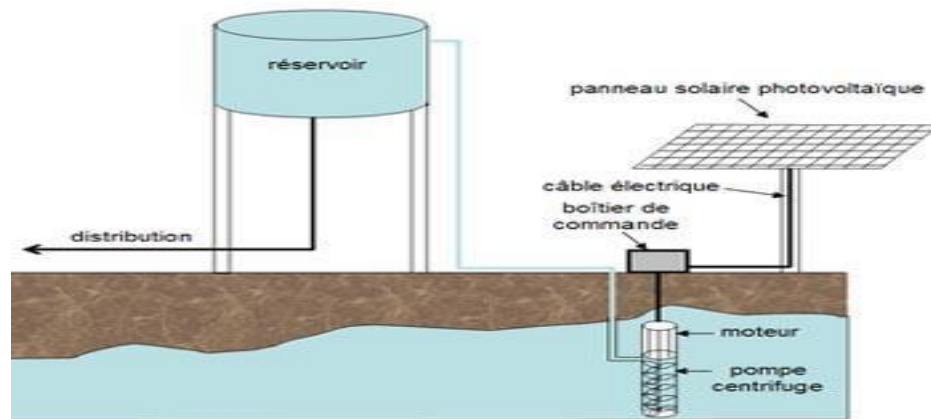


Figure 14 : Pompage d'eau photovoltaïque.

2.5 Irrigation des céréales

La pratique de l'irrigation se réfère à la fourniture artificielle et à la distribution systématique de l'eau sur des terres agricoles. Elle a pour but de compenser le manque ou l'insuffisance de précipitations, en particulier dans le but d'améliorer le rendement des cultures, mais elle nécessite de grandes quantités d'eau. Il est important de noter que l'agriculture est de loin le plus grand consommateur d'eau dans le monde, avec 69% des prélèvements totaux, devant l'industrie et les services. [54]

2.5.1 Pulvérisation axiale

Le pivot traditionnel est constitué d'une seule conduite d'arrosage de diamètre généralement de 60 mm, composée de tuyaux en acier léger galvanisé, suspendus au-dessus du sol par de longues structures métalliques et des câbles et posés sur de tour mobile sur roues.

Une extrémité de la conduite est raccordée à un mécanisme à pivot implanté au centre de la zone à irriguer ; l'ensemble de la conduite tourne autour du pivot. [50]

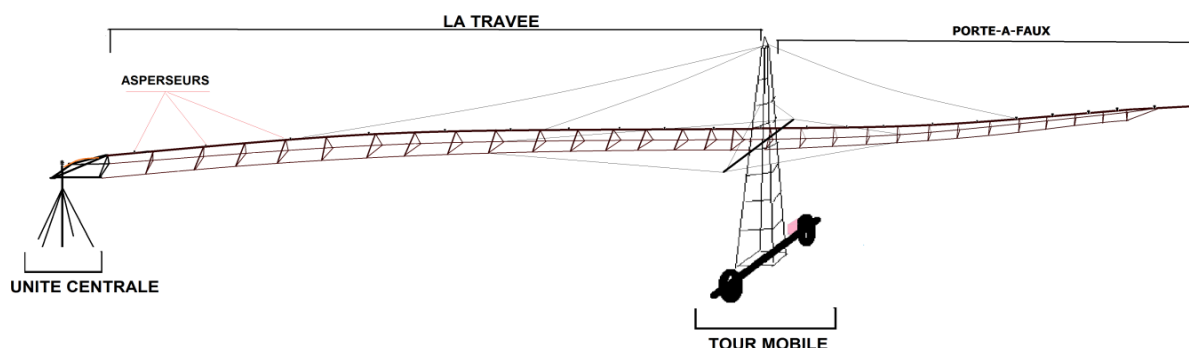


Figure 15 : Schéma du pivot traditionnel [50].

Chapitre 2 Pompage d'eau et irrigation des céréales

a. Avantages des systèmes

- Économie d'eau.
- Besoins en main d'œuvre généralement faible.
- Possibilité d'arroser tous les types de sol.
- Possibilité de contrôle précis des doses appliquées.
- Une bonne efficacité d'arrosage à la parcelle.
- Le matériel gêne rarement les façons culturales (constitué de structures mobiles, adaptables à tous les cas particuliers).

b. Inconvénients des systèmes

- Exige un certain niveau de compétence de la part de l'agriculteur .
- Dépense énergétique élevée.
- Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées.
- Mauvaise adaptation aux sols « battants ».
- Possibilités réduites pour l'arrosage avec des eaux résiduaires.
- Déplacement du matériel difficile dans les zones à cultures hautes .

2.5.2 Irrigation les espaces

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches) [50] .



Figure 16: Système d'arrosage de l'espace pour le grain [55].

a. Avantages des systèmes

- Moindre coût.
- Équipement simple.
- Faible consommation d'énergie.
- Ne souffre pas de l'effet du vent.

b. Inconvénients du système

- Consommer une grande quantité d'eau.
- Mauvaise qualité de fabrication.

2.5.3 Irrigation goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation [50].



Figure 17 : Système d'arrosage goutte à goutte pour céréales [56].

a. Avantages du système

- Contrôle strict de la quantité d'eau fournie aux plantes.
- Les systèmes semi-automatisés ou automatisés qui nécessitent moins de travail pour gérer le système.
- Réduit l'incidence des ravageurs et des maladies et le développement des mauvaises herbes.
- Permet la culture dans des zones avec des affleurements rocheux et/ou des pentes raides.
- Excellente uniformité d'application de l'eau.

b. Inconvénients du système

- Dommages aux tuyaux utilisés dans le processus d'irrigation goutte-à-goutte en raison de l'exposition au soleil.
- Le coût initial élevé du projet d'irrigation goutte-à-goutte.
- Tuyaux bouchés par manque d'entretien ou par contamination de l'eau utilisée pour l'irrigation.

2.6 Choix de système d'irrigation

En comparant les différents types d'irrigation, on constate que l'irrigation de goutte-à-goutte est la meilleure option pour irriguer les céréales (blé dur) car elle est relativement moins coûteuse et plus rationnelle en matière de consommation de l'eau d'irrigation. Mais, la mise place du tuyau le long du champ des céréales est très délicat, ainsi ils poussé des difficultés dans les opérations de labours Récolte. Cette préoccupation nécessite une étude approfondie pour concevoir un système innovant qui sera plus commode a l'irrigation des céréales afin de contribuer au développement de la production, Le troisième chapitre ci-dessous explique ce.

Chapitre 03
Dimensionnement de
système d'irrigation

3.1 Introduction

Selon des études antérieures et une recherche sur le blé et le développement de systèmes d'irrigation dans des conditions climatiques difficiles rencontrées par les agriculteurs dans le désert et dans le nord (les régions agricoles de Khemis Miliana), nous avons observé plusieurs différences entre les deux régions, en particulier dans le désert algérien. Nous sommes confrontés à des problèmes d'approvisionnement en eau en raison de la consommation d'une proportion de l'eau en raison de la quasi-absence de pluie. De plus, la qualité du sol est très perméable en comparaison avec le nord de l'Algérie, qui contient un sol argileux économique en eau et riche en différents types d'engrais naturels, contrairement au sol désertique qui nécessite un apport manuel d'engrais tels que les déchets animaux (fumier de volaille et de bovins) ainsi que divers produits chimiques agricoles. En raison de l'augmentation de la température dans les terres agricoles désertiques, nous sommes confrontés au problème de l'évaporation, qui constitue un obstacle pour les agriculteurs. Par conséquent, nous cherchons à développer un système d'irrigation qui surmonte tous les obstacles mentionnés précédemment. Nous avons donc abordé la quantité d'eau consommée par le blé dans deux systèmes d'irrigation en Algérie : le système d'irrigation complémentaire dans le nord et les systèmes d'irrigation traditionnels dans le désert, puis nous avons comparé les résultats et les différences.

3.2 Irradiation globale journalière mensuelle sur une surface inclinée

La méthode de dimensionnement utilisée est basée sur les calculs des valeurs moyennes journalières mensuelles de l'irradiation solaire disponible à l'inclinaison β des modules photovoltaïques (PV) par rapport au plan horizontal. Ce dernier doit se faire de manière à optimiser la conversion de l'énergie solaire en électrique. Les méthodes du calcul ont été expliquées dans le premier chapitre

Voici les valeurs du rayonnement solaire dans les trois modèles dans le tableau suivant :

$G(\beta)F$: Les valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle pour une inclinaison égal à l'altitude (Angle d'inclinaison $\beta = \text{Latitude}$) [57].

$G(\beta)M$: Les valeurs de l'irradiation globale journalière mensuelle pour une inclinaison optimale $\beta = \beta_m$ (nov=58 et dec=61 et jan=60 et fev=51 et mars=35 et avril=17) [57].

$G(\beta)S$: L'irradiation globale journalière mensuelle pour une inclinaison optimale saisonnière.

Angle d'inclinaison saisonnière : sur le tableau ci-après, nous avons présentés les angles d'inclinaison moyenne calculée par saison (hiver, printemps, été et automne) avec l'énergie

correspondante (L'automne=45 et L'hiver=57 et Le printemps=17) [57].

Mois	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril
irradiation (wh/m ² .j)						
G(B)F	5538	4618	5157	6158	6043	6394
G(B)M	6049	5167	6252	6459	6056	6531
G(B)S	5933	5157	6245	6431	5835	6531

Tableau 5 : Valeurs d'irradiation pour trois modes [57].

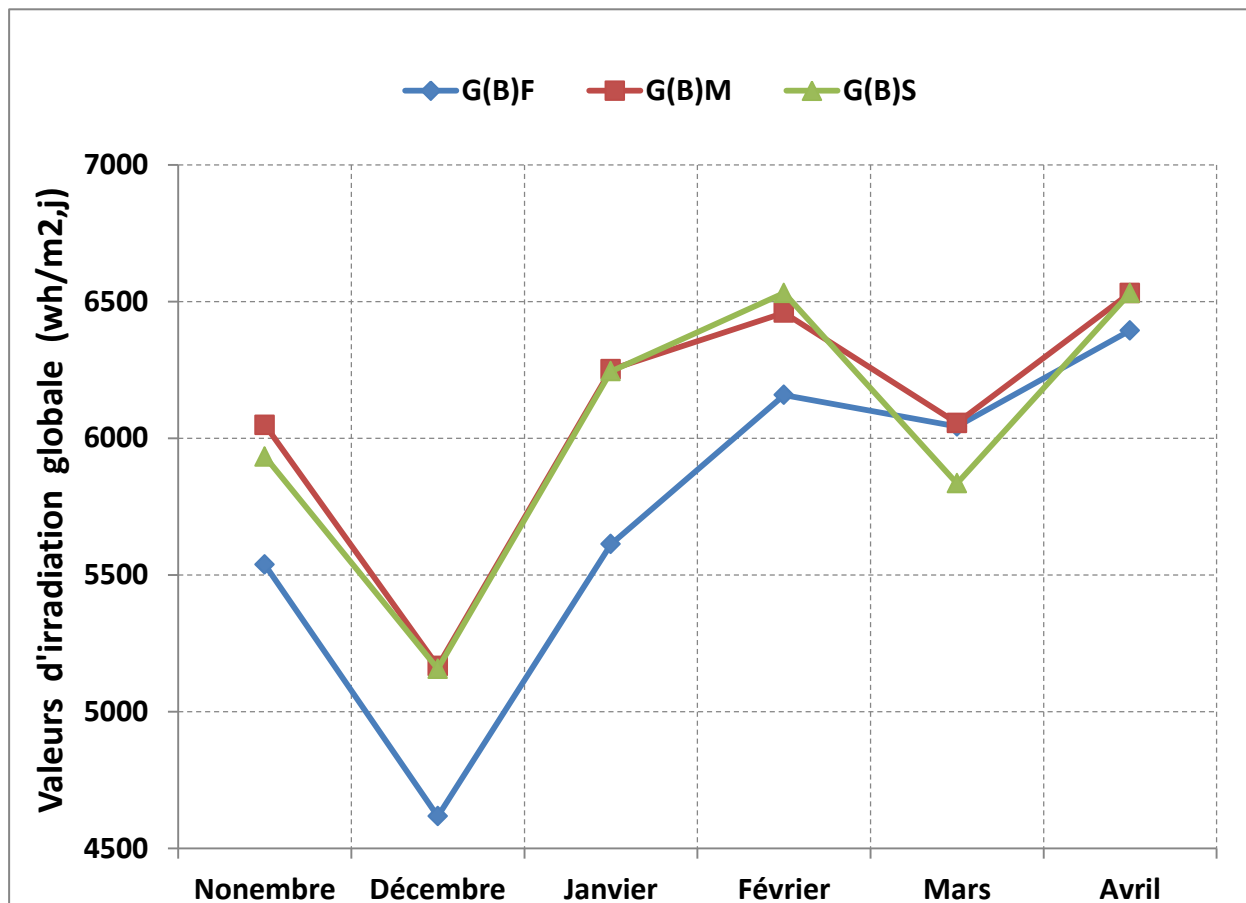


Figure 18 : Rayonnement solaire pour chaque type de changement d'angle de plaque

3.3 Pompage d'eau

Pour pomper l'eau avec un système photovoltaïque, l'énergie solaire est consommée en « temps réel » ; On parle alors d'un « pompage au fil du soleil ». Une petite quantité est stockée dans un réservoir pour des utilisations limitées en cas d'urgence [57].

3.3.1 Notions hydrauliques

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

Les stations de pompage sont constituées d'une ou plusieurs pompes qui aspirent des volumes d'eau et les refoulent sous une certaine pression dans les canalisations du réseau. Les paramètres nécessaires pour dimensionner la pompe solaire sont le débit d'exploitation et la hauteur à laquelle la pompe devra refouler. Celle-ci est majorée par des pertes de charges et de la pression de refoulement dans la conduite [58].

3.3.2 Débit d'eau

Le débit fourni par une pompe est la quantité d'eau qu'elle refoule durant un intervalle de temps donné. En pompage solaire, le débit est souvent exprimé en m^3 par jour.

3.3.3 Hauteur manométrique totale

C'est la différence de pression en mètres de colonne d'eau entre les orifices d'aspiration et de refoulement [59]. Cette hauteur peut être calculée comme suit :

$$H_{MT} = H_g + H_c \quad (3.1)$$

Avec :

H_g : Hauteur géométrique entre la nappe d'eau pompée (niveau dynamique) et le plan d'utilisation (voir Figure 3). Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_g = A + B + C \quad (3.2)$$

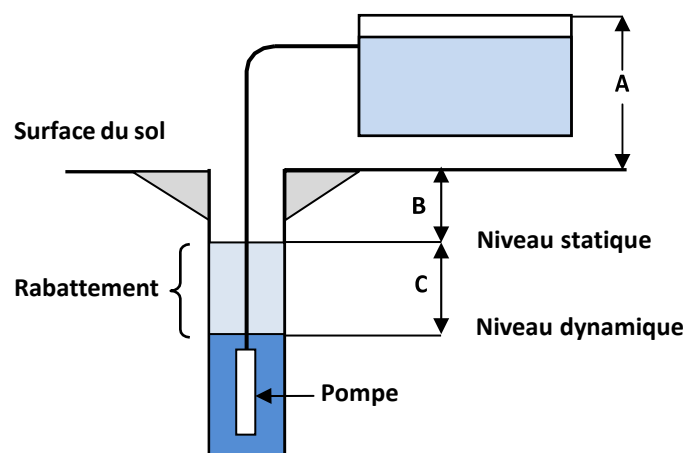


Figure 19 : Hauteur manométrique total [59].

H_c : Pertes de charge produites par le frottement de l'eau sur les parois des conduites.

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

Elles s'expriment en mètres d'eau et elles sont fonction de la distance des conduites (D), de leur diamètre et du débit de la pompe.

$$H_c = H_{c_s} + H_{c_l} \quad (3.3)$$

N_s : Le niveau statique d'un puits ou d'un forage est la distance entre le sol et la surface de l'eau avant pompage.

N_d : Le niveau dynamique d'un puits ou d'un forage est la distance le sol et la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné. Pour le calcul de la H_{MT} , le niveau dynamique est calculé pour un débit moyen

Rabatement : La différence entre le niveau dynamique et le niveau statique.

Rabatement maximal : est le rabatement maximal acceptable avant de stopper la pompe.

a. Pertes de charge

- **Pertes de charge singulières**

Dans beaucoup de cas, les pertes de charge sont à peu près proportionnelles au carré de la vitesse et donc on a adopté la forme suivante d'expression :

$$P_{c_s} = K_{fst} \cdot rV^2/2 \quad (3.4)$$

$$H_{c_s} = K_{fst} \cdot V^2/2g \quad (3.5)$$

Perte de charge exprimée en mètres (m)

K est appelé coefficient de perte de charge singulière (sans dimension).

La détermination de ce coefficient est principalement du domaine de l'expérience.

- **Pertes de charge linéaire**

Ces pertes sont causées par le frottement intérieur qui se produit dans les liquides ; Elles rencontrent dans les tuyaux lisses aussi bien que dans les tuyaux rugueux.

Entre deux points séparés par une longueur L , dans un tuyau de diamètre D apparaît une perte de pression exprimée sous la forme suivante :

$$P_{c_l} = \lambda \cdot \rho V^2 L / 2D \quad (3.6)$$

$$H_{c_l} = \lambda \cdot V^2 L / 2gD \quad (3.7)$$

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

Perte de charge exprimée en mètres (mCF)

l est un coefficient sans dimension appelé coefficient de perte de charge linéaire.

Le calcul des pertes de charge repose entièrement sur la détermination de ce coefficient.

Cas de l'écoulement laminaire : $Re < 2000$

Dans ce cas on peut montrer que le coefficient λ est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re ; l'état de la surface n'intervient pas et donc λ ne dépend pas de la rugosité (la hauteur moyenne des aspérités du tuyau), ni de la nature de la tuyauterie.

$$\lambda = Re/64 \quad (3.8)$$

Cas de l'écoulement turbulent : $Re > 3000$

Les phénomènes d'écoulement sont beaucoup plus complexes et la détermination du coefficient de perte de charge résulte de mesures expérimentales. C'est ce qui explique la diversité des formules anciennes qui ont été proposées pour sa détermination.

En régime turbulent l'état de la surface devient sensible et son influence est d'autant plus grande que le nombre de Reynolds Re est grand. Tous les travaux ont montré l'influence de la rugosité et on s'est attaché par la suite à chercher la variation du coefficient en fonction du nombre de Reynolds Re et de la rugosité k du tuyau.

La formule de Colebrook est actuellement considérée comme celle qui traduit le mieux les phénomènes d'écoulement en régime turbulent. Elle est présentée sous la forme suivante :

$$1/\lambda^{1/2} = -2 \log (k/3,7D + 2,51/Re\lambda^{1/2}) \quad (3.9)$$

L'utilisation directe de cette formule demanderait, du fait de sa forme implicite, un calcul par approximations successives ; on emploie aussi en pratique des représentations graphiques.

Pour simplifier la relation précédente, on peut chercher à savoir si l'écoulement est hydrauliquement lisse ou rugueux pour évaluer la prédominance des deux termes entre parenthèses dans la relation de Colebrook.

Remarques

On fait souvent appel à des formules empiriques plus simples valables pour des cas particuliers et dans un certain domaine du nombre de Reynolds.

Formule de Blasius : (pour des tuyaux lisses et $Re < 10^5$)

$$\lambda = 0,316 Re^{-0,25} \quad (3.10)$$

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

Comme en régime laminaire, le régime turbulent ne s'établit parfaitement qu'à partir d'une certaine longueur l .

Pour de grandes valeurs de Re , l'influence de cette longueur ne peut être sensible que pour des tuyaux courts.

Des formules empiriques ou des abaques sont donc utilisées pour avoir des ordres de grandeur corrects des pertes de charge. Les calculs très précis sont inutiles, car les installations sont toujours dimensionnées avec un coefficient de sécurité permettant une adaptation à des fonctionnements imprévus.

En conclusion, pour diminuer l'ensemble des pertes de charge dans une canalisation, afin de diminuer les coûts de fonctionnement dus aux pompes, il faut:

- Diminuer la longueur de canalisation
- Diminuer le nombre d'irrégularités sur la canalisation
- Diminuer le débit de circulation
- Augmenter le diamètre des canalisations
- Faire circuler des liquides les moins visqueux possible
- Utiliser des matériaux de faible rugosité

Il est néanmoins évident que le procédé de fabrication impose parfois des contraintes d'ordre supérieur (viscosité élevée des produits utilisés, débits forts imposés...).

3.3.4 Energie hydraulique et électrique quotidiennes requises

Une fois les besoins nécessaires en volume d'eau pour chaque mois de l'année et les caractéristiques du puits sont définis, nous pouvons calculer l'énergie hydraulique moyenne journalière et mensuelle nécessaire à partir de la relation [59] :

$$E_h = C_h \cdot Q \cdot HMT \quad (3.11)$$

Avec :

E_h : Énergie hydraulique [kWh/j]

C_h : Constante hydraulique [kg. s. h/m²]

Q : Volume d'eau [m³/jour]

HMT : Hauteur manométrique total [m]

Où :

$$C_h = g \cdot \rho / 3600 \quad (3.12)$$

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

g : La gravité terrestre [9.81m/s²]

ρ : Densité de l'eau [1000kg/m³]

L'énergie nécessaire pour soulever une certaine quantité d'eau sur une certaine hauteur donnée pendant une journée est calculée à partir de l'équation suivante :

Où :

$$E_e = E_h / (\eta_{MP} \times \eta_{Ond}) \quad (3.13)$$

E_e : Energie électrique exprimé en [kWh/j]

η_{MP} : Le rendement du groupe motopompe, en général entre 30% et 60%.

η_{Ond} : Le rendement d'onduleur.

3.3.5 Taille du générateur photovoltaïque

Deux méthodes sont utilisées pour le dimensionnement de systèmes de pompage photovoltaïque : une méthode analytique et une méthode graphique. Ces méthodes permettent de dimensionner une installation de pompage photovoltaïque pour satisfaire les besoins en eau d'une consommation bien déterminée.

3.3.6 Méthode analytique

Une fois connus le volume journalier Q [m³/jour], la hauteur manométrique totale H_{MT} et l'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan du générateur, la puissance nominale correspondante du générateur photovoltaïque P_c est calculée par l'expression suivante :

La puissance fournie par le générateur PV dans les conditions standards de mesure CSM, (éclairage de [1000W/m²]et la température 25°C).

P_c : La puissance de sortie du générateur (W) sous CSM (puissance crête).

η_g : Le rendement du générateur à la température de référence (25°C).

A : La surface active du générateur (m²).

G : L'éclairage dans les conditions CSM.

L'énergie électrique journalière est donnée par l'équation :

$$E_e = \eta_{PV} \cdot A \cdot G_d(\beta) \quad (3.14)$$

Où :

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

η_{PV} : Le rendement moyen journalier du générateur dans les conditions d'exploitation

$G(\beta)$: L'irradiation moyenne journalière incidente sur le plan des modules à l'inclinaison β [kwh/m²/j].

Le rendement η_{PV} est calculé par la formule suivante :

$$\eta_{PV} = F_m [1 - \gamma(T - T_r)] \eta_g \quad (3.15)$$

Où :

F_m : Facteur de couplage, défini comme le rapport entre l'énergie électrique générée sous les conditions d'exploitation et l'énergie électrique qui se générerait si le système travaillait au point de puissance maximale.

Constante $F_m = 0.9$

γ : Coefficient de température des cellules. γ prend des valeurs entre 0,004 et 0.005 /°C pour des modules au silicium mono et poly cristallin, et entre 0,001 et 0,002 pour des modules au silicium amorphe.

Compte tenu des conditions décrites précédemment, γ est égal à 0,004

T : Température moyenne journalière des cellules durant les heures d'ensoleillement.

3.3.7 Puissance, en watts crêtes, que doit avoir le champ.

En substituant les équations (3.11), (3.13) et (3.14) dans (3.12), nous obtenons la puissance crête du générateur

$$P_c = G \cdot E_c / (F_m \cdot G_d(\beta) \cdot (1 - \gamma \cdot (T - T_r))) \quad (3.16)$$

3.3.8 Consommation d'eau dans la culture du blé dur

La figure 20 présente les besoins d'eau total (BIT) de la culture du blé dur dans la région Dililiai (Taibet) et les besoin d'eau complémentaire (BIC) de la culture du blé dur dans le nord : région Khmise Meliana). On constate la quantité d'eau consommée par le blé dans le nord de l'Algérie et dans le sud au cours des mois de culture. Dans le système d'irrigation désertique, au début de la période de plantation en novembre, le blé consomme 0,025 m³

d'eau, et la consommation d'eau augmente au fil des mois en raison de la croissance des tiges et du développement des épis, atteignant une valeur maximale de $0,08 \text{ m}^3$ en mars, puis en avril, lorsque le blé entre dans sa phase de maturité et de récolte, la consommation d'eau diminue de moitié par rapport au mois précédent, avec une valeur de $0,04 \text{ m}^3$. En ce qui concerne la consommation d'eau dans le nord de l'Algérie, elle est très faible par rapport à l'irrigation dans le désert. En novembre, la valeur de la consommation est de $0,01 \text{ m}^3$, et elle augmente progressivement au fil des mois pour atteindre sa valeur maximale en avril, avec $0,03 \text{ m}^3$.

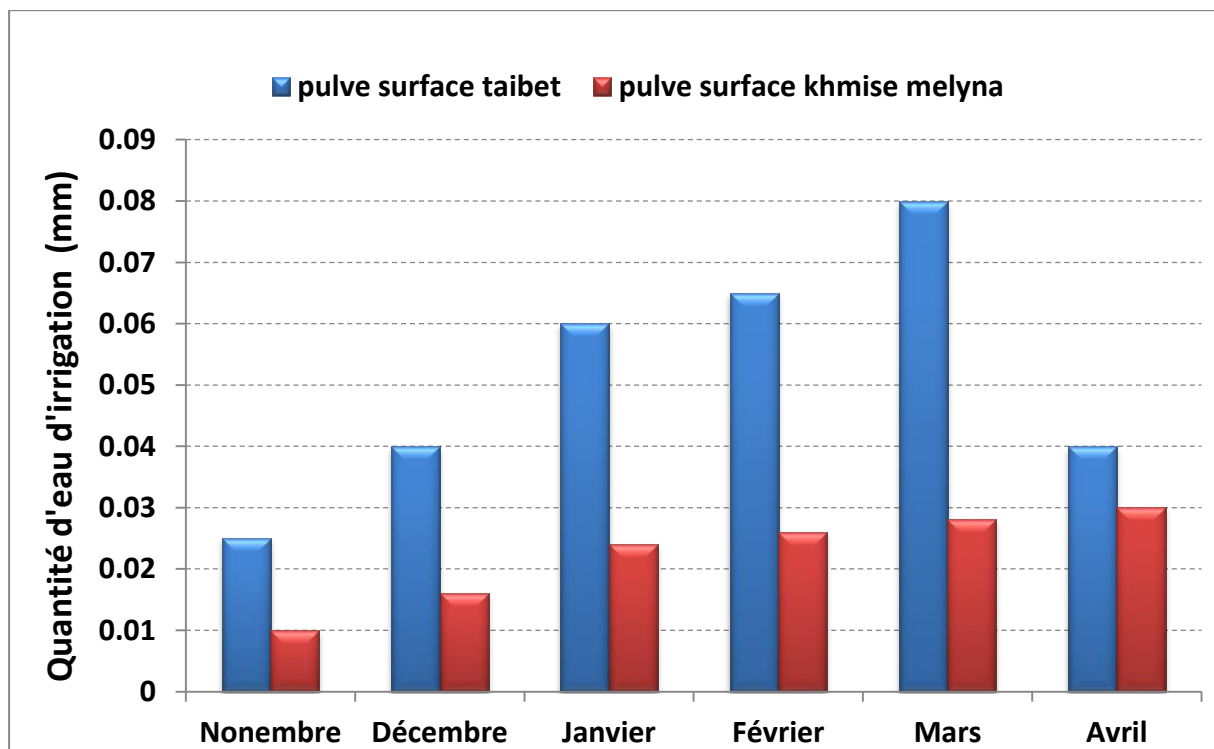


Figure 20 : Besoins d'eau de la culture du blé dur : au nord (Khemis Maliana) et au sud région Diliai (Taibet)

3.3.9 Hauteur manométrique totale

Nous avons calculé la hauteur manométrique totale (H_{mt}) du pompage en ajoutant H_g et H_c , que nous avons calculés à partir des lois mentionnées précédemment, qui sont les suivantes:

À partir de l'équation (3.2), nous avons calculé $H_g(m)$ selon les données suivantes:

On choisit

$A=2m$, $B= 6m$, $C=14m$

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

Nous avons également calculé H_c (m) par la loi 3.3 et H_{c_s} (m) et H_{c_l} (m) par les équations (3.4) et (3.5)

Où nous multiplions par 3 la constante K_{fst} parce le tuyau contient 3 coudes

La constante K_{fst} pour une coude est prise égale à 0.12

A) H_{c_s} en utilisant l'équation (3.5)

Nous avons calculé la vitesse V en divisant le débit Q_v par la surface du tuyau relié à la pompe S

$$V=Q_v/S \text{ et } Q_v=(10^{-3} \cdot 10^4 \cdot \text{BIT}_{\text{sud}}) / (N_h \cdot 3600) \quad \text{et } S=\pi \cdot D^2/4$$

La surface de la culture est étalée sur 1 hectare avec une superficie de 10000 m²

BIT_{sud} : besoins d'eau totale dans le sud "Dililai" (Taibet) en mm

N_h : nombre d'heures d'irrigation (h) et on divise par 3600 pour obtenir le temps en secondes (s)

D : diamètre du tuyau relié à la pompe égale à 80 mm =0.08 m

B) H_{c_l} en utilisant l'équation (3.7)

λ : on calcule λ à partir de l'équation (3.10) car $Re > 10^5$

Le calcul de nombre de Reynolds (Re) montre que le régime est turbulent et qui s'étale sur une longueur L

Re : est calculé par la relation suivante:

$$Re = V \cdot D / \nu$$

ν : viscosité cinématique égale 10^{-6} m²/s

L : La longueur du tube partant du bas au niveau de la tête de pompe jusqu'à l'extrémité supérieur du tube, elle est égale à 27.2 m

La Figure 21 présente la variation de la hauteur totale en fonction de la période de plantation, de novembre à avril. Nous observons une augmentation de la hauteur dès le premier mois, avec une valeur de 23,32 m. Cette augmentation montre une progression régulière atteignant son maximum en mars avec une valeur de 27,78 m , puis diminue rapidement pour atteindre une valeur minimale en avril, avec 23,32 m .

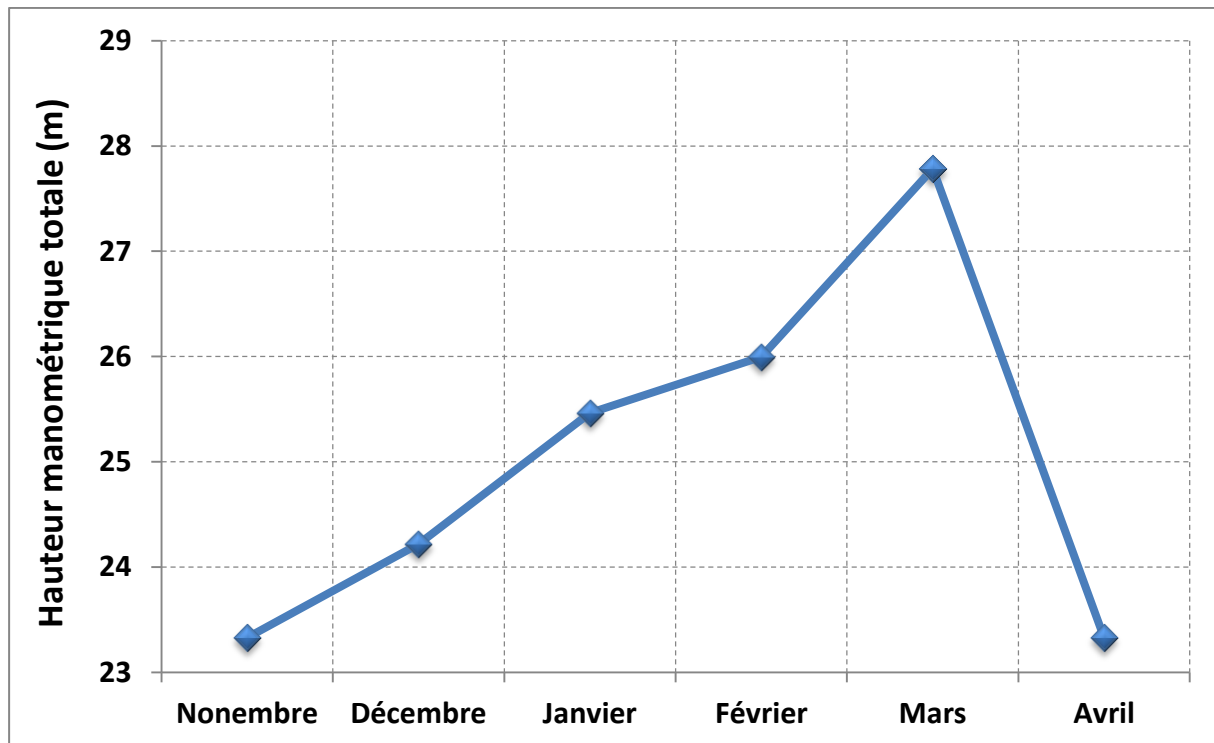


Figure 21 : Hauteur manométrique totale en mois

3.3.10 Calcul d'énergie hydraulique

Nous avons calculé la puissance hydraulique [kWh/j] , à partir de la équation (3.11)

En multipliant la Constante hydraulique par le Volume d'eau et Hauteur manométrique total

C_h : On a Constante hydraulique égale $2,72 \text{ [kg. s. h/m}^2\text{]}$ et donc de la équation (3.12)

HMT : Hauteur manométrique total [m] , Précédemment calculé à partir de la équation (3.1)

Q : Volume d'eau [m³/jour]

Nous disposons du graphique (Figure 22) représentant les variations de l'énergie hydraulique (énergie de pompage de l'eau) en fonction des mois de culture. Nous observons une augmentation quasi régulière à partir du mois de novembre, avec une valeur de 15892,78 kWh, atteignant son maximum en mars avec une valeur de 60567,16 kWh. Cette

augmentation est le résultat de la multiplication de l'élévation de la pression totale par la quantité d'eau consommée.

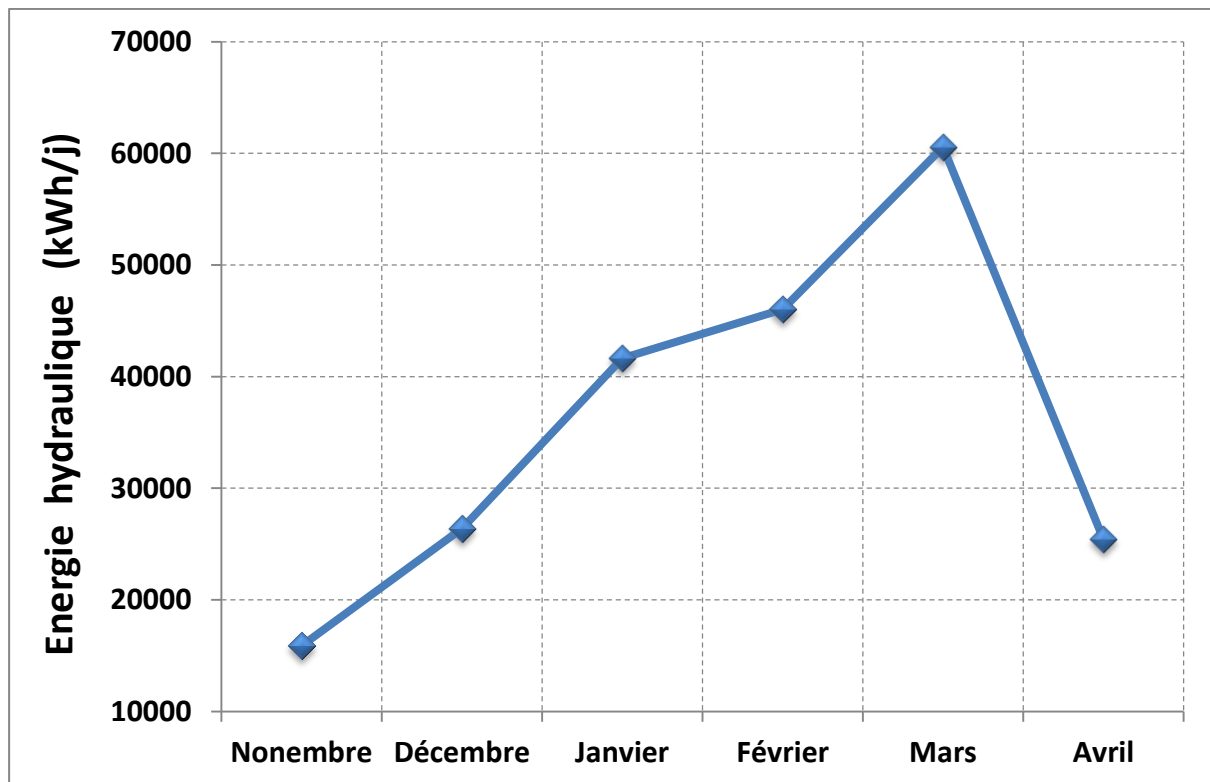


Figure 22 : Énergie hydraulique du pompage

3.3.11 Calcul d'énergie électrique

On calcule l'énergie électrique partir l'équation (3.13) , où on divise l'énergie hydraulique par les rendements du groupe motopompe et du l'onduleur

$$\eta_{MP} = 0.5$$

$$\eta_{Ond} = 0.95$$

La Figure 23 présente les variations de l'énergie électrique (en kilowattheures) en fonction des mois. Nous observons qu'au début de la période de plantation en novembre, l'énergie électrique atteint 33458,48 kWh, puis augmente progressivement au fil des mois pour atteindre une valeur maximale en mars, avec 127509,8 kWh. Ensuite, elle diminue au mois suivant pour atteindre sa dernière valeur, qui est de 53533,57 kWh.

L'augmentation de la valeur de l'énergie électrique entre les mois de novembre et mars s'explique par l'augmentation de l'énergie hydraulique calculée précédemment et indiquée

La figure 23. Cela est dû aux besoins élevés en eau d'irrigation du blé durant la période critique de remplissage des épis.

Quant à la diminution rapide entre les mois de mars et avril, elle est due à l'entrée dans la phase de maturité du blé, ce qui nécessite une réduction de la quantité d'eau afin d'obtenir une récolte de qualité supérieure et d'éviter les dommages.

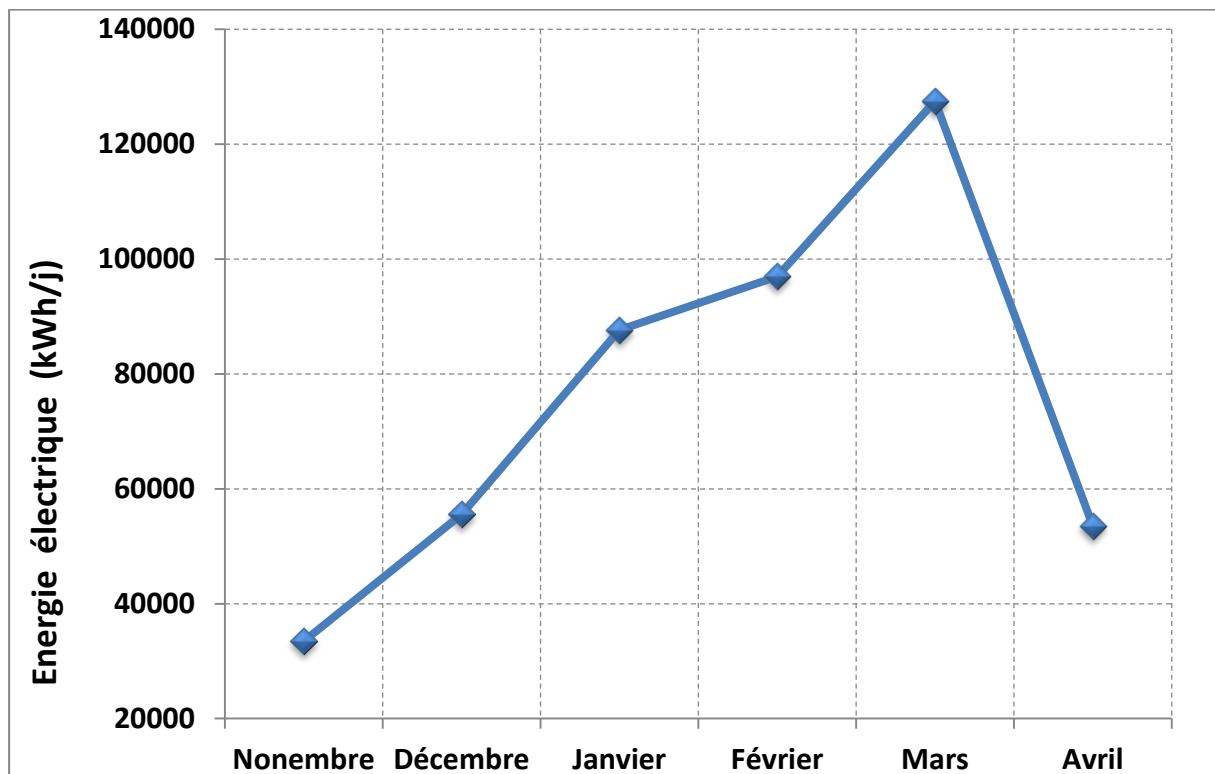


Figure 23 : Energie électrique (pour trois modes d'angle du panneau solaire)

3.3.12 Calcul de la puissance du générateur (puissance crête) et nombre des modules

En substituant les équations (3.13), (3.14) et (3.15) dans (3.12), nous obtenons la puissance crête du générateur exprimée par l'équation (3.16)

Il existe trois modes d'angles de panneaux solaires qui nous donnent trois types de valeurs de rayonnement solaire, qui sont les suivantes :

La Figure 24 présente les variations de la puissance maximale (W) générée par la pompe dans trois configurations différentes de rayonnement solaire dans le désert algérien, avec trois

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

angles de panneaux solaires différents (angle fixe, angle variable chaque mois, angle variable chaque trimestre). Ces configurations nous donnent des valeurs variables qui nous permettent de déterminer le nombre minimal possible de panneaux solaires représentés dans le groupe de colonnes de la Figure 25.

Dans la Figure 24, nous observons une augmentation de la puissance maximale à partir du mois de novembre dans le premier schéma, avec une progression plus importante par rapport aux deux autres schémas. Les valeurs respectives sont de 6555,576, 6001,782 et 6119,127 W. Dans les deux derniers schémas, nous constatons une quasi-similitude des résultats. Cette augmentation se poursuit jusqu'au mois de janvier, où il y a une grande différence entre le premier schéma et les deux derniers, avec des valeurs de 16683,77, 14978,57 et 14995,36 W respectivement.

En mars, les courbes atteignent leur consommation maximale de puissance maximale avec des valeurs de 23444,91, 23394,58 et 24280,65 W. À partir de là, les courbes diminuent au dernier mois avec des valeurs de 9570,725, 9369,961 et 9369,961 W respectivement.

Pour connaître le nombre de panneaux nécessaires au fonctionnement de la pompe, nous avons divisé la puissance crête P_c par la puissance du module 300 W du "magasin solaire".

$$N_{pv} = P_c / 300$$

Dans la figure 25, qui présente le nombre de panneaux solaires nécessaires pour produire de l'énergie électrique afin de faire fonctionner la pompe hydraulique, nous observons une augmentation du nombre de panneaux à partir du mois de novembre dans les trois configurations. Les nombres respectifs sont de 22, 20 et 21 panneaux solaires. Ce nombre augmente au fil des mois pour atteindre le maximum en mars, avec 79, 78 et 81 panneaux solaires respectivement. En avril, le nombre diminue pour atteindre une valeur commune de 32 panneaux solaires dans les trois configurations.

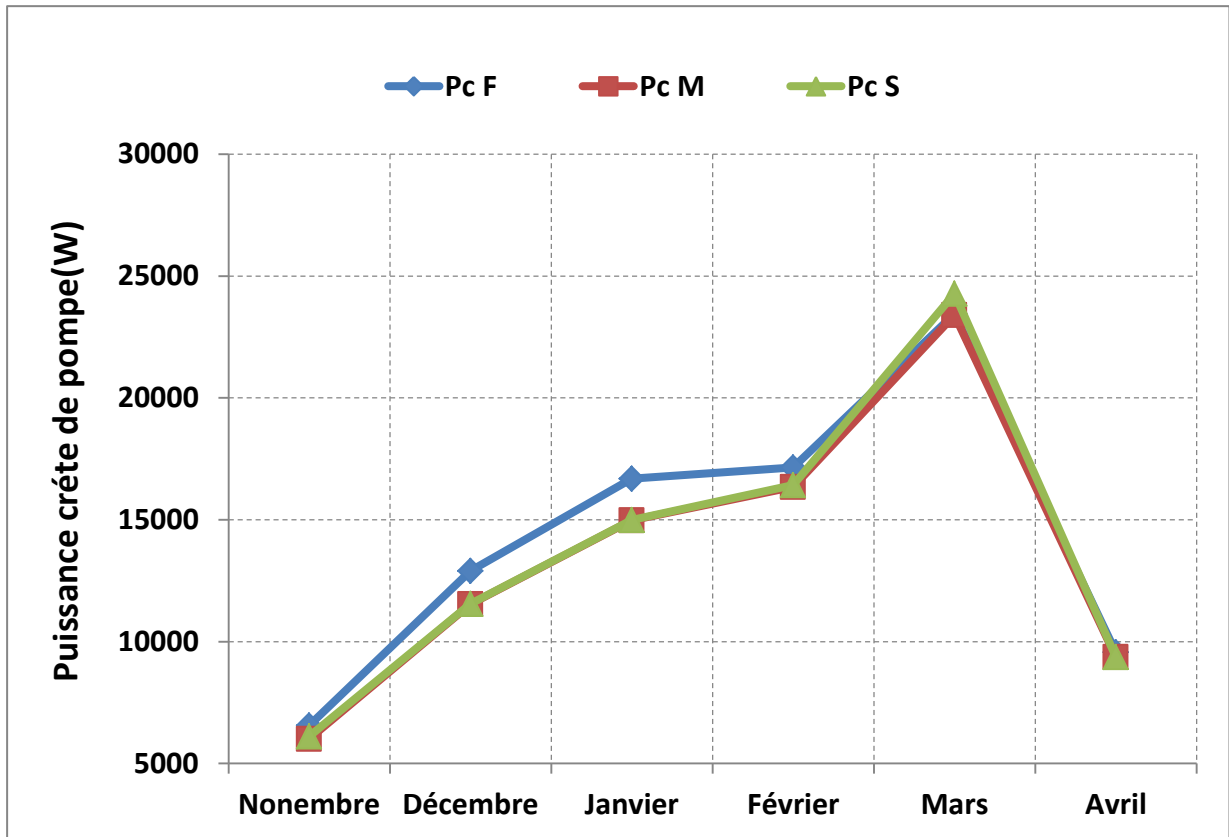


Figure 24 : Puissance crête (pour trois modes d'angle de panneau solaire)

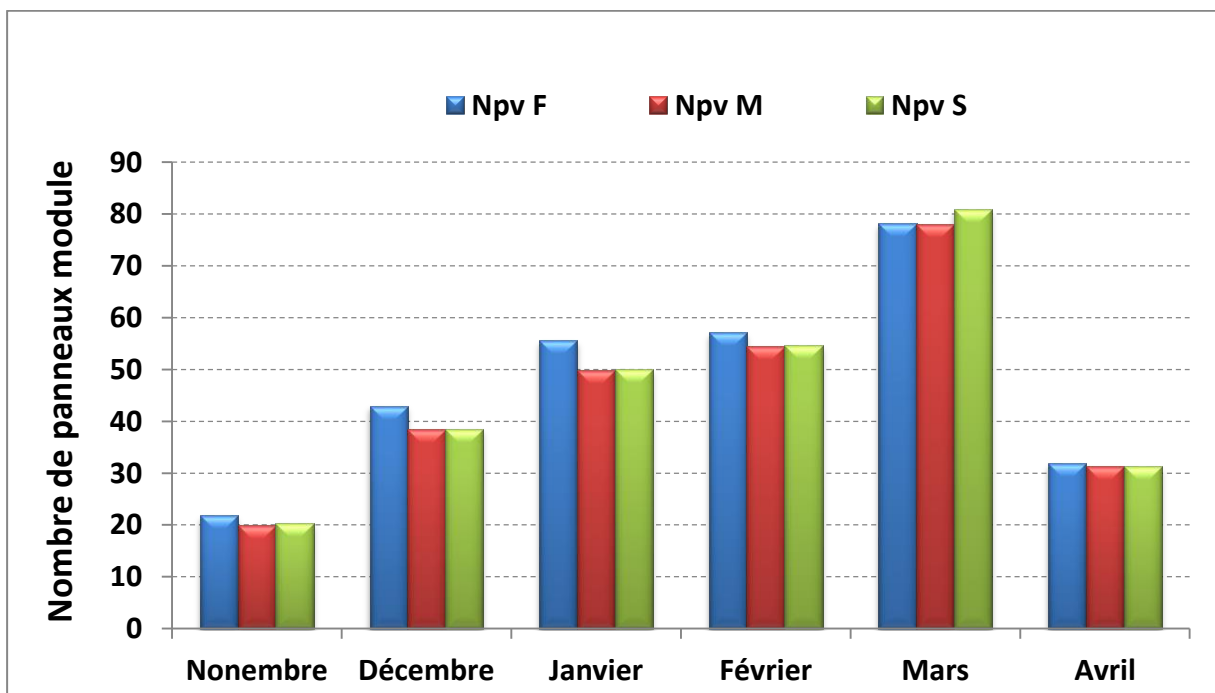


Figure 25 : Nombre des modules (pour les trois modes d'inclinaison).

3.4 Système d'irrigation

Le système d'irrigation peut fonctionner sous deux variantes :

Dans les deux variantes, pour connaître la puissance, il faut étudier et calculer chacune des puissances crête et nombre de panneaux

Puissance crête se calcule à partir du modèle suivant :

$$P_c = (G \cdot P_{\text{moteur}}) / (F_m \cdot G_{(\beta)} \cdot \eta_{\text{cor}} (1 - \gamma(T - T_r))) \quad (3.16)$$

P_{moteur} : Puissance du moteur d'entraînement (W)

La puissance nécessaire est évaluée en calculant tous les moments présents dans chaque système, dont le moment d'inertie des poulies et des pièces mobiles, ainsi que le calcul de leurs vitesses angulaires. Nous appliquons la loi de calcul de la puissance P_{moteur} comme suit:

$$P_{\text{moteur}} = \sum P_i$$

$$P_i = C_i \cdot \omega_i$$

C_i : moment d'inertie (kg/m^2)

ω_i : vitesses angulaires (rad/s)

Où l'évaluation est donnée par les valeurs suivantes :

En ce qui concerne Première variante $P_{\text{moteur}} = 96.54\text{W}$

Nous prenons la puissance du moteur disponible sur le marché à 100W

En ce qui concerne deuxièmement variante $P_{\text{moteur}} = 288.26\text{ W}$

Et Nous prenons la puissance du moteur disponible sur le marché à 200W

η_{cor} : rendement de transmissions croisées est entre 70- 90%

Le nombre de panneaux est calculé à partir de la relation suivante :

$$N_{pv} = P_c / P_m \quad (3.17)$$

On choisit un panneau solaire de $P_m=28$ watts de marque Condor (Solar Panels) pour fournir la puissance électrique afin de faire fonctionner le système

3.4.1 Première variante: système à fil fixe

a. Puissance du système d'irrigation et nombre panneaux (100W)

La Figure 26 présente les variations de la puissance maximale (en watts) d'un moteur d'enroulement de tuyau d'irrigation (système d'irrigation nouvellement conçu) fonctionnant avec un seul fil dans trois configurations différentes de rayonnement solaire dans le désert algérien, avec trois angles de panneaux solaires différents (angle fixe, angle variable chaque mois, angle variable chaque trimestre). En fonction des mois, nous observons des fluctuations dans les résultats à partir du mois de novembre, avec des valeurs respectives de 24,49, 22,42 et 22,86 W. Cette puissance augmente jusqu'à atteindre son maximum en décembre, avec respectivement 29,03, 25,94 et 25,99 W dans les trois configurations. Ces fluctuations se poursuivent entre augmentation et diminution jusqu'au dernier mois, avril, avec des valeurs de 22,34, 21,87 et 21,87 W respectivement.

La Figure 27 présente un ensemble de colonnes représentant le nombre de panneaux utilisés (avec des décimales pour montrer la différence entre les configurations) pour faire fonctionner le moteur d'entraînement dans les trois configurations mentionnées précédemment. Nous observons des fluctuations entre augmentation et diminution du nombre de panneaux nécessaires. Au premier mois (novembre), les nombres respectifs sont de 0,874, 0,8 et 0,816. Ce nombre augmente pour atteindre le maximum en décembre, avec respectivement 1,036, 0,926 et 0,928. Ces fluctuations se poursuivent jusqu'au dernier mois (avril) avec des nombres de 0,798, 0,781 et 0,781 respectivement.

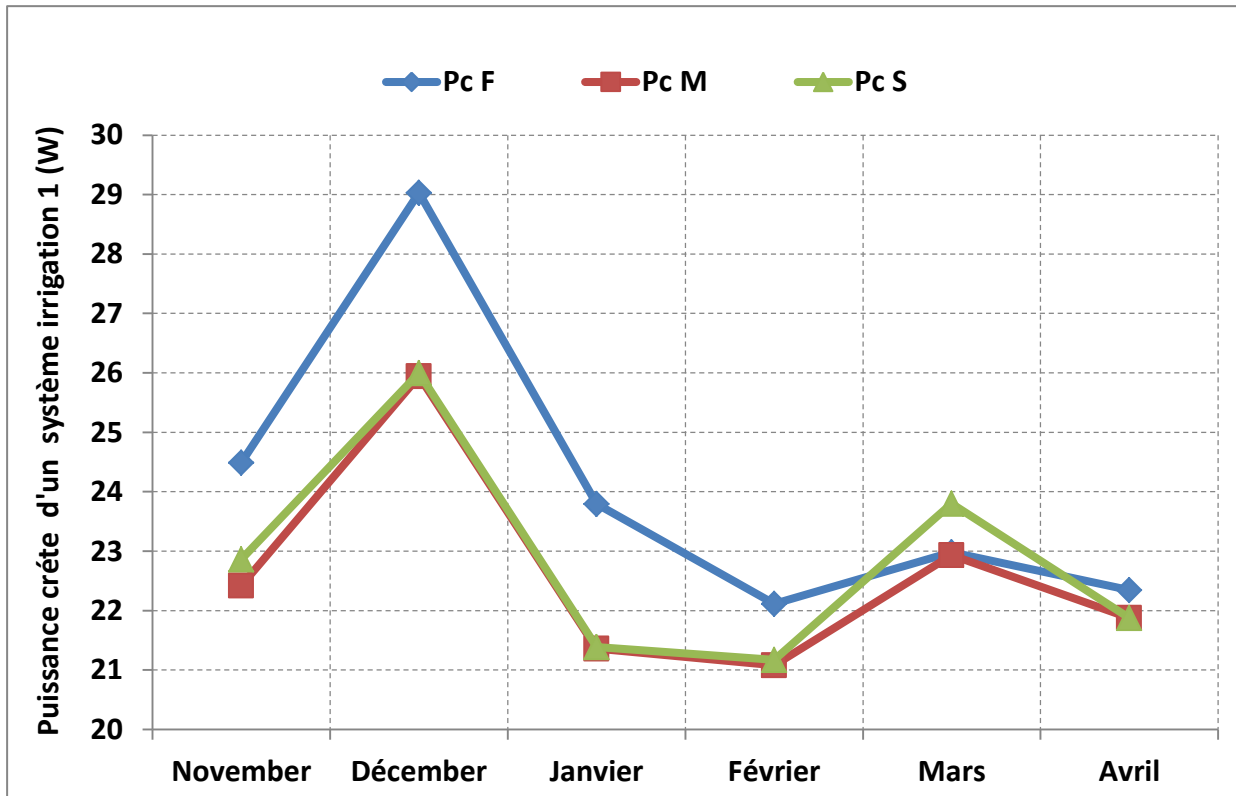


Figure 26 : Puissance crête du système d'irrigation de la première variante.

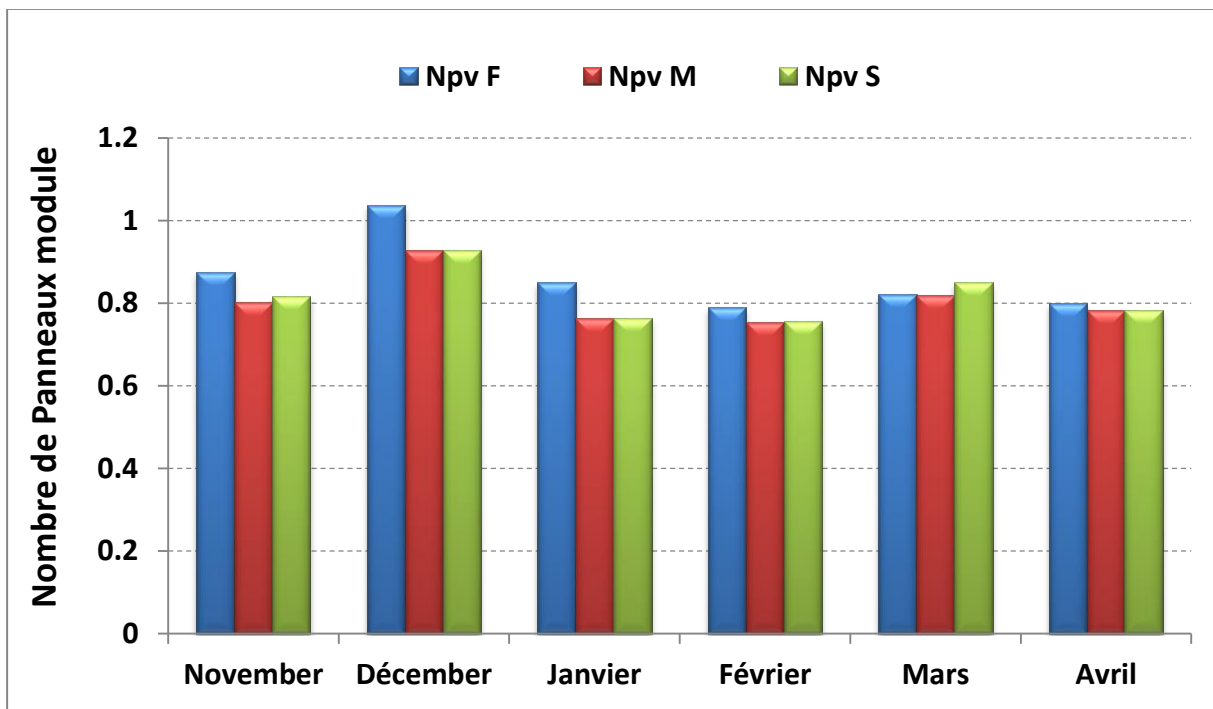


Figure 27 : Nombre des modules solaires pour le système d'irrigation de première variante.

3.4.2 Système d'irrigation à câble mobile

Dans cette forme du système, le tuyau d'irrigation est trié par un fil dans deux sens opposés, le premier sort et le second s'enroule une fois terminé, ils échangent les rôles pour réaliser un travail parfait, pour connaître ses performances, il faut étudier et calculer à la fois les forces maximales et le nombre de panneaux

a. Puissance crête d'un système d'irrigation et nombre panneaux (200W)

Dans la figure 28, nous observons les variations de la puissance maximale (en watts) d'un moteur d'enroulement de tuyau d'irrigation (système d'irrigation nouvellement conçu) fonctionnant avec deux fils dans trois configurations différentes de rayonnement solaire dans le sud algérien, avec trois angles de panneaux solaires différents (angle fixe, angle variable chaque mois, angle variable chaque trimestre). En fonction des mois, nous observons des fluctuations dans les résultats à partir du mois de novembre, avec des valeurs respectives de 48,98, 44,84 et 45,72W . Cette puissance augmente jusqu'à atteindre son maximum en décembre, avec respectivement 58,06, 51,89 et 51,99W dans les trois configurations. Ces fluctuations se poursuivent entre augmentation et diminution jusqu'au dernier mois, avril, avec des valeurs de 44,69, 43,75 et 43,75 W respectivement.

Dans la figure 29, nous observons un ensemble de colonnes représentant le nombre de panneaux utilisés (avec des décimales pour montrer la différence entre les configurations) pour faire fonctionner le moteur d'enroulement dans les trois configurations mentionnées précédemment. Nous constatons des fluctuations entre augmentation et diminution du nombre de panneaux nécessaires. Au premier mois (novembre), les nombres respectifs sont de 0,874, 0,8 et 0,816. Ce nombre augmente pour atteindre le maximum en décembre, avec respectivement 1,856, 1,853 et 2,07. Ces fluctuations se poursuivent jusqu'au dernier mois (avril) avec des nombres de 1,59, 1,56 et 1,56 respectivement.

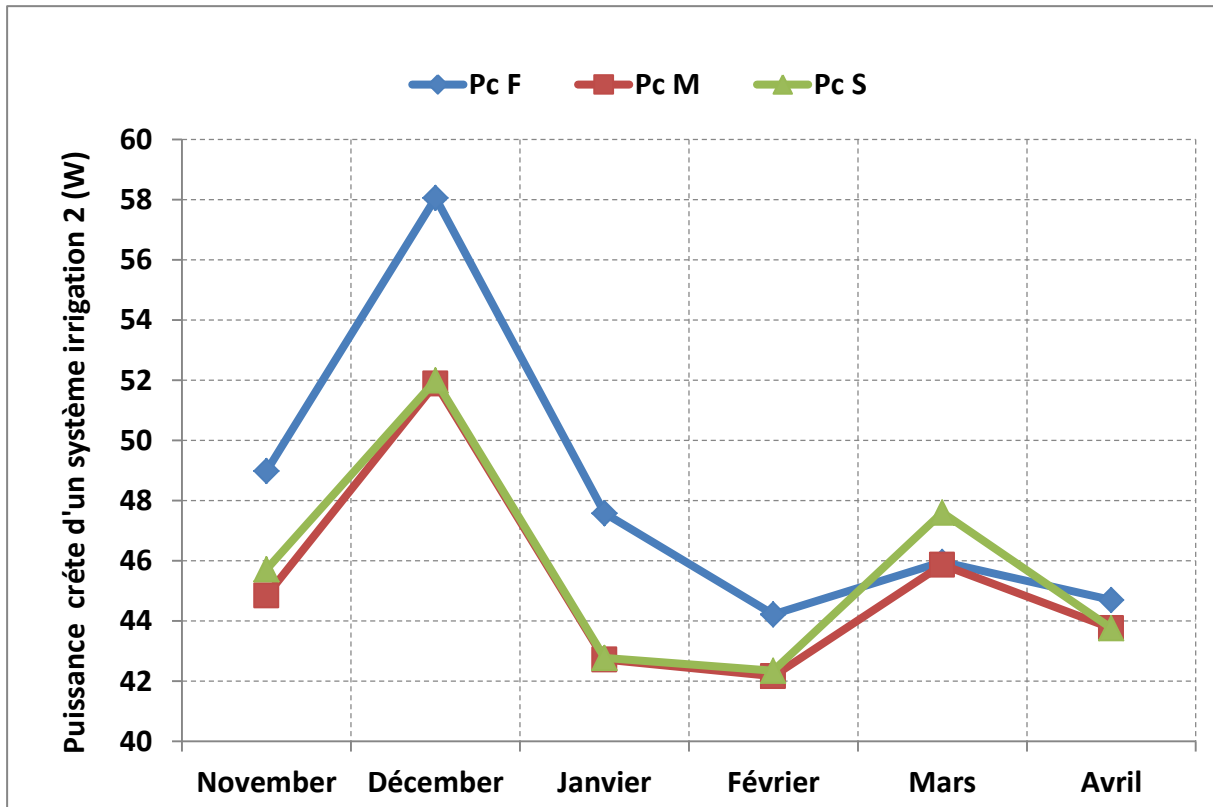


Figure 28 : Puissance crête du système d'irrigation de la deuxième variante.

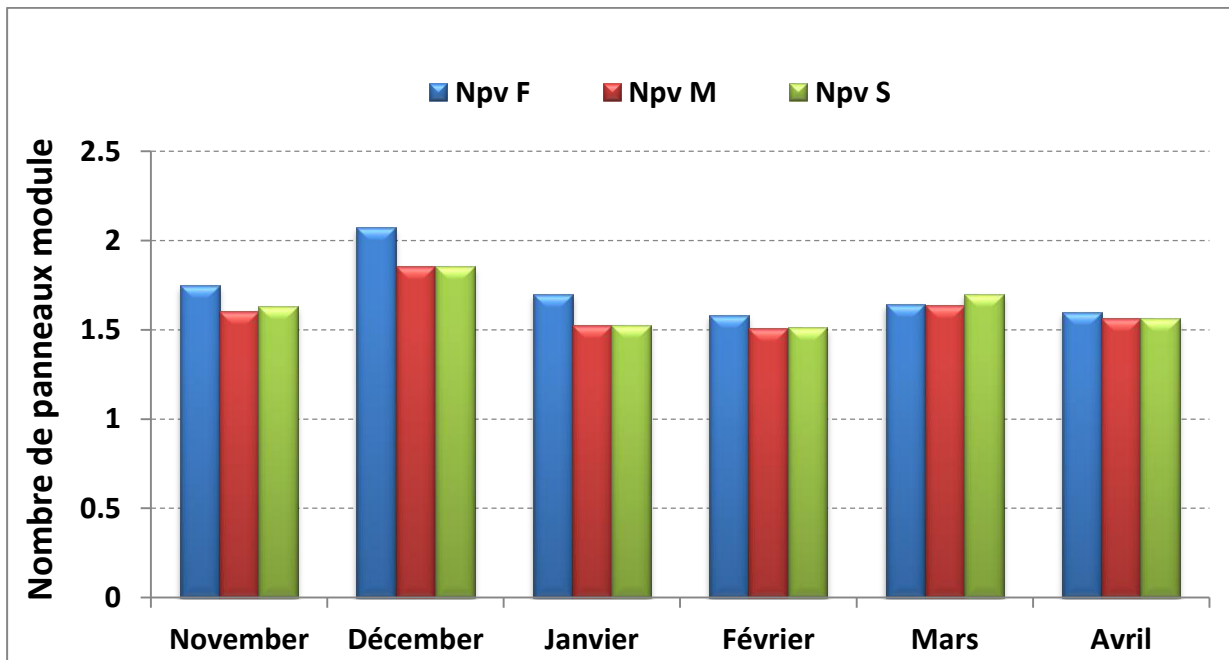


Figure 29 : Nombre des modules solaires pour le système d'irrigation de deuxième variante

3.5 Composants du système d'irrigation

- 1 Base inférieure du support: Il s'agit de la partie inférieure du support utilisé dans le système, qui offre une base solide et stable.
- 2 - Support en métal: C'est une structure en métal qui soutient et maintient les différents composants du système en place.
- 3 - Base de pivot: C'est la partie du support qui permet un mouvement de rotation, offrant ainsi une certaine flexibilité au système.
- 4 - Gaine de tuyau: Il s'agit d'un revêtement ou d'un tube dans lequel le tuyau est placé pour le protéger et le maintenir en place.
- 5 - Coupe horizontale d'une poulie: C'est une vue transversale d'une poulie, qui est une roue avec une rainure creuse permettant de guider le fil ou le câble.
- 6 - Tuyau: Il s'agit d'un conduit flexible utilisé pour le transport de l'eau ou d'autres liquides dans le système d'irrigation.
- 7 - Fil de métal inox: C'est un fil flexible en métal utilisé pour diverses connexions et fixations dans le système.
- 8 - Coupe transversale d'une bobine d'enroulement: C'est une vue transversale d'une bobine utilisée pour enrouler le fil et le stocker de manière organisée.
- 9 - Axe: C'est une pièce centrale autour de laquelle d'autres composants tournent ou se déplacent.
- 10 - Petit moteur: Il s'agit d'un moteur de petite taille utilisé pour générer de la force motrice dans le système.
- 11 Croies: C'est un dispositif utilisé pour réduire la vitesse de rotation du moteur afin d'atteindre une vitesse optimale pour les opérations du système.
- 12 Connexion filaire avec tuyau: C'est une connexion qui relie le fil au tuyau pour faciliter le transport de l'eau ou d'autres fluides.
- 13 Poulie supplémentaire pour le fil: Il s'agit d'une bobine supplémentaire utilisée pour stocker des fils supplémentaires ou des longueurs supplémentaires de fil.

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

14 Passer le fil: C'est une action de faire passer le fil à travers des guides ou des éléments spécifiques du système.

15 Fil de retour: Il s'agit du fil qui revient ou se déroule pour réinitialiser ou répéter certaines opérations du système.

16 Poulie de sortie de fil: C'est une bobine utilisée pour dérouler le fil lorsqu'il est nécessaire de le faire sortir du système.

17 Poulie d'enroulement de fil: C'est une bobine utilisée pour enrouler et stocker le fil lorsqu'il n'est pas utilisé.

18 Poulie de fil torsadé: C'est une bobine spéciale qui contient un fil torsadé, généralement utilisé pour des applications spécifiques dans le système.

19 Panneaux photovoltaïque: Elle produit de l'énergie électrique pour alimenter le système en énergie.

3.6 Principe de fonctionnement du système d'irrigation.

Le système fonctionne automatiquement pour irriguer les céréales grâce à l'intelligence artificielle selon les étapes suivantes :

1 - Le panneau solaire génère de l'énergie électrique.

2 - L'énergie est transférée vers le moteur de la poulie.

3 - Le réducteur de vitesse réduit la vitesse de rotation du moteur pour atteindre une vitesse optimale.

4 - Un tuyau d'irrigation sort de son manchon à travers un câble de transmission jusqu'à l'autre extrémité.

5 - La pompe solaire se met en marche et fournit de l'eau d'irrigation.

6 - Après un laps de temps préalablement défini et la fin de l'opération d'irrigation, le système revient automatiquement à sa position initiale à travers les étapes suivantes : arrêt de la pompe d'irrigation, retour du tuyau dans son manchon en inversant la direction de rotation de l'axe du moteur, arrêt du moteur, arrêt de la production d'énergie électrique par le panneau solaire.

3.6.1 Système de fil fixe

Le système fonctionne dans un mode où le câble suit un seul trajet à travers le tuyau sans se déplacer. Dans cette configuration, le système ne consomme pas d'énergie supplémentaire car il n'y a qu'une seule poulie dédiée au tuyau. De plus, à l'autre extrémité, il n'y a pas de poulie mais plutôt une connexion du câble avec le support.

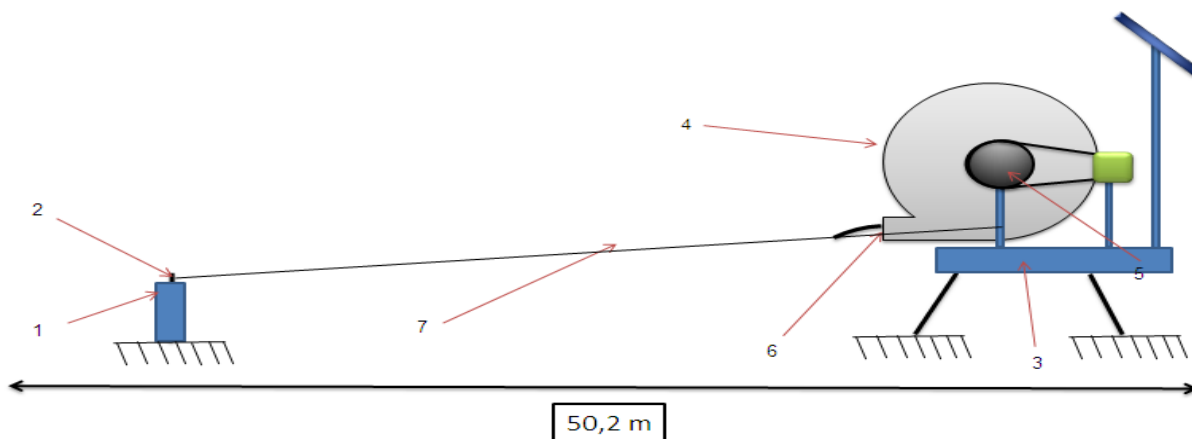


Figure 30 : Vue de face du système d'irrigation proposé avec un fil fixe.

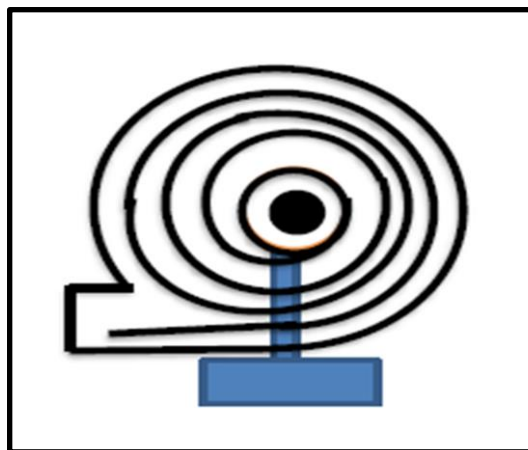


Figure 31 : Coupe transversale de l'enroulement du tuyau à l'intérieur du couvert.

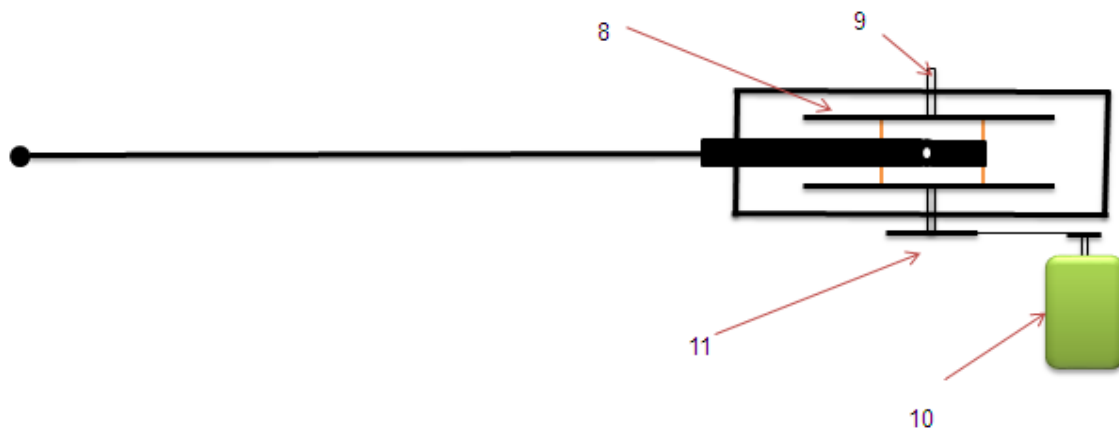


Figure 32 : Vue de dessous du système à fil fixe.

3.6.2 Système d'irrigation dans le cas d'un câble mobile

Dans ce type de système proposé, le fil emprunte deux chemins opposés, allant et revenant, qui sont équivalents en vitesse et en tension. Cela conduit à la présence d'une bobine à l'extrémité opposée, et le fil se courbe dans la direction opposée. En raison du mouvement du fil, nous devons ajouter deux bobines situées sur les extrémités de la bobine centrale du tuyau, ainsi que deux bobines auxiliaires pour faciliter le mouvement du fil sans rencontrer de problèmes qui entraveraient le système. Lorsque le fil sort, il est attaché au tuyau d'irrigation, passant ainsi vers l'extrémité opposée jusqu'à ce qu'il atteigne une position optimale pour commencer le processus d'irrigation. A partir des précédents résultats et l'étude mécanique du système indiquent une consommation d'énergie plus élevée par rapport au système proposé précédemment. Ce système permet également de préserver le tuyau en évitant qu'il ne se courbe lors de la sortie, ce qui est un avantage par rapport au système précédent où il y avait une courbure importante.

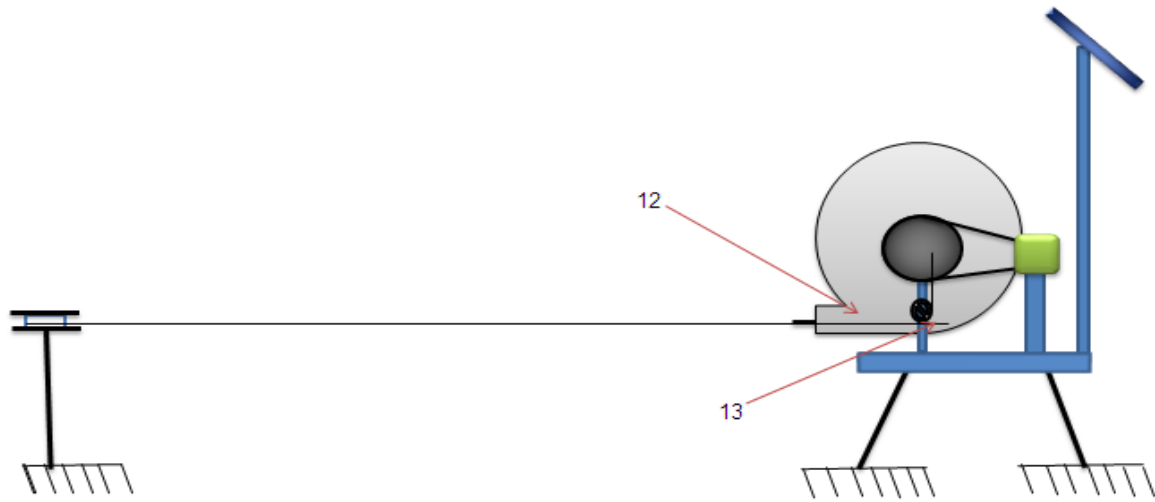


Figure 33 : Vue de face du deuxième système d'irrigation à câble mobile

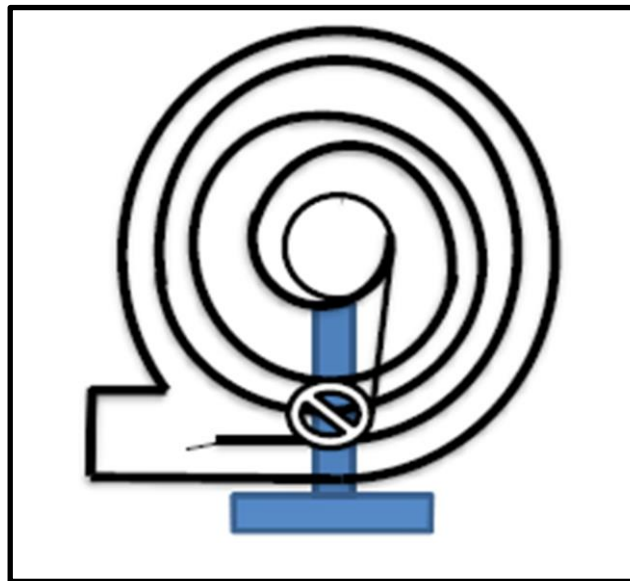


Figure 34 : Coupe transversale de l'enroulement du tuyau à l'intérieur du couvert de protection pour le deuxième système.

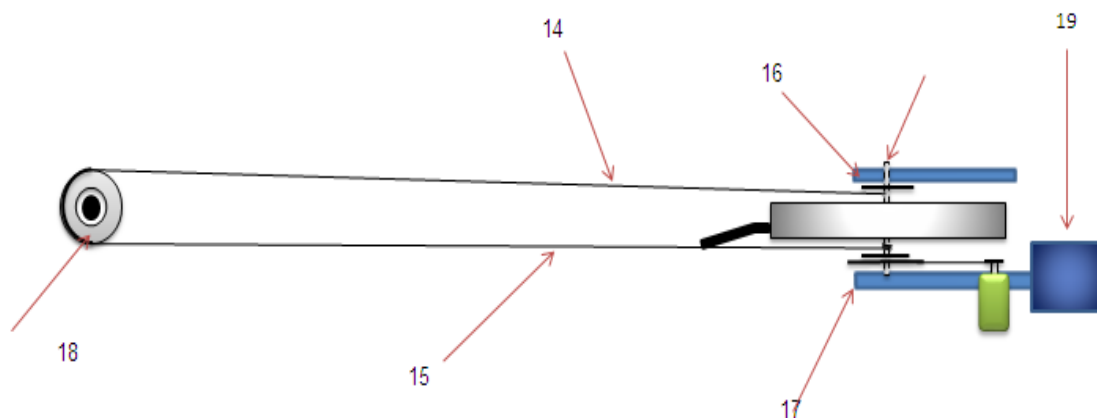


Figure 35 : Vue de dessus du deuxième système d'irrigation

3.7 Approche économique

La conception d'un système d'irrigation nécessite une étude économique des équipements et des composants disponibles sur le marché local. Nous avons donc sélectionné les meilleurs composants en termes de qualité des matériaux utilisés et de résistance à la rouille. De plus, nous allons appliquer un revêtement anticorrosion sur les parties solides non résistantes pour les protéger de la corrosion et des conditions climatiques environnantes telles que le vent, la pluie, les températures élevées et l'évaporation.

- cornière (40 x40) : Le fer doux est utilisé comme matériau dans le support et est revêtu d'un revêtement anticorrosion
- tube métallique inoxydable (diamètre= \varnothing 25 mm) : Un cylindre creux est utilisé comme axe de rotation et l'eau circule à l'intérieur de celui-ci.
- Moteur électrique (100 et 200 W) : Un moteur entraîne la rotation du tuyau pour le faire sortir de son enrouleur, et il existe en deux formes (un petit moteur à efficacité spécifique pour le premier système proposé et un grand moteur à efficacité spécifique pour le deuxième système proposé).
- Roulement à billes (graissage à vis) : Un dispositif est utilisé pour faciliter le mouvement de rotation du tambour relié à l'axe.

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

-Tuyau (diamètre = \varnothing 20 mm) = Il s'agit d'un système qui fonctionne pour pulvériser ou goutter l'eau à des fins d'irrigation.

Après avoir consulté un groupe de magasins spécialisés dans la vente de pièces, nous avons obtenu le prix de chaque composant du système. Les résultats confirment que le système devient accessible aux consommateurs en termes de prix.

Le tableau suivant présente le coût et les prix détaillé de chaque composant du système dans les deux variantes proposées :

Tableau 6 : Coût de l'installation des systèmes d'irrigation des céréales

Ddésignation	Variante 2			Variant 1		
	Qte	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)	Qte	Prix unitaire (DA)	Prix total (DA)
Roulement NX30	2	750	1500	1	750	750
Roulement NX20	2	500	1000	0	0	0
Courroie N 50	1	300	300	1	300	300
Moteur électrique 200 w	1	3200	3200	0	0	0
Moteur électrique 120 w	0	0	0	1	2700	2700
Tube inox \varnothing 30mm x 400mm	1	500	500	1	500	500
Joint spi \varnothing 30mm x 40mm	1	300	300	1	300	300
Poulie de moteur	1	750	750	1	750	750
Poulie de tube d'eau	1	500	500	1	500	500
Poulie de axe	1	200	200	1	200	200
Poulie terminale	1	200	200	0	0	0
Poulie de câble	2	750	1500	0	0	0
Couvert de tube d'eau	1	1000	1000	1	1000	1000
Câble inox \varnothing 2.5mm x 151m	1	15x151=2265	2265	0	0	0
Câble inox \varnothing 2.5mm x 50.5m	0	0	0	1	15x50.5=757.5	757.5
Tuyau d'eau plastique \varnothing 20mm x 50m	1	500	500	1	500	500
Support métallique du système	1	1000	1000	1	1000	1000
Support de poulie amont	1	1000	1000	0	0	0
Support amont	0	0	0	1	800	800
Béton concrète	1	400	400	1	400	400
Commande manuel	1	150	150	1	150	150
Panneaux photovoltaïque 28W et MPPT	3	4000	12000	2	4000	8000
Montage	1	2000	2000	1	2000	2000

Chapitre 3 Dimensionnement de système d'irrigation

totale (DA)	30265.00 (DA)	27357.500 (DA)
-------------	---------------	----------------

3.8 Conclusion

Nous avons constaté que la hauteur manométrique augmente au fil des mois de la saison de culture, atteignant 27,78 mètres en mars. Cela entraîne une consommation énergétique hydraulique de plus de 60 000 kWh/jour. De même, la consommation d'énergie électrique par la pompe atteint plus de 127 000 kWh/jour, soit environ 130 000 kWh/jour. Pour répondre à ces besoins énergétiques, nous avons calculé la puissance électrique produite par les panneaux solaires, avec trois options d'inclinaison : angle fixe, angle variable chaque mois et angle variable tous les trois mois.

Nous avons remarqué que l'inclinaison mensuelle offrait la puissance minimale, ce qui nous a conduit à choisir cette option avec un maximum de 78 panneaux solaires. Nous avons ensuite proposé deux types de systèmes d'irrigation : un système à fil fixe et un système à câble mobile. En calculant la puissance crête, nous avons déterminé que le premier type nécessitait 2 modules, tandis que le deuxième en nécessitait 3.

Après avoir analysé les résultats et évalué les coûts d'installation et d'achat des composants, nous avons choisi le deuxième type de système, équipé d'un moteur de 200 W et d'un modèle d'inclinaison mensuel, car il présentait la meilleure consommation d'énergie et durabilité.

Conclusion générale

Conclusion générale

Des recherches ont été menées sur les systèmes d'irrigation pour réduire leurs coûts économiques, humains et énergétiques. La recherche dans ce domaine se poursuit grâce aux avancées des technologies intelligentes. Des universités, dont l'Université Kasdi Merbah Ouargla (Algérie), soutiennent la création d'entreprises émergentes et l'innovation dans la recherche scientifique. Dans ce contexte, en tant que étudiants en génie mécanique, nous sommes intéressés à l'irrigation du blé dans les régions désertiques.

Grâce à des techniques locales et à l'utilisation de l'énergie solaire, ce système d'irrigation innovant fournit des conditions agricoles de qualité. Les étudiants ont étudié la consommation d'eau lors du processus d'irrigation dans différentes régions, tant dans les zones pluvieuses que désertiques. Ils ont constaté une consommation élevée en mars dans une région désertique, ce qui entraîne une consommation énergétique hydraulique importante.

Pour fournir cette énergie, on a calculé la puissance électrique produite par les panneaux solaires et on a opté pour un angle d'inclinaison mensuel pour obtenir le nombre minimal de panneaux solaires. Deux types de systèmes d'irrigation ont été proposés, et après analyse des résultats et des coûts financiers, le deuxième type avec un moteur de 200 W et un modèle d'inclinaison des panneaux mensuel a été considéré comme le meilleur en termes de consommation d'énergie et de durabilité.

Nous envisageons d'étendre le travail pour étudier d'autres aspects de l'agriculture des céréales, tels que le labour et la récolte, en utilisant des systèmes innovants et moins coûteux. Cela pourrait contribuer à améliorer la production de ce produit consommable stratégique à forte demande dans le pays.

Bibliographies

Bibliographies

- [1] Adjabi, A., Bouzerzour, H. and Benmahammed, A. 2014. Stability Analysis of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.) Grain Yield. *Journal of Agronomy*, 13(3): 131-139.
- [2] Slafer, G.A., and Andrade, F.H. 1989. Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Field Crop Res.*, 21: 289–296.
- [3] Miège, E. 1950. Les principales espèces et variétés de blé cultivées en Afrique du Nord. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale*, 329 :203-205.
- [4] Benbelkacem, A. 2014. The history of wheat breeding in Algeria. In Porceddu E. (ed.), Damania A.B. (ed.), Qualset C.O. (ed.). *Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat Bari: CIHEAM Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*, 110: 363-370
- [5] (<https://www.marketresearchfuture.com/reports/pasta-8>).
- [6] Thierry BEROCAN ,Perception paysanne de l'agriculture comme facteur de développement Université Shalom de Bunia RDC - Graduat en développement 2013.
- [7] Le MADR, (Mai 2012) « le renouveau agricole et rurale en marche » rapport du MADR, Alger.
- [8] Magazine El Bayane ,Pourquoi le blé est-il la cereale la plue important au monde ? date 17/03/2022.
- [9] Abinasa, M., Amsalu, A. and Geremew, B. 2011. Genetic variability, heritability and trait associations in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes. *African journal of agricultural research*, 6(17).
- [10] Ammar, K. 2015. Enhancing the Sustainability of Global Durum Wheat Production.<http://www.openfields.it/category/docs/2015>.
- [11] Ammar, M. 2014. Organisation de la chaine logistique dans la filière céréales en Algérie : Etat des lieux et perspectives. Master of Sciences, CIHEAM- IAMM, 127 pp.
- [12] BOUKHALFA, 2015.La céréaliculture dans les zones arides : Etat des lieux et perspectives. Ouargla, (10/03/2015), pp2-3.
- [13] CHAOUCHÉ, S., 2006. Développement agricole durable au Sahara. Nouvelles technologies et mutations socio-économiques : cas de la région de Ouargla.Thèse de doctorat université Aix Marseille p389.
- [14] BOUAMMAR B., 2015. La question de développement de la céréaliculture dans les régions sahariennes, 4ème Work shop sur l'agriculture saharienne, la céréaliculture dans les zones arides, Ouargla, 1à Mars, 12p.

Bibliographies

- [15] https://img.lemde.fr/2014/10/25/0/169/2662/1775/664/0/75/0/a049a7a_16467-vjwgr5.jpg
- [16] Schuhwerk, D., Nakhforoosh, A., Kutschka, S., Bodner G. and Grausgruber H. 2011. Field-screening of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for drought tolerance. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 61: 147–154.
- [17] Ducellier, L. 1930. Espèces et variétés des céréales cultivées en Algérie. Direction de l'Agriculture et de la Colonisation, 1-62.
- [18] Inraa-cnra. 1970. [Catalogue en ligne - SIAFEE – AgroParisTech.](#)
- [19] CNCC, 2015. Bulletin des variétés de céréales autogames. Edition 2015, 257 p.
- [20] GIBAN M, MINIER B, MALVOSI R., 2003. Stades du blé ITCF. ARVALIS. Institut du végétale, pp 68.
- [21] HADRIA R., 2006. Adaptation et spatialisaton des modèles stricts pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi-aride. Thèse de doctorat. université Cadi AYYAD Samlalia-Marrakech
- [22] HYN0 , blé hybride onglet [le blé en générale], 2002.
- [23] SOLTNER D, 1979. Les grandes productions végétales. les collections sciences et techniques agricoles, 16ème éd, Paris, 464 p
- [24] DUPONT, 1982, Hemicellulosic polymers from cell walls of beeswing wheat bran: Part I, polymers solubilised by alcali at 2 °. Carbohydr. Research 163: 99p.
- [25] Loue A ,1982 : Le potassium et les céréales, Dossier K20 n 02, pp1-41.
- [26] A. Slama, M Ben Salem, M Ben Naceur, résearchgate . net – secheresse, 2005.
- [27] CLEMENT-GRANDCOURT et PRAT, 1970, Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. PP351-360.
- [28] Viaux, IFLA Journal.journals.sagepub.com, 1981.
- [29] LAROUSSE AGRICOLE, Histoire des agricultures du monde, 2002.
- [30] BURTIN M, .BROBECK-ALLARD N, 2015, Fertilisation Des Grandes Cultures, Guide technique, Agriculteur et territoire, 36 p.
- [31] D. Saha, A. Zahid, S. R. Shrestha and P. Pavelic, In The Ganges River Basin: In Status and Challenges in water, Environment and Livelihoods, 2016, ISBN 978-1-138-90032-5.

Bibliographies

[32] Jaroslav Vrba , J. van der Gun, Les eaux souterraines du monde ressources, centre international d'évaluation des ressources en eaux souterraines , organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), Pays-Bas, December 2004

[33] <https://images.app.goo.gl/xqgExhGQSZEJ7aVA> , consulté le 01/05/2023

[34] A. Bilel. D. Hamza, Gestion durable des eaux pluviales dans les bâtiments résidentiels , Université saad dahleb blida01, Département d'architecture, 2019

[35] Cours de barrages au profit des étudiants de master 2ème hydrogéologie, Université Mostafa ben boulaïd-Batna, Département de géologie, 2021

[36] Rapport d'Information déposé en application de l'article 145 du Règlement par la Commission des Affaires Étrangères de France, 2011.

[37] Hamiche A, Stambouli A and Flazi S, 2016, 'A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues'. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41: 261-276.

[38] GIZ/BGR/OSS, 2016. Projet CREM: Etude d'évaluation du secteur de l'eau en Algérie, Etat des Lieux.

[39] Hamiche A, Stambouli A and Flazi S, 2016. 'A review on the water and energy sectors in Algeria: Current forecasts, scenario and sustainability issues', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41:261-276.

[40] Bouchekima B, Bechki D, Bouguettaia H, Boughali S and Tayeb Meftah M, 2008. 'The underground brackish waters in South Algeria: Potential and viable resources'. Laboratoire ENRZA, Université de Ouargla, Algeria, International Water Resources Association <https://www.iwra.org>

[41] British Geological Survey, 2018. Africa Groundwater Atlas: Hydrogeology of Algeria.

[42] Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009. Groundwater Management in Algeria: Draft Synthesis Report.

[43] B. Abderaouf, Réalisation d'un forage d'eau, université Akli Mohand Oulhadj -Bouira - Département de Génie de l'Eau, 2020

[44] <https://images.app.goo.gl/ujUGg3MvV2aNpKpR7> , consulté le 01/05/2023

[45] E. Van de Giessen , C. E. Roek , G . Bom ,S . Abric , R . Vuik, Le pompage solaire, Practica

Bibliographies

- [46] <https://images.app.goo.gl/bANVngctbkQqpdo7> , consulté le 01/05/2023
- [47] Samira BOUHEBEL (2021), Commande d'une pompe immergée par Arduino , Doctoral dissertation, University of Abdalhafid Boussouf, MILA.
- [48] Réseaux Electriques, Centre Universitaire Nour El Bachir El Bayadh, Département de Technologie, 2018
- [49] <https://allo.solar/base-de-connaissances/> , consulté le 09/03/2023.
- [50] M. Said , H. Salem , Contribution à la vulgarisation des systèmes photovoltaïques utiliser pour l'irrigation par pivots traditionnels dans la région d'EL OUED, Mémoire master en génie mécanique, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, 2018
- [51] <https://images.app.goo.gl/QZpUWWKpcBUYoLtn7> , consulté le 06/05/2023
- [52] I. Bendjamaa ‘‘Modélisation et commande d’un système de stockage photovoltaïque ‘‘Mémoire de Magister Université Abou-Baker Belkaid-Tlemcen, 2012.
- [53]<https://th.bing.com/th/id/OIP.2znX1Tzzde4Y7ACawjnrAHaDk?pid=ImgDet&rs=1>, consulte le 15/05/2023
- [54] M. Kessira, ‘‘Conception d’un projet d’irrigation’’, Direction Du Développement Agricole Dans Les Zones Arides Et Semi-arides, Algérie, ouvrage (2013).
- [55] <https://images.app.goo.gl/oBAF6LdP2c74Zhgz9> , consulté le 06/05/2023
- [56] <https://images.app.goo.gl/geGq5TrM4e6DpZZh9> , consulté le 06/0/2023
- [57] A. Labonne, « Alimentation d’une pompe à Burkina Faso »
- [58] B. Molle, « Les stations de pompage individuelles pour l’irrigation », juin 1996.
- [59] M. Lakhdar Louazene, université El Hadj Lakhdar – Batna , département d’électronique , mémoire de magister, maîtrise d’énergie, 2008
- [60] R. Comolet, Mécaniques expérimentale des fluides, 5eme Edition, dynod,2002.