

Session Décembre 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَمَا بِكُمْ مِّنْ نِّعْمَةٍ فَمِنَ اللَّهِ ﴾

Dédicace

- **Ma mère et mon père** : pour leur amour constant, leur patience et le soutien offert à chaque étape.
- **Mes sœurs et mon frère Yacine** : pour leur douceur, leur humour et leur présence qui ont souvent adouci mes journées.
- **Ma grand-mère** : pour ses prières, son affection et sa présence réconfortante.
- **La mémoire de mon grand-père (رحمه الله)** : dont les encouragements, les conseils et les valeurs continuent de guider mon cœur ; sa mémoire demeure vivante et précieuse.
- **Toutes mes amies** : pour leur fidélité, leurs encouragements et leurs prières qui ont toujours été source de motivation.
- **Tous mes enseignants**, depuis l'école primaire jusqu'à aujourd'hui : pour leur patience, leur dévouement et la

Remerciement :

Je remercie avant tout Allah Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance, et qui a placé sur mon chemin des personnes bienveillantes.

J'exprime aussi ma profonde gratitude à **mon promotrice, Madame Aziez O.**, qui n'est pas seulement une professeure excellente, mais aussi notre source de motivation et d'inspiration.

Je remercie également les enseignants de l'École Supérieure de l'Hydraulique, qui, durant ces cinq années, ont fait preuve de sérieux et d'engagement afin de nous transmettre leur savoir.

Mes remerciements vont aussi aux **membres du jury**, que j'ai l'honneur d'accueillir et que je remercie pour leur présence ainsi que pour les remarques et l'expertise qu'ils apporteront à l'amélioration de ce travail.

Toute ma reconnaissance va aussi au personnel administratif et technique de l'école, dont la disponibilité et la gentillesse ont rendu notre quotidien plus simple et plus serein.

Je remercie profondément mes parents et mes grands-parents, qui ont facilité mon parcours et m'ont offert un soutien et un amour constants. Mes pensées reconnaissantes vont aussi à mes sœurs qui m'ont aidée, ainsi qu'à mes amies, mon véritable appui, qui m'ont encouragée, soutenue et entourée comme si ce travail était le leur.

Enfin, un grand merci à toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenues, de près ou de loin, moralement ou scientifiquement. Votre bienveillance restera toujours gravée dans mon cœur.

الملخص:

تتناول هذه الدراسة تصميم نظام للصرف الزراعي في محيط بوقالي ببلدية العبادية، ولاية عين الدفلى، على مساحة تقارب 100 هكتار. تكمن الإشكالية في الموقع الطبوغرافي للمحيط المحاط بمرتفعات جبلية (400-600 م) التي توجه مياه الجريان السطحي نحو الأراضي الزراعية، إضافة إلى عدم انتظام التساقطات المطرية مما يؤدي إلى تشبع التربة. يهدف المشروع إلى تصميم شبكة صرف فعالة لتنظيم المياه وتحسين ظروف نمو المحاصيل وتعزيز الإنتاج الزراعي المستدام.

الكلمات المفتاحية: الري، المحاصيل، شبكات الصرف الزراعي.

Résumé :

Cette étude porte sur la conception d'un système de drainage agricole dans le périmètre de Boukali, situé dans la commune d'El Abadia, wilaya d'Aïn Defla, sur une superficie d'environ 100 ha. La principale contrainte du site réside dans sa configuration topographique, caractérisée par des reliefs montagneux (400 - 600 m) qui dirigent les eaux de ruissellement vers les terres agricoles, aggravée par l'irrégularité des précipitations. L'objectif de ce projet est de concevoir un réseau de drainage efficace afin de réguler l'eau dans le sol, améliorer les conditions de croissance des cultures et favoriser une production agricole durable.

Mots clés : Irrigation, cultures, réseaux de drainage.

Abstract:

This study focuses on the design of an agricultural drainage system in the Boukali perimeter, located in the commune of El Abadia, wilaya of Aïn Defla, covering an area of about 100 ha. The main constraint of the site is its topographic configuration, characterized by surrounding mountainous reliefs (400-600 m) that direct surface runoff toward agricultural lands, combined with irregular rainfall patterns. The objective of this project is to design an efficient drainage network to regulate soil water, improve crop growth conditions, and promote sustainable agricultural production.

Keywords: Irrigation, crops, drainage networks.

Table de matières

Table de matières	5
Liste des Tableaux	7
Introduction générale.....	11
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.....	13
I.1. Introduction :.....	13
I.2. Aperçu géographique :	13
I.3. Aperçu géologique :	15
I.4. Aperçu topographique :.....	16
I.5. Étude climatologique :	16
I.6. Calcul des indices Agrométéorologiques :	21
I.7. Analyse socio-économique :	24
I.8. Conclusion :	25
Chapitre II : Ressources en et en sol.....	27
II.1. Introduction :	27
II.2. Ressources en sol :	27
II.3. Ressources en eau :	33
II.4. Hydrologie : Calcul de la pluie de projet.....	38
II.5. Conclusion :	47
Chapitre III : Besoins en eau des cultures.....	49
III.1. Introduction :	49
III.2. Calcul des besoins en eau :	49
III.4. Calcul de la pluie efficace :	52
III.5. Calcul de la réserve en eau du sol :	52
III.6. Choix des cultures :	53
III.7. Cycle végétatif :	55
III.8. Estimation des besoins en eau des cultures :	55
III.9. Conclusion :	62
Chapitre IV : Drainage agricole et assainissement	64
IV.1. Introduction :	64
IV.2. Objectif du drainage	64
IV.3. Avantages et bienfaits du drainage.....	64
IV.4. Techniques de drainage	65
VI.5. Choix de la technique de drainage :	68
IV.6. Conclusion :	68

CHAPITRE V : Dimensionnement du réseau de drainage	70
V.1. Introduction :	70
V.2. Calcul du débit caractéristique (q_c) :	70
V.4. Choix du débit caractéristique	78
V.5 Dimensionnement des drains.....	80
V.6 Conclusion.....	92
Chapitre VI : Gestion, entretien et exploitation de réseau	92
VI.1. Introduction.....	92
VI.2. Causes de dysfonctionnement du réseau de drainage	92
VI.2.2. Obstructions pour raisons naturelles.....	93
VI.3. Entretien du réseau de drainage	93
VI.4. Exécution des travaux d'installation des canalisations	94
VI.5. Calcul des dimensions et des volumes de la tranchée :	94
IV.6. Calcul du coût du projet	97
VI.7. Conclusion :	98
Conclusion générale.....	100
Référence bibliographique :	102
Annexe	105

Liste des Tableaux

Tableau I-1 : Coordonnées de la station météorologique d'El Abadia.....	17
Tableau I-2 : Moyennes des températures mensuelles en °C.....	17
Tableau I-3: Pluies moyennes mensuelles en mm.	18
Tableau I-4 : L'humidité relative moyenne mensuelle %	19
Tableau I-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent.....	20
Tableau I-6: L'insolation moyenne mensuelle en h/j.	21
Tableau I-7 : Classification du climat selon de Martonne.....	22
Tableau II-1 : Résultats des analyses physico-chimiques (PROFIL N° : B13).....	29
Tableau II-2: Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux.....	32
Tableau II-3 : Résultats d'analyse de l'eau de la retenue Boukali.	35
Tableau II-4 : Classification des eaux selon la conductivité électrique (USSL, 1954)	36
Tableau II-5: Caractéristiques de la station El Abadia.	38
Tableau II-6: Série des pluies moyennes mensuelles (mm) de la station El Abadia.	38
Tableau II-7: Test d'homogénéité de la série pluviométrique.....	41
Tableau II-8 : Résultats du test d'homogénéité	42
Tableau II-9 : Ajustement selon la loi de Gauss.....	44
Tableau II-10: Test du chi-deux obtenu à l'aide du logiciel HYFRAN	46
Tableau II-11 : Tableau du χ^2 de Pearson	46
Tableau II-12 : Précipitations mensuelles estimées à 80 %.....	47
Tableau III-1: Répartition des cultures choisies selon le contexte pédoclimatique (100 ha)	53
Tableau III-2: Répartition des assolements (100 ha).....	54
Tableau III-3: Cycle végétatif des cultures proposées.....	55
Tableau III-4: Calcul des besoins en eau du Blé.	56
Tableau III-5 : Calcul des besoins en eau de l'Orge.....	56
Tableau III-6: Calcul des besoins en eau de l'Avoine.	56
Tableau III-7 : Calcul des besoins en eau du pois chiche.....	57
Tableau III-8 : Calcul des besoins en eau de la fèverole.	57
Tableau III-9: Calcul des besoins en eau de la Pomme de terre (AS).....	58
Tableau III-10: Calcul des besoins en eau de l'épinard.	58
Tableau III-11: Calcul des besoins en eau de betterave.	58
Tableau III-12: Calcul des besoins en eau de carotte.....	59
Tableau III-13 : Calcul des besoins en eau d'oignon.	59
Tableau III-14: Calcul des besoins en eau d'olivier.	59
Tableau III-15: Calcul des besoins en eau d'amandier.....	60
Tableau III-16: récapitulatif des besoins pour l'assolement 1.....	60
Tableau III-17 : récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.....	61
Tableau III-18: récapitulatif de volume totale pour l'assolement 1.	62
Tableau III-19: récapitulatif de volume totale pour l'assolement 2.	62
Tableau V-1 : Pluies maximales 1–5 j par trimestre, station El Abadia (1986–2019).	71
Tableau V-2 : Résultats de l'ajustement pour le premier trimestre (septembre, octobre, novembre)	73
Tableau V-3 : Résultats de l'ajustement pour le deuxième trimestre (décembre, janvier, février)	73
Tableau V-4 : Résultats de l'ajustement pour le troisième trimestre (mars, avril, mai).....	73
Tableau V-5 : Porosité en fonction de la texture du sol	75
Tableau V-6: Hauteur critique de la nappe selon le type de culture.....	76
Tableau V-7: Durée admissible de submersion selon le type de culture	76

Tableau V-8 : Résultats du calcul du débit caractéristique « qc » pour l'excès de pluie en tenant compte du stockage	76
Tableau V-9 : Valeurs de $(1 - e)$ selon le type de culture	77
Tableau V-10 : Résultats du calcul de « qc » pour l'excès de pluie sans prise en compte du stockage.....	77
Tableau V-11: Choix du débit caractéristique « qc »	78
Tableau V-12: Dimensionnement des drains et de leurs collecteurs	82
Tableau V-13: Dimensionnement global de l'ensemble des collecteurs jusqu'au point d'évacuation	88
Tableau V-14 : Longueur totale des drains et des collecteurs.	89
Tableau VII-1: Calcul des différents volumes.....	97
Tableau VII-2 : Estimation du coût des travaux d'excavation.	97
Tableau VII-3: Estimation du réseau de drainage	97
Tableau VII-4: Estimation du coût total du projet.....	98

Listes des figures :

Figure I-1: Carte administrative de la wilaya d'Aïn Defla	14
Figure I-2 : Carte satellite du périmètre délimité de Boukali (source : Google Earth, image datée du 21/11/2025).....	15
Figure I-3 : carte topographique d'El Abadia (topographic-map.com).	16
Figure I-4 : Répartition des températures moyennes.	18
Figure I-5 : Histogramme de la pluie moyenne mensuelle.....	19
Figure I-6 : Répartition mensuelle de l'humidité relative (%) dans la région d'étude.	20
Figure I-7 : Diagramme bioclimatique d'Emberger.	23
Figure I-8 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.	24
Figure II-1: Triangle des textures des sols.....	32
Figure II-2: diagramme de classification des eaux d'irrigation de l'USSL.....	37
Figure II-3: Ajustement des précipitations annuelles selon la loi de Gauss	44
Figure III-1 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle avec Cropwat	51
Figure IV-1: schéma du drainage à ciel ouvert.....	66
Figure IV-2: schéma du drainage souterrain	67
Figure V-1 : les courbes Hauteur–durée–fréquence (HDF) pour le premier trimestre.....	74
Figure V-2 : les courbes Hauteur–durée–fréquence (HDF) pour le deuxième trimestre.	74
Figure V-3 : les courbes Hauteur–durée–fréquence (HDF) pour le troisième trimestre.	74

Introduction générale

Introduction générale

La gestion de l'eau dans les périmètres agricoles constitue un facteur déterminant pour assurer la durabilité et la productivité des systèmes agricoles. Dans certaines régions, les contraintes ne sont pas seulement liées au déficit hydrique, mais également à la mauvaise évacuation des excès d'eau, qui peuvent provoquer l'engorgement des sols et perturber le développement des cultures.

Le périmètre agricole de Boukali, situé dans la commune d'El Abadia (wilaya d'Aïn Defla), présente une configuration topographique particulière. En effet, il est entouré de reliefs montagneux dont l'altitude varie entre 400 et 600 m, ce qui favorise la concentration et l'écoulement des eaux de ruissellement vers les zones agricoles situées en contrebas. Cette situation est accentuée par le régime pluviométrique irrégulier de la région, caractérisé par des épisodes de pluies parfois intenses pouvant entraîner une saturation rapide des sols et des difficultés d'évacuation naturelle des eaux.

Dans ce contexte, la mise en place d'un système de drainage adapté apparaît comme une solution essentielle pour protéger les terres agricoles contre les risques d'engorgement et améliorer les conditions de croissance des cultures.

Le principal objectif de ce projet est donc de concevoir un système de drainage agricole efficace et durable capable de collecter et d'évacuer les excès d'eau, tout en assurant une gestion optimale du niveau de la nappe dans le sol.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont les suivants :

- Étudier et caractériser la zone d'étude afin de comprendre ses conditions naturelles, climatiques et topographiques ;
- Analyser les ressources en sol et en eau afin d'évaluer leur potentiel agricole ;
- Déterminer les besoins en eau des cultures en fonction des conditions pédoclimatiques ;
- Identifier les techniques de drainage les plus adaptées au périmètre ;
- Dimensionner le réseau de drainage pour assurer l'évacuation efficace des excès d'eau ;
- Définir les modalités de gestion et d'entretien du système afin de garantir sa durabilité.

Ainsi, cette étude vise à proposer une solution technique adaptée aux contraintes hydrologiques du périmètre de Boukali, contribuant à améliorer les conditions de production agricole et à assurer une exploitation durable des terres agricoles.

CHAPITRE I :

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

I.1. Introduction :

Avant toute planification d'un projet hydro-agricole, il est essentiel d'analyser les caractéristiques naturelles de la zone concernée. Celles-ci englobent les éléments physiques, climatiques, topographiques, pédologiques, hydrologiques et géologiques du site. Elles influencent directement les choix techniques, les performances du futur aménagement, ainsi que sa durabilité. Ce chapitre présente les principaux paramètres naturels du périmètre de Boukali, situé dans la commune d'El Abadia, wilaya de Aïn Defla. Ces données constituent la base technique nécessaire à la conception du projet.

I.2. Aperçu géographique :

I.2.1. Situation géographique de la wilaya de Ain Defla :

La wilaya de Aïn Defla se situe dans le nord-centre de l'Algérie, à environ 145 km au sud-ouest de la capitale Alger. Elle occupe une position charnière entre l'Est et l'Ouest du pays, ce qui lui confère une importance stratégique en matière de communication et d'échanges.

Sur le plan administratif, elle est délimitée comme suit :

- **Au nord** : par la wilaya de Tipaza,
- **Au nord-est** : par la wilaya de Blida,
- **À l'est** : par la wilaya de Médéa,
- **Au sud** : par la wilaya de Tissemsilt,

- **À l'ouest** : par la wilaya de Chlef.



Figure I-1: Carte administrative de la wilaya d'Aïn Defla

I.2.2. Situation géographique du périmètre d'étude :

Le périmètre de Boukali, faisant l'objet de la présente étude, est implanté dans la commune d'El Abadia, relevant de la wilaya de Aïn Defla. Cette commune est située dans la partie occidentale de la wilaya, à une vingtaine de kilomètres du chef-lieu.

D'un point de vue administratif, la commune est délimitée comme suit :

- **Au nord** : par la commune de Tacheta Zougagha,
- **Au sud-est** : par la commune d'El Attaf,
- **Au sud** : par la commune de Tiberkanine,
- **À l'est** : par la commune d'Aïn Bouyahia,
- **À l'ouest** : par les frontières de la wilaya de Chlef.

La figure I.2 illustre le périmètre Boukali, au nord de la commune d'El Abadia. La zone rouge correspond aux 100 ha étudiés, tandis que l'ensemble rouge et vert montre la totalité du périmètre.

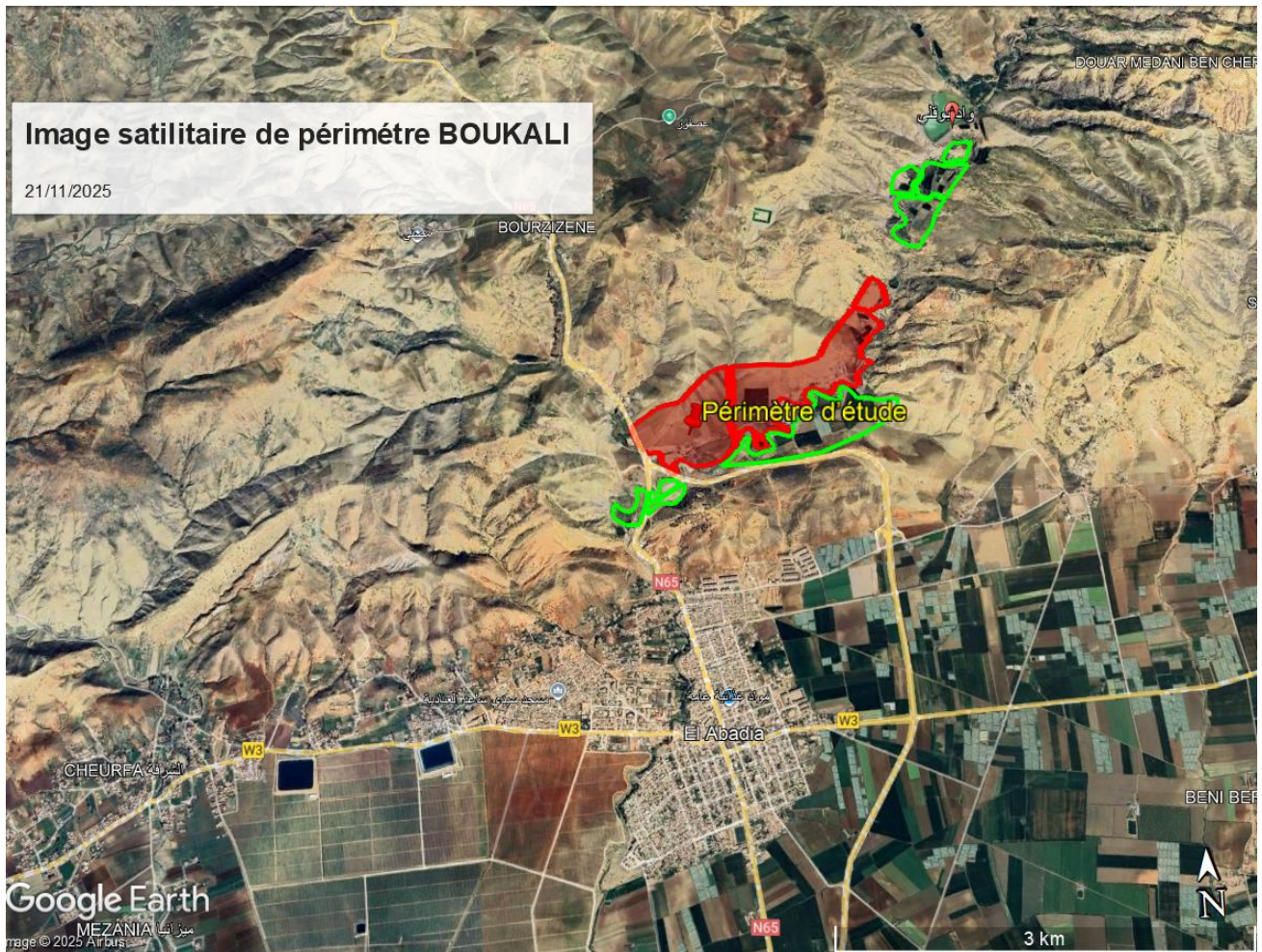


Figure I-2 : Carte satellite du périmètre délimité de Boukali (source : Google Earth, image datée du 21/11/2025).

I.3. Aperçu géologique :

Les formations géologiques rencontrées dans la commune d'El Abadia peuvent être regroupées en trois ensembles principaux :

- Des matériaux de dépôts alluvionnaires, localisés au niveau de la vallée du Chélif ;
- Des calcaires lacustres, présents dans le massif montagneux avoisinant ;
- Et des couches à tripoli et marnes gypseuses, observées dans la vallée de l'oued Boukali.

Le périmètre d'étude se situe précisément dans cette dernière zone, où les formations marno-gypseuses et à tripoli conditionnent fortement le comportement hydrique des sols. Cette configuration géologique, associée à une faible perméabilité et à une tendance à la saturation en eau.

I.4. Aperçu topographique :

La commune d'El Abadia (wilaya d'Aïn Defla) présente une altitude moyenne de 248 m, avec un minimum de 145 m et un maximum de 620 m.

Le périmètre de Boukali, situé au nord-est de la commune, se trouve dans une zone légèrement encaissée, à des altitudes comprises entre 210 m et 270 m. Il est bordé par des reliefs plus élevés au nord et à l'est (400–600 m), qui canalisent les eaux de ruissellement vers la zone agricole. Cette configuration nécessite une gestion adaptée du drainage pour protéger les cultures.

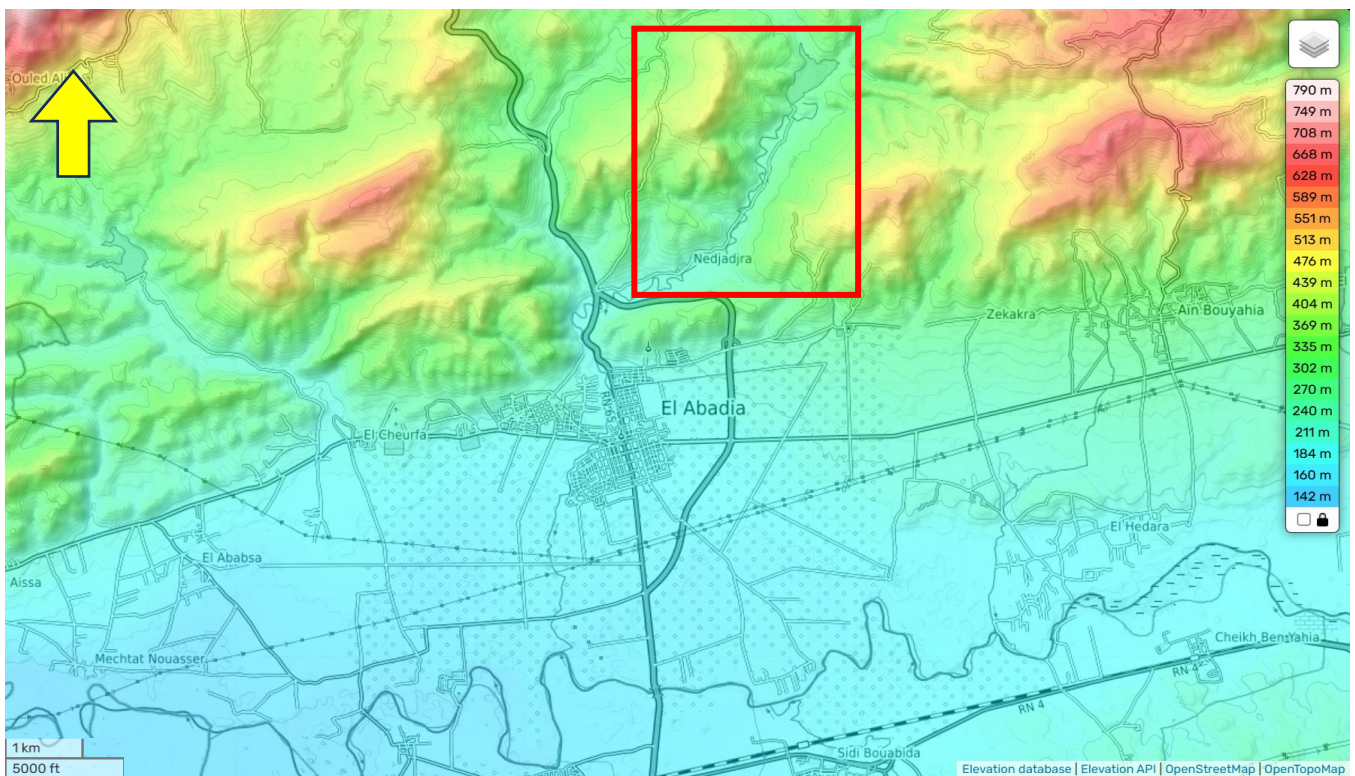


Figure I-3 : carte topographique d'El Abadia (topographic-map.com).

I.5. Étude climatologique :

L'étude des caractéristiques climatiques est essentielle pour évaluer les conditions environnementales influençant la gestion de l'eau dans un périmètre agricole. Dans ce chapitre, l'analyse portera principalement sur les paramètres clés tels que les précipitations, la température, l'évapotranspiration, l'humidité et le vent. Ces éléments permettront de mieux comprendre les apports naturels en eau, les besoins hydriques des cultures et les contraintes saisonnières, afin d'adapter le dimensionnement du système de drainage du périmètre de Boukali.

I.5.1. Choix de la station de référence :

Pour l'analyse des précipitations et des autres paramètres climatiques nécessaires à l'étude du périmètre de Boukali, il est essentiel de disposer de données fiables et représentatives. Le choix de la station météorologique s'appuie sur plusieurs critères, tels que la proximité géographique du site d'étude, la qualité des mesures et la période d'enregistrement disponible. Dans ce contexte, la station « El Abadia » a été retenue comme référence en raison de sa localisation stratégique par rapport au périmètre et de la pertinence de ses séries de données climatiques.

Les principales caractéristiques de cette station sont présentées ci-dessous :

Tableau I-1 : Coordonnées de la station météorologique d'El Abadia.

Nom de la station	Code station	Coordonnées		Altitude (m)
		Latitude Y	Longitude X	
ElAbadia	012001	327.3	407.85	162

(Source : ANRH Alger)

I.5.2. Les températures :

La température constitue un facteur déterminant dans l'évaluation des besoins en eau d'irrigation et dans le choix du type et du système d'irrigation appropriés. Les données de température relatives (1986-2019) à la région étudiée sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-2 : Moyennes des températures mensuelles en °C.

	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy
Tmin (°C)	3.2	4.1	6.9	8.0	10.8	15.8	20.8	21.1	16.8	12.1	7.0	4.9	11.0
Tmax (°C)	19.6	17.7	22.7	24.4	30.4	36.7	38.3	38.9	34.8	29.5	22.8	17.8	27.8
Tmoy (°C)	9.5	10.5	13.2	15.7	20.3	25.1	29.6	29.7	24.3	20.5	14.2	10.6	18.6

(Source ONM Alger)

La connaissance de ces valeurs et de leurs fluctuations est essentielle pour évaluer les besoins hydriques des cultures, anticiper les phénomènes d'évapotranspiration et comprendre l'influence des conditions climatiques sur la saturation et le drainage des sols. La figure ci-dessous présente l'évolution mensuelle des températures dans la zone étudiée :

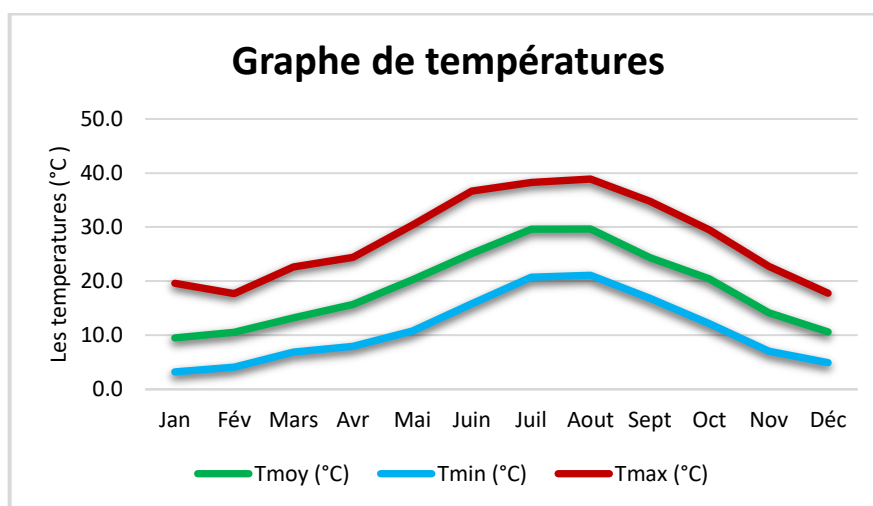


Figure I-4 : Répartition des températures moyennes.

➤ **Interprétation :**

Selon le tableau et la figure I.4, la température moyenne la plus basse est observée en janvier, avec 9,5 °C, tandis que la plus élevée apparaît en août, atteignant 29,7 °C. La température minimale varie entre 3,2 °C en janvier et 21,1 °C en août, alors que la maximale fluctue de 17,7 °C en février à 38,9 °C en août. La température annuelle moyenne est de 18,6 °C. La saison chaude, caractérisée par des températures moyennes supérieures à 18,6 °C, s'étend de mai à septembre, alors que la saison froide couvre la période de novembre à avril. Cette alternance saisonnière illustre une nette influence climatique sur les besoins hydriques et les pratiques agricoles de la région.

I.5.3. Études des précipitations :

Les précipitations mensuelles représentent un facteur essentiel pour l'évaluation du bilan hydrique et la détermination des besoins en irrigation. Elles permettent d'estimer la disponibilité naturelle en eau et d'adapter les doses d'irrigation aux besoins des cultures. Dans la région étudiée, la hauteur annuelle moyenne des précipitations est estimée à 339,2 mm.

Tableau I-3: Pluies moyennes mensuelles en mm.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	P _{annuel}
P _{moy men}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5	339.2

(Source ANRH Alger)

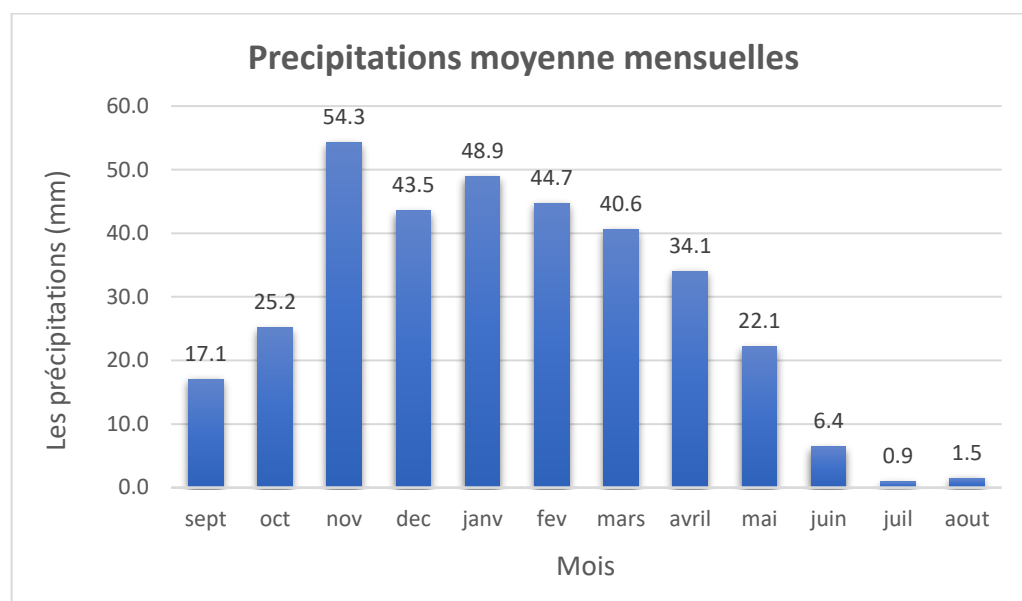


Figure I-5 : Histogramme de la pluie moyenne mensuelle

➤ **Interprétation :**

L'analyse du régime pluviométrique montre une forte concentration des précipitations entre octobre et avril, avec un maximum enregistré en novembre (54,3 mm) et en janvier (48,9 mm). Cette période constitue la principale saison humide de l'année. En revanche, les mois d'été sont très secs, notamment juillet (0,9 mm) et août (1,5 mm), ce qui traduit une longue période de déficit hydrique.

La pluviométrie annuelle atteint 339,2 mm, une valeur relativement faible qui classe la région dans un contexte semi-aride. Ce niveau de pluie reste insuffisant pour couvrir les besoins hydriques des cultures, rendant l'irrigation indispensable et confirmant l'importance d'un système de drainage efficace pour assurer une meilleure gestion de l'eau dans les sols agricoles.

I.5.4. L'humidité relative :

L'humidité relative constitue un paramètre essentiel dans le cycle de développement végétatif, car elle influence directement l'évapotranspiration et les besoins en eau des cultures.

Tableau I-4 : L'humidité relative moyenne mensuelle %

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
Humidité relative%	76	72	67	64	61	58	59	58	61	65	73	79	66.08

(Source ONM Alger)

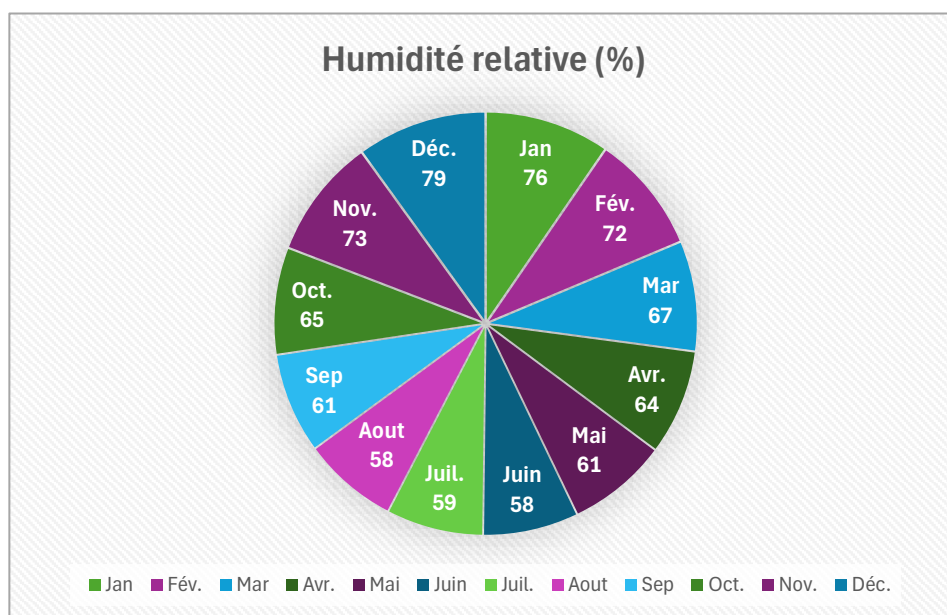


Figure I-6 : Répartition mensuelle de l'humidité relative (%) dans la région d'étude.

➤ **Interprétation :**

Selon le tableau I-4 et la figure I.6.4, on observe que l'humidité relative moyenne annuelle est de 66,08 %. Les valeurs maximales sont enregistrées en décembre (79 %) et en janvier (76 %), correspondant à la saison hivernale. En revanche, les minima apparaissent en juin et août (58 %), période estivale caractérisée par une forte sécheresse. Cette variation saisonnière met en évidence l'influence du climat méditerranéen, avec une humidité plus élevée en hiver et plus faible en été, ce qui intensifie l'évapotranspiration et augmente les besoins en irrigation.

I.5.5. Le vent :

L'étude du vent est importante en climatologie agricole, car il agit directement sur l'évapotranspiration et la répartition de l'eau, en particulier lors de l'irrigation par aspersion. Sa vitesse et sa direction constituent également des paramètres à considérer dans la conception des aménagements hydro-agricoles.

Tableau I-5 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Vitesse de vent (m/s)	3.0	3.2	2.9	3.6	3.4	2.9	3.0	3.0	2.5	2.1	3.1	2.9	3.0

(Source ONM Alger)

➤ **Interprétation :**

L'analyse de la vitesse du vent révèle une moyenne annuelle de 3,0 m/s. Les vitesses les plus élevées sont observées en avril (3,6 m/s) et mai (3,4 m/s), tandis que les plus faibles apparaissent en octobre (2,1 m/s) et septembre (2,5 m/s). La distribution mensuelle met en évidence une variabilité modérée, mais suffisante pour influencer l'évapotranspiration et l'efficacité de l'irrigation par aspersion. Ces conditions indiquent la nécessité de prendre en compte le vent dans la gestion de l'eau et la conception des systèmes agricoles.

I.5.6. L'insolation :

L'insolation constitue un paramètre fondamental, intervenant directement dans les processus d'évaporation et d'évapotranspiration.

Tableau I-6: L'insolation moyenne mensuelle en h/j.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Insolation (h/j)	6.3	6.9	8.2	9.3	10.9	12.5	12.6	11.7	10.2	8.8	6.6	6.1	9.2

(Source ONM Alger)

➤ **Interprétation :**

Selon les données du tableau, la durée moyenne annuelle d'insolation est de 9,2 h/jour, traduisant une disponibilité lumineuse importante dans la région. Les valeurs maximales sont enregistrées en juillet (12,6 h/jour) et en juin (12,5 h/jour), correspondant à la période estivale, tandis que les valeurs minimales apparaissent en décembre (6,1 h/jour) et en janvier (6,3 h/jour). Cette répartition saisonnière montre une forte variabilité entre l'été et l'hiver, influençant à la fois les processus d'évaporation et d'évapotranspiration ainsi que la croissance végétale.

I.6. Calcul des indices Agrométéorologiques :

Afin de caractériser le type de climat ainsi que l'interaction de ses différentes variables et leurs effets sur la végétation, deux paramètres essentiels sont pris en compte : les précipitations et la température.

À partir de ces deux facteurs, il est possible de calculer deux indices climatiques majeurs : l'indice de Martonne et le quotient ombrothermique d'Emberger, largement utilisés dans l'évaluation climatique.

I.6.1. Indice d'aridité de Martonne :

L'indice d'aridité de Martonne permet de caractériser le degré d'aridité de la région. Il s'agit d'un indicateur climatique essentiel pour orienter les pratiques d'irrigation et optimiser la gestion des ressources en eau. Il est défini comme suit :

$$I_A = \frac{P}{T+10}$$

Avec : I_A : indice climatique.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (°C)

Application :

$$I_A = \frac{339.2}{18.6 + 10} = \mathbf{11.86}$$

Tableau I-7 : Classification du climat selon de Martonne

Valeurs de I	Type de climat	Irrigation
$I < 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I < 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I < 20$	Sec	Souvent Indispensable
$20 < I < 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I > 30$	Humide	Inutile

Selon le tableau de classification climatique et en considérant que $10 < I < 20$, la région de Boukali présente un climat sec, où l'irrigation s'avère souvent indispensable.

I.6.2. Quotient Ombrothermique d'Emberger :

Cet indice a pour objectif de déterminer la zone bioclimatique de la région étudiée :

$$Q = \frac{1000.P}{\left(\frac{M+m}{2}\right).(M-m)} = \frac{2000.P}{M^2-m^2} \dots\dots\dots (I.2)$$

Avec :

- **Q** : Quotient pluviométrique d'Emberger
- **P** : Moyenne de précipitation annuelle
- **M** : moyenne des températures maximales en Kelvin
- **m** : moyenne des températures minimales en Kelvin

T en Kelvin = T en °C + 273,15

Application : $Q = \frac{2000 \times 339.2}{300.9^2 - 284.1^2} = 68.9$

En reportant la valeur de Q = 68.9 sur le diagramme bioclimatique d'Emberger et en tenant compte de la température minimale moyenne du mois le plus froid (3,2 °C).

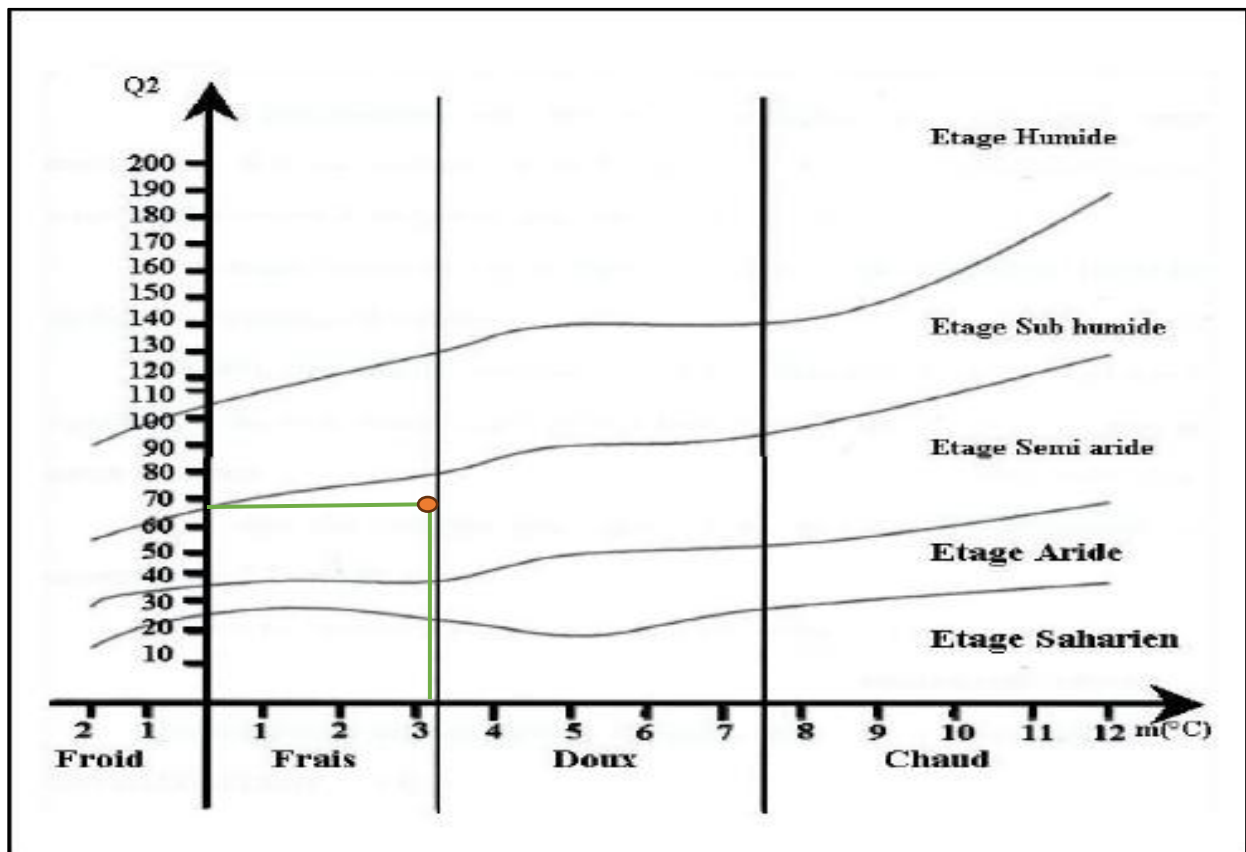


Figure I-7 : Diagramme bioclimatique d'Emberger.

D'après la classification bioclimatique d'Emberger, le climat de la région d'El Abadia se caractérise par un type semi-aride.

I.6.3. Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen :

L'indice de Bagnouls et Gaussen constitue un outil de référence pour la classification climatique, car il permet d'identifier les périodes biologiquement sèches d'une région. Il repose sur deux paramètres essentiels : la pluviométrie (en mm) et la température (en °C). À travers le diagramme ombrothermique, ces deux variables sont confrontées en représentant, sur une double échelle, la température moyenne mensuelle et les précipitations totales mensuelles. La règle de lecture est simple : un mois est considéré comme sec lorsque la courbe des précipitations se situe en dessous de celle des températures, c'est-à-dire

Lorsque $2T > P$. Ce diagramme met ainsi en évidence la durée et l'intensité de la saison sèche, dont la détermination revêt une importance particulière en hydrogéologie et en agriculture.

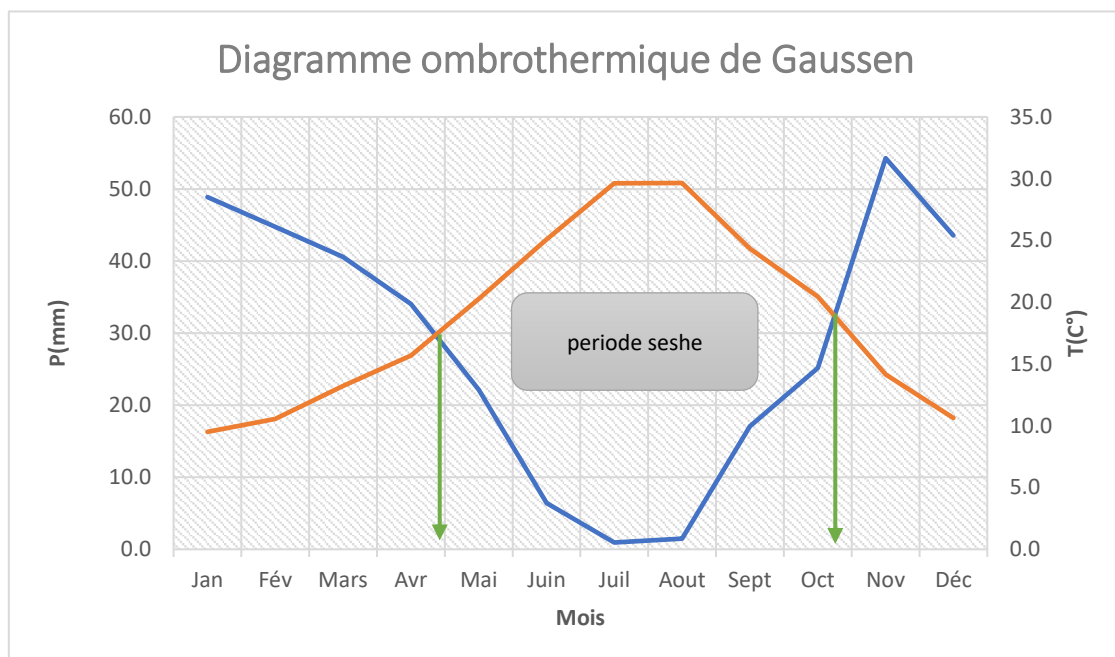


Figure I-8 : Diagramme ombrothermique de Gaussen.

➤ Interprétation :

D'après la figure I.8, la saison sèche s'étend d'avril à octobre. En revanche, la saison humide couvre la période de novembre à avril.

I.7. Analyse socio-économique :

La région d'El Abadia, et plus particulièrement le périmètre de Boukali, se distingue par un contexte agricole favorable marqué par la fertilité de ses sols et la diversité des cultures pratiquées. L'agriculture constitue la principale activité économique, reposant sur la céréaliculture, l'arboriculture fruitière et le maraîchage. La retenue collinaire de Boukali représente une source d'eau essentielle pour l'irrigation, renforçant la sécurité hydrique et permettant une meilleure productivité agricole.

Sur le plan socio-démographique, la population locale est majoritairement rurale et fortement impliquée dans les activités agricoles. Les exploitations sont de taille moyenne à petite, souvent gérées de manière familiale, ce qui favorise la transmission des savoir-faire traditionnels et le maintien d'une cohésion sociale. D'un point de vue économique, l'agriculture constitue le moteur de développement local. Elle contribue significativement aux revenus des ménages et à la création d'emplois directs et indirects, notamment dans les activités de commercialisation des produits agricoles et les services associés. Toutefois, la dépendance quasi-exclusive au secteur agricole rend la région vulnérable aux aléas climatiques et économiques, ce qui souligne l'importance d'améliorer les infrastructures hydrauliques et les techniques culturales afin d'assurer une meilleure durabilité et résilience du périmètre agricole de Boukali.

I.8.Conclusion :

L'analyse globale des caractéristiques géographiques, géologiques, topographiques, climatiques et socio-économiques du périmètre de Boukali montre que la zone évolue dans un contexte semi-aride, marqué par une pluviométrie faible et irrégulière ainsi qu'un été chaud et sec. La présence de formations marno-gypseuses à faible perméabilité, combinée à une topographie légèrement encaissée, favorise l'accumulation des eaux et rend la zone sensible aux problèmes de saturation et de stagnation hydrique. Les conditions climatiques, caractérisées par une forte évapotranspiration et une longue période de déficit hydrique, confirment la nécessité d'un apport régulier en eau pour assurer le développement des cultures. Dans un territoire où l'agriculture représente une activité essentielle, ces contraintes naturelles mettent en évidence l'importance de concevoir des aménagements hydro-agricoles adaptés. Ainsi, l'ensemble des paramètres étudiés constitue une base fondamentale pour la planification d'un système d'irrigation et de drainage efficace, garantissant une gestion durable des ressources en eau dans le périmètre de Boukali.

Chapitre II :

**Ressources en eau – Ressources
en sol**

Chapitre II : Ressources en eau - Ressources en sol

II.1. Introduction :

L'analyse des ressources pédologiques constitue une étape fondamentale pour identifier la nature des sols, étudier leurs caractéristiques physico-chimiques et évaluer leur aptitude à la production agricole, dans l'objectif d'optimiser leur valorisation et d'améliorer les rendements. De la même manière, l'examen des ressources hydriques, en tenant compte de leur disponibilité, de leur quantité, de leur qualité et de leur classification pour l'irrigation, représente un facteur essentiel pour assurer une gestion durable et adaptée aux besoins des cultures. Dans cette perspective, le présent travail vise à évaluer simultanément le potentiel des sols et des eaux et à proposer des approches de gestion intégrée favorisant une utilisation rationnelle et efficiente de ces ressources.

II.2. Ressources en sol :

L'étude des sols vise à comprendre leurs propriétés afin de déterminer leur potentiel et leurs limites pour l'irrigation, le drainage et les activités agricoles. Dans ce cadre, plusieurs caractéristiques sont essentielles :

- Profondeur du sol : influence l'épaisseur exploitable par les racines et la réserve en eau disponible.
- Texture et granulométrie : déterminent la capacité de rétention en eau et la facilité de drainage.
- Structure et porosité : conditionnent la perméabilité des horizons et l'efficacité des systèmes d'irrigation.
- Propriétés chimiques (pH, conductivité électrique, SAR) : orientent le choix des cultures et les pratiques d'amendement.

II.2.1. Classification des sols :

L'étude des sols du périmètre de Boukali repose sur la classification pédologique, permettant de comprendre la nature, la répartition et les potentialités des sols pour l'irrigation et le drainage. Cette classification suit les principes de la CPCS (France, 1970), adoptée par l'ANRH en Algérie, qui distingue les sols selon plusieurs niveaux : classe, sous-classe, groupe, sous-groupe, famille et série. Dans le périmètre étudié, deux grandes classes de sols sont identifiées :

II.2.1.1 – Classe des sols minéraux bruts :

Les sols minéraux bruts se trouvent principalement sur les zones en pente élevée du périmètre. Ils résultent d'une érosion intense, qui entraîne l'amincissement des horizons superficiels, partiellement compensé par des apports alluviaux provenant des crêtes. La pédogenèse y est réduite ou récente, expliquant la formation de sols à tendance brun calcaire.

Les horizons supérieurs présentent une structure grumeleuse, tandis que les horizons sous-jacents sont variables, souvent polyédriques ou poreux. Ces sols ont une valeur agricole faible et nécessitent des travaux spécifiques, notamment pour la lutte contre l'érosion et le drainage localisé.

II.2.1.2. Classe des sols peu évolués :

Les sols peu évolués se situent sur les parties basses ou les terrasses alluviales, notamment le long de l'oued Boukali. Ils proviennent d'apports colluviaux ou alluviaux et présentent des horizons superficiels plus épais que les sols minéraux bruts. Leur valeur agricole est moyenne, mais certains problèmes peuvent survenir, comme l'hydromorphie et le drainage lent, en particulier près des nappes phréatiques.

A) Série des sols peu évolués modaux :

- Localisation : deux rives de l'oued Boukali
- Caractéristiques : couleur brunâtre, structure polyédrique moyenne à grossière, texture limoneuse s'affinant en profondeur, présence de fissures de retrait en surface en période sèche, gravier et cailloux en profondeur
- Chimie : sols pauvres en matière organique (<2 %), calcaire actif moyen

B) Série des sols peu évolués à horizon profond mal drainant :

- Localisation : terrasses le long de l'oued Boukali
- Origine : colluvions des oueds à texture variable, horizon superficiel limoneux
- Particularité : hydromorphie faible mais persistante, liée à la présence de nappes

Exemple – Profil B13 :

- Classe : sols peu évolués
- Sous-classe : d'origine non climatique
- Groupe : sols peu évolués d'apport
- Sous-groupe : sols peu évolués d'apport alluvial
- Famille : formations alluviales indifférenciées

- Série : tendance brun calcaire
- Aptitudes culturales : adaptées uniquement au goutte-à-goutte (C2-C4-1-A2)
- Travaux nécessaires : drainage et lutte contre l'érosion sur pentes

Description du profil :

- 0–28 cm : jaune orangé, texture limoneuse, structure grumeleuse, enracinement abondant, nodules calcaires, horizon poreux, effervescence modérée à l'HCl
- >28 cm : jaune orangé, texture limono-argileuse, structure polyédrique fine, enracinement faible, nodules calcaires, horizon plus compact, présence de graviers, effervescence forte à l'HCl.

II.2.2 Propriétés physico-chimiques et aptitudes des sols

L'analyse physico-chimique des sols permet de :

- ✓ Déterminer la profondeur disponible pour les racines, essentielle pour le choix des cultures ;
- ✓ Évaluer la texture, qui influence la rétention d'eau et la capacité de drainage ;
- ✓ Étudier la structure et la porosité, conditionnant la perméabilité et l'efficacité des systèmes d'irrigation ;
- ✓ Apprécier les propriétés chimiques (pH, calcaire, EC, SAR) pour orienter le choix des cultures et les pratiques d'amendement.

Les résultats des analyses physico-chimiques du périmètre sont présentés dans le tableau II.1 :

Tableau II-1 : Résultats des analyses physico-chimiques (PROFIL N° : B13)

	Paramètres	B131 (0–28 cm)	B132 (>28 cm)
	Profondeur (cm)	0–28	>28
GRANULOMETRIE	Argile (%)	40.4	36.22
	Limon (%)	40.6	40.12
	Sable (%)	19	23.66

MATIERE ORGANIQUE		Matière organique (%)	0.7	0.4
		Carbone (mg/kg de sol)	4.1	2.2
		Azote (mg/kg de sol)	0.3	0.2
		Rapport C/N	13	10.9
SOLUTION DU SOL	CATIONS	Ca⁺⁺ (méq/100g)	15.28	16.4
		Mg⁺⁺ (méq/100g)	1.4	1.6
		Na⁺ (méq/100g)	0.6	0.69
		K⁺ (méq/100g)	0.3	0.5
	Anions	SO₄⁻⁻ (méq/100g)	34.9	36.7
		Cl⁻ (méq/100g)	1.6	3.3
		HCO₃⁻ (méq/100g)	0.9	1.3
	Caractéristiques chimiques	pH eau	8	7.9
		CE (mmhos/cm)	1.4	1.2
		Salinité (g/L)	1.3	1.2
		SDT (mg/L)	330	290

RESERVES MINERALES	CaCO₃ total (%)	44.3	46.2
	CaCO₃ actif (%)	14.6	15.7
	P Total (mg P/kg sol)	0.4	0.1
	P₂O₅ Assimilable (ppm)	30	10
	K₂O (mg/kg sol)	0.3	0.1

Les mesures chimiques du sol montrent une conductivité électrique faible ($CE = 1,2-1,4$ mmhos/cm), ce qui indique que le sol est non salin selon le seuil critique de 4 mmhos/cm. Les teneurs en sodium sont très faibles ($Na^+ = 0,6-0,69$ méq/100 g), et le calcul du SAR et de l'ESP confirme que le sol est non alcalin ($ESP \approx 0,3$ %) : aucun risque de sodisation ni de dégradation structurale due au sodium. Ainsi, la qualité chimique du sol est favorable à la culture, sans contraintes liées à la salinité ou à l'alcalinité.

II.2.2.1. : Analyse de la texture de sol :

La texture du sol est définie par la proportion relative de sable, de limon et d'argile dans un sol particulier tels que :

- ✓ Le sable : 21.33%
- ✓ Le limon : 40.36%
- ✓ L'argile : 38.31%

Pour notre cas, le triangle des textures de sols est le suivant :

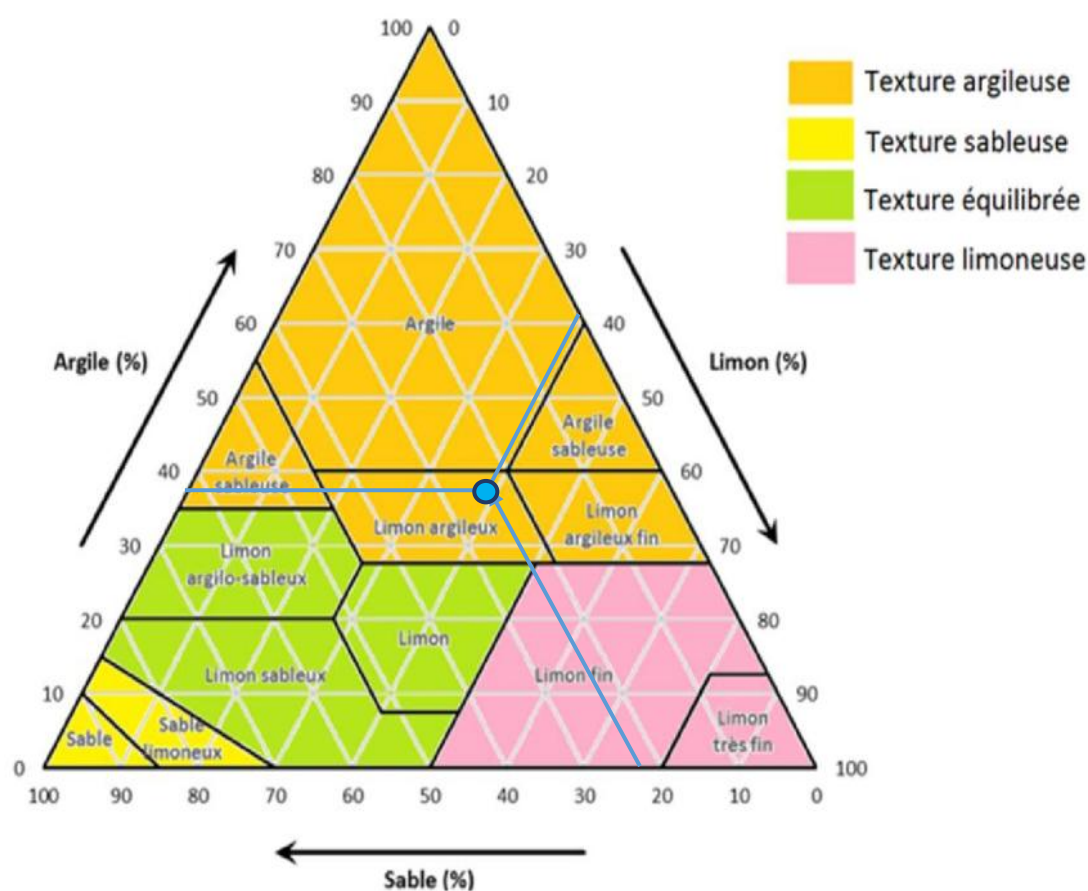


Figure II-1: Triangle des textures des sols.

II.2.5. : Paramètres hydrodynamiques des sols :

Les propriétés hydrodynamiques de notre périmètre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-2: Caractéristiques hydrodynamiques des sols limono-argileux.

Paramètre	Valeur moyenne
Texture	Limono-argileux
Densité apparente D_a	1.3
Perméabilité K	7 mm/h
Humidité à la capacité au champ $H_{pf}(\%)$	27

Humidité point de flétrissement $H_{cc}(\%)$	16
--	----

II.2.6. : Occupation et aptitudes culturales des sols du périmètre

L'occupation des sols du périmètre est dominée par la céréaliculture (blé et orge), accompagnée de cultures fourragères et légumineuses, d'une arboriculture rustique (olivier, amandier, figuier, abricotier), de vergers irrigués (pommier, poirier, prunier, vigne), de cultures maraîchères variées (pomme de terre, tomate, pastèque, melon, etc.) ainsi que d'arbres forestiers utilisés comme brise-vent. L'élevage (bovin, ovin, caprin) reste limité.

Concernant les aptitudes culturales, les sols présentent :

- **Arboriculture** : bonnes aptitudes pour l'olivier, l'amandier, le figuier et l'abricotier ; aptitudes moyennes pour les vergers irrigués (pommier, poirier, prunier, vigne).
- **Cultures industrielles** : possibilités favorables pour la tomate industrielle et la betterave sucrière.
- **Céréales et fourrages** : l'irrigation améliore fortement les rendements ; aptitudes bonnes à moyennes pour la luzerne, le bersim, le sorgho, le maïs, le blé et l'orge.
- **Cultures maraîchères** : sols favorables sans restriction (tomate, pomme de terre, carotte, chou-fleur, cucurbitacées, piment, oignon, ail).
- **Légumineuses** : adaptées en irrigué, elles enrichissent les sols en azote et améliorent leur structure.

II.3. Ressources en eau :

L'eau représente une ressource essentielle pour l'agriculture, particulièrement dans les zones à climat sec où les précipitations sont limitées. L'évaluation des ressources hydriques consiste à analyser leur disponibilité, leur qualité et leur répartition, afin d'orienter la gestion de l'irrigation et du drainage vers une utilisation rationnelle et durable.

II.3.1. Retenue Boukali :

La retenue collinaire construite sur l'oued Boukali constitue l'ouvrage principal d'alimentation en eau du périmètre d'irrigation projeté. Ses caractéristiques techniques peuvent être regroupées en quatre volets essentiels : les paramètres géométriques, les capacités de stockage, les ouvrages hydrauliques et les équipements de gestion des eaux.

- **Caractéristiques géométriques**
- Hauteur de la digue : **15,5 m**
- Cote du fond : **100,5 m**
- Cote du niveau mort (NVM) : **106 m**
- Cote du niveau normal de retenue : **112,9 m**
- Cote des plus hautes eaux (NPHE) : **114,3 m**
- Cote de la crête : **116 m**
- **Capacités de stockage**
- Volume mort : **0,29 Mm³**
- Volume utile : **0,835 Mm³**
- Volume au niveau normal de la retenue : **1,13 Mm³**
- **Ouvrages hydrauliques**
- Largeur du déversoir : **35 m**
- Hauteur de charge déversée : **1,43 m**
- Débit évacué : **180,95 m³/s**
- **Équipements de gestion des eaux**
- Conduite de vidange : **500 mm**
- Conduite de prise : **250 mm**

II.3.2. Qualité de l'eau de la retenue Boukali :

Il est indispensable d'étudier la qualité de l'eau destinée à l'irrigation avant toute opération d'aménagement agricole. Cette évaluation repose sur l'examen de plusieurs paramètres essentiels, parmi lesquels :

- Le pH,

- Le risque de salinité,
- Le taux de sodium (rapport d'absorption du sodium ou SAR),
- La présence de carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium,
- Ainsi que les anions toxiques.

Tableau II-3 : Résultats d'analyse de l'eau de la retenue Boukali.

Elément	Moyenne (meq/l)
Calcium Ca^{2+}	8.6
Magnésium Mg^{+}	6.5
Sodium Na^{+}	7.1
Chlorures Cl^{-}	4.01
Sulfates SO^{2-}	17.8
PH	7.7
CE (mmhos/cm)	0,85

II.3.2.1. Risque de Salinité :

La salinité, exprimant la concentration en sels dissous, constitue un paramètre déterminant pour l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation. Une salinité excessive limite l'absorption de l'eau par les plantes, générant un stress osmotique préjudiciable à leur développement. Elle est couramment mesurée par la conductivité électrique, directement liée à la mobilité ionique, et déterminée à 25 °C. Les valeurs sont exprimées en dS/m, mS/cm ou mmhos/cm. Selon la classification de l'USSL (1954), la qualité des eaux est répartie en quatre niveaux de danger en fonction de la conductivité électrique :

Tableau II-4 : Classification des eaux selon la conductivité électrique (USSSL, 1954)

Classe	Teneur en sel (g/L)	Conductivité électrique (mmhos/cm)	Appréciation	Aptitude pour les cultures
C1	<0.2	<0.25	Eaux faiblement salines	Convenable pour toutes les cultures
C2	0.2-0.5	0.25-0.75	Eaux à salinité moyenne	Convenable pour les plantes modérément tolérantes
C3	0.5-1.5	0.75-2.25	Eaux à salinité forte	Utilisable seulement sur des sols bien drainés et avec des cultures tolérantes
C4	1.5-3	>2.25	Eaux à très forte salinité	Difficilement utilisable même sur sols bien drainés

Avec une CE de 0,85 dS/m, l'eau de la retenue de Boukali est classée C3 (salinité élevée). Elle reste utilisable pour l'irrigation à condition d'assurer un bon drainage et de privilégier des cultures tolérantes au sel.

II.3.2.2. Risque d'alcalinité :

La teneur élevée en sodium (Na^+) dans une eau d'irrigation favorise la dispersion des particules argileuses, entraînant un phénomène de défloculation qui détériore la structure du sol en réduisant sa porosité et sa perméabilité. L'évaluation de ce risque d'alcalinité repose sur le Sodium Adsorption Ratio (SAR), indicateur largement utilisé pour estimer l'équilibre relatif entre le sodium et les cations divalents calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}). Cet indice est calculé selon la relation :

$$SAR = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Où Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en méq/l.

Application :

$$\text{SAR} = \frac{7.1}{\sqrt{\frac{8.6 + 6.5}{2}}} = 2.58$$

II.3.2.3. Classification USSL finale :

Nous utilisons le diagramme suivant pour classer les eaux d'irrigation de la retenue de Boukali, à partir des résultats obtenus : une conductivité électrique (CE) de 0,85 mmhos/cm et un rapport d'adsorption du sodium (SAR) de 2,58.

Selon le diagramme de l'USSL (Figure II.2), notre est classé en C3-S1 :

- C3 : Salinité forte → nécessite un bon drainage et des cultures tolérantes.
- S1 : Risque sodique faible → aucun impact important sur la structure du sol.

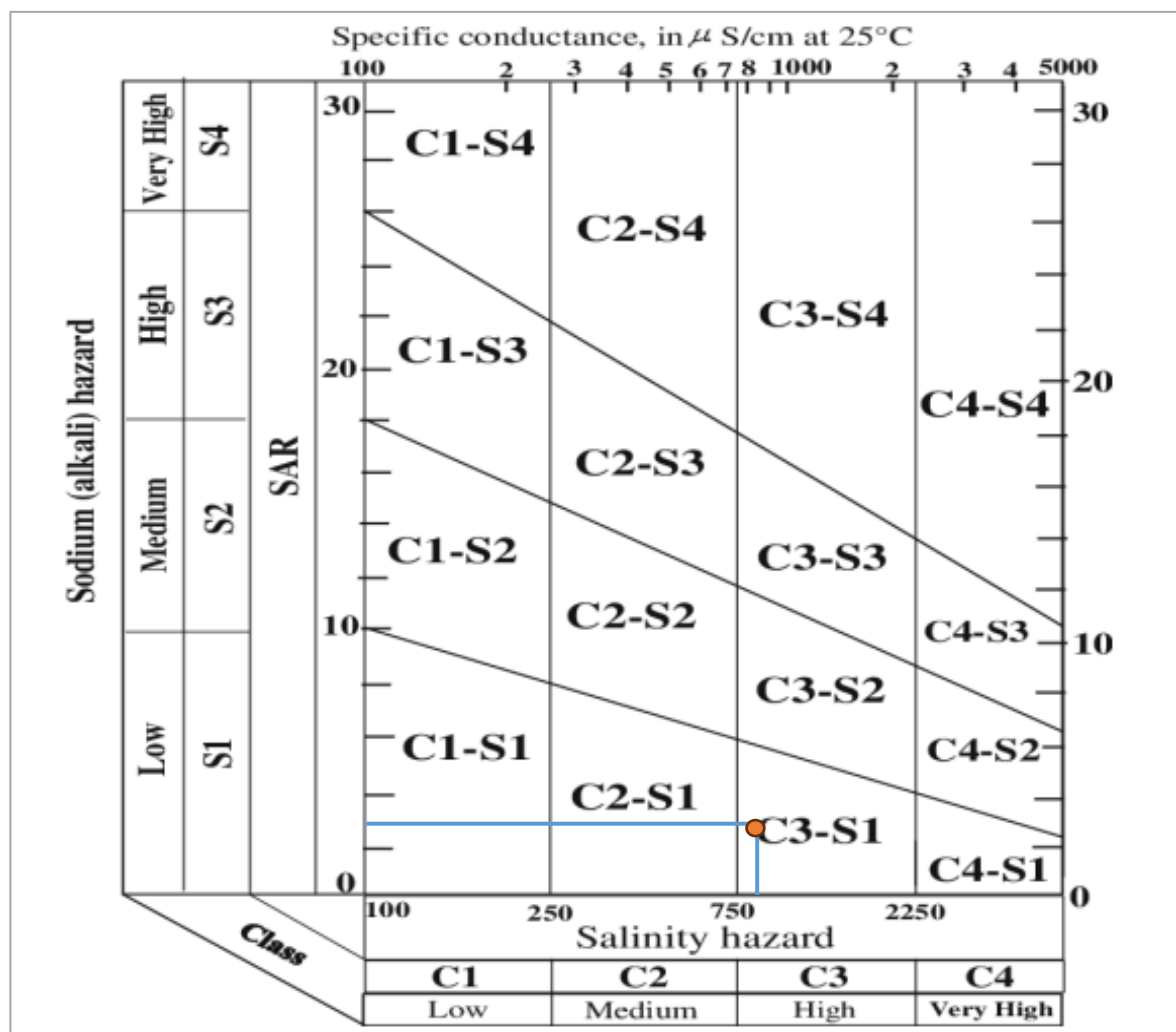


Figure II-2: diagramme de classification des eaux d'irrigation de l'USSL

Interprétation :

Les eaux de la retenue de Boukali se classent dans la catégorie C3-S1, ce qui traduit un risque d'alcalinité faible (S1), permettant leur utilisation sans danger notable d'accumulation de sodium pour la plupart des sols. En revanche, la salinité relativement élevée (C3) constitue une contrainte majeure, pouvant limiter leur usage sur certains types de sols et de cultures. Ainsi, il est nécessaire de mettre en place des mesures adaptées, telles qu'un drainage efficace et le choix d'espèces tolérantes au sel, afin de réduire les effets négatifs liés à cette salinité.

II.4. Hydrologie : Calcul de la pluie de projet

Dans le cadre d'un projet d'hydraulique agricole, l'étude hydrologique constitue une étape essentielle. Elle permet d'analyser la distribution des précipitations et de déterminer les hauteurs mensuelles correspondant à une fréquence de 80 % (année sèche). Ces informations offrent une base fiable pour évaluer les apports en eau naturels et orienter la conception des aménagements hydrauliques en vue d'une gestion durable et efficiente des ressources.

II.4.1 : Choix de la station :

Les stations pluviométriques utilisées pour l'estimation des précipitations dans le bassin versant sont sélectionnées en fonction de leur position géographique et de la durée des observations disponibles. Pour notre périmètre d'étude, l'analyse pluviométrique s'appuie sur les données de la station « **El-Abadia** », laquelle offre une représentation fiable et représentative des conditions climatiques de la zone considérée.

Tableau II-5: Caractéristiques de la station El Abadia.

Nom de la station	Code station	Coordonnées		Altitude (m)	Période d'observation	Durée d'observation
		Latitude Y	Longitude X			
EL-Abadia	012001	407.85	327.3	163	1986-2019	34 ans

(Source ANRH Alger)

II.4.2 : Données de précipitation :

Les données pluviométriques de la station sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II-6: Série des pluies moyennes mensuelles (mm) de la station El Abadia.

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	P _{Annuel}
1986	23.8	19.0	53.1	89.5	44.0	105.6	6.4	1.6	0.0	4.4	0.0	0.0	347.4
1987	19.3	18.2	62.8	33.8	35.7	5.2	45.9	26.5	24.7	6.8	0.0	0.0	278.9
1988	9.9	24.7	25.6	78.2	5.8	34.0	63.3	35.2	5.0	15.3	0.0	0.0	297.0

1989	14.6	1.6	10.6	15.5	47.3	3.2	49.7	88.2	19.9	0.0	10.0	0.0	260.6
1990	0.0	11.0	46.3	50.7	59.5	38.9	57.3	11.8	7.0	0.0	0.0	0.0	282.5
1991	2.5	45.5	31.8	4.0	79.8	5.7	52.9	41.7	33.2	4.7	0.0	0.0	301.8
1992	0.0	22.9	27.6	16.6	3.3	25.7	35.2	70.0	19.4	0.0	0.0	0.0	220.7
1993	16.9	43.1	22.7	34.1	31.2	62.0	58.6	24.6	19.4	7.5	0.0	0.0	320.1
1994	41.1	23.5	46.3	26.0	117.3	8.9	60.9	0.0	0.0	16.6	0.0	0.0	340.7
1995	52.0	19.5	54.5	28.3	68.8	161.5	83.2	113.9	33.8	39.3	11.3	0.0	666.1
1996	54.4	9.6	10.2	48.8	54.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	192.3
1997	10.2	17.1	114.0	24.3	14.2	28.7	11.7	39.2	105.5	0.0	0.0	0.0	364.9
1998	10.7	19.4	29.6	30.2	67.0	68.7	54.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	280.1
1999	17.6	9.8	39.3	70.1	2.8	0.0	1.4	24.7	2.7	0.0	0.0	0.0	168.4
2000	22.7	44.8	87.4	20.6	90.0	4.0	0.0	33.2	17.3	0.0	0.0	0.0	320.0
2001	0.0	0.0	63.1	22.5	30.1	9.0	51.2	43.3	40.6	0.0	0.0	3.9	263.7
2002	0.0	28.3	56.7	28.1	102.3	56.7	17.1	25.4	0.0	12.3	0.0	0.0	326.9
2003	1.6	25.6	82.5	67.2	29.8	42.3	27.0	16.4	67.0	0.0	0.0	0.0	359.4
2004	10.0	31.7	26.7	82.1	38.6	81.4	20.1	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	296.3
2005	5.0	27.5	57.2	72.4	26.0	77.6	8.6	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	310.5
2006	14.0	0.0	0.0	109.9	19.3	40.3	50.7	74.0	34.8	0.0	5.2	0.0	348.2
2007	81.4	67.0	78.1	18.9	16.5	23.2	33.6	11.2	50.4	14.5	0.0	0.0	394.8
2008	3.7	38.1	76.3	95.1	83.7	27.9	51.5	71.4	15.1	0.0	0.0	0.0	462.8
2009	18.9	12.5	56.1	56.6	55.1	83.3	62.7	8.3	8.3	0.0	0.0	28.6	390.4
2010	6.2	100.8	69.7	35.4	91.4	79.6	15.7	31.0	72.0	21.3	0.0	0.0	523.1
2011	0.0	22.5	81.4	12.3	18.2	72.3	25.2	66.5	10.1	0.0	0.0	0.0	308.5
2012	3.4	38.1	96.7	8.6	66.6	105.7	57.2	51.4	59.2	0.0	4.7	0.0	491.6
2013	28.4	0.0	57.6	53.0	50.0	33.9	67.4	2.0	16.8	0.0	0.0	2.3	311.4
2014	12.7	18.6	74.6	79.7	55.3	112.5	23.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	377.8
2015	20.3	1.2	38.4	0.0	25.4	46.3	138.7	19.0	9.9	0.0	0.0	0.0	299.2
2016	0.0	0.9	42.0	42.5	106.8	2.1	3.7	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	205.2
2017	6.5	49.6	66.5	71.7	29.5	66.8	94.2	111.9	32.4	61.2	0.0	0.0	590.3
2018	40.9	55.4	74.6	29.1	60.1	8.2	21.5	21.1	3.3	0.3	1.0	0.2	315.7

2019	31.4	7.9	85.1	24.0	36.5	0.0	29.3	88.8	7.2	6.6	0.0	0.0	316.8
P_{moy} men	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5	339.2

II.4.3 Analyse de l'homogénéité de la série pluviométrique : Test de Wilcoxon

Avant toute analyse hydrologique, il est primordial de s'assurer de la cohérence et de la continuité des données, car les interruptions ou anomalies dans les enregistrements pluviométriques d'une station peuvent compromettre la fiabilité des résultats. La vérification de l'homogénéité d'une série de précipitations constitue donc une étape essentielle pour garantir la représentativité des données utilisées.

À cet effet, le test non paramétrique de Wilcoxon est couramment employé. La méthodologie adoptée se déroule en plusieurs étapes :

- **Subdivision de la série** : la série pluviométrique complète est scindée en deux sous-séries, notées X et Y, de tailles respectives N1 et N2, en général avec N1>N2.
- **Classement des données** : l'union des deux sous-séries (XUY) est formée en classant l'ensemble des valeurs pluviométriques par ordre décroissant.
- **Attribution des rangs** : chaque valeur de la série classée se voit attribuer un rang, tout en précisant si elle appartient à la sous-série X ou à la sous-série Y.
- **Calcul de l'indice de Wilcoxon** : on détermine la somme des rangs de la sous-série X, notée W_x.

La série est considérée comme homogène avec un seuil de confiance de 95 % si la condition suivante est vérifiée :

$$W_{\min} < W_x < W_{\max}$$

Avec :

$$W_{\min} = \frac{(N1+N2+1) \times N1}{2} - 1.96 \times \sqrt{\frac{N1 \times N2 \times (N1+N2+1)}{12}}$$

$$W_{\max} = (N1 + N2 + 1) \times N1 - W_{\min}$$

Les résultats du test de Wilcoxon se présentent comme suit :

Tableau II-7: Test d'homogénéité de la série pluviométrique

La série originale	Série X (mm)	Série Y (mm)	X U Y	Série d'origine	Rang
347.4	347.4	462.8	168.4	X	1
278.9	278.9	390.4	192.3	X	2
297	297	523.1	205.2	Y	3
260.6	260.6	308.5	220.7	X	4
282.5	282.5	491.6	260.6	X	5
301.8	301.8	311.4	263.7	X	6
220.7	220.7	377.8	278.9	X	7
320.1	320.1	299.2	280.1	X	8
340.6525	340.6525	205.2	282.5	X	9
666.1	666.1	590.3	296.3	X	10
192.3	192.3	315.7	297	X	11
364.9	364.9	316.8	299.2	Y	12
280.1	280.1		301.8	X	13
168.4	168.4		308.5	Y	14
320	320		310.5	X	15
263.7	263.7		311.4	Y	16
326.9	326.9		315.7	Y	17
359.4	359.4		316.8	Y	18
296.3	296.3		320	X	19
310.5	310.5		320.1	X	20
348.2	348.2		326.9	X	21
394.8	394.8		340.6525	X	22
462.8			347.4	X	23

390.4			348.2	X	24
523.1			359.4	X	25
308.5			364.9	X	26
491.6			377.8	Y	27
311.4			390.4	Y	28
377.8			394.8	X	29
299.2			462.8	Y	30
205.2			491.6	Y	31
590.3			523.1	Y	32
315.7			590.3	Y	33
316.8			666.1	X	34

Selon le tableau :

Tableau II-8 : Résultats du test d'homogénéité.

N₁	22
N₂	12
W_x	334
W_{min}	330.61
W_{max}	439.39

✓ **Vérification de l'homogénéité :**

$$W_{\min} = 330.61 < W_x = 334 < W_{\max} = 439.39$$

La condition de Wilcoxon est vérifiée, ce qui confirme l'homogénéité de la série des précipitations moyennes annuelles de la station d'El Abadia.

II.4.3 : Ajustement des pluies annuelles

Dans le cadre de l'étude des précipitations annuelles, il est courant d'effectuer un ajustement statistique des données afin de déterminer la loi de probabilité qui représente le mieux la distribution observée.

Parmi les lois les plus utilisées pour les précipitations annuelles, on distingue notamment :

- La loi normale (ou loi de Gauss).
- La loi log-normale (ou loi de Galton).

II.4.3.1 : Ajustement selon la loi normale :

Une variable suit une distribution normale lorsque sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

Où u représente la variable réduite de Gauss, définie par : $u = \frac{X - \bar{x}}{\sigma}$ représente la variable réduite de Gauss, définie par :

$$u = \frac{X - \bar{x}}{\sigma}$$

Le processus d'ajustement statistique se déroule généralement en plusieurs étapes :

1. Trier les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
2. Attribuer un rang à chaque valeur classée.
3. Calculer la fréquence expérimentale.
4. Déterminer la variable réduite de Gauss u pour chaque observation.
5. Calculer les caractéristiques empiriques de la distribution, telles que :
 - Moyenne arithmétique des précipitations $\bar{x}$
 - Variance σ^2
 - Coefficient de variation C_v
 - Coefficient d'asymétrie C_s
1. Tracer la droite de Henry sur un papier de probabilité gaussien pour visualiser l'ajustement.

L'équation de la droite de Henry est donnée par :

$$Xp\% = \bar{x} + \sigma \cdot Up\%$$

Où :

- $X_{P\%}$ représente la précipitation correspondant à une probabilité $P\%$
- $U_{P\%}$ la variable réduite gaussienne correspondante.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau et la figure ci-dessous :

Tableau II-9 : Ajustement selon la loi de Gauss

T	q	XT	Écart-type	Intervalle de confiance
100	0.99	584.5	35.192	515.53 - 653.51
50	0.98	555.8	32.208	492.65 - 618.93
20	0.95	512.7	27.975	457.83 - 567.52
10	0.9	474.4	24.566	426.20 - 522.51
5	0.8	427.9	21.12	386.54 - 469.35
3	0.6667	384.6	18.922	347.50 - 421.69
2	0.5	339.2	18.079	303.80 - 374.68
1.25	0.2	250.5	21.12	209.13 - 291.94

Avec :

- q : probabilité de non-dépassement,
- T : période de retour,
- XT : précipitation théorique.

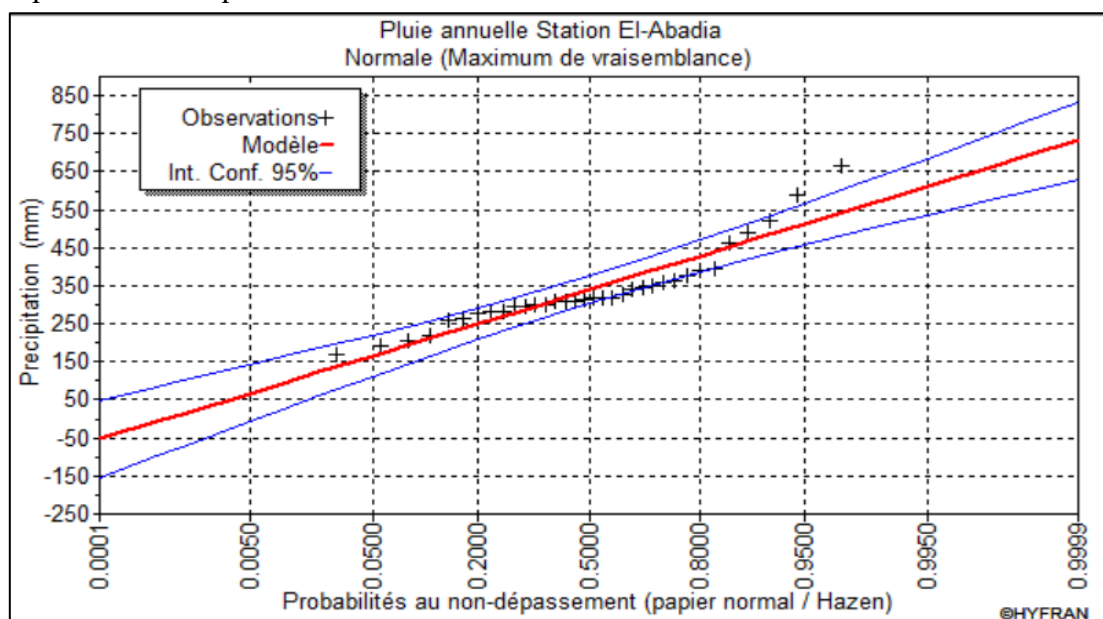


Figure II-3: Ajustement des précipitations annuelles selon la loi de Gauss

II.4.4. Test de fiabilité des ajustements :

Lors du choix d'une loi pour ajuster la distribution statistique d'un échantillon, la loi sélectionnée doit représenter approximativement les données étudiées. L'erreur engendrée par l'adoption d'une loi spécifique est appelée erreur d'ajustement. Il est donc essentiel de comparer la qualité de l'ajustement de différentes lois afin de retenir la plus appropriée. Parmi les tests les plus couramment utilisés figure le test du chi-carré (χ^2).

Considérons un échantillon de N valeurs, triées par ordre croissant ou décroissant, que l'on souhaite analyser, et pour lequel une loi de distribution F(X) a été déterminée. On divise cet échantillon en K classes, chaque classe contenant N_i valeurs expérimentales.

Le nombre V_i représente le nombre théorique de valeurs d'un échantillon de N valeurs attribuées à la classe i par la loi de distribution, et est donné par l'équation suivante :

$$V_i = N \int_{x_i}^{x_{i+1}} F(x) dx = N[F(x_{i+1}) - F(x_i)]$$

Où F(x) est la fonction de densité de probabilité correspondant à la distribution théorique.

Pearson a défini la variable aléatoire dont la distribution est étudiée par l'expression :

$$\chi^2 = \sum \frac{(N_i - V_i)^2}{V_i}$$

On calcule ensuite et les degrés de liberté :

$$\gamma = K - 1 - m$$

Où :

- m est le nombre de paramètres de la loi de distribution (ici m=2).

La valeur théorique de χ^2 est obtenue à partir des tables de Pearson. La distribution est considérée adéquate si et seulement si :

$$\chi_{calculé}^2 < \chi_{théorique}^2$$

Pour tous les calculs, nous avons utilisé le logiciel HYFRAN :

Tableau II-10: Test du chi-deux obtenu à l'aide du logiciel HYFRAN

Test de khi carre (logiciel HYFRAN)	
Résultat de la statique	$\chi^2 = 10.71$
p-value	p = 0.0575
Degré de liberté	5
Nombre de classes	8
Niveau de signification	5%

Selon le tableau du χ^2 de Pearson :

Tableau II-11 : Tableau du χ^2 de Pearson .

A\alpha	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,016	0,455	1,074	1,642	2,705	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,211	1,386	2,408	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,584	2,366	3,665	4,642	6,251	7,815	9,837	11,345	16,266
4	1,064	3,357	4,878	5,989	7,779	9,488	11,668	13,277	18,467
5	1,610	4,351	6,064	7,289	9,236	11,070	13,388	15,086	20,515
6	2,204	5,348	7,231	8,558	10,645	12,592	15,033	16,812	22,457
7	2,833	6,346	8,383	9,83	12,017	14,067	16,622	18,475	24,322
8	3,490	7,344	9,524	11,030	13,362	15,507	18,168	20,090	26,125
9	4,168	8,343	10,656	12,242	14,684	16,919	19,679	21,666	27,877

Avec :

- ✓ α : niveau de signification
- ✓ A : degré de liberté

Selon le logiciel HYFRAN, les résultats suivants ont été obtenus :

- ✓ Khi-deux calculé (χ^2) = 10.71
- ✓ En se référant au tableau du χ^2 de Pearson, nous avons : Khi-deux théorique (χ^2) = 11,07

Ainsi :

$$\chi^2_{\text{calculé}} = 10.71 < \chi^2_{\text{théorique}} = 11.07$$

Par conséquent, l'ajustement selon la loi de Gauss est jugé acceptable.

II.4.5. Détermination de l'année de calcul

Étant donné que la loi normale s'est révélée la plus appropriée pour représenter la distribution des pluies, elle a été retenue pour estimer la pluviométrie annuelle moyenne représentative de la région avec une fréquence de 80 %.

La formule permettant d'estimer la pluviométrie annuelle moyenne représentative de la région, pour une fréquence de 80 %, s'écrit comme suit :

$$P_{\text{moy mensuelle } 80\%} = P_{\text{moy mensuelle}} \times \frac{P_{\text{annuelle } 80\%}}{P_{\text{annuelle } 50\%}}$$

$$\text{D'où : } \frac{P_{80\%}}{P_{50\%}} = 0.8$$

Les résultats de calcul de l'année de précipitations de probabilité à fréquence de 80% sont comme suit :

Tableau II-12 : Précipitations mensuelles estimées à 80 %

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
P_{moy men}	17.06	25.16	54.27	43.52	48.89	44.74	40.57	34.06	22.14	6.41	0.95	1.47
P_{80%}	13.65	20.13	43.42	34.82	39.11	35.79	32.46	27.25	17.71	5.13	0.76	1.18

II.5. Conclusion :

L'analyse combinée des sols et des ressources en eau du périmètre de Boukali permet de déterminer les potentialités agricoles et les contraintes existantes. Les sols, majoritairement limono-argileux, présentent une bonne qualité chimique, non salins et non alcalins, favorables à de nombreuses cultures. L'eau de la retenue, bien que légèrement saline, reste utilisable avec des cultures tolérantes et un drainage approprié. L'étude hydrologique, incluant les précipitations et leur distribution, assure une planification rationnelle de l'irrigation. L'ensemble de ces analyses offre une base solide pour une gestion intégrée et durable des ressources hydriques et pédologiques. Cette approche permet d'optimiser la production agricole tout en préservant les sols et l'eau

Chapitre III :

Besoins en eau des cultures

Chapitre III : Besoins en eau des cultures.

III.1. Introduction :

Ce chapitre a pour objectif d'estimer les besoins en eau des cultures, à partir des calculs précédemment établis, afin de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol. Ces besoins sont directement liés à l'évapotranspiration, phénomène qui résulte à la fois de la transpiration des plantes et de l'évaporation de l'eau à partir du sol. L'analyse de ce processus constitue la base pour la détermination précise des apports en eau nécessaires au bon développement des cultures.

III.2. Calcul des besoins en eau :

Les besoins en eau sont définis comme la quantité d'eau supplémentaire devant être apportée par irrigation afin de compléter les apports fournis par les précipitations. Avant d'évaluer les besoins spécifiques des cultures, il est nécessaire de prendre en considération différents paramètres liés à la plante, ainsi que les données climatiques et pédologiques de la zone étudiée.

$$B_i = ETM_i - (P_{eff} + RFU_{i-1}) \quad \text{III.1}$$

Avec :

- B_i : besoins en irrigation (mm).
- ETM_i : évapotranspiration maximale (mm), définie par :

$$ETM = ET_0 * K_c \quad \text{III.2}$$

- K_c : coefficient cultural propre à la culture considérée.
- P_{eff} : précipitations efficaces (mm).
- RFU_{i-1} : réserve facilement utilisable du sol (mm).

III.3. Calcul de l'évapotranspiration potentielle de référence (ET₀) :

L'évapotranspiration potentielle de référence (ET₀) est une grandeur théorique qui exprime l'évaporation et la transpiration d'une surface végétalisée de référence, sous des conditions atmosphériques standardisées. Elle constitue la base pour l'estimation des besoins en eau réels des cultures dans une région donnée.

Il existe plusieurs méthodes de calcul de l'évapotranspiration de référence, que l'on peut regrouper en deux grandes catégories :

II.3.1. Méthodes directes :

- **Évapotranspiration par lysimètre** : cette méthode utilise un lysimètre, c'est-à-dire un réservoir rempli de sol et de plantes, permettant de mesurer les pertes en eau par évapotranspiration en suivant la différence entre les apports en eau et le drainage.
- **Bac d'évaporation** : cette méthode repose sur l'utilisation d'un bac rempli d'eau afin de mesurer le taux d'évaporation. Les données recueillies servent ensuite à estimer l'évapotranspiration des cultures voisines en appliquant un coefficient de conversion.

III.3.2. Méthodes indirectes :

Ces méthodes permettent de calculer l' ET_0 à l'aide de formules basées sur les paramètres climatiques. Parmi les principales équations utilisées figurent celles de Priestley-Taylor, Makkink, Turc, Hargreaves, Blaney-Criddle, Thornthwaite, Penman, ainsi que la formule modifiée de Penman-Monteith.

Dans le cadre de notre étude, nous adoptons la formule modifiée de Penman-Monteith, reconnue comme la méthode de référence par la FAO.

Formule modifiée de Penman-Monteith :

En 1948, Penman et Monteith ont conjointement élaboré un bilan d'énergie basé sur la méthode du transfert de masse. En exploitant des données climatologiques telles que l'ensoleillement, la température, l'humidité et la vitesse du vent, ils ont proposé une équation permettant d'estimer l'évapotranspiration d'une surface libre d'eau.

Depuis, la formule de Penman-Monteith modifiée s'est imposée comme l'approche de référence pour l'évaluation de l'évapotranspiration et elle est fortement recommandée par la FAO.

La formule s'exprime comme suit :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times U_2)} \quad \text{III.3}$$

Où :

- ET_0 : évapotranspiration de référence (mm/jour).
- Rn : rayonnement net à la surface de la culture (MJ/m²/jour).
- G : flux de chaleur dans le sol (MJ/m²/jour).
- T : température moyenne de l'air à 2 mètres de hauteur (°C).

- U_2 : vitesse du vent à 2 mètres de hauteur (m/s).
- e_s : pression de vapeur saturante (kPa).
- e_a : pression de vapeur réelle (kPa).
- Δ : pente de la courbe de pression de vapeur saturante (kPa/°C).
- γ : constante psychrométrique (kPa/°C).

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence, nous avons utilisé le logiciel **CROPWAT** (FAO, 2008) en appliquant la méthode de **Penman-Monteith**.

Les données climatiques mensuelles introduites dans le logiciel sont :

- **Température** : températures minimales et maximales mensuelles.
- **Humidité de l'air** : humidité relative exprimée en pourcentage (%).
- **Durée d'ensoleillement** : nombre d'heures de soleil par jour.
- **Vitesse du vent** : mesurée en mètres par seconde (m/s).

Les résultats obtenus pour l'évapotranspiration de référence (ET_0), calculés à l'aide du logiciel CROPWAT, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Pays Algerie		Station El Abadia					
Altitude 162 m.	Latitude 36.27 °N		Longitude 1.69 °E				
Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ET ₀
	°C	°C	%	m/s	heures	MJ/m ² /jour	mm/mois
Janvier	3.2	19.6	76	3.0	6.3	10.0	60.42
Février	4.1	17.7	72	3.2	6.9	12.9	63.30
Mars	6.9	22.7	67	2.9	8.2	17.4	105.84
Avril	8.0	24.4	64	3.6	9.3	21.7	136.90
Mai	10.8	30.4	61	3.4	10.9	25.6	188.00
Juin	15.8	36.7	58	2.9	12.5	28.4	223.21
Juillet	20.8	38.3	59	3.0	12.6	28.2	242.09
Août	21.1	38.9	58	3.0	11.7	25.5	234.03
Septembre	16.8	34.8	61	2.5	10.2	20.8	169.11
Octobre	12.1	29.5	65	2.1	8.8	15.7	115.35
Novembre	7.0	22.8	73	3.1	6.6	10.7	75.65
Décembre	4.9	17.8	79	2.9	6.1	9.1	48.67
Moyenne	11.0	27.8	66	3.0	9.2	18.8	1662.56

Figure III-1 : Résultats de calcul de l'évapotranspiration potentielle mensuelle avec Cropwat

III.4. Calcul de la pluie efficace :

L'efficience des précipitations se définit comme la part des apports pluviométriques réellement utile à la satisfaction des besoins en eau des cultures, après déduction des pertes liées au ruissellement de surface, à la percolation profonde ainsi qu'à d'autres phénomènes similaires, Ces pertes sont généralement estimées à environ 20 % du volume total des précipitations.

Elle est calculée selon la relation suivante :

$$P_{eff} = A \times P_{80\%} \quad (III.4)$$

Avec :

- P_{eff} : pluies efficaces (mm/mois),
- $P_{80\%}$: pluies correspondant à l'année sèche (mm/mois),
- A : coefficient fixe, estimé à **0,8** dans le cadre de cette étude.

III.5. Calcul de la réserve en eau du sol :

. La réserve utile correspond à la quantité d'eau contenue dans la couche de sol explorée par les racines, comprise entre la capacité au champ et le point de flétrissement. Cependant, à mesure que l'humidité du sol se rapproche du point de flétrissement, l'absorption de l'eau devient de plus en plus difficile pour la plante. La fraction facilement utilisable (RFU) peut être déterminée à l'aide de la relation suivante :

$$RFU = (HCC - HPF) \times Da \times Z \times Y \quad (III.5)$$

Avec :

- **HCC** : teneur en eau à la capacité au champ (27 %),
- **HPF** : teneur en eau au point de flétrissement (16 %),
- **Z** : profondeur d'enracinement (mm),
- **Y** : coefficient de disponibilité de l'eau selon le type de culture :
 - $Y=2/3$ pour les cultures générales,
 - $Y=1/3$ pour les cultures sensibles (ex. : pastèque),
 - $Y=1/2$ pour les céréales,
- **Da** : densité apparente du sol (1,3).

La réserve utile du sol du mois précédent ($i-1$) donnée par :

$$RFU_{i-1} = k \times RU \quad (III.6)$$

Où :

- k est un coefficient de pondération, pouvant prendre les valeurs **1, 1/2, 1/3 ou 0**, selon l'état de la réserve en eau.

III.6. Choix des cultures :

La sélection des cultures à implanter doit être réalisée en tenant compte à la fois des caractéristiques agro climatique de la région et des exigences du marché local ou régional, afin d'assurer la viabilité économique de l'exploitation agricole. Ce choix doit établir un équilibre entre plusieurs critères, à savoir :

- Les conditions climatiques propres à la zone étudiée ;
- La qualité et la disponibilité de l'eau destinée à l'irrigation ;
- L'aptitude culturale des sols déterminée sur la base des études pédologiques ;
- La disponibilité des moyens et intrants de production ;
- La demande commerciale, en cohérence avec les profils des agriculteurs de la région.

Le choix des cultures à implanter dans le périmètre de 100 ha à Boukali (commune d'El Abadia, wilaya de Aïn Defla) repose sur l'analyse des propriétés pédologiques locales. Le sol, de texture argilo-limoneuse, non calcaire, non salin et non alcalin, mais pauvre en matière organique, impose l'adoption de cultures capables de s'adapter à ces conditions tout en contribuant à l'amélioration progressive de la fertilité. Les légumineuses (pois chiche, fèverole) ont été intégrées pour leur capacité à enrichir le sol, tandis que les cultures maraîchères assurent la diversification et répondent aux besoins du marché local. L'olivier et l'amandier, bien adaptés à ce type de sol, s'inscrivent dans une démarche de production durable. Le tableau suivant présente la liste des cultures retenues et leur répartition.

Tableau III-1: Répartition des cultures choisies selon le contexte pédoclimatique (100 ha)

Catégories	Cultures
Arboriculture	Olivier - Amandier
Céréales	Blé dur - Orge - Avoine

Légumineuses	Pois chiche – fève
Maraîchage	Pomme de terre - Carotte - Oignon - Betterave - Épinard
Total	100 ha

Afin d'assurer une gestion durable des terres et une meilleure productivité, un système d'assolement en deux rotations successives est proposé. Chaque culture de l'assolement 1 est remplacée par une culture complémentaire en assolement 2, favorisant ainsi la fertilité du sol, la réduction des maladies, et la durabilité agricole.

Tableau III-2: Répartition des assolements (100 ha).

Assolement 1	Assolement 2	Surface (ha)	Surface (%)
Blé dur	Pois chiche	25	25
Pois chiche	Féverole	10	10
Pomme de terre	Avoine	20	20
Épinard	Carotte	11	11
Oignon	Betterave	4	4
Féverole	Orge	14	14
Olivier	Olivier	8	8
Amandier	Amandier	8	8
Total		100	100

Ce tableau illustre clairement la succession culturale choisie. Les légumineuses enrichissent le sol en azote, les céréales tirent profit de cet apport, et les cultures maraîchères assurent une rotation équilibrée, évitant l'appauvrissement du sol et limitant les risques phytosanitaires.

Les arbres fruitiers (olivier et amandier) demeurent fixes, représentant une part importante et durable du système de production.

III.7. Cycle végétatif :

Le cycle végétatif des cultures proposées est présenté dans le Tableau III.3.

Tableau III-3: Cycle végétatif des cultures proposées.

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	
Blé dur													
Orge													
Avoine													
Pois chiche													
Féverole													
Pomme de terre (AS)													
Carotte													
Épinard													
Oignon													
Betterave													
Olivier													
Amandier													

III.8. Estimation des besoins en eau des cultures :

III.8.1. Irrigation :

Le calcul des besoins en eau d'irrigation des cultures s'effectue selon la relation suivante :

$$B_i = ETM - (P_{eff} + RFU_{i-1}) \quad (III.7)$$

Avec :

- **B_i** : besoin en eau d'irrigation (mm)
- **ETM** : évapotranspiration maximale (mm/mois)
- **P_{eff}** : pluie efficace (mm)
- **RFU_{i-1}** : réserve facilement utilisable par la culture, correspondant à l'humidité du sol disponible au cours du mois précédent.

Les résultats obtenus pour l'évaluation des besoins en eau des principales cultures choisies pour le projet du périmètre sont présentés ci-après :

a. Estimation des besoins en eau pour les céréales :

Tableau III-4: Calcul des besoins en eau du Blé.

Blé												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET₀	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c			0.4	0.7	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.5		
ET_M			30.3	34.1	51.4	60.1	111.1	130.1	141.0	100.4		
Z(m)			0.1	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6		
RFU (mm)			9.5	28.6	47.7	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2		
RS_{i-1} (mm)			0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Be_{Sirr net} (mm)				6.5	24.0	35.1	88.4	111.0	128.6	96.9		

Tableau III-5 : Calcul des besoins en eau de l'Orge.

Orge												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET₀	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c			0.4	0.7	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.5		
ET_M			30.3	34.1	51.4	60.1	111.1	130.1	141.0	100.4		
Z(m)			0.1	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6		
RFU (mm)			9.5	28.6	47.7	57.2	57.2	57.2	57.2	57.2		
RS_{i-1} (mm)			0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Be_{Sirr net} (mm)				6.5	24.0	35.1	88.4	111.0	128.6	96.9		

Tableau III-6: Calcul des besoins en eau de l'Avoine.

Avoine												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET₀	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0

Kc			0.3	0.8	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.3		
ETM			22.7	38.9	72.5	63.3	84.7	82.1	112.8	67.0		
Z(m)			0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6		
RFU (mm)			19.07	42.90	47.67	57.20	57.20	57.20	57.20	57.20		
RS_{i-1} (mm)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Be_{Sirr net} (mm)				14.6	45.1	38.2	62.0	63.1	100.4	63.4		

b. Estimation des besoins en eau pour les légumineuses :

Tableau III-7 : Calcul des besoins en eau du pois chiche.

Pois chiche												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET₀	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
Kc		0.3	0.4	0.7	0.9	1.0	1.0	0.9	0.7	0.3		
ETM		34.6	30.3	34.1	51.4	60.1	105.8	116.4	131.6	67.0		
Z(m)		0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5		
RFU (mm)		57.2	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7		
RS_{i-1} (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Be_{Sirr net} (mm)		20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4		

Tableau III-8 : Calcul des besoins en eau de la fève.

Fève												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET₀	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
Kc		0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.1	0.8		
ETM		40.4	34.0	29.2	42.3	47.5	100.5	143.7	206.8	167.4		
Z(m)		0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7		
RFU (mm)		57.2	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7		
RS_{i-1} (mm)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
Be_{Sirr net} (mm)		26.3	3.7	4.8	14.9	22.4	77.8	124.7	194.4	163.8		

c. Estimation des besoins en eau pour les maraîchages :

Tableau III-9: Calcul des besoins en eau de la Pomme de terre (AS).

Pomme de terre AS												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c							0.3	0.4	0.5	0.5		
ETM							26.5	54.8	94.0	111.6		
$Z(m)$							0.2	0.4	0.6	0.6		
$RFU (mm)$							19.07	38.13	52.43	52.43		
$RS_{i-1} (mm)$							0.0	0.0	0.0	0.0		
$Be_{Sirr\ net} (mm)$							3.7	35.7	81.6	108.0		

Tableau III-10: Calcul des besoins en eau de l'épinard.

Épinard												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c								0.7	0.9	0.9	0.7	
ETM								95.8	169.2	200.9	169.5	
$Z(m)$								0.7	1.1	1.1	1.1	
$RFU (mm)$								66.7	104.9	104.9	104.9	
$RS_{i-1} (mm)$								0.0	0.0	0.0	0.0	
$Be_{Sirr\ net} (mm)$								76.8	156.8	197.3	168.9	

Tableau III-11: Calcul des besoins en eau de betterave.

Betterave												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c								0.5	0.8	1.0	1.0	0.5
ETM								68.5	150.4	223.2	230.0	117.0
$Z(m)$								0.4	0.7	0.7	0.7	0.7
$RFU (mm)$								38.1	66.7	66.7	66.7	66.7
$RS_{i-1} (mm)$								0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$Be_{Sirr\ net} (mm)$								49.4	138.0	219.6	229.5	116.2

Tableau III-12: Calcul des besoins en eau de carotte.

Carotte												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c	0.4	0.7	0.9	0.7								
ETM	71.0	80.7	64.3	34.1								
$Z(m)$	0.3	0.4	0.5	0.6								
$RFU (mm)$	0.0	0.0	0.0	0.0								
$RS_{i-1} (mm)$	0.0	0.0	0.0	0.0								
$Be_{sirr\ net} (mm)$	61.5	66.7	33.9	9.7								

Tableau III-13 : Calcul des besoins en eau d'oignon.

Oignon												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c		0.5	0.8	1.0	1.0	1.0						
ETM		57.7	56.7	46.2	57.4	63.3						
$Z(m)$		0.3	0.5	0.5	0.5	0.5						
$RFU (mm)$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
$RS_{i-1} (mm)$		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
$Be_{sirr\ net} (mm)$		43.6	26.3	21.9	30.0	38.2						

d. Estimation des besoins en eau pour les arboricultures :

Tableau III-14: Calcul des besoins en eau d'olivier.

Olivier												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
$P_{80\%}$	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET_0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
K_c	0.8	0.7	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.8	0.8
ETM	135.3	80.7	53.0	24.3	30.2	31.7	52.9	68.5	141.0	167.4	193.7	187.2
$Z(m)$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$RFU (mm)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$RS_{i-1} (mm)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Bes_{irr net} (mm)	125.7	66.7	22.6		2.8	6.6	30.2	49.4	128.6	163.8	193.1	186.4
-----------------------------------	-------	------	------	--	-----	-----	------	------	-------	-------	-------	-------

Tableau III-15: Calcul des besoins en eau d'amandier.

Amandier												
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P_{moy}	17.1	25.2	54.3	43.5	48.9	44.7	40.6	34.1	22.1	6.4	0.9	1.5
P_{80%}	13.6	20.1	43.4	34.8	39.1	35.8	32.5	27.2	17.7	5.1	0.8	1.2
P_{eff}	9.6	14.1	30.4	24.4	27.4	25.1	22.7	19.1	12.4	3.6	0.5	0.8
ET0	169.1	115.4	75.7	48.7	60.4	63.3	105.8	136.9	188.0	223.2	242.1	234.0
Kc	0.2	0.3	0.4	0.7	0.9	1.0	1.0	0.9	0.7	0.3	0.2	0.2
ETM	33.8	34.6	30.3	34.1	51.4	60.1	105.8	116.4	131.6	67.0	48.4	46.8
Z(m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
RFU (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RS_{i-1} (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bes_{irr net} (mm)	24.3	20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4	47.9	46.0

e. Estimation des besoins en eau totale :

Tableau III-16: récapitulatif des besoins pour l'assolement 1.

Bes irr tot net (mm) assolement 01												
Mois Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Blé			6.5	24.0	35.1	88.4	111.0	128.6	96.9			
Pois chiche		20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4		
Féverole		26.3	3.7	4.8	14.9	22.4	77.8	124.7	194.4	163.8		
Épinard								76.8	156.8	197.3	168.9	
Oignon		43.6	26.3	21.9	30.0	38.2						
Pomme de terre (AS)							3.7	35.7	81.6	108.0		
Olivier	125.7	66.7	22.6		2.8	6.6	30.2	49.4	128.6	163.8	193.1	186.4
Amandier	24.3	20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4	47.9	46.0
Totale	150.0	177.6	59.1	70.1	130.8	225.8	389.0	609.7	896.7	759.7	410.0	232.4

Tableau III-17 : récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.

Bes _{irr} tot net (mm) assolement 02												
Mois Culture	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Orge				6.5	24.0	35.1	88.4	111.0	128.6	96.9		
Avoine			14.6	45.1	38.2	62.0	63.1	100.4	63.4			
Pois chiche		20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4		
Féverole		26.3	3.7	4.8	14.9	22.4	77.8	124.7	194.4	163.8		
Carotte	61.5	66.7	33.9	9.7								
Betterave								49.4	138.0	219.6	229.5	116.2
Olivier	125.7	66.7	22.6		2.8	6.6	30.2	49.4	128.6	163.8	193.1	186.4
Amandier	24.3	20.5		9.7	24.0	35.1	83.1	97.3	119.2	63.4	47.9	46.0
Totale	211.5	200.6	74.7	85.6	127.9	196.2	425.7	629.4	891.4	770.9	470.5	348.6

III.8.3. Estimation du volume totale des besoins en eau

Nous calculons l'ensemble des volumes totales des besoins en eau pour notre parcelle afin de déterminer si nos ressources sont suffisantes pour nous fournir l'eau nécessaire.

$$\text{Bes}_{\text{irr}} \text{ brut} = \frac{\text{Bes}_{\text{irr}} \text{ net} \times 10}{Ef}$$

$$V = \text{Bes}_{\text{irr}} \text{ brut} \times S$$

Avec :

- V : volume d'eau à fournir (m³),
- Bes_{irr} brut : besoin brut mensuel (m³/ha)
- Bes_{irr} net : Besoin net mensuel (mm)
- S : surface cultivée concernée (ha),
- Ef : efficacité du système d'irrigation (0,75).

Tableau III-18: récapitulatif de volume totale pour l'assolement 1.

Culture	Blé	Pois chiche	Féverole	Épinard	Oignon	Pomme de terre (AS)	Olivier	Amandier	Totale
Surface	25	10	14	11	4	20	8	8	100
B _{net} (mm)	490.4	452.3	632.8	599.8	160.1	229.0	975.9	570.4	4110.7
B _{brute} (m ³ /ha)	6539	6030	8438	7997	2134	3054	13012	7605	54810
V _T (m ³)	163475	60300	118132	87967	8536	61080	104096	60840	603586

Tableau III-19: récapitulatif de volume totale pour l'assolement 2.

Culture	Orge	Avoine	Pois chiche	Féverole	Carotte	Betterave	Olivier	Amandier	Totale
Surface	14	20	25	10	11	4	8	8	100
B _{net} (mm)	490.4	386.7	452.3	632.8	171.7	752.6	975.9	570.4	4432.9
B _{brute} (m ³ /ha)	6539	5156	6030	8438	2290	10035	13012	7605	59106
V _T (m ³)	91546	103120	150750	84380	25190	40140	104096	60840	599222

L'analyse des volumes totaux nécessaires pour chaque assolement montre que l'assolement 1 présente les besoins en eau les plus élevés, avec un volume annuel d'environ **603 586 m³**, contre **599 222 m³** pour l'assolement 2, Bien que la différence soit faible.

III.9. Conclusion :

Ce chapitre a permis d'estimer les besoins en eau des cultures du périmètre de Boukali (100 ha) en fonction de l'évapotranspiration, des précipitations efficaces et de la réserve utile du sol. Les calculs ont été effectués pour les différentes catégories de cultures : céréales, légumineuses, maraîchages et arboriculture, en tenant compte des cycles végétatifs et des coefficients culturels spécifiques.

Le volume total d'eau nécessaire pour assurer l'irrigation des deux assolements successifs est résumé ci-dessous :

- Assolement 1 : 603 586 m³
- Assolement 2 : 599222 m³

Ainsi, le volume utile de la retenue Boukali (0,835 Mm³ = 835 000 m³) est suffisant pour couvrir les besoins en eau des cultures sur l'ensemble de l'année, en permettant une irrigation durable et adaptée aux caractéristiques pédoclimatiques local.

Chapitre IV :

Drainage agricole et assainissement

Chapitre IV : Drainage agricole et assainissement

IV.1. Introduction :

Le drainage agricole occupe une place essentielle dans la gestion et la mise en valeur des terres cultivées. Il vise à évacuer l'excès d'eau du sol afin de créer un milieu favorable au développement des racines et à la croissance des plantes. En améliorant l'aération et la structure du sol, le drainage contribue à prévenir l'asphyxie racinaire et à faciliter les travaux agricoles, même en période humide. Véritable outil d'assainissement et de durabilité, il participe à la valorisation des sols et à l'augmentation de la productivité agricole.

IV.2. Objectif du drainage

Le drainage agricole a pour objectif principal d'évacuer l'excès d'eau et les sels dissous contenus dans le sol à l'aide d'un système artificiel adapté. On distingue plusieurs cas d'application :

- **Prévention des inondations temporaires** : Ces inondations, souvent causées par de fortes pluies, résultent d'une faible perméabilité du sol ou du ruissellement vers les zones déprimées du relief. Elles apparaissent de manière irrégulière, principalement en hiver, et concernent surtout les régions du Nord de l'Algérie.
- **Assèchement des terres** : Le drainage permet de récupérer des terres incultes fréquemment submergées, en abaissant la nappe phréatique à un niveau compatible avec la culture.
- **Prévention de la salinité ou désalinisation** : Dans les périmètres irrigués des zones arides et semi-arides, le drainage joue un rôle majeur dans l'évacuation des eaux de lessivage chargées de sels, limitant ainsi la salinisation des sols.

IV.3. Avantages et bienfaits du drainage

Le drainage agricole procure de nombreux effets bénéfiques, aussi bien sur le plan agronomique qu'hydrologique. Il permet de :

- **Abaissier la nappe phréatique** à un niveau favorable au développement racinaire et éviter l'asphyxie des plantes ;
- **Évacuer l'excès d'eau** dans les terrains plats, peu perméables ou mal drainés naturellement ;
- **Améliorer l'aération et la structure du sol**, favorisant l'activité microbienne, les réactions chimiques et la fertilité ;
- **Accélérer le réchauffement du sol**, stimulant la germination et la croissance des jeunes plants ;
- **Éliminer les sels accumulés** et prévenir la salinisation secondaire dans les périmètres irrigués ;

- **Faciliter les travaux agricoles**, en maintenant une humidité du sol compatible avec le passage du matériel et la préparation des sols ;
- **Augmenter la productivité et la durabilité** des systèmes agricoles, en assurant un équilibre hydrique et thermique optimal.

IV.4. Techniques de drainage

Le drainage regroupe l'ensemble des procédés permettant d'évacuer, sur une période donnée, un volume d'eau déterminé depuis une zone de sol précise, afin d'assurer de meilleures conditions physiques et chimiques pour la croissance des cultures.

Son objectif principal est d'améliorer les conditions de circulation de l'eau dans le sol, soit en favorisant son évacuation naturelle, soit en mettant en place un système artificiel de drainage, ou encore en combinant les deux approches. Donc, on distingue deux grands types de techniques :

- **Le drainage naturel**, qui vise à améliorer la perméabilité intrinsèque du sol ;
- **Le drainage artificiel**, qui repose sur des dispositifs d'évacuation construits.

IV.4.1. Amélioration du drainage naturel

L'amélioration du drainage naturel a pour objectif d'accroître la conductivité hydraulique saturée (K) du sol sur toute la zone cultivée, afin de faciliter l'évacuation de l'eau excédentaire. Cette méthode vise à restaurer la perméabilité du sol et à réduire la stagnation d'eau sans recourir immédiatement à des ouvrages coûteux.

La technique la plus connue pour améliorer le drainage naturel du sol est le sous-solage. Elle consiste à briser les horizons compactés et à remonter les couches profondes du sol, améliorant ainsi sa structure et sa capacité de drainage naturel. L'opération se réalise généralement en période sèche, selon des lignes perpendiculaires au labour, et à des profondeurs variables selon le type d'équipement :

- **Sous-solage de type fermier** : profondeur moyenne de 50 à 60 cm ;
- **Sous-solage de type industriel** : profondeur de 70 à 90 cm.

Pour renforcer son efficacité, le sous-solage peut être accompagné d'un amendement calcique (gypse) favorisant la floculation des argiles et une meilleure stabilité structurale du sol. Cette amélioration de la porosité favorise la descente de l'eau vers les horizons inférieurs, limitant les risques d'asphyxie racinaire et de saturation en surface.

IV.4.2. Techniques de drainage artificiel:

Lorsque les conditions naturelles du sol ne permettent pas une infiltration suffisante, il devient nécessaire de recourir à des techniques artificielles de drainage. Ces systèmes visent à évacuer l'eau

excédentaire de la surface ou du sous-sol par des aménagements permanents. On distingue principalement deux grandes techniques : le drainage de surface (ou à ciel ouvert) et le drainage souterrain (ou enterré).

IV.4.2.1. Drainage à ciel ouvert

Le drainage à ciel ouvert consiste à creuser des fossés disposés à intervalles réguliers pour évacuer l'eau stagnante en surface ou dans les horizons peu profonds. Ces fossés ont généralement une profondeur de 3 m et une largeur comprise entre 0,3 et 0,5 m. Cette technique est particulièrement adaptée aux sols argileux ou faiblement perméables, où l'infiltration naturelle est lente.

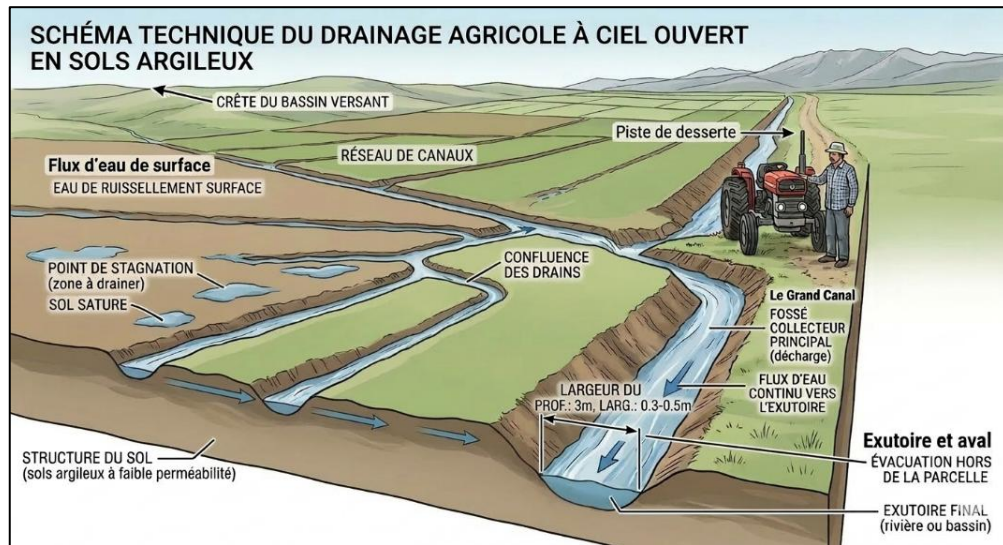


Figure IV-1: schéma du drainage à ciel ouvert

Rôles principaux :

- Intercepter et évacuer le ruissellement de surface ;
- Créer un gradient hydraulique favorisant l'écoulement vers les fossés collecteurs.

Avantages :

- Mise en œuvre simple et économique ;
- Grande capacité d'évacuation ;
- Entretien facile grâce à un accès direct.

Inconvénients :

- Perte de superficie cultivable ;
- Difficulté d'accès pour la mécanisation ;
- Coûts d'entretien élevés à long terme ;
- Risque de propagation de maladies hydriques.

IV.4.2.2. Drainage souterrain

Le drainage souterrain vise à réguler le niveau de la nappe phréatique par l'installation, sous la surface du sol, d'un réseau de conduites perforées qui collectent et évacuent l'eau excédentaire. Il est particulièrement utilisé dans les périmètres irrigués, où l'excès d'eau et la salinité risquent de diminuer la productivité agricole. Les drains, d'un diamètre compris entre 4 et 16 cm, sont reliés à des collecteurs principaux acheminant l'eau vers un exutoire. Lorsque la pente naturelle est insuffisante, une station de pompage peut être ajoutée pour assurer l'évacuation.

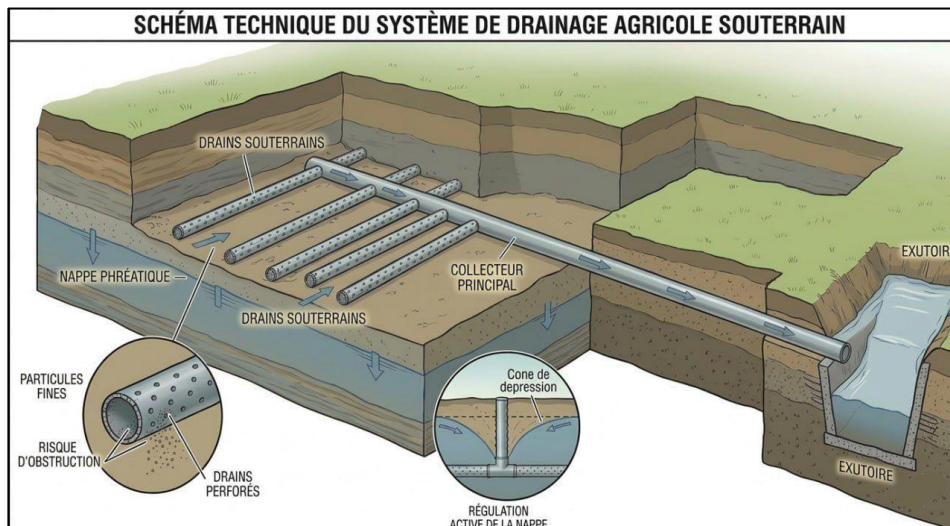


Figure IV-2: schéma du drainage souterrain

Types de matériaux utilisés :

- **Tuyaux en PVC ou PEHD perforés** : légers, durables et faciles à poser mécaniquement ;
- **Tuyaux en béton** : utilisés ponctuellement, leur résistance dépend des caractéristiques chimiques du sol.

Fonctionnement:

Les drains interceptent les eaux d'infiltration et les conduisent vers les collecteurs, assurant ainsi une régulation permanente de la nappe phréatique. Des chambres de visite sont aménagées aux points de jonction ou de changement de direction pour faciliter l'entretien.

Avantages :

- Conservation intégrale de la surface cultivable ;
- Régulation efficace du niveau d'eau dans le sol ;
- Facilité d'entretien grâce aux chambres de visite ;
- Longue durée de vie du matériel, notamment les drains plastiques.

Inconvénients :

- Risque d'obstruction par les particules fines ;

- Coût d'installation et de maintenance relativement élevé.

VI.5. Choix de la technique de drainage :

VI.5.1. Critères de choix

Le choix d'une technique de drainage dépend de plusieurs paramètres :

- La nature du sol (perméabilité, texture, structure) ;
- La profondeur de la nappe phréatique,
- La topographie du terrain,
- Ainsi que la nature des excès d'eau (superficiels ou profonds).

Les aspects économiques et les besoins des cultures influencent également la décision.

VI.5.2. Choix du type de drainage

- Le **drainage de surface** est recommandé pour les terrains plats et peu perméables, où l'eau s'accumule en surface.
- Le **drainage souterrain** convient mieux aux sols affectés par la nappe phréatique ou les remontées capillaires, nécessitant un abaissement du niveau d'eau dans le sol.

VI.5.3. Application au périmètre de Boukali

Dans le périmètre de Boukali (commune d'El Abadia, wilaya de Aïn Defla), le drainage souterrain a été retenu comme solution appropriée. Le sol, de texture argilo-limoneuse, présente une faible teneur en matière organique et une perméabilité modérée. Le système choisi permettra d'évacuer l'excès d'eau en périodes de pluies importantes et de prévenir la stagnation, favorisant ainsi un meilleur développement des cultures.

VI.5.4. Avantages du système retenue :

Comparé au drainage à ciel ouvert, le drainage souterrain présente plusieurs avantages :

- Il préserve la surface cultivable,
- Il facilite les travaux agricoles,
- Et il assure une meilleure réhabilitation des sols sodiques.

IV.6. Conclusion :

Le drainage agricole est essentiel pour évacuer l'excès d'eau, améliorer la structure du sol et favoriser la croissance des cultures. Dans le périmètre de Boukali, le drainage souterrain est la solution optimale pour prévenir la stagnation, préserver la surface cultivable et limiter les risques de salinisation. Il contribue ainsi à assurer la durabilité et la productivité des terres agricoles.

CHAPITRE V :

Dimensionnement du réseau de drainage

CHAPITRE V : Dimensionnement du réseau de drainage

V.I. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude permettant de définir les éléments nécessaires à la conception d'un réseau de drainage efficace, assurant l'évacuation optimale des eaux excédentaires et la préservation de la qualité du sol pour un bon développement des cultures.

V.2. Calcul du débit caractéristique (q_c) :

Le débit caractéristique, noté q_c , représente le débit par unité de surface nécessaire pour assurer une évacuation efficace de l'eau excédentaire. Son calcul dépend du régime d'écoulement pris en compte et de la présence éventuelle d'une capacité de stockage.

V.2.1. Cas où l'excès d'eau provient des précipitations :

La pluie critique correspond à la quantité maximale de précipitations tombant pendant une durée donnée et pour une période de retour déterminée (c'est-à-dire la fréquence moyenne à laquelle un tel événement est susceptible de se produire). Le réseau de drainage doit donc être dimensionné de manière à pouvoir évacuer cette pluie critique, en fonction de sa durée, de son intensité et de sa fréquence. Les méthodes de calcul varient selon le climat et la nature du sol, mais deux grands modèles de drainage sont généralement distingués selon le régime d'écoulement :

- **Régime permanent :**

Le régime permanent s'observe principalement dans les sols lourds et peu perméables, où la capacité de stockage temporaire de l'eau est quasi nulle et le taux d'infiltration très faible. Dans ce type de milieu, les précipitations sont longues, fréquentes et rapprochées, ce qui empêche le séchage complet du sol. Le rôle du drainage consiste alors à maintenir la nappe phréatique en dessous d'un niveau critique afin d'éviter tout engorgement ou saturation du sol. Ce régime correspond à un état d'équilibre entre le débit de drainage et la recharge de la nappe par infiltration. Deux situations peuvent être distinguées : un fonctionnement avec stockage ou sans stockage, le premier résultant généralement d'une combinaison entre une forte intensité pluviométrique et une faible perméabilité du sol.

- **Régime variable :**

Le régime variable, à l'inverse, concerne les sols plus perméables capables de retenir temporairement l'eau et de se drainer rapidement. Les précipitations y sont brèves mais très intenses, suivies de périodes suffisamment longues pour permettre la vidange du sol. Dans ce cas, le réseau de drainage a pour objectif d'abaisser la nappe phréatique jusqu'à un niveau souhaité dans un délai défini après la fin de la pluie.

Les modèles associés à ce régime décrivent la baisse progressive du niveau piézométrique et traduisent ainsi la dynamique de la nappe après la cessation des précipitations.

En Algérie, le régime permanent est prédominant dans les zones sahéliennes, tandis que le régime variable domine sur les hauts plateaux sahariens. Dans le cadre de cette étude, le modèle du régime permanent sera donc adopté.

V.2.1.1. Analyse fréquentielle des séries pluviométriques

En drainage, ce ne sont pas les totaux pluviométriques mensuels ou annuels qui posent les plus grands problèmes, mais plutôt les épisodes de pluie courts et intenses, susceptibles de dépasser la capacité naturelle d'évacuation du sol et d'entraîner la formation ou la remontée d'une nappe proche de la surface. Les données utilisées proviennent de la station d'El Abadia et couvrent la période 1986–2019. La première étape consiste à classer et traiter statistiquement les données pluviométriques disponibles afin d'identifier les pluies maximales sur des durées courtes (1, 2, 3, 4, 5 et 6 jours) et d'en déterminer les fréquences d'occurrence. Bien que cette analyse puisse être effectuée sur une base annuelle, une étude trimestrielle est recommandée pour une meilleure précision, car elle permet de corrélérer les pluies critiques avec les périodes sensibles du cycle des cultures, les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V-1 : Pluies maximales 1–5 j par trimestre, station El Abadia (1986–2019).

Année	Trimestre 01					Trimestre 02					Trimestre 03				
	1J	2J	3J	4J	5J	1J	2J	3J	4J	5J	1J	2J	3J	4J	5J
1986	11.8	0	4	47.5	0	7.5	15.9	48.6	38.4	45.5	1.6	3.3	0	0	0
1987	19.3	10.4	0	15.9	28	9.6	6.4	11.2	25.5	0	3.7	23.4	20.6	15.3	0
1988	9.9	12.9	0	0	0	19.4	55	0	0	0	13.7	10.4	43.6	0	0
1989	8.9	0	0	0	0	11.2	0	10.6	27	0	22.1	23.8	44.9	13	0
1990	3.4	0	0	25.8	0	2	21.5	29.2	27.4	0	8.2	10.3	27.3	0	0
1991	20.4	13.3	0	26.2	0	1.7	4.1	0	74.6	0	28.1	8.5	33.2	0	0
1992	9.9	16	0	0	0	3.3	9.4	17.5	0	0	13	19.4	0	33.9	0
1993	4	16.9	13.1	0	0	10.3	14.8	46.5	16.5	0	4.3	4.3	13.9	0	0
1994	0	0	0	0	0	23.5	3.7	0	0	0	10.9	20.2	0	29.8	0
1995	38.6	11.8	0	51.4	0	17.2	15.4	30.9	35.8	0	12	39.5	113.9	0	0
1996	42	3.7	6.5	0	0	6.4	35.1	0	28.1	0	0	0	0	0	0
1997	6.5	40	21.5	29.4	0	7.1	10.8	15	0	0	8.9	26.5	25.2	53.8	14
1998	14.5	10.7	24.8	0	0	20.7	0.3	45.5	36	0	8.3	15.8	0	24.9	0
1999	2.6	17.6	33.9	0	0	0	6.3	58.5	0	0	0.9	1.4	21.2	2.4	0
2000	9.1	0	22.7	75	0	1.5	16.9	44.3	7.4	0	0	0	36.2	19.1	0
2001	12.8	4	0	44.7	0	5.6	24.4	0	0	0	9.4	26	25.2	38.8	0
2002	16.2	28.3	14.7	0	0	8.1	23.1	26.3	34	0	10	32.9	0	19.7	0

2003	25.8	0.3	30.7	14.3	0	21.5	15.3	25	0	0	3.1	32.8	32.5	16.4	0
2004	6.3	25.5	0	0	19.5	24.8	33.6	8.4	0	39.7	4.5	8.6	5.7	0	0
2005	20.3	24.4	0	0	0	4.8	18.8	29.7	0	62.1	0	29.8	0	0	0
2006	7.9	0	0	0	0	14.6	6.6	21	0	0	5	30	29	24.5	0
2007	6.4	75	6	67.5	60	4.2	2.7	14.7	0	0	4.8	11.9	24	28.1	0
2008	10.8	14.9	0	0	36.7	2.8	43	20.2	26.1	0	15.1	31.7	33.4	0	0
2009	0.7	51.6	4.5	0	0	15.5	20.1	37.5	33.1	14.1	8.3	8.3	0	0	0
2010	24.7	12.7	0	0	49.8	42.2	22.8	27.2	0	12	15	12	16	0	61.4
2011	4.9	0	48.5	0	0	13.9	21.1	14.9	0	0	6.3	17	0	0	66.5
2012	9.8	16.7	38.6	0	0	18.9	26	11.9	0	43.4	32.3	26.5	8.4	0	42.2
2013	21.5	10.9	0	0	0	14	20.7	14.5	16.3	0	16.8	39.5	25	0	0
2014	10.8	12.1	27.8	12.7	0	20.9	0	25.7	29	0	1.4	3.5	0	19.5	0
2015	2.5	23.3	0	0	0	9.5	7.2	11.3	0	28.2	5.1	0	47	0	0
2016	6.6	0.7	0	19.8	0	1.3	9.3	6.8	0	87.2	0	2.2	0	0	0
2017	6.5	30.8	49.6	0	0	21.7	25.6	18.9	0	20.8	5.8	63.1	5.9	40	27
2018	16.1	12.5	29.8	27.8	0	9.9	29.1	0	9.2	38.9	4.4	7.8	10	0	0
2019	6.5	7.9	5.9	26.9	0	0.5	0.9	23.1	0	0	14.1	11.6	17.7	11.6	27.5

V.2.1.2. Ajustement par la loi de Gumbel:

Après avoir relevé les pluies maximales correspondant à des durées de 1 à 6 jours sur plusieurs années d'observation, les valeurs obtenues sont classées par ordre croissant. À chaque valeur, on associe une fréquence de non-dépassement $F(x)$ définie par la relation :

$$F(X) = \frac{r - 0.5}{n}$$

Où :

- r : rang de l'observation,
- n : nombre total d'années d'observation.

La loi de Gumbel étant une loi de probabilité adaptée aux valeurs extrêmes, elle permet de modéliser la distribution des pluies maximales. En appliquant une transformation de variable, on obtient la relation suivante :

$$y = \alpha(x - x_0)$$

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

Où :

- y : variable réduite de Gumbel.

• $F(y)$: fréquence de non-dépassement de la variable y .

L'ajustement à la loi de Gumbel a été réalisé à l'aide du logiciel HYFRAN. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau V-2 : Résultats de l'ajustement pour le premier trimestre (septembre, octobre, novembre)

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	10.7	12.2	8.71	10.8	3.23
3ans	14.8	19	15.2	19.7	9.53
5ans	19.3	26.5	22.4	29.5	16.5
10ans	25	36	31.4	42	25.4

Tableau V-3 : Résultats de l'ajustement pour le deuxième trimestre (décembre, janvier, février)

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	10.1	14.5	17.9	10.7	7.96
3ans	14	19.9	24.4	18.2	17
5ans	18.3	25.9	31.7	26.6	27.1
10ans	23.7	33.4	40.9	37.1	39.9

Tableau V-4 : Résultats de l'ajustement pour le troisième trimestre (mars, avril, mai)

	1j	2j	3j	4j	5j
2ans	7.46	15.3	15.7	9.02	4.16
3ans	10.7	21.4	25.1	15.3	11.4
5ans	14.3	28.1	35.6	22.3	19.5
10ans	18.9	36.5	48.9	31.2	29.7

Ensuite, nous pouvons tracer les courbes Hauteur–durée–fréquence (HDF) :

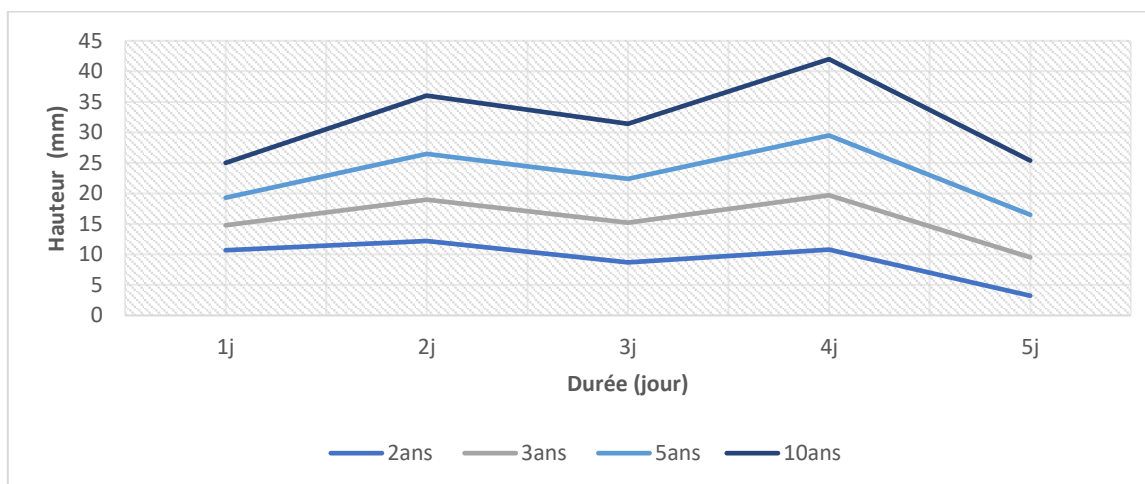


Figure V-1 : les courbes Hauteur-durée-fréquence (HDF) pour le premier trimestre.

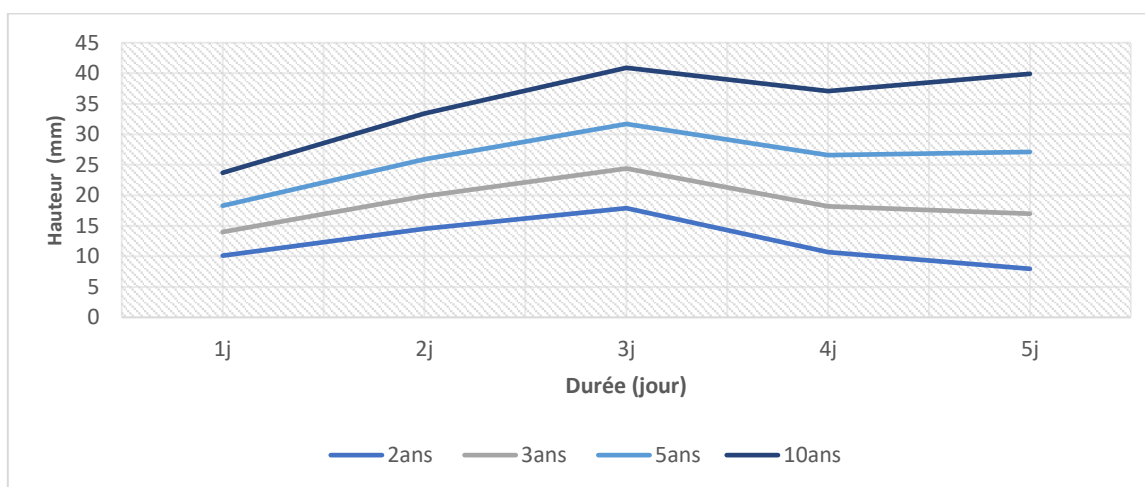


Figure V-2 : les courbes Hauteur-durée-fréquence (HDF) pour le deuxième trimestre.

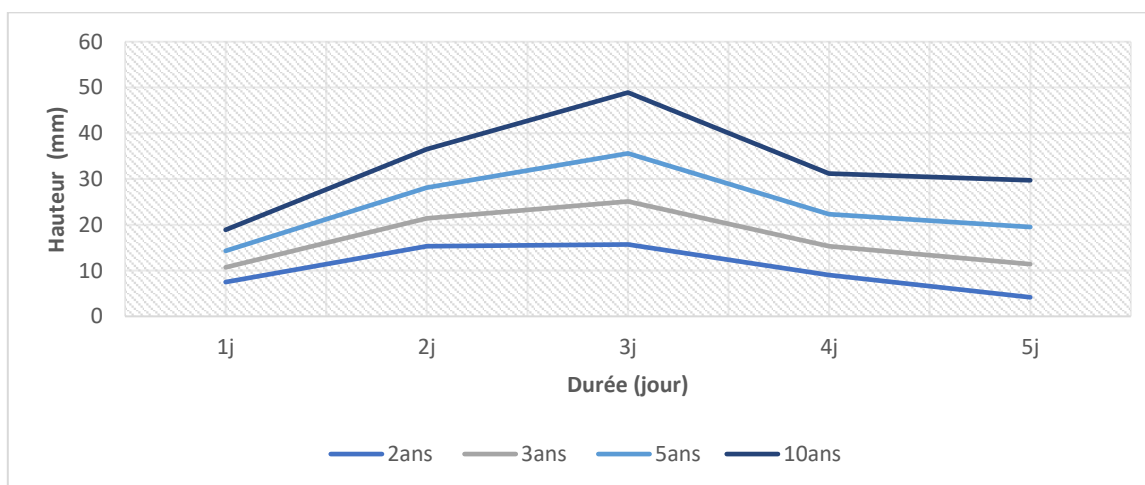


Figure V-3 : les courbes Hauteur-durée-fréquence (HDF) pour le troisième trimestre.

Les graphiques permettent de déterminer rapidement la pluie maximale probable pour une période de retour et une durée donnée.

V.2.1.3. Le débit à évacué (régime permanent avec stockage) :

Le débit caractéristique q_c est calculé en tenant compte du stockage temporaire S , selon l'expression suivante :

$$q_c = \frac{P - E - S}{\theta}$$

Où :

- **q_c** : débit caractéristique (mm/jour)
- **P** : pluie critique (mm)
- **E** : évapotranspiration (mm)
- **S** : capacité de stockage (mm)
- **θ** : durée admissible de submersion (jours)
- **μ** : porosité de drainage (%) pour une profondeur de drain donnée
- **h_c** : hauteur critique = profondeur du drain – niveau de la nappe

Porosité de drainage « μ »:

Selon Taylor (1960), la porosité de drainage équivalente μ représente le volume unitaire d'eau libéré par le profil du sol lorsque la nappe phréatique est abaissée d'un niveau à un autre. La nature du sol joue un rôle essentiel dans la détermination de cette porosité.

Tableau V-5 : Porosité en fonction de la texture du sol

Texture du sol	μ (%)
Sol argileux	1–2
Sol argilo-limoneux	4–8
Sable fin	10–20
Sable grossier	25–30

Dans notre zone d'étude, le sol est argilo-limoneux, ce qui correspond à une porosité de drainage : $\mu=0.06$.

Hauteur critique « h_c »

Le positionnement des drains doit être effectué avec précision. Après une pluie critique (en régime permanent), une partie du système racinaire de la plante doit impérativement rester au sec. La nappe phréatique doit donc se situer à une profondeur minimale : $h_c = p - h_{opt}$

Où :

- **p** : profondeur du drain, généralement comprise entre 1 et 1,2 m.
- **h_{op}** : hauteur optimale admissible (zone sèche du système racinaire).

Tableau V-6: Hauteur critique de la nappe selon le type de culture

Type de culture	h _{op} (mm)	hc (mm)
Cultures maraîchères	500–600	600
Céréales et cultures fourragères	400–500	800–1200
Arboriculture	400	700
Prairies	200	200–300

Durée admissible de submersion « θ »

La durée admissible de submersion θ représente la période pendant laquelle les plantes peuvent survivre avec leurs racines immergées lorsque le sol est saturé en eau. Au-delà de cette durée critique, la plante meurt par asphyxie racinaire.

Tableau V-7: Durée admissible de submersion selon le type de culture

Type de culture	θ (jours)
Cultures maraîchères	1 à 2
Céréales et cultures fourragères	3
Arboriculture	5
Prairies	7

Tableau V-8 : Résultats du calcul du débit caractéristique « qc » pour l'excès de pluie en tenant compte du stockage

Types des cultures	θ (jours)	hc(mm)	μ (%)	S(mm)	P(mm)	qc
Culture maraîchères	2	400	0.06	24	15.3	0
Céréaliculture	3	400	0.06	24	25.1	0.04
Arboriculture	5	200	0.06	12	27.1	0.35

Le débit caractéristique dû à l'excès de pluie, pour un modèle en régime permanent et en tenant compte de la capacité de stockage, est donc : $qc=0.35 \text{ l/s/ha}$.

V.2.1.3. Le débit à évacué (régime permanent avec stockage) :

En considérant l'intensité de la pluie critique (ip), c'est-à-dire la quantité d'eau tombée sur une durée donnée, on suppose que la fraction de cette pluie devant être évacuée par le réseau correspond à la somme du ruissellement direct et de l'infiltration :

$$i + r = 1 - e$$

Le débit caractéristique à évacuer par unité de surface est alors donné par :

$$qc = (1 - e) \times ip$$

Avec :

- **i** : Coefficient d'infiltration
- **e** : Coefficient d'évaporation
- **r** : Coefficient de ruissellement
- **ip** : Intensité de la pluie critique

Tableau V-9 : Valeurs de $(1 - e)$ selon le type de culture

Type de culture	$(1 - e)$
Légumes	0,8 – 0,9
Céréales et cultures fourragères	0,6 – 0,8
Arbres	0,5
Prairies	0,5 – 0,6

Tableau V-10 : Résultats du calcul de « qc » pour l'excès de pluie sans prise en compte du stockage

Types des culture	θ (jours)	P(mm)	ip	1-e	qc(l/s/h)
Culture maraîchères	2	15.3	7.65	0.8	0.71
Céréaliculture	3	25.1	8.37	0.6	0.58
Arboriculture	5	27.1	5.42	0.5	0.31

Le débit caractéristique provenant de l'excès de pluie, dans un modèle de régime permanent ne tenant pas compte du stockage, est donc : $qc= 0.71 \text{ l/s/ha}$.

II.2. Dans le cas où l'excès provient de l'irrigation

Nous allons calculer le débit caractéristique de l'excès pouvant résulter de l'irrigation, chaque système d'irrigation ayant une efficacité particulière, ce qui entraîne des pertes par percolation qui rechargent la nappe phréatique. Dans notre zone, le système d'irrigation à mettre en place aura une efficacité de **70 %**, ce qui correspond à :

- **20 %** de pertes par percolation
- **10 %** de pertes par évapotranspiration

Données :

- **RFU** = 66.7 mm
- **Bnet** = 229.5 mm
- **Nombre d'irrigations** = Bnet / RFU $\approx$ 3 fois
- **Fréquence d'irrigation** = 30 / 3 = une fois tous les 10 jours
- **Volume d'eau percolée à drainer** = $\frac{RFU}{Ef} \times 0.2 = \frac{66.7}{0.7} \times 0.2 = 19.07mm$
- Il faut drainer **19.1 mm en 10 jours**

Le débit caractéristique est donc calculé par :

$$qc = \frac{19.1}{10} = 1.91 \text{ mm/j} = 0.22 \text{ l/s/ha}$$

Donc, le débit caractéristique provenant de l'eau d'irrigation percolée est : qc=0,22l/s/ha.

II.4. Choix du débit caractéristique

Tableau V-11: Choix du débit caractéristique « qc »

Type d'excès d'eau	qc (l/s/ha)
Pluie avec stockage	0,35
Pluie sans stockage	0,71
Percolation issue de l'irrigation	0,22

Pour le dimensionnement du réseau de drainage, il convient de retenir la valeur la plus élevée parmi les débits caractéristiques calculés pour la pluie avec stockage, la pluie sans stockage et l'irrigation, donc le débit caractéristique utilisé pour le dimensionnement est : qc = 0.71 l/s/ha.

V.3. Dimensionnement de l'espacement entre les drains (E)

Étant donné que les précipitations dans la région d'El Abadia sont considérées comme relevant d'un régime permanent, nous allons utiliser l'équation de Hooghoudt pour calculer l'espacement entre les drains.

La procédure de détermination de l'espacement des drains enterrés (E) à l'aide de la formule de Hooghoudt comprend les étapes suivantes :

1. **Calcul des critères de conception de base** : Déterminer le débit caractéristique et la hauteur optimale (q_c et h_{op}).
2. **Établissement de la base de drainage du champ** : Définir la base de drainage W et la hauteur de chute disponible :
3. **Définition des paramètres du sol** : Identifier la perméabilité du sol K (ou les perméabilités au-dessus et au-dessous du drain, K_1 et K_2) ainsi que la distance entre les drains et la couche imperméable D .
4. **Choix du type de drain** : Choisir entre un drain en tuyau ou un fossé et déterminer la porosité de drainage μ .
5. **Détermination de l'espacement des drains** : Résoudre l'équation de Hooghoudt pour trouver l'espacement E ou L à l'aide d'un processus itératif :
 - Supposer une valeur initiale pour E et déterminer d à partir de la Table de Vlotman.
 - Résoudre la formule de Hooghoudt pour l'espacement E et comparer cette valeur avec celle supposée.
 - Ajuster la valeur de E et répéter le processus jusqu'à ce que les valeurs calculées et supposées soient égales.

$$E^2 = \frac{4k_1 h^2}{q_c} + \frac{8k_2 d h c}{q_c}$$

Avec :

- **hc** : hauteur critique ($h_c = 0,4$ m)
- **P** : profondeur de pose du drain ($P = 1$ m)
- **h_{op}** : hauteur optimale ($h_{op} = 0,6$ m)
- **d** : profondeur équivalente (mesurée à l'aide de la table de Vlotman)
- **k** : perméabilité du sol ($k = 7$ mm/h = $0,168$ m/jour)
- Profondeur de la couche imperméable : $D = 12$ m
- q_c : débit caractéristique ($q_c = 0,71$ l/s/ha = 6.12 mm/jour)

Ainsi, après application du processus itératif utilisant la table de Vlotman, on obtient : $d = 1,15$ m

$$E^2 = \frac{4 \times 0.168 \times 0.4^2}{6.12 \times 10^{-3}} + \frac{8 \times 0.168 \times 1.15 \times 0.4}{6.12 \times 10^{-3}}$$

On trouve : $E \approx 10m$

V.4. Dimensionnement des drains

Les principaux paramètres à considérer pour le dimensionnement des drains sont :

- La pente d'installation (i)
- La longueur du drain (L)
- Le diamètre du drain (φ)

En régime permanent, le calcul se base sur plusieurs caractéristiques du projet, notamment :

- L'espacement entre les drains
- La longueur et le nombre total de drains
- Le débit caractéristique (q_c) en régime permanent
- Le débit circulant à l'intérieur des drains
- La configuration de la parcelle, la topographie, l'hydrographie et les contraintes techniques.

La pente d'installation

Le choix de la pente d'installation influence directement la vitesse d'écoulement dans les drains. Une vitesse suffisante, lorsque le drain fonctionne à pleine capacité, permet d'éviter la sédimentation des particules et donc le risque d'obstruction. Les recommandations suivantes, établies à partir de nombreuses expériences, facilitent la mise en place :

- La pente minimale absolue, notée i_{min} , est fixée à 0,05 %. Toutefois, cette valeur doit être augmentée lorsque le diamètre du drain diminue :
 - $i = 0,1 \%$ pour $\varphi < 150 \text{ mm}$
 - $i = 0,08 \%$ pour $150 \text{ mm} < \varphi < 250 \text{ mm}$
 - $i = 0,05 \%$ pour $\varphi > 250 \text{ mm}$
- La vitesse d'écoulement dans les drains doit se situer entre 1 m/s et 1,25 m/s afin de minimiser les risques de colmatage et d'éviter l'effet de succion au niveau des joints et des perforations.
- Le diamètre φ des drains est inversement proportionnel à la pente ; une pente plus élevée permet d'utiliser un diamètre plus faible. Cependant, il est conseillé d'éviter des pentes trop importantes, généralement supérieures à 1 %.

En pratique, les pentes les plus utilisées se situent entre 0,1 % et 1 %. Le choix final dépend de la topographie du terrain, de l'emplacement des collecteurs, des exutoires, ainsi que de la longueur totale du réseau.

Longueur des drains

La longueur des drains L est déterminée en fonction des dimensions de la parcelle. La longueur maximale admissible L_{max} est fixée à : $L_{max} = 1000$ m. Cette limite est généralement imposée par le diamètre maximal utilisable. Dans la pratique, les longueurs les plus fréquentes se situent entre 150 m et 400 m.

Débit à évacuer par les drains

$$Q_d = q \times S = q \times L \times E$$

Avec :

- S : surface drainée par le drain,
- q : débit drainé (6.12 mm/jour ou 6.12×10^{-3} m/jour),
- L : longueur du drain (m),
- E : espacement entre les drains ($E = 10$ m).

Caractéristiques techniques des drains

Dans les conduites d'écoulement, la rugosité dépend du matériau (céramique, PVC lisse, drains ondulés...). On utilise la rugosité issue de la formule de Manning-Strickler (η) :

- PVC ou PE lisse perforé : $\eta = 0,0054$
- Béton : $\eta = 0,011$ à $0,015$ (selon la qualité)

Pour les drains ondulés, la rugosité varie selon le diamètre interne :

- $\varphi = 44$ mm : $\eta = 0,0222$
- $\varphi = 60$ mm : $\eta = 0,0167$
- $\varphi = 72$ mm : $\eta = 0,0143$

Valeur moyenne couramment adoptée : $\eta = 0,0141$

Pour le dimensionnement en régime d'écoulement non uniforme et pour les drains ondulés perforés, on utilise l'équation de Chezy-Manning :

$$Q_{\text{drain}} = 38 \times d^{2.67} \times i^{0.5}$$

Donc :

$$d_{\text{drain}} = \sqrt[2.67]{\frac{Q_{\text{drain}}}{38 \times i^{0.5}}}$$

V.5. Dimensionnement des collecteurs

Lorsque la pente d'installation avoisine 0,1 %, le collecteur est chargé de recueillir l'ensemble des débits provenant des drains secondaires. Dans ce cas, il convient de prévoir une réduction de capacité d'environ 25 %, afin de tenir compte de l'envasement et des particules transportées par les eaux drainées, susceptibles de diminuer l'efficacité hydraulique du collecteur.

$$Q_{collecteur} = \sum Q_{drains}$$

$$Q_{collecteur} = \frac{50 \times d^{2.71} \times i^{0.5}}{0.75}$$

$$d_{drain} = \sqrt[0.71]{\frac{Q_{collecteur} \times 0.75}{50 \times i^{0.5}}}$$

Il est également essentiel de garantir des vitesses d'écoulement comprises entre 0,5 m/s et 1 à 1,5 m/s :

- **V < 1 à 1,5 m/s** afin d'éviter les effets d'aspiration au niveau des raccords et des perforations des drains,
- **V > 0,5 m/s** pour empêcher la sédimentation des particules infiltrées.

La vitesse est donnée par :

$$V = \frac{Q}{S}$$

Et la section hydraulique circulaire est :

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Les résultats des calculs relatifs aux diamètres des drains et des collecteurs sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau V-12: Dimensionnement des drains

Collecteur	Drain	L(m)	Q(m³/j)	Q(m³/s)	d _{cal}	d _{nor}
Collecteur C1	1	286	17.50	0.000203	18.4	40
	2	97	5.94	0.000069	12.3	40
	3	286	17.50	0.000203	18.0	40
	4	126	7.71	0.000089	13.1	40
	5	282.4	17.28	0.000200	17.7	40
	6	134.4	8.23	0.000095	13.4	40
	7	279.6	17.11	0.000198	17.4	40
	8	141.9	8.68	0.000101	13.7	40
	9	276.9	16.95	0.000196	17.2	40
	10	148.8	9.11	0.000105	14.0	40
	11	274.1	16.77	0.000194	17.0	40

	12	155.4	9.51	0.000110	14.2	40
	13	274.1	16.77	0.000194	16.9	40
	14	155.4	9.51	0.000110	14.1	40
	15	271.4	16.61	0.000192	16.9	40
	16	168.5	10.31	0.000119	14.6	40
	17	265.9	16.27	0.000188	16.7	40
	18	175.1	10.72	0.000124	14.7	40
	19	263.1	16.10	0.000186	16.9	40
	20	180.5	11.05	0.000128	15.2	40
	21	260.4	15.94	0.000184	16.7	40
	22	185.9	11.38	0.000132	15.6	40
	23	257.7	15.77	0.000183	16.4	40
	24	191.3	11.71	0.000136	15.6	40
	25	255	15.61	0.000181	16.6	40
	26	196.7	12.04	0.000139	22.9	40
	27	258	15.79	0.000183	17.2	40
	28	201.2	12.31	0.000143	16.3	40
	29	255.6	15.64	0.000181	17.1	40
	30	205.3	12.56	0.000145	17.0	40
	31	246.7	15.10	0.000175	16.7	40
	32	208.9	12.78	0.000148	17.2	40
	33	244	14.93	0.000173	17.0	40
	34	212.5	13.01	0.000151	17.5	40
	35	241.2	14.76	0.000171	17.2	40
	36	186.1	11.39	0.000132	16.7	40
	37	238.4	14.59	0.000169	17.6	40
	38	188.3	11.52	0.000133	17.3	40
	39	235.7	14.42	0.000167	17.6	40
	40	190.1	11.63	0.000135	17.6	40
	41	230.3	14.09	0.000163	17.9	40
	42	192.8	11.80	0.000137	17.8	40
	43	229.9	14.07	0.000163	18.1	40
	44	195	11.93	0.000138	17.9	40
	45	229.5	14.05	0.000163	18.3	40
	46	197.2	12.07	0.000140	18.0	40
	47	229.1	14.02	0.000162	18.7	40
	48	190.7	11.67	0.000135	17.4	40
Collecteur C3	1	146	8.94	0.000103	23.8	40
	3	200.8	12.29	0.000142	28.5	40
	5	222.5	13.62	0.000158	33.2	40
	7	108.4	6.63	0.000077	17.7	40
	9	112.2	6.87	0.000079	18.1	40
	11	225.4	13.79	0.000160	36.1	40
	13	226.3	13.85	0.000160	26.8	40
	15	227.3	13.91	0.000161	22.6	40
	17	228.2	13.97	0.000162	20.8	40
	19	229.2	14.03	0.000162	23.7	40
	21	230.1	14.08	0.000163	20.0	40
	23	231.1	14.14	0.000164	19.4	40
	25	232	14.20	0.000164	19.4	40

	27	233	14.26	0.000165	20.1	40
	29	233.9	14.31	0.000166	20.2	40
	31	234.9	14.38	0.000166	19.9	40
	33	235.9	14.44	0.000167	20.3	40
	35	236.8	14.49	0.000168	19.6	40
	37	237.8	14.55	0.000168	20.0	40
	39	238.7	14.61	0.000169	20.4	40
	41	239.7	14.67	0.000170	19.5	40
	43	240.6	14.72	0.000170	19.8	40
	45	241.5	14.78	0.000171	19.9	40
	47	242.5	14.84	0.000172	20.2	40
	49	243.4	14.90	0.000172	20.6	40
	51	244.4	14.96	0.000173	20.3	40
	53	245.3	15.01	0.000174	20.7	40
	54	246.3	15.07	0.000174	20.8	40
Collecteur C2	1	58.8	3.60	0.000042	10.6	40
	2	66.8	4.09	0.000047	11.4	40
	3	74.7	4.57	0.000053	11.4	40
	4	82.7	5.06	0.000059	11.3	40
	5	90.7	5.55	0.000064	11.5	40
	6	98.7	6.04	0.000070	11.7	40
	7	106.6	6.52	0.000076	12.2	40
	8	114.6	7.01	0.000081	12.7	40
	9	122.5	7.50	0.000087	13.6	40
	10	130.5	7.99	0.000092	13.7	40
	11	138.5	8.48	0.000098	14.5	40
	12	146.4	8.96	0.000104	15.5	40
	13	154.4	9.45	0.000109	16.0	40
	14	162.3	9.93	0.000115	15.9	40
	15	170.3	10.42	0.000121	16.1	40
	16	178.3	10.91	0.000126	16.7	40
	17	186.3	11.40	0.000132	17.8	40
	18	194.2	11.89	0.000138	17.9	40
	19	201.7	12.34	0.000143	17.9	40
	20	210.7	12.89	0.000149	18.4	40
	21	219.8	13.45	0.000156	18.8	40
	22	228.7	14.00	0.000162	19.9	40
	23	238	14.57	0.000169	20.9	40
Collecteur C4	1	70.4	4.31	0.000050	8.7	40
	2	92	5.63	0.000065	9.9	40
	3	113.5	6.95	0.000080	11.1	40
	4	135.1	8.27	0.000096	12.1	40
	5	156.6	9.58	0.000111	13.1	40
	6	178.2	10.91	0.000126	14.0	40
	7	200	12.24	0.000142	14.8	40
	8	221.3	13.54	0.000157	15.5	40
	9	242.9	14.87	0.000172	16.3	40
	10	264.4	16.18	0.000187	16.9	40
	11	286	17.50	0.000203	17.4	40
	12	307.5	18.82	0.000218	17.9	40

	13	398	24.36	0.000282	20.1	40
	14	400	24.48	0.000283	20.1	40
	15	402.4	24.63	0.000285	20.2	40
	16	404.8	24.77	0.000287	20.2	40
	17	407.3	24.93	0.000289	20.4	40
	18	409.7	25.07	0.000290	20.6	40
	19	412.1	25.22	0.000292	20.7	40
	20	414.5	25.37	0.000294	20.7	40
	21	417	25.52	0.000295	21.1	40
	22	412.2	25.23	0.000292	21.2	40
	23	421.9	25.82	0.000299	21.5	40
	24	424.2	25.96	0.000300	21.6	40
	25	426.7	26.11	0.000302	21.8	40
	26	429.1	26.26	0.000304	22.1	40
	27	431.5	26.41	0.000306	22.1	40
	28	434	26.56	0.000307	22.2	40
	29	436.4	26.71	0.000309	22.4	40
	30	438.8	26.85	0.000311	22.5	40
	31	441.2	27.00	0.000313	22.6	40
	32	443.6	27.15	0.000314	23.0	40
	33	446.1	27.30	0.000316	23.5	40
	34	448.5	27.45	0.000318	23.3	40
	35	454.5	27.82	0.000322	23.6	40
	36	263.6	16.13	0.000187	17.6	40
	37	257.8	15.78	0.000183	17.4	40
	38	252.1	15.43	0.000179	17.3	40
	39	246.4	15.08	0.000175	17.6	40
	40	240.7	14.73	0.000170	17.6	40
	41	235	14.38	0.000166	17.4	40
	42	229.2	14.03	0.000162	17.7	40
Collecteur C5	1	112.3	6.87	0.000080	15.2	40
	2	111.3	6.81	0.000079	14.6	40
	3	110.2	6.74	0.000078	13.5	40
	4	109.2	6.68	0.000077	13.2	40
	5	116.5	7.13	0.000083	13.2	40
	6	116.5	7.13	0.000083	13.2	40
	7	116.5	7.13	0.000083	13.1	40
	8	116.5	7.13	0.000083	12.5	40
	9	116.5	7.13	0.000083	12.8	40
	10	116.5	7.13	0.000083	12.5	40
	11	116.5	7.13	0.000083	12.2	40
	12	116.5	7.13	0.000083	12.2	40
	13	116.5	7.13	0.000083	12.2	40
	14	116.5	7.13	0.000083	12.4	40
	15	116.5	7.13	0.000083	12.6	40
	16	116.5	7.13	0.000083	13.0	40
	17	116.5	7.13	0.000083	13.5	40
	18	116.5	7.13	0.000083	13.9	40
	19	116.5	7.13	0.000083	14.4	40
	20	106.2	6.50	0.000075	12.3	40

	21	106.2	6.50	0.000075	12.3	40
	22	106.2	6.50	0.000075	12.7	40
	23	106.2	6.50	0.000075	13.0	40
	24	106.2	6.50	0.000075	13.0	40
	25	107.6	6.59	0.000076	13.1	40
	26	109.1	6.68	0.000077	13.2	40
	27	107.6	6.59	0.000076	13.6	40
	28	106.2	6.50	0.000075	13.8	40
	29	108.5	6.64	0.000077	14.4	40
	30	108.5	6.64	0.000077	15.6	40
	31	108.5	6.64	0.000077	15.6	40
	32	108.5	6.64	0.000077	15.6	40
	33	108.5	6.64	0.000077	15.6	40
	34	108.5	6.64	0.000077	16.4	40
	35	108.5	6.64	0.000077	17.7	40
	36	108.5	6.64	0.000077	17.7	40
	37	108.5	6.64	0.000077	17.7	40
	38	108.5	6.64	0.000077	20.2	40
	39	108.4	6.63	0.000077	16.4	40
	40	108.4	6.63	0.000077	16.6	40
	41	108.4	6.63	0.000077	15.6	40
	42	108.4	6.63	0.000077	15.6	40
	43	108.4	6.63	0.000077	16.4	40
	44	65.3	4.00	0.000046	12.4	40
	45	52.5	3.21	0.000037	11.8	40
	46	39.7	2.43	0.000028	11.5	40
Collecteur C6	1	69.6	4.26	0.000049	13.8	40
	2	99.1	6.06	0.000070	19.2	40
	3	128.7	7.88	0.000091	22.2	40
	4	253.9	15.54	0.000180	32.5	40
	5	280.3	17.15	0.000199	30.2	40
	6	306.6	18.76	0.000217	13.4	40
	7	333	20.38	0.000236	31.7	40
	8	357.3	21.87	0.000253	27.5	40
	9	374.1	22.89	0.000265	26.0	40
	10	390.9	23.92	0.000277	25.1	40
	11	407.7	24.95	0.000289	25.1	40
	12	424.5	25.98	0.000301	24.7	40
	13	434	26.56	0.000307	24.2	40
	14	414	25.34	0.000293	27.8	40
	15	397.1	24.30	0.000281	27.2	40
	16	387.7	23.73	0.000275	26.8	40
	17	379.8	23.24	0.000269	27.6	40
	18	369.9	22.64	0.000262	28.7	40
	19	359.1	21.98	0.000254	28.3	40
	20	348.3	21.32	0.000247	28.0	40
	21	341.9	20.92	0.000242	28.4	40
	22	336.5	20.59	0.000238	29.4	40
	23	331	20.26	0.000234	33.2	40
	24	324.1	19.83	0.000230	28.8	40

	25	317	19.40	0.000225	28.4	40
	26	307	18.79	0.000217	27.9	40
	27	296.5	18.15	0.000210	25.4	40
	28	284.4	17.41	0.000201	24.1	40
	29	272	16.65	0.000193	23.5	40
	30	255.3	15.62	0.000181	21.8	40
	31	234.5	14.35	0.000166	20.2	40
	32	216.9	13.27	0.000154	19.3	40
	33	200.6	12.28	0.000142	18.5	40
	34	187.1	11.45	0.000133	18.7	40
	35	173.6	10.62	0.000123	17.8	40
	36	161.9	9.91	0.000115	17.1	40
	37	154.5	9.46	0.000109	16.7	40
	38	147.1	9.00	0.000104	16.6	40
	39	140.8	8.62	0.000100	16.2	40
	40	134.9	8.26	0.000096	15.8	40
	41	129.6	7.93	0.000092	15.9	40
	42	124.4	7.61	0.000088	15.6	40
	43	119.6	7.32	0.000085	15.2	40
	44	115.5	7.07	0.000082	14.9	40
	45	112.1	6.86	0.000079	14.3	40
	46	107.9	6.60	0.000076	14.4	40
	47	103.3	6.32	0.000073	14.5	40
	48	97.8	5.99	0.000069	15.5	40
	49	92.3	5.65	0.000065	15.0	40
	50	83.2	5.09	0.000059	15.3	40
Collecteur C7	1	164.9	10.09	0.000117	17.3	40
	2	176.3	10.79	0.000125	19.0	40
	3	187.8	11.49	0.000133	18.6	40
	4	199.3	12.20	0.000141	19.2	40
	5	211.4	12.94	0.000150	19.1	40
	6	222.2	13.60	0.000157	19.0	40
	7	233.7	14.30	0.000166	19.5	40
	8	245.1	15.00	0.000174	20.7	40
	9	256.5	15.70	0.000182	21.3	40
	10	268.1	16.41	0.000190	20.0	40
	11	279.5	17.11	0.000198	20.9	40
	12	291	17.81	0.000206	20.4	40
	13	302.5	18.51	0.000214	21.4	40
	14	313.9	19.21	0.000222	20.9	40
	15	325.4	19.91	0.000230	21.3	40
	16	336.9	20.62	0.000239	21.3	40
	17	348.3	21.32	0.000247	21.8	40
	18	359.8	22.02	0.000255	21.2	40
	19	371.3	22.72	0.000263	21.9	40
	20	382.7	23.42	0.000271	22.3	40
	21	349.2	21.37	0.000247	20.8	40
	22	405.7	24.83	0.000287	22.4	40
	23	417.1	25.53	0.000295	22.5	40
	24	428.6	26.23	0.000304	22.6	40

Collecteur C8	1	428.4	26.22	0.000303	22.7	40
	2	420.8	25.75	0.000298	22.9	40
	3	413.1	25.28	0.000293	22.8	40
	4	405.5	24.82	0.000287	22.7	40
	5	397.8	24.35	0.000282	22.6	40
	6	390.2	23.88	0.000276	22.8	40
	7	382.5	23.41	0.000271	22.8	40
	8	374.9	22.94	0.000266	22.7	40
	9	367.2	22.47	0.000260	22.4	40
	10	359.6	22.01	0.000255	22.5	40
	11	351.9	21.54	0.000249	22.5	40
	12	344.3	21.07	0.000244	22.5	40
	13	336.6	20.60	0.000238	22.5	40
	14	329	20.13	0.000233	22.6	40
	15	321.3	19.66	0.000228	23.0	40
	16	313.7	19.20	0.000222	22.8	40
	17	396	24.24	0.000281	26.6	40
	18	298.4	18.26	0.000211	23.1	40
	19	390.7	23.91	0.000277	27.7	40
	20	283.1	17.33	0.000201	23.9	40
	21	275.4	16.85	0.000195	23.7	40
	22	267.8	16.39	0.000190	23.5	40
	23	260.1	15.92	0.000184	23.4	40
	24	252.5	15.45	0.000179	23.3	40
	25	244.8	14.98	0.000173	23.1	40
	26	237.2	14.52	0.000168	23.0	40
	27	229.5	14.05	0.000163	22.7	40

Après avoir dimensionné les drains, il est nécessaire de considérer l'ensemble du réseau de collecte. En effet, les collecteurs des différents groupes de drains convergent entre eux jusqu'au point d'évacuation final vers l'oued. Cette étape implique de recalculer les débits cumulés et de vérifier les diamètres et vitesses pour garantir un écoulement sûr dans l'ensemble du réseau.

Ce tableau récapitule les débits cumulés, diamètres, vitesses, depuis les collecteurs alimentés par les drains jusqu'au point final d'évacuation, afin de garantir la sécurité et l'efficacité hydraulique du système.

Tableau V-13: Dimensionnement global de l'ensemble des collecteurs jusqu'au point d'évacuation

Collecteur	L(m)	Q(m ³ /j)	Q(m ³ /s)	d _{cal} (mm)	d _{nor} (mm)	V(m/s)
C1	261	636.24	0.0074	91.3	110	0.77
C2	313	206.62	0.0024	60.3	75	0.54
C3	309	380.31	0.0044	75.5	90	0.69
C4	552	841.33	0.0097	101.2	110	1.02
C5	598	302.11	0.0035	69.4	75	0.79
C6	526	760.04	0.0088	97.5	110	0.93
C7	363	433.12	0.0050	79.2	90	0.79
C8	397	555.22	0.0064	86.8	110	0.68

Les résultats montrent que les diamètres normalisés choisis permettent d'évacuer correctement les débits reçus par chaque collecteur. Les vitesses d'écoulement obtenues restent dans la plage recommandée, garantissant à la fois l'absence de dépôts et la protection contre les effets de succion.

Ainsi, le dimensionnement confirme la bonne performance hydraulique des collecteurs jusqu'à l'exutoire.

Tableau V-14 : Longueur totale des drains et des collecteurs.

	Diamètres (mm)	L _{Tot} (m)
Drains	40	67239
Collecteurs	75	911
	90	1069
	110	1338

V.6. Jonctions des collecteurs :

1. Jonctions drains / collecteurs

- L'angle de raccordement doit être compris entre 30° et 60° pour éviter les dépôts.
- La profondeur des drains varie entre 0,5 m et 1,5 m, pouvant atteindre 1,8 m.
- La jonction doit respecter la condition : $h \geq D - d$
 - D : diamètre du collecteur
 - d : diamètre du drain
 - h : différence de niveau entre les deux conduites

2. Jonctions collecteur / collecteur

- Réalisées à l'aide de regards d'inspection.
- Les regards permettent :
 - ✓ De corriger la pente,
 - ✓ De changer de diamètre,
 - ✓ De modifier la direction,
 - ✓ De favoriser la décantation des particules.

3. Jonction collecteur / exutoire

- Le collecteur doit déboucher dans l'exutoire avec une garde minimale de :
 - ✓ 0,2 m au-dessus du fond de l'exutoire,
 - ✓ 0,1 m au-dessus du niveau moyen de l'eau.

V.7. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons conçu le réseau de drainage du périmètre d'El Abadia (100 ha) en utilisant des drains enterrés, les plus adaptés à la zone étudiée. Le réseau comprend 288 drains de 40 mm de diamètre pour un total de 67 239 m, reliés à 15 collecteurs de 75 à 110 mm de diamètre et de 261 à 598 m de longueur. Les débits et vitesses calculés assurent un écoulement efficace, garantissant ainsi l'évacuation optimale des excédents d'eau sur le périmètre.

CHAPITRE VI :

Gestion, entretien et exploitation de réseau

Chapitre VI : Gestion, entretien et exploitation de réseau

VI.1. Introduction

Un système de drainage bien exécuté doit, en principe, fonctionner pendant de nombreuses années sans nécessiter de travaux d'entretien. Cependant, des obstructions peuvent empêcher le système de fonctionner efficacement. Pour garantir que notre réseau de drainage soit efficace à long terme et ait un impact environnemental minimal, il doit être correctement géré, inspecté régulièrement et entretenu.

Après la mise en place du réseau, il est également essentiel de calculer le coût total du projet, incluant la construction, la préparation, et les dépenses liées aux installations nécessaires à l'exécution des travaux. Cette double approche permet de combiner la gestion technique et l'analyse économique du projet.

VI.2. Causes de dysfonctionnement du réseau de drainage

Plusieurs facteurs peuvent réduire ou bloquer le fonctionnement d'un système de drainage :

- **Obstructions dues à une mauvaise exécution** : problèmes liés à des défauts lors de l'étude ou de la mise en œuvre, tels qu'une installation incorrecte, des pentes inadéquates ou des raccordements mal réalisés.
- **Causes naturelles** : accumulation de sédiments, infiltration de racines ou dépôt de matières organiques, pouvant obstruer le réseau et réduire son efficacité.

VI.2.1. Obstructions pour raisons techniques

➤ **Pente insuffisante des drains :**

Les irrégularités de pente lors de l'installation peuvent provenir de deux sources : l'équipement et l'opérateur.

- **Problèmes d'équipement** : un matériel mal calibré ou inadapté au terrain peut entraîner des pentes inconsistantes.
- **Erreurs de l'opérateur** : la compétence et la vigilance de l'opérateur sont essentielles. Des erreurs humaines peuvent provoquer des irrégularités, même avec des outils avancés comme le guidage laser.

Une pente insuffisante réduit le débit d'écoulement, entraînant l'accumulation de sable ou d'argile dans les drains.

➤ **Mauvaise qualité des tuyaux :**

Les projets modernes utilisent principalement des tuyaux en **PE** (polyéthylène) ou **PVC** (polychlorure de vinyle).

- **PVC** : durable mais sensible aux UV et à la chaleur ($>80^{\circ}\text{C}$), pouvant se déformer.

- **PE** : moins sensible aux UV et adapté à diverses conditions environnementales, mais nécessite une installation correcte pour garantir sa durabilité.

VI.2.2. Obstructions pour raisons naturelles

VI.2.2.1. Obstruction par dépôt de minéraux

La sédimentation se produit surtout dans les sols instables (sableux ou argileux), souvent après l'installation. Les drains doivent être protégés par des filtres ou des enveloppes (minérales, organiques ou synthétiques) pour prévenir les obstructions.

VI.2.2.2. Obstruction par réactions chimiques

Les dépôts peuvent être causés par la présence de fer, sulfure de fer ou manganèse dans le sol. L'oxydation du fer ferreux (Fe^{2+}) en ferrique (Fe^{3+}) forme des dépôts pouvant persister plusieurs années. Des mesures préventives incluent l'utilisation d'adaptateurs spécifiques pour limiter l'aération.

VI.3. Entretien du réseau de drainage

VI.3.1. Curage

Le curage se fait à l'aide de machines injectant de l'eau à travers un jet pour dissoudre et évacuer les dépôts. Deux types de systèmes existent :

- **Haute pression** : 80-120 atm, pour dépôts difficiles.
- **Basse pression** : 20-30 atm, pour dépôts légers.

Les deux systèmes permettent de nettoyer des drains jusqu'à 400 m de long.

VI.3.2. Entretien des réseaux enterrés

Les inspections régulières des réseaux enterrés sont cruciales, notamment aux points clés (sorties de drainage, regards, changements de diamètre). Un nettoyage sous pression peut être nécessaire mais ne doit pas être systématique pour éviter de déstabiliser le sol.

Pratiques recommandées : préserver la porosité du sol, analyser périodiquement la structure du sol, surveiller la profondeur au-dessus des tuyaux, consulter les experts pour adapter la préparation du sol.

VI.3.3. Entretien des exutoires

Les sorties de drainage doivent être inspectées au printemps (avant plantation) et en automne (après fortes pluies).

- Retirer les déchets accumulés.
- Vérifier l'érosion autour des tuyaux.
- S'assurer que les grilles protectrices fonctionnent correctement.

VI.4. Exécution des travaux d'installation des canalisations

VI.4.1. Excavation des tranchées :

Cette étape consiste à creuser des tranchées pour installer les canalisations, généralement à l'aide d'un excavateur mécanique. Les dimensions des tranchées varient en fonction du diamètre de la canalisation dans chaque tronçon. Il est essentiel de creuser la tranchée aux dimensions appropriées pour assurer la stabilité et le bon positionnement de la canalisation.

VI.4.2. Mise en place du lit de sable :

Un lit de sable, placé au fond de la tranchée avant l'installation de la canalisation, permet de répartir uniformément la charge sur la surface d'appui du tuyau, contribuant à prévenir d'éventuels dommages. Avant l'installation, la tranchée doit être débarrassée des pierres de grande taille, façonnée selon le profil longitudinal et nivelée afin de fournir une base stable pour la canalisation.

VI.4.3. Remblaiement des tranchées

Une fois la canalisation correctement positionnée sur le lit de sable, le sol précédemment excavé peut être utilisé pour le remblai. Cette opération consiste à remplir la tranchée pour enterrer la canalisation et la maintenir en place.

VI.4.4. Nivellement et compactage

Après le remblaiement, le sol doit être uniformément étalé et nivelé, en particulier si des monticules se sont formés. Un compactage mécanique suit pour augmenter la densité du sol. Le compactage est essentiel afin de prévenir l'affaissement du sol avec le temps, ce qui pourrait endommager la canalisation ou entraîner un tassement. Ces étapes garantissent la stabilité et la durabilité à long terme de l'installation.

VI.5. Calcul des dimensions et des volumes de la tranchée :

VI.5.1. Dimensions de la tranchée :

VI.5.1.1. Largeur du fond de tranchée

La largeur de la tranchée dépendra du diamètre de la canalisation, selon la formule suivante :

$$B = D + 2 \times 0.3$$

Où :

- B : largeur de la tranchée (m)
- D: diamètre de la canalisation (m)

VI.5.1.2. Profondeur de la tranchée :

La profondeur de la canalisation doit être choisie pour permettre l'installation correcte des raccordements spécifiques tout en évitant tout conflit avec d'autres conduits. La profondeur de la tranchée est calculée comme suit :

$$H_{tr} = e + D + h$$

où :

- H_{tr} : profondeur de la tranchée (m)
- e : hauteur du lit de sable (m)
- D : diamètre de la canalisation (m)
- h : hauteur du remblai au-dessus de la canalisation (m)

VI.5.1.3. Section transversale de la tranchée :

Les dimensions de la tranchée sont définies comme suit :

$$S_{tr} = H_{tr} \times B$$

Avec :

- H_{tr} : profondeur totale de la tranchée (m)
- B : largeur du fond de tranchée (m)

VI.5.1.4. Volume de la tranchée :

Le calcul du volume de la tranchée se fait par la relation :

$$V_{tr} = S_{tr} \times L$$

Avec :

- V_{tr} : volume d'excavation (m^3)
- S_{tr} : section transversale de la tranchée (m^2)
- L : longueur de la tranchée (m)

VI.5.1.5. Volume d'excavation :

L'excavation d'une tranchée correspond aux matériaux extraits du sol pour permettre l'installation des canalisations, et se calcule ainsi :

$$V_{exc} = V_{tr} = B \times H_{tr} \times L$$

Où :

- B : largeur de la tranchée (m)
- Htr: profondeur de la tranchée (m)
- L : longueur de la tranchée (m)

VI.5.1.6. Volume du lit de sable :

Le lit de sable est une couche horizontale composée de sable servant à établir une base solide. Son volume se calcule ainsi :

$$V_{ls} = e \times B \times L$$

Avec :

- Vls : volume du lit de sable (m³)
- e : épaisseur du lit de sable (m)
- B : largeur de la tranchée (m)
- L : longueur de la tranchée (m)

VI.5.1.7. Volume occupé par la canalisation :

Il se détermine par la formule :

$$V_{occ} = S_{occ} \times L = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L$$

Avec :

- Vocc : volume occupé par la canalisation (m³)
- Socc : section transversale de la canalisation (m²)
- L : longueur de la tranchée (m)
- D : diamètre extérieur de la canalisation (m)

VI.5.1.8. Volume de remblai :

Le remblai correspond à la quantité de sol nécessaire pour remplir une tranchée et la ramener à son niveau initial. Ce volume se calcule ainsi :

$$V_{rem} = V_{exc} - (V_{ls} - V_{occ})$$

Où :

- V_{rem} : volume de remblai (m³)
- V_{exc} : volume d'excavation (m³)
- V_{ls} : volume du lit de sable (m³)
- V_{occ} : volume occupé par la canalisation (m³)

Le calcul des volumes d'excavation, de sable et de remblai pour le réseau est présenté dans le tableau :

Tableau VI-1: Calcul des différents volumes

	Ø (mm)	L _{Tot} (m)	B(m)	H _{tr} (m)	V _{exc} (m³)	V _{ls} (m³)	V _{occ} (m³)	V _{rem} (m³)
Drains	40	67238.5	0.64	0.94	40450.68	4303.26	84.49	36231.91
Collecteurs	75	910.5	0.675	0.98	599.22	61.46	4.02	541.79
	90	1068.7	0.69	0.99	730.03	73.74	6.80	663.09
	110	1338.41	0.71	1.01	959.77	95.03	12.72	877.47

IV.6. Calcul du coût du projet

IV.6.1. Coût des travaux d'excavation :

Tableau VI-2 : Estimation du coût des travaux d'excavation.

Type de travail	Unité	Quantités (m³)	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Excavation	m³	42739.68	450	19232856
Remblai	m³	38314.31	250	9578577.5
Lit de sable	m³	4533.5	1000	453350
Totale HT (DA)				29264783.5
TVA (%)				19
TTC(DA)				34825092

IV.6.2. Coût du réseau de drainage

Tableau VI-3: Estimation du réseau de drainage

	Ø(mm)	L _{Tot} (m)	Prix unitaire (DA/ml)	Montant (DA)
Drains	40	67238.5	195	13111508
Collecteurs	75	910.5	450	409725
	90	1068.7	650	694655
	110	1338.41	1000	1338410
Totale HT (DA)				15554298
TVA (%)				19
TTC(DA)				18509614

IV.6.3. Coût total du projet

Tableau VI-4: Estimation du coût total du projet

Travaux	Montant (DZD)
Réseau de drainage	18509614
Travaux d'excavation	34825092
Montant total (TTC)	53334706

Le montant du projet est de Cinq cent trente-trois mille trois cent quarante-sept dinars algériens et six centimes (53 334 706 DZD).

VI.7. Conclusion :

Ce chapitre a traité de l'entretien des réseaux de drainage, puis de l'évaluation des coûts du projet. Il a permis de considérer l'ensemble des travaux nécessaires tout en estimant leurs coûts associés. Cette approche a fourni des données à la fois techniques et financières, aboutissant à un coût total de 53 334 706 DZD, reflétant ainsi la faisabilité économique du projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude du périmètre de Boukali, d'une superficie de 100 hectares, a permis d'analyser en profondeur les enjeux liés à la gestion de l'eau et des sols dans une région caractérisée par un climat semi-aride, où les précipitations annuelles moyennes de 339,2 mm rendent indispensable l'irrigation pour le développement optimal des cultures. L'évaluation de la série pluviométrique a montré sa bonne homogénéité et son ajustement possible par la loi normale, assurant ainsi une planification fiable des besoins en eau pour l'ensemble du périmètre.

L'analyse pédologique a révélé que les sols limono-argileux, avec une perméabilité faible ($K = 7$ mm/h), présentent un risque de stagnation en cas d'irrigation ou de pluies excédentaires. Ces caractéristiques justifient l'adoption d'un système de drainage souterrain, dimensionné pour évacuer efficacement les excès d'eau et permettre une percolation contrôlée, contribuant à un environnement propice à la croissance des cultures. Le dimensionnement du réseau a retenu une profondeur équivalente de 1,15 m et un espacement de 10 m entre drains, avec des drains de 40 mm de diamètre et des collecteurs variant de 75 à 110 mm, capables de supporter le débit critique estimé à 0,71 l/s/ha en régime permanent.

L'étude technique et économique du projet a également permis de déterminer la longueur totale des drains nécessaires et le coût global estimatif, qui s'élève à 53 334 706 DZD TTC, incluant les travaux de drainage et d'excavation. Ces résultats montrent que l'investissement dans un système de drainage adapté est essentiel pour assurer une agriculture efficace sur l'ensemble du périmètre, tout en optimisant l'utilisation de l'eau et en améliorant les conditions de sol.

Par ailleurs, la mise en place de ce réseau de drainage contribuera à accroître la productivité agricole, en réduisant les contraintes hydriques et en facilitant la gestion des cultures. L'approche intégrée adoptée dans cette étude, combinant analyse des sols, des ressources en eau et dimensionnement technique, fournit un cadre solide pour la planification et la gestion durable de ce périmètre.

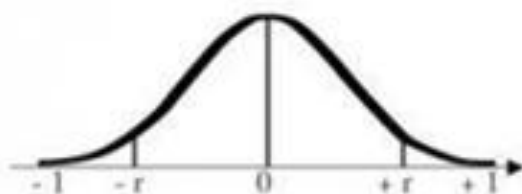
Référence bibliographique

Référence bibliographique :

1. AZIEZ , O, & BAHBOUH, L. Polycopié : Drainage et Assainissement Agricole. ENSH: Blida.
2. BROUWER, C. (1990). Méthodes d'irrigation. Italy: FAO.
3. GARNIER, A. Mécanique des fluides et hydrauliques.
4. BOURAS, A. (2024). DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME DE DRAINAGE AGRICOLE POUR LE PERIMETRE DE ZOUIA (200HA), W. TLEMCEN. ENSH : Blida .
5. LEBOURGEOIS , F. Bioclimatologie à l'usage des forestiers.
6. BASSTAOUI , Y. (2024). Dimensionnement d'un système de drainage agricole du périmètre de la basse Tafna Ysser 500ha (Wilaya de Tlemcen).
7. TOUAIBIA. (2004). Manuel d'hydrologie.

Annexe

Annexe I : Tableau de calcul de Khi carré théorique



α d.d.l.	0,10	0,05	0,02	0,01
1	0,9877	0,9969	0,9995	0,9999
2	0,9000	0,9500	0,9800	0,9900
3	0,8054	0,8783	0,9343	0,9587
4	0,7293	0,8114	0,8822	0,9172
5	0,6694	0,7545	0,8329	0,8745
6	0,6215	0,7067	0,7887	0,8343
7	0,5822	0,6664	0,7498	0,7977
8	0,5494	0,6319	0,7155	0,7646
9	0,5214	0,6021	0,6851	0,7348
10	0,4973	0,5760	0,6581	0,7079
11	0,4762	0,5529	0,6339	0,6835
12	0,4575	0,5324	0,6120	0,6614
13	0,4409	0,5139	0,5923	0,6411
14	0,4259	0,4973	0,5742	0,6226
15	0,4124	0,4821	0,5577	0,6055
16	0,4000	0,4683	0,5425	0,5897
17	0,3887	0,4555	0,5285	0,5751
18	0,3783	0,4438	0,5155	0,5614
19	0,3687	0,4329	0,5034	0,5487
20	0,3598	0,4227	0,4921	0,5368
25	0,3233	0,3809	0,4451	0,4869
30	0,2960	0,3494	0,4093	0,4487
35	0,2746	0,3246	0,3810	0,4182
40	0,2573	0,3044	0,3578	0,3932
45	0,2428	0,2875	0,3384	0,3721
50	0,2306	0,2732	0,3218	0,3541
60	0,2108	0,2500	0,2948	0,3248
70	0,1954	0,2319	0,2737	0,3017
80	0,1829	0,2172	0,2565	0,2830
90	0,1726	0,2050	0,2422	0,2673
100	0,1638	0,1946	0,2301	0,2540

Annexe II : Profondeur équivalente "d" pour des conduites enterrées

TABLE 7.1 Equivalent depth 'd' for commonly used pipe drains ($r_o = 4-10$ cm; $u \approx 0.3$ m)

TABLE 7.1 Equivalent depth for commonly used pipe diameters (%)																			
D(m)	L (m) →																		
	5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200	250
0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50												
0.75	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75								
1.00	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15								
1.50		0.90	0.95	1.10	1.20	1.25	1.30	1.30	1.35	1.35	1.35								
1.75		0.90	1.00	1.20	1.30	1.40	1.45	1.50	1.50	1.55	1.55								
2.00			1.10	1.30	1.40	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.70	1.80	1.80	1.80	1.85	1.85	1.90	1.90	1.95
2.25			1.15	1.35	1.50	1.70	1.70	1.75	1.80	1.85	1.85								
2.50				1.40	1.55	1.70	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00								
2.75				1.40	1.65	1.75	1.90	2.00	2.05	2.10	2.20								
3.00				1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.30	2.50	2.50	2.55	2.55	2.60	2.70	2.80	2.85
3.25				1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.40								
3.50				1.50	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55								
3.75				1.50	1.80	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.65								
4.00					1.80	2.00	2.20	2.35	2.50	2.60	2.70	3.05	3.10	3.10	3.15	3.25	3.45	3.60	3.65
4.50					1.85	2.10	2.30	2.50	2.65	2.75	2.85								
5.00					1.90	2.15	2.40	2.60	2.75	2.90	3.00	3.50	3.55	3.60	3.65	3.80	4.10	4.30	4.45
5.50						2.20	2.45	2.65	2.85	3.00	3.15								
6.00							2.50	2.70	2.90	3.10	3.25	3.85	3.95	4.00	4.10	4.25	4.70	4.95	5.15
7.00							2.55	2.80	3.05	3.25	3.45	4.15	4.25	4.35	4.40	4.60	5.20	5.55	5.80
8.00							2.55	2.85	3.15	3.35	3.55	4.40	4.50	4.60	4.70	4.95	5.70	6.15	6.45
9.00								2.90	3.20	3.45	3.65	4.55	4.70	4.80	4.95	5.25	6.10	6.65	7.00
10.00									3.25	3.50	3.75	4.75	4.90	5.05	5.20	5.45	6.45	7.10	7.55
12.50												5.00	5.20	5.40	5.55	5.90	7.20	8.05	8.70
15.00												5.20	5.40	5.60	5.80	6.25	7.75	8.85	9.65
17.50												5.30	5.55	5.75	6.00	6.45	8.20	9.45	10.40
20.00													5.60	5.85	6.10	6.60	8.55	9.95	11.10
25.00													5.75	5.95	6.20	6.80	9.00	10.70	12.10
30.00																	9.25	11.30	12.90
35.00																	9.45	11.60	13.40
40.00																		11.80	13.80
45.00																		12.00	13.80
50.00																		12.10	14.30
60.00																			14.60
~	0.70	0.95	1.15	1.55	1.90	2.25	2.60	2.90	3.25	3.55	3.90	5.40	5.75	6.00	6.25	6.80	9.55	12.20	14.70

Roughly

d = constant for $D \geq \frac{1}{4}L$

Annexe III : Quelques photos des problèmes du drainage, de la salinité et de l'installation du Source :
(Landreau A., Monition L., 1977)

TABEAU 1

Tolérance des végétaux au sel et quantité d'eau de lessivage
Prévision de décroissance de la production en fonction des teneurs
d'après U.S. Salinity Laboratory Riverside

	0 %			10 %			25 %			50 %			Maximum
	EC _e	EC _w	LR	EC _e	EC _w	LR	EC _e	EC _w	LR	EC _e	EC _w	LR	EC _{dw}
Orge	8 000	5 300	12 %	12 000	8 000	18 %	16 000	10 700	24 %	18 000	12 000	27 %	44 000
betterave à sucre	6 700	4 500	11 %	10 000	6 700	16 %	13 000	8 700	21 %	16 000	10 700	26 %	42 000
coton	6 700	4 500	11 %	10 000	6 700	16 %	12 000	8 000	19 %	16 000	10 700	26 %	42 000
safran	5 300	3 500	12,5 %	8 000	5 300	19 %	11 000	7 300	26 %	14 000	8 000	28,5 %	28 000
blé	4 700	3 100	8 %	7 000	4 700	12 %	10 000	6 700	17 %	14 000	9 300	23 %	40 000
sorgho	4 000	2 700	7,5 %	6 000	4 000	11 %	9 000	6 000	17 %	12 000	8 000	22 %	36 000
soja	3 700	2 500	10 %	5 500	3 700	14 %	7 000	4 700	18 %	9 000	6 000	23 %	26 000
riz (paddy)	3 300	2 200	9 %	5 000	3 300	14 %	6 000	4 000	16 %	8 000	5 300	22 %	24 000
mara	3 300	2 200	12 %	5 000	3 300	18 %	6 000	4 000	22 %	7 000	4 700	26 %	18 000
lin	2 000	1 300	7 %	3 000	2 000	11 %	4 500	3 000	17 %	6 500	4 300	24 %	18 000
féverole	1 000	700	6 %	1 500	1 000	8 %	2 000	1 300	11 %	3 500	2 300	19 %	12 000
Betterave	5 300	3 500	11 %	8 000	5 300	17 %	10 000	6 700	21 %	12 000	8 000	25 %	32 000
spinard	3 700	2 500	12,5 %	5 500	3 700	18,5 %	7 000	4 700	23,5 %	8 000	5 300	26,5 %	20 000
tomate	2 700	1 800	8 %	4 000	2 700	12 %	6 500	4 300	19,5 %	8 000	5 300	24 %	22 000
brocoli	2 700	1 800	7 %	4 000	2 700	10 %	6 000	4 000	15 %	8 000	5 300	20 %	26 000
chou	1 700	1 100	4 %	2 500	1 700	8,5 %	4 000	2 700	10 %	7 000	4 700	18 %	26 000
pomme de terre	1 700	1 100	5,5 %	2 500	1 700	8,5 %	4 000	2 700	13,5 %	6 000	4 000	20 %	20 000
maïs doux	1 700	1 100	5,5 %	2 500	1 700	8,5 %	4 000	2 700	13,5 %	6 000	4 000	20 %	20 000
patate douce	1 700	1 100	5 %	2 500	1 700	8,5 %	3 500	2 300	11,5 %	6 000	4 000	20 %	20 000
laitue	1 300	900	5 %	2 000	1 300	7 %	3 000	2 000	11 %	5 000	3 300	18 %	18 000
poivre	1 300	900	5 %	2 000	1 300	7 %	3 000	2 000	11 %	5 000	3 300	18 %	18 000
oignon	1 300	900	7,5 %	2 000	1 300	11 %	3 500	2 300	19 %	4 000	2 700	22,5 %	12 000
carotte	1 000	700	6 %	1 500	1 000	8 %	2 500	1 700	14 %	4 000	2 700	22,5 %	12 000
haricot	1 000	700	7 %	1 500	1 000	10 %	2 000	1 300	13 %	3 500	2 300	23 %	10 000
cantaloup	2 300	1 500	8 %	3 500	2 300	12 %	pas de données			pas de données			-
pastèque	2 000	1 300	8 %	pas de données			pas de données			pas de données			-
Seigle batard	4 700	3 100	8 %	7 000	4 700	12 %	10 500	7 000	17,5 %	14 500	9 700	24 %	40 000
seigle pérenne	5 300	3 500	10 %	8 000	5 300	15 %	10 000	6 700	19 %	13 000	8 700	24 %	36 000
lotier	4 000	2 700	10 %	6 000	4 000	14 %	8 000	5 300	19 %	10 000	6 700	24 %	28 000
luzerne	2 000	1 300	5 %	3 000	2 000	7 %	5 000	3 300	12 %	8 000	5 300	19 %	28 000
prairie	1 300	900	4 %	2 000	1 300	5 %	3 500	2 300	10 %	6 500	4 300	16 %	24 000
trèfle	1 300	900	6 %	2 000	1 300	9 %	2 500	1 700	12 %	4 000	2 700	19 %	14 000

TABEAU 1 : suite

	0 %			10 %			50 % (1)			
	EC _e	EC _w	LR	EC _e	EC _w	LR	EC _e	EC _w	LR	EC _{dw}
Palmier	5 300	3 500	7 %	8 000	5 300	11 %	16 000	10 000	21 %	48 000
figuier	2 700	1 800	6 à 10 %	4 000	2 700	10 à 14 %	9 000	6 000	21 %	28 000
olivier	à	à		à	à		9 000	6 000	21 %	28 000
grenadier	4 000	2 700		6 000	4 000					
raisin	2 700	1 800	7,5 %	4 000	2 700	11 %	8 000	5 300	22 %	24 000
pamplemousse	1 700	1 100	7 %	2 500	1 700	11 %	5 000	3 300	33 %	16 000
oranger	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
citronnier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
pommier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
poirier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
amandier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
abricotier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
pêcher	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
prunier (pruneaux)	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
noyer	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
murier	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
framboisier	1 000 à 1700	700 à 1 100	5 à 8 %	1500 à 2500	1 000 à 1700	7 - 12 %	4 000	2 700	19 %	14 000
avocatier	1 300	900	7,5 %	2 000	1 300	11 %	4 000	2 700	22,5 %	12 000
fraisier	1 000	700	7 %	1 500	1 000	10 %	3 000	2 000	20 %	10 000

(1) Pour les arbres fruitiers on a admis qu'une réduction de 50 % dans la production correspond à 2 fois la salure pour 10 % de diminution de production.

EC_e et EC_w : conductivités du sol et de l'eau exprimées en mhos/cm.

Annexe IV : les diamètres normalisés de PVC

Pipes of rigid PVC UNI EN 1452 for pressure use conforming to the sanitary rule of Ministry of Health (M.D. 174 of the 6 april 2004).

Color: gray RAL 7011 - Useful length: 6 meters. Pipes are available with rubber gasket or plain ends only on request.

Diametro esterno Outside Diameter mm	PN6 (SDR 33)		PN10 (SDR 21)		* PN12,5 (SDR 17)		PN16 (SDR 13,6)		* PN20 (SDR 11)		Guarnizioni Gasket prezzo netto net price €/cad.
	Spessore Thickness mm	€/ m.	Spessore Thickness mm	€/ m.	Spessore Thickness mm	€/ m.	Spessore Thickness mm	€/ m.	Spessore Thickness mm	€/ m.	
** 16	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5	0,51	—
** 20	—	—	—	—	—	—	1,5	0,65	1,9	0,80	—
25	—	—	—	—	—	—	1,9	1,03	2,3	1,22	—
32	—	—	1,6	0,80	1,9	0,94	2,4	1,14	2,9	1,34	—
40	1,5	0,89	1,9	1,09	2,4	1,36	3,0	1,63	3,7	2,06	0,16
50	1,6	1,18	2,4	1,71	3,0	2,11	3,7	2,51	4,6	3,19	0,19
63	2,0	1,83	3,0	2,65	3,8	3,31	4,7	4,00	5,8	5,05	0,23
75	2,3	2,53	3,6	3,80	4,5	4,69	5,6	5,67	6,8	7,06	0,29
90	2,8	3,46	4,3	5,03	5,4	6,24	6,7	7,50	8,2	9,27	0,39
	PN6 (SDR 41)		PN10 (SDR 26)		PN12,5 (SDR 21)		PN16 (SDR 17)		* PN20 (SDR 13,6)		
110	2,7	4,13	4,2	6,08	5,3	7,85	6,6	9,20	8,1	11,44	0,57
125	3,1	5,40	4,8	7,83	6,0	10,02	7,4	11,73	9,2	14,74	0,68
140	3,5	6,77	5,4	9,88	6,7	12,71	8,3	14,73	10,3	18,46	0,82
160	4,0	8,76	6,2	12,96	7,7	16,65	9,5	19,22	11,8	24,10	1,05
180	4,4	10,60	6,9	16,15	8,6	20,92	10,7	24,34	13,3	30,62	1,38
200	4,9	13,42	7,7	20,03	9,6	25,90	11,9	30,04	14,7	37,57	1,48
225	5,5	16,97	8,6	25,16	10,8	32,70	13,4	38,11	16,6	47,71	2,34
250	6,2	21,30	9,6	31,24	11,9	40,02	14,8	46,79	18,4	58,89	2,58
280	6,9	26,45	10,7	39,05	13,4	50,50	16,6	58,93	20,6	73,97	3,75
315	7,7	33,29	12,1	49,84	15,0	63,44	18,7	74,77	23,2	93,92	4,62
355	8,7	43,65	13,6	65,10	16,9	81,85	21,1	98,36	26,1	119,67	6,31
400	9,8	55,49	15,3	82,81	19,1	104,97	23,7	124,64	29,4	151,89	7,70
450	11,0	70,00	17,2	104,81	21,5	132,71	26,7	158,10	33,1	192,39	—
500	12,3	87,00	19,1	128,75	23,9	163,93	29,7	195,38	36,8	237,66	—

* solo su richiesta / only on request

** tubo liscio senza banchiere / pipe straight without socket