

Dimensionnement d'un système d'irrigation moderne dans le centre rural de Tnine Oudaya au Maroc

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : EAU

Présenté et soutenu publiquement le 20/ 06/2012 par

Arthur Ouédraogo

Travaux dirigés par : Amadou Keita

Enseignant

UTER GVEA

Jury d'évaluation du stage :

Membres et correcteurs : Amadou Keita

Bruno Barbier

Corentin Somé

Promotion [2007/2012]

Remerciements

A mon cher père et à ma chère mère, je ne saurai vous remercier assez pour le soutien continu et incessant que vous m'avez toujours porté. Puisse le Tout Puissant vous accorder la satisfaction de vos efforts.

Mes sincères remerciements au Directeur Général de ITRI environnement et à toute son équipe pour le formidable accueil, qui m'a été réservé.

A mon maitre de stage Mr. Hassimi Moussa qui a su bien m'encadrer durant mon stage et qui n'a ménagé aucun effort pour me transmettre ses connaissances et expériences.

Je tiens également à remercier Mr. Christian Bruere et toute l'équipe SHEM'S pour toute la confiance et l'attention qu'ils m'ont porté.

Merci à mon encadrant Mr. Amadou Keita pour les conseils et orientation dispensé tout au long de mon stage

Mes remerciements s'adressent à tous les membres du corps enseignant du 2IE pour le suivi et la formation dispensée au cours de ces cinq années.

Pour finir je remercie toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement du travail.

Résumé

Le présent document porte sur l'analyse de la situation environnementale actuelle liée à l'agriculture dans un centre rural au Maroc et à la conception d'un périmètre agricole à proximité en vue de réaliser des expérimentations selon des méthodes biodynamique. Cette étude d'impact environnemental a pour but de définir dans un premier temps l'état environnemental actuel du centre, puis d'énoncer les problèmes environnementaux provoqués par les pratiques agricoles avant de proposer les améliorations nécessaires à la mise en place d'une agriculture plus soucieuse de l'environnement.

Notre zone d'étude est confrontée à des faibles pluviométries d'environ 250 mm par an et à une évapotranspiration annuelle très élevée avoisinant 1500 mm. Il se pose ainsi le problème de protection des ressources en eau destinées à l'agriculture. Cette protection passe par la mise en place d'un système d'irrigation efficient respectant strictement les besoins en eau des plantes afin d'éviter le gaspillage.

Il sera pratiqué sur notre superficie agricole expérimentale de 0.5 ha de l'arboriculture et du maraichage dont les besoins en irrigation s'estiment respectivement à 5.3 mm/ jour et 8 mm/ jour. Les tours d'eau qui seront adoptés sont de 6 jours pour le maraichage et 3 jours pour les cultures maraichères. Ce qui permet d'obtenir un débit d'équipement total de 6.21 l/s/ha. Après étude des différents modes de pompage utilisés au Maroc, le mode de pompage électrique a été désigné comme étant idéale pour le système d'irrigation à mettre en place.

Le coût total du système d'irrigation mis en place est de **54 355 MAD TTC** soit **3 207 300 FCFA TTC**.

Mots clés :

Environnement

Biodynamique

Pluviométrie

Evapotranspiration

Besoin en eau

Abstract

This paper focuses on the analysis of the current environmental situation related to agriculture in a rural center in Morocco and the design of an agricultural area near to undertake trials according to biodynamic methods. This environmental impact study is intended to define initially the current environmental state of the center, then to set out the environmental problems caused by agricultural practices before proposing improvements necessary for the establishment of agriculture more environmentally conscious.

Our study area is faced with low rainfall of about 250 mm per year and an annual evapotranspiration 1500 mm high surrounding. This raises the issue of protection of water resources for agriculture. This protection requires the establishment of an efficient irrigation system strictly according to the water requirements of plants to avoid wastage.

It will be performed on our experimental farm area of 0.5 ha orchards and market gardening irrigation needs which consider themselves respectively to 5.3 mm /day and 8 mm /day. The water towers are to be adopted by 6 days for orchards and 3 days for market gardening.

Which provides a total design flow of 6.21 l / s / ha. After studying the various modes of pump used in Morocco, the pumping mode power has been designated as suitable for the irrigation system to implement.

The total cost of the irrigation system in place is **54 355 MAD TTC** or **3,207,300 FCFA TTC**.

Key words:

Environment

Biodynamic

Rainfall

Evapotranspiration

Water requirement

Liste des abréviations

ONEP : office national de l'eau potable

TDR : termes de référence

ORMVAH : Office Régional de mise en valeur agricole du Haouz

MAD : Dirhams Marocain

HMT : Hauteur Manométrique Totale

ETO : évapotranspiration de référence

MDP : Pression maximale de calcul

mDP : Pression minimale de calcul

PMA : Pression Maximale Admissible

PFA : Pression de Fonctionnement Admissible

Pdc : perte de charge

PN : pression nominale

V : vitesse

D : Diamètre

Contenu

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	iii
Liste des abréviations	iv
I. Introduction et généralités.....	11
I-1. Introduction.....	11
I-2. Généralités	12
I-2-1. Localisation et présentation du centre	12
I-2-2. Climat.....	12
I-2-3. Végétation et Sol	13
I-2-4. Ressource en Eaux.....	13
I-2-5. Distribution Electrique	14
I-2-6. Les infrastructures.....	14
I-3. Population	15
I-4. Activités économiques	15
I-4-1. Activité agricole	15
I-4-2. Élevage.....	16
II. Objectifs du travail	17
III. Méthodes et matériels de travail	18
III-1. Réalisations des fiches et enquêtes	19
III-2. Analyse et interprétation de l'eau souterraine et du sol dans le centre	19
III-3. L'agriculture Biodynamique	19
Choix et disposition des Cultures	20
III-4. Les données météorologiques	20
III-5-1 Besoin en eau d'irrigation	22
III-5-2 Dose d'irrigation et débit d'équipement.....	22
III-6. Dimensionnement final	23
III-7. Vérifications des conduites d'adduction	24
III-8. Type de pompage et choix de la pompe	24
III-8-1. Type de pompage	24
III-8-2. Choix de pompe.....	25
III-9. Calendrier d'irrigation	26

III-10.	Evaluation du coût des installations.....	26
IV.	Résultats.....	27
IV-1.	Analyse des ressources naturelles	27
IV-1-1.	L'eau	27
IV-1-2.	Le sol.....	27
IV-2.	Situation de référence de la zone de projet.....	27
IV-2-1.	Les eaux de surface	27
IV-2-2.	Les eaux souterraines.....	27
IV-2-3.	Le sol.....	28
IV-2-4.	Consommation énergétique.....	28
IV-3.	Grandeurs de base et Dimensionnement préliminaire.....	31
IV-4.	Dimensionnement final	33
IV-5.	Pompage et filtration	34
IV-5-1.	Comparaison des modes de pompage	34
IV-5-2.	Pompage.....	35
IV-5-3.	Filtration	35
V.	Discussions et analyse	37
V-1.	Analyse de la situation environnementale actuelle	37
V-1-1	Les eaux de surface	37
V-1-2	Les eaux souterraines.....	37
V-1-3	Le sol.....	37
V-1-4	Air	38
V-2.	Analyse de la situation économique et sociale du centre.....	38
V-2-1	Situation économique	38
V-2-2	Situation Sociale	39
V-3.	Impact des pratiques agricoles sur l'environnement.....	40
V-4.	Situation attendue.....	42
V-4-1.	Environnemental	42
V-4-2.	Social.....	43
V-5.	Contraintes d'adduction.....	43
V-5-1.	Vérification des pertes de charges	44
V-5-2.	Vitesse d'écoulement	44
V-5-3.	Coups de béliers	44
V-6.	Choix du type de pompage.....	44

VI.	Conclusion	45
VII.	Recommandations et perspectives	46
	Bibliographie	47
	Annexes	48
I.	Analyse de l'eau et du sol dans le centre	48
I-1.	Analyse des paramètres physico-chimique de l'Eau	48
I-2.	Analyse du sol.....	49
II.	Politique du Maroc sur la Gestion des ressources en eau	50
III.	Dimensionnement préliminaire	51
III-1.	Données météorologique.....	51
III-2.	Besoin en eau citronniers.....	51
III-2-1.	Coefficient culturaux	51
III-2-2.	Pluie efficace	52
III-2-3.	Calculs des besoins en eaux	52
III-3.	Besoin en eau de la tomate.....	55
III-3-1.	Coefficient cultural	55
III-3-2.	Pluie efficace	55
III-3-3.	Besoin en eau	56
III-4.	Besoin d'irrigation	57
III-5.	Calcul de la réserve facilement utilisable d'eau	58
III-6.	Fréquence d'irrigation et tour d'eau.....	59
III-7.	Dose pratique d'irrigation	59
III-8.	Temps maximum d'arrosage	60
III-9.	Calcul du débit spécifique (l/s/ha)	60
IV.	Dimensionnement du système d'irrigation de la villa.....	61
IV-1.	Données	61
IV-2.	Arboriculture	61
IV-3.	Maraichages	63
V.	Dimensionnement des tubes d'irrigation.....	65
V-1.	Système d'irrigation	65
V-2.	Choix de filtre	70
V-3.	Dimensionnement Station de pompage	71
V-3-1.	Refoulement	71
VI.	Carnet de Nœud du système d'adduction	73

VII.	Calendrier d'irrigation	74
VIII.	Evaluations des prix.....	77
IX.	Fiche d'enquête.....	78

Listes des tableaux

Tableau 1: moyennes de l'évapotranspiration et de la pluviométrie à Marrakech (2001-2011)	21
Tableau 2: texture du sol à Tnine des Oudaya	27
Tableau 3: calcul d'impact du système d'irrigation sur la pollution atmosphérique	30
Tableau 4: résumé de la pollution liée à l'exploitation de la superficie agricole	31
Tableau 5: grandeur de base et dimensionnement préliminaire	32
Tableau 6: Dimensionnement finale	33
Tableau 7: comparaison des différents systèmes de pompage	35
Tableau 8: résumé et mesure d'intensité de la situation actuelle du centre	39
Tableau 9: résumé de l'impact environnemental des pratiques agricoles	41
Tableau 10 : fonctionnalité système de canalisation	43
Tableau 11: calcul de pression	44
Tableau 12: Analyse bactériologique de l'eau	48
Tableau 13: Analyse physico-chimique	48
Tableau 14: conclusion des analyses	49
Tableau 15: Analyse du sol	49
Tableau 16: évapotranspiration et pluviométrie	51
Tableau 17: calcul du besoin en eau des citronniers (cycle jeune à mature)	53
Tableau 18: Tableau 6: calcul du besoin en eau des citronniers (cycle mature)	54
Tableau 19: réserve facilement utilisable du sol	59
Tableau 20: Calendriers d'irrigation des citronniers	74
Tableau 21: Calendrier d'irrigation de la tomate	75
Tableau 22: évaluation des prix	77

Liste des figures

Figure 1: Disposition des cultures.....	20
Figure 2: méthode de calcul des besoins d'irrigation	22
Figure 3: Méthode de calcul de la dose d'irrigation et du débit d'équipement.....	23
Figure 4: méthode de calcul des paramètres d'adduction d'eau	23
Figure 5: vérification du système d'adduction.....	24
Figure 6 : Exemple de puits perdu dans le centre de Tnine des Oudaya	28
Figure 7: fonctionnement des pompes	29
Figure 8: Plan du réseau d'irrigation	34
Figure 9: lecture de perte de charge simple par méthode des abaques	66
Figure 10: image du filtre.....	71
Figure 11: courbe caractéristique de fonctionnement de la pompe	72
Figure 12: Carnet de Nœuds	73

I. Introduction et généralités

I-1. Introduction

Le Royaume du Maroc est un pays d'Afrique du Nord, avec une population de 32 millions d'habitants réparti équitablement entre Hommes et femmes. L'agriculture est un secteur important et occupe 40 % de la population active. L'agriculture irriguée s'est imposée comme composante de l'économie marocaine en tant que levier de production de richesses et de création d'emploi. Bien que n'occupant que 15% des superficies agricoles, l'agriculture irriguée représente environ 45% de la valeur ajoutée agricole et intervient pour 75% des exportations agricoles (*Ministère de l'agriculture et de la pêche du Maroc, 2011*). Le poids du secteur de l'irrigation dans l'économie nationale est tel qu'il convient de cerner les relations existantes entre l'agriculture irriguée et son environnement.

Tnine Oudaya est un centre rural situé dans la région du Tensift où l'agriculture est la principale activité. Le centre est caractérisé par des petites à grandes exploitations et l'agriculture est pratiquée de manière intensive ou extensive selon la capacité financière de chaque propriétaire. La pratique agricole intensive engendre des impacts environnementaux et une surexploitation inefficace de la nappe d'eau qui a entraîné des changements importants sur son fonctionnement bien qu'on ne puisse pas parler de relation singulière entre nappe d'eau et pompage d'eau pour irrigation (*INCO-WADEMED, 2004*).

La société SHEM'S porteur d'un projet consistant à la création d'un village écologique où il sera pratiqué intensivement de l'agriculture biodynamique a voulu cerner dans un premier temps les impacts négatifs liés à l'activité agricole intensive dans le centre de Tnine des Oudaya, afin d'en pratiquer une qui respecterait l'environnement et permettrait une gestion efficace des ressources naturelles.

Dans un second temps SHEMS désire pratiquer de manière expérimentale l'agriculture biodynamique sur une petite surface afin d'évaluer le matériel et acquérir l'expérience nécessaire pour la vulgariser sur des superficies plus importantes et en faire de l'agrobusiness.

L'agriculture biologique dynamique est un système de production agricole dont les bases ont été posées par l'anthroposophe Rudolf Steiner dans une série de conférences données aux agriculteurs en 1924. Cette méthode a pour idée de départ le concept d'organisme agricole qui

consiste à regarder toute ferme, tout domaine agricole comme un organisme vivant, le plus diversifié et le plus autonome possible, avec le moins d'intrants. Développée et expérimentée par les agriculteurs, cette méthode utilise les plantes pour réaliser des extraits végétaux, tisanes, décoctions, macérations, parfois combinées avec des dilutions, visant à soutenir un bon processus végétatif et à limiter le développement des parasites.

Il sera donc question de pratiquer une agriculture à haut rendement qualitatif et quantitatif sur une superficie expérimentale à proximité de Marrakech, sans rejet de substances susceptible de détériorer l'environnement tout en rationalisant la consommation d'eau afin de mieux prévoir la vulgarisation de l'agriculture biodynamique dans le centre rural de Tnine des Oudaya sur une superficie de 44 ha.

I-2. Généralités

I-2-1. Localisation et présentation du centre

Tnine Oudaya est un centre rural de la région du Marrakech Tensift EL Haouz, elle fait partie de la préfecture de Marrakech et est situé à 22 km côté Ouest du centre-ville de Marrakech. La commune est desservie par la route nationale N° 8 qui relie trois grandes villes (Marrakech à Essaouira et Agadir). Le centre est divisé en deux rives par le Oued N'fis, cours d'eau à régime irrégulier. L'altitude du centre varie de 375m au sud à 384m vers le nord. La pente générale du centre est orientée vers le nord avec une valeur faible à moyenne de 0,30% (ONEP, 2007). A la périphérie du centre on retrouve des exploitations agricoles.

I-2-2. Climat

Sur l'ensemble de la région il règne un climat méditerranéen aride et chaud, caractérisé par une pluviosité faible et variable, une température moyenne élevée accusant de forts écarts mensuels et journaliers, une faible hygrométrie et une forte évaporation.

La moyenne annuelle des précipitations est d'environ 237 mm. Leur répartition annuelle oppose une saison pluvieuse d'octobre à avril - mai, avec des maxima en novembre-décembre et mars-avril, à une sécheresse quasi absolue en été avec des vents desséchants. L'évaporation

moyenne annuelle est d'environ 1410 mm, les valeurs moyennes mensuelles évoluant d'environ 60 mm de décembre à février à 200 mm en juillet - août.

Les températures, élevées en été d'une moyenne mensuelle en juillet-août de 35°C à 40°C, peuvent être cependant froides en hiver pour contraindre les cycles des végétaux (*données météorologique de la station SAADA*).

I-2-3. Végétation et Sol

La végétation est composée en grande partie de plantes arboricoles (agrumes, oliviers, ...) et des plantes fourragères.

Les différents types de sol pouvant être rencontrés dans la région sont :

- Sol Iso humique Fluvisols, Regosols, Lithisols appelée localement « Requane »
- Sol Cacemagnésic (Rendzians, Yermosols, Xerosols) appelée localement « Biad».
- Sol inexploité localement appelé « Hach » il couvre une petite partie de la zone 10% le long des rivières des Plaines. (*FAO taxon*)

I-2-4. Ressource en Eaux

Eaux de surface

Le Oued N'fis est le seul cours d'eau de surface alimentant le centre de Tnine des Oudaya. Ce cours d'eau prend naissance dans la zone montagneuse du haut atlas grâce la fonte des neiges pendant l'été et au ruissellement dû aux précipitations présentes dans la zone. Le Oued N'fis est un affluent du Oued Tensift qui s'écoule d'Est en Ouest dans la région du Tensift avant de se déverser dans la mer. Le bassin versant de l'Oued N'fis a une superficie de 1690 km² avec un débit moyen de 5400 litres par seconde. Le Oued N'Fis alimente en grande partie le barrage de Lalla Takerkoust situé à 30 km du centre de Tnine Oudaya.

Eaux souterraine

Le centre de Tnine Oudaya repose sur la nappe d'eau du Haouz qui est la plus productive de la région du Marrakech Tensift El-Haouz. La recharge de la nappe se fait par l'infiltration des eaux d'irrigation, des eaux de crues des oueds atlastique (*i.e. oued n'fis*), des eaux de pluies et des barrages (*barrage de lalla takerkoust*).

Le niveau moyen de la nappe est passé de 25 m dans les années 1980 à 70 m en 2004, soit une baisse moyenne de 0.8 m à 1.6 m par an (*INCO-WADEMED, 2004*).

Adduction en eau potable

La gestion de l'eau potable dans le centre de Tnine Oudaya est assurée par l'ONEP en ce qui concerne la production et la distribution. L'ONEP assure la gestion du réseau d'eau potable depuis 2001. L'alimentation en eau potable est assurée à partir des champs captant sur l'Oued N'Fis situé au sud du centre. Le réseau dessert la totalité du centre à partir du réservoir surélevé d'une capacité de 200 m³. Le taux de desserte actuelle est de 95%, toutefois les fermes à la périphérie du centre ne sont pas desservies par le système d'adduction de l'ONEP (ONEP, 2007).

I-2-5. Distribution Electrique

Le réseau d'électricité est géré par L'ONEP. Le réseau dessert la totalité du centre. Le taux de branchement est de 98%. Toutefois les fermes situées en périphérie du centre ne sont pas desservies par le réseau électrique.

I-2-6. Les infrastructures

Voirie

Le centre est traversé par la route nationale n°8 qui relie Marrakech à Essaouira. Pour le reste du centre, la voirie est sous forme de piste bitumée.

Assainissement solide et liquide

Il n'existe pas de réseau d'assainissement collectif, ni de réseau d'évacuation des eaux pluviales dans le centre, les eaux pluviales sont drainées par le Oued N'fis. L'assainissement individuel se fait par utilisation des puits perdus au niveau de chaque habitation.

La collecte des ordures ménagères n'existe pas sur la commune rurale étudiée. Les déchets solides constatés sur la zone, proviennent essentiellement de deux milieux :

- Les ordures ménagères et assimilées : matières organiques fermentescibles, emballages (plastiques, cartons, métalliques, verres)
- Les déchets issus d'activités agricoles et d'élevage : résidus de cultures, fumiers, matériaux divers

Autres équipements

Le centre de Tnine Oudaya dispose de :

- Deux centres de santé : on ne signale pas de cas d'épidémies liées à l'utilisation de l'eau.

- quatre écoles primaires
- un collège
- un lycée
- une gendarmerie royale.

I-3. Population

La population du centre est estimée à 14 026 habitants et le taux d'accroissement est estimé à 1.41 %.

I-4. Activités économiques

L'Agriculture est la principale activité économique du centre suivi de l'élevage. A titre d'exemple on cite le jardin d'Amezri avec sa superficie de 44 ha employant 10 ouvriers par an à temps plein et plus selon l'ampleur du travail au cours de la saison.

I-4-1. Activité agricole

L'activité agricole est partagée entre pratiques modernes et classiques selon la capacité financière de chaque exploitant. Les pratiques agricoles modernes sont caractérisées par un système d'irrigation moderne, de grandes exploitations, l'utilisation d'engrais chimique (azote, phosphore, potassium), des pesticides, et l'utilisation d'engins mécaniques. Quant à l'activité agricole classique elle se caractérise par des petites propriétés, une irrigation gravitaire, un manque de connaissance technique dû à l'analphabétisme, et un travail à la main. On estime à 75% les superficies agricoles utilisant des pratiques agricoles classiques (*l'irrigation au Maroc, 2011*).

Pour faire face à ce déséquilibre social le gouvernement marocain a mis en place en 2008 le plan Maroc vert s'articulant sur les piliers suivants:

- Le développement d'une agriculture moderne, compétitive, à haute valeur ajoutée et adaptée aux règles du marché,
- La mise à niveau des acteurs fragiles et la lutte contre la pauvreté dans le milieu rurale à travers l'amélioration du revenu agricole.

Ainsi les filières de production végétale retenues dans le plan Agricole régional du Tensift sont : oliviers, céréales, les abricotiers, agrumes, arganier, cactus, caroubier.

I-4-2. Élevage

Il est pratiqué pour la plupart du temps dans les exploitations agricoles. Les filières de production retenues par le plan agricole régional du Tensift sont : le lait et la viande rouge.

Les objectifs globaux fixés pour l'élevage sont :

- Augmentation des deux filières de production (le lait et la viande rouge),
- Amélioration de la qualité et des conditions de commercialisation et de production,
- L'amélioration des niveaux de valorisation de l'eau d'irrigation,
- La création d'emplois et l'amélioration des revenus de la population.

II. Objectifs du travail

L'étude a pour but de servir de démarche à suivre pour la mise en place de la composante agricole d'un village écologique. Cette composante agricole va consister à la pratique d'une agriculture à haut rendement sans utilisation de produits chimiques (agriculture biodynamique).

Cette étude devra être associée à d'autres études pour qu'au final la démarche pour la conception d'un village écologique utilisant uniquement de l'énergie renouvelable sans rejet chimique soit détaillée.

En ce qui nous concerne (composante agricole) en vue de l'atteinte l'objectif global nous allons :

- Evaluer par une analyse de la situation environnementale les conséquences liées aux pratiques agricoles actuelles dans la zone de Tnine des Oudaya,
- Concevoir et mettre en place un système d'irrigation économisant au mieux la ressource en eau souterraine,
- Suivi de la mise en place d'une agriculture biodynamique de manière expérimentale sur une superficie de 0,5 hectare,
- Suivi de la mise en place du système d'irrigation.

III. Méthodes et matériels de travail

L'étude a été menée en partie conformément aux spécifications dans le TDR et à concerner dans un premier temps l'analyse de la situation environnementale qui s'est déroulée sur une superficie d'environ 300 ha pour des exploitations ayant des superficie comprises entre 44 ha et 5 ha. Le nombre total de fermes était de 10.

La méthodologie de travail est la suivante :

- Réalisation des questionnaires et Enquêtes auprès des agriculteurs (300 ha de superficie agricole),
- Analyse et interprétation de l'eau souterraine et du sol dans le centre,
- Etablissement de la situation de référence de la zone de projet à partir des enquêtes réalisées,
- Evaluations de l'impact agricole sur l'environnement,
- Définition de la situation attendue,

Dans un second temps il s'est fait la conception de la superficie agricole expérimentale à travers les étapes suivantes :

- Définition du processus d'application de l'agriculture biodynamique,
- La recherche documentaire sur les techniques économétriques de production d'eau avec faible ou rejet nulle de gaz carbonique,
- Etablissement des grandeurs de base pour le dimensionnement de l'aménagement,
- Le choix du matériel d'irrigation et la configuration du système d'irrigation,
- La proposition d'un calendrier d'irrigation,
- Le devis quantitatif estimatif,
- Pour finir le suivi de l'installation du matériel d'irrigation a été effectué.

Pour la réalisation des différentes tâches le matériel suivant a été utilisé :

- Un véhicule pour la réalisation de l'enquête,
- L'utilisation de Google Map pour identifier les fermes à visiter,
- La documentation et la connexion internet pour des recherches,
- un ruban gradué (mètre) pour relever les distances sur le terrain,
- Les données climatiques (pluviométrie, évapotranspiration),

- AutoCAD, CropWat, Excel, Word.

III-1. Réalisations des fiches et enquêtes

Les fiches ont été réalisées dans le but de donner les informations sur les critères suivant (*voir annexe*) :

- Gestion des déchets produit sur chaque ferme
- Les méthodes de fertilisation utilisées pour l'agriculture
- L'utilisation énergétique sur chaque ferme
- L'utilisation de la ressource en eau

III-2. Analyse et interprétation de l'eau souterraine et du sol dans le centre

Le centre de Tnine des Oudaya repose sur la nappe de la région du Haouz. L'analyse de l'eau souterraine a eu pour but d'évaluer l'effet de l'activité agricole sur la nappe et de quantifier ainsi le niveau de pollution.

Il était également question de connaître la teneur en sel minéraux de l'eau et du sol afin de prévoir un besoin de lessivage dans l'estimation des besoins en eau d'irrigation.

III-3. L'agriculture Biodynamique

Les concepts de l'agriculture biodynamique sont propres au monde de la vie; ses techniques la respectent et en stimulent les forces. Elle consiste à vivifier le sol, cultiver les plantes et élever les animaux pour nourrir qualitativement les hommes. Pratiquer de l'agriculture biodynamique c'est renouer avec toute la nature qui l'entoure afin de pouvoir maîtriser sa production agricole.

Elle se base sur le fait qu'il existe dans la nature des forces complémentaires et harmonieuses qui relient le sol, la plante, l'animal et l'homme. L'agriculteur biodynamiste cherchera à les assembler dans la meilleure configuration possible.

L'intérêt de repiquer un nombre important de culture diversifié sur la superficie expérimentale est de reproduire un écosystème naturel agréable à regarder et rentable sur le point qualitatif que quantitatif.

Les cultures maraichères qui seront pratiquées sont : Tomate, L'aubergine, Le poivron, Calebassier, Courgette, Chou chinois, chou brocoli, chou-fleur, claytone de cuba, sarriette commune, le persil, fenouil, aneth, thym, origan, le coriandre, cerfeuil, ciboule de chine, céleri, concombre, melon, menthe, la pastèque, le quinoa en plus des citronniers qui sont déjà présents.

Il naîtra ainsi un écosystème où le cycle des cultures évoluera le plus naturellement possible en exploitant les interactions qui naîtront de l'environnement en place.

Pour l'évaluation des besoins en eau des cultures maraichères afin de concevoir le système d'irrigation nous considérerons la tomate comme culture de référence car elle présente des contraintes d'irrigation plus importantes que les autres cultures maraichères.

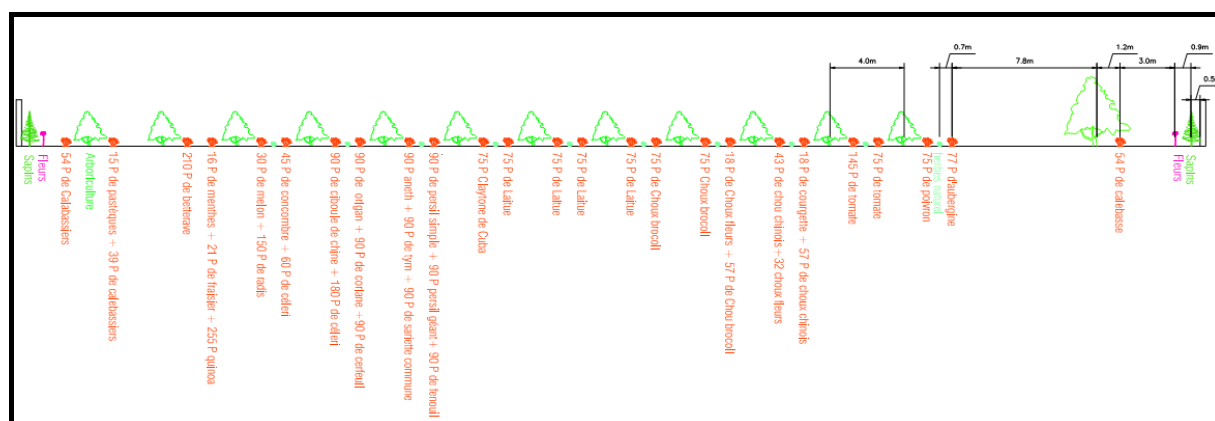


Figure 1: Disposition des cultures

III-4. Les données météorologiques

Pour l'évaluation du besoin en eau des cultures, les données de la station météorologique de Saada qui est la plus proche de Tnine des Oudaya ont été utilisées. Ces données météorologiques ont été fournies par l'ORMVAH et concernent :

- Les températures minimales et maximales,
- La vitesse minimale et maximale,
- L'humidité relative minimale et maximale,
- L'évapotranspiration,
- Les précipitations.

La plage d'observations disponible est de 2001 à 2011. Pour évaluer l'évapotranspiration et la précipitation il a fallu effectuer la moyenne mensuelle sur les différentes années d'observations afin d'avoir des valeurs assez représentatives du climat et évaluer les besoins en eau des cultures.

Tableau 1: moyennes de l'évapotranspiration et de la pluviométrie à Marrakech (2001-2011)

Mois	Jan	fév.	Mars	Avril	mai	jun	juill.	Août	sept	oct.	nov.	déc.
Evapotranspiration (mm/mois)	59.1	72	114.2	131.1	160.3	178.7	194.8	182.1	142	109.7	72.7	56.3
Pluviométrie (mm)	22.1	28.6	20.1	21.7	14.4	2.8	1.3	4.8	7	17.6	34.7	19.5

III-5. Dimensionnement préliminaire

En partant de l'évapotranspiration et de la pluviométrie, tout en utilisant le logiciel CROPWAT pour déterminer les caractéristiques culturales, les besoins en eau net pour les citronniers et la tomate ont pu être déterminés.

Pour rappel le citronnier et la tomate servent de référence pour l'évaluation des besoins eau de l'arboriculture et du maraichage

Les résultats de l'analyse d'eau du forage et l'analyse des sols ont également été utilisés pour établir le besoin en eau d'irrigation et la dose pratique d'irrigation.

III-5-1 Besoin en eau d'irrigation

Sont exposées sur cette figure les méthodes de calcul du besoin d'irrigation :

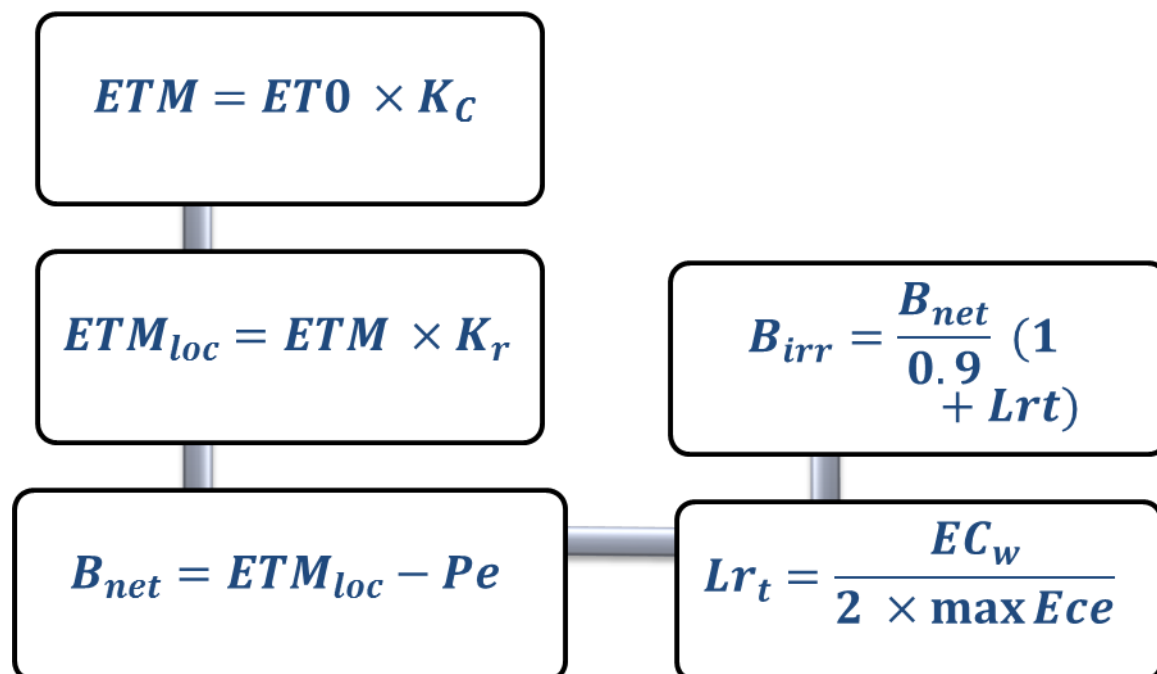


Figure 2: méthode de calcul des besoins d'irrigation

III-5-2 Dose d'irrigation et débit d'équipement

La méthode de calcul du débit d'équipement et de la dose d'irrigation est présentée dans la figure suivante :

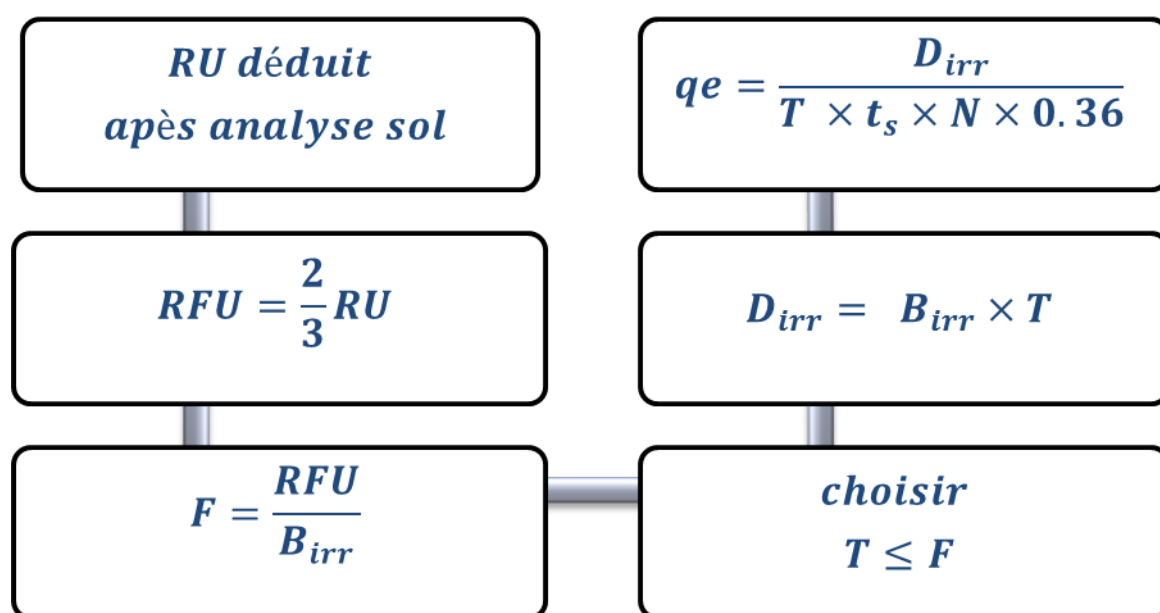


Figure 3: Méthode de calcul de la dose d'irrigation et du débit d'équipement

III-6. Dimensionnement final

Afin d'effectuer le choix des conduites et d'évaluer la perte de charge, la méthode suivante a été employée :

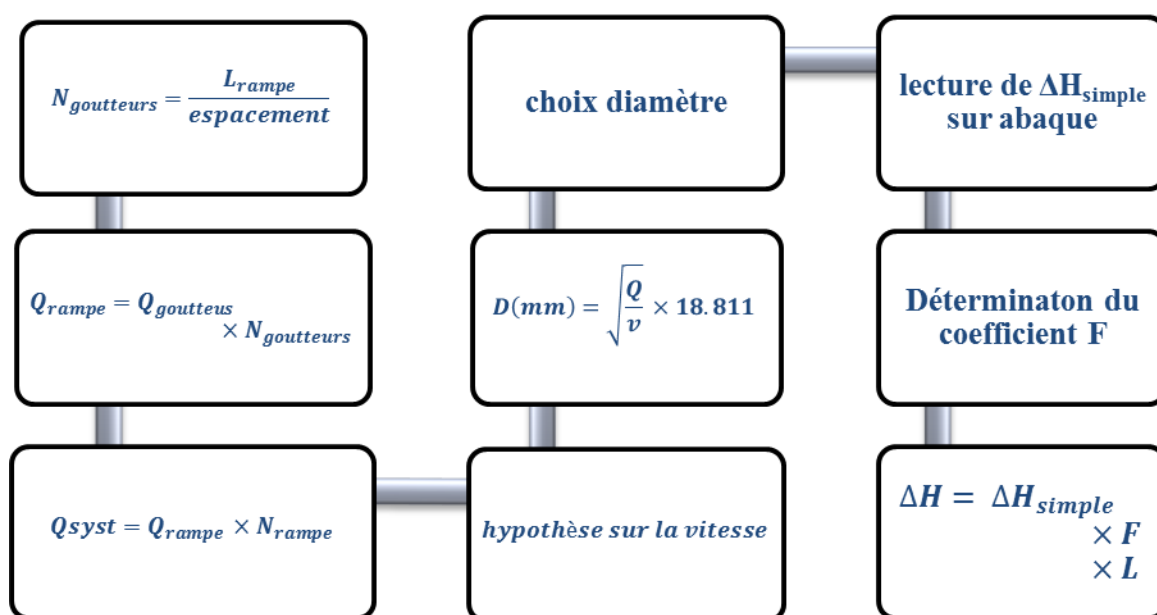


Figure 4: méthode de calcul des paramètres d'adduction d'eau

III-7. Vérifications des conduites d'adduction

Il était important de vérifier le dimensionnement des conduites d'adduction de son importance pour un fonctionnement optimisé du système d'irrigation.

La méthode de vérification suivante a été employée :

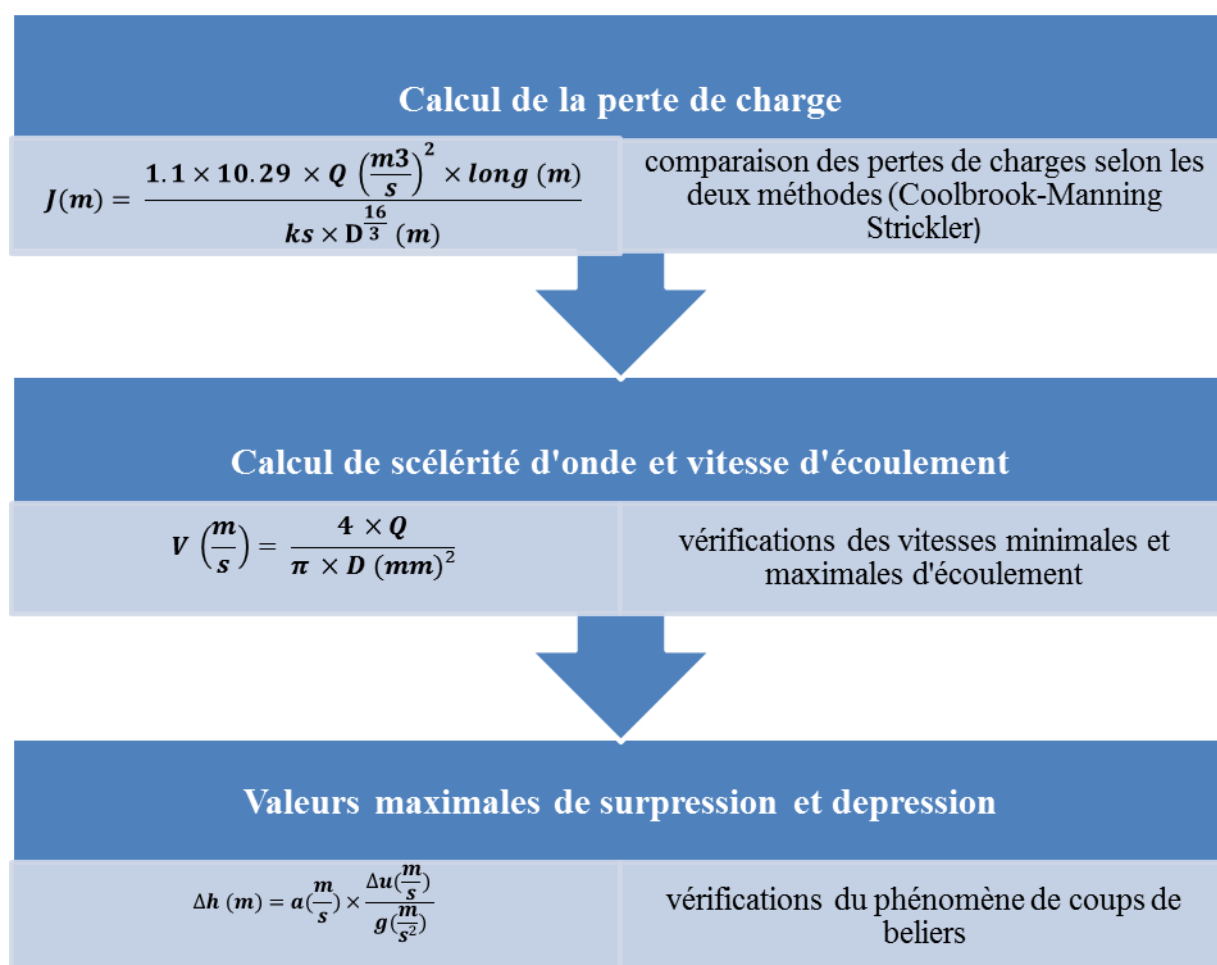


Figure 5: vérification du système d'adduction

III-8. Type de pompage et choix de la pompe

III-8-1. Type de pompage

Cette partie a pour but d'évaluer les critères liés à l'exploitation des différents systèmes de pompage au Maroc.

L'étude s'est faite pour le gaz, le diesel, et l'électricité en utilisant les caractéristiques de pompe et hypothèses suivantes :

- Pompe de marque de Grundfos
- Débit : 30 m³/ heure,
- HMT : 100 m,
- Rendement de la pompe : 74.6 %,
- Puissance absorbée : 13 KW
- Rendement du moteur à gaz : 30 %,
- Rendement des moteurs diesel : 40%,

Pour le pompage photovoltaïque les hypothèses suivantes ont été considérées:

- Pompe de marque Lorentz
- Débit : 210 m³/ jour,
- HMT : 100 m,
- Rendement système de pompage photovoltaïque : 90%

Les caractéristiques de la pompe sont celles d'une ferme de 44 ha ayant fait partie de nos enquêtes (jardin d'Amezri) et qui devra accueillir plus tard le projet de vulgarisation de l'agriculture biodynamique.

Pour établir le coût d'exploitation nous allons considérer les critères suivant :

- Le pouvoir calorifique d'un kg de butane qui est de 13.75 KWH par Kg,
- Le pouvoir calorifique d'un litre de diesel qui est de 10.57 KWH par litre,
- Le coût d'une bouteille de butane (13 kg) au Maroc qui est de 40 MAD,
- Le coût d'un litre de diesel au Maroc qui est de 7 MAD,
- Le coût du KWH qui est de 1.46 MAD pour une consommation supérieur à 500 KWH par mois.
- Le rejet de CO₂ pour 1 KWH d'électricité produit hydrauliquement car l'énergie produit dans la région provient de la centrale Hydro-électrique de Lalla Takerkoust.
- Le rejet de CO₂ causé par une bouteille de gaz et un litre de diesel sont respectivement de 39.44 kg et 2.62 kg

III-8-2. Choix de pompe

Le choix de la pompe se fera après calcul de la HMT et du débit total à fournir. Le logiciel WINSCAP de GRUNDFOS sera utilisé pour le choix.

Il est important de notifier l'existence d'un forage sur la superficie expérimentale, le niveau dynamique de la nappe a été estimé à 75 m après la remontée de la pompe qui s'y trouvait. Les caractéristiques de l'ancienne pompe sont de 30 m³/ heure et de 90 m de HMT. Cette pompe sera remplacée car défectueuse.

III-9. Calendrier d'irrigation

Le but a été de déterminer le temps spécifique d'arrosage pour chaque jour d'irrigation sur un cycle végétatif pour la tomate et sur une année pour les citronniers.

Pendant les périodes chaudes il a été décidé de pratiquer une irrigation nocturne pour limiter les pertes d'eaux par évapotranspiration. Ainsi nous avons préconisé le début de l'irrigation pendant les mois chaud à 21 h ou à 5h selon la saison et le temps spécifique d'arrosage.

Le temps spécifique pour chaque période a été déterminé en effectuant le rapport de la dose d'irrigation de la plante pour la période considéré par la pluviométrie des asperseurs.

III-10. Evaluation du coût des installations

L'évaluation du coût des installations a été faite à partir d'enquêtes sur Marrakech, dans le but d'obtenir le prix du matériel d'irrigation nécessaire à l'installation de la superficie expérimentale.

IV. Résultats

IV-1. Analyse des ressources naturelles

IV-1-1. L'eau

L'analyse bactériologique et physico-chimique (*voir annexe*) a révélé une absence des germes de contamination fécale, une conductivité normale de 776 μ S/cm, une concentration en chlore de 71mg/l, une dureté de 32° F, et une minéralisation totale de 543 mg/l.

IV-1-2. Le sol

Les échantillons prélevés sur notre superficie expérimentale ont permis d'en faire une analyse révélant une texture de sol équilibrée de type Limono sablo Argileuse. Ce type de texture confère au sol une assez bonne perméabilité et une rétention en eau moyenne. Sa composition granulométrique est la suivante :

Tableau 2: texture du sol à Tnine des Oudaya

Argile (%)	Limon fin (%)	Limon Grossier (%)	Sable fin (%)	Sable Grossier (%)	Texture
22.9	22.4	19.6	20.6	14.5	LSA

IV-2. Situation de référence de la zone de projet

IV-2-1. Les eaux de surface

Durant les différentes enquêtes il a été observée les faits suivants susceptibles d'influencer la qualité du Oued N'fis qui est l'unique cours d'eau traversant le centre, ce sont :

- L'absence de système d'assainissement collectif dans le centre (réseau de drainage d'eaux pluviales),
- L'utilisation anarchique du cours d'eau (absence d'ouvrage de prise)

IV-2-2. Les eaux souterraines

Les critères suivant ont également été remarqué et sont tous aussi susceptible d'influencer la ressource en eau souterraine, ce sont :

- L'utilisation de puits perdus pour le rejet des eaux usées, réalisés de manière traditionnelle et recouvert de dalles en béton ils ont des profondeurs d'environ 5 m,



Figure 6 : Exemple de puits perdu dans le centre de Tnine des Oudaya

- L'utilisation de pompe pour l'irrigation sur l'ensemble des 10 fermes enquêtées,
- L'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques pour la fertilisation des superficies agricoles.

IV-2-3. Le sol

Le sol présent dans le centre est apte aux cultures. A titre d'exemple le rendement des cultures céréalières (blé, luzerne) est de 35 à 53.5 t/ ha. La topographie assez plane des superficies agricoles limite l'érosion hydrique.

IV-2-4. Consommation énergétique

Les exploitations agricoles ne bénéficient pas du branchement de la société d'électricité et sont obligées d'utiliser des sources énergétiques alternatives, ce sont :

✚ *Pollution lié au fonctionnement des pompes d'irrigation*



Figure 7: fonctionnement des pompes

Les superficies enquêtées utilisent le gaz butane comme source d'énergie du fait de son faible coût d'exploitation. En effet les bonbonnes de gaz sont subventionnées dans le Royaume et la distribution est faite gratuitement.

Le fonctionnement des pompes se fait par une rotation de l'arbre moteur de la pompe assurer par une courroie reliée à un petit moteur mobile à grande vitesse (variable entre 1 500 et 4000 tr/mn). Ces moteurs sont identiques à ceux utilisés sur les véhicules.

Les exploitants transforment ces moteurs mobiles fonctionnant initialement à l'essence ou au diesel en moteur fonctionnant au gaz butane par l'insertion d'une petite pièce qui coûte 300 MAD.

Cette quantification est résumée sur le tableau suivant :

Tableau 3: calcul d'impact du système d'irrigation sur la pollution atmosphérique

Critères de Fonctionnement	Pompage à Gaz
Débit (m3/ heure)	30
HMT (m)	100
Temps de Fonctionnement par bouteille	1 h 45 mn
Facteur d'émission de CO2 par bouteille (kg)	39.6
Rejet de CO2 (kg/ m3 d'eau)	0.75

 Pollution liée à l'exploitation des superficies agricoles

La consommation énergétique des engins de travail du sol représente 18 % en moyenne du coût global des opérations du travail du sol (*EL BOURRACH*). Les engins mécaniques utilisés sur les 10 fermes enquêtés sont de trois types, chacune possédant sa consommation spécifique à l'hectare. Il s'agit du :

- **Chisel** dont l'utilisation consiste à ébranler la terre sans la retourner, elle a une consommation de 8.4 l de diesel par hectare
- **Le stubble-plow** retourne la terre et provoque un déplacement et une accélération latérale de la bande de terre sur une quinzaine de cm. Sa consommation est d'environ 9.6 l/ ha
- **La charrue à disque** a le même mode de fonctionnement que le stubble plow sauf que l'accélération latérale de la bande de terre est de 30 cm. Sa consommation est de 25 l/ ha.

La distribution des bonbonnes de gaz aux fermes et le transport des récoltes constituent également une source de pollution. La distance entre les fermes et le centre étant environ de 5 à 7 km nous estimerons également le taux de CO2 rejeté occasionnés par une distribution d'une fois par mois et d'un transport des récoltes une fois par an.

L'impact environnemental de cette utilisation d'engins en termes de rejet de CO2 a été quantifié dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4: résumé de la pollution liée à l'exploitation de la superficie agricole

Utilisation	Caractéristiques	Valeurs
Travail du sol	Consommation moyenne à l'hectare (l)	16.7
	Facteur d'émission de CO ₂ par ha (Kg)	2.62
	Superficies	300
	Rejet de CO ₂ (Kg)	13 126
Distribution de gaz et transport des récoltes	Distance parcourue par mois	7 × 2
	Facteur d'émission de CO ₂ par km (Kg)	0.12
	Nombre de distribution et transport par an	12
	Rejet de CO ₂ (Kg)	21.84

IV-3. Grandeurs de base et Dimensionnement préliminaire

Les valeurs des grandeurs de base et du dimensionnement préliminaire du système d'irrigation sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 5: grandeur de base et dimensionnement préliminaire

	Paramètres	Valeurs
Caractéristique agricole	Type de sol	<i>sablo limono argilo sableux</i>
	réserve utilisable (mm)	140
	rendement du système d'irrigation (%)	90
	type de cultures	<i>Arboriculture et Maraichage</i>
Citronniers	besoin en eau (mm/ jr)	4.52
	besoin de lessivage (mm/jr)	0.25
	dose réelle d'irrigation (mm/jr)	5.3
	Reserve facilement utilisable du sol (mm)	46
	Fréquence d'irrigation (jrs)	24
	Tour d'eau (jrs)	6
	dose pratique d'irrigation (mm)	37.1
Tomates	besoin en eau net (mm/ jr)	6.8
	besoin de lessivage (mm/jr)	0.23
	dose réelle d'irrigation (mm/jr)	8
	Reserve facilement utilisable du sol (mm)	46
	Fréquence d'irrigation (jrs)	5
	Tour d'eau (jrs)	3
	dose pratique d'irrigation (mm)	28

IV-4. Dimensionnement final

Dans le tableau ci-après sont indiquées les valeurs qui serviront à la mise en place du système d'irrigation :

Tableau 6: Dimensionnement finale

Paramètres	Arboriculture	Maraichage		
Ecartements entre goutteurs (m)	1	0.15	0.3	0.5
Débit par goutteur (litres/ heures)	1			
pluviométrie des goutteurs (mm/ heure)	4.5			
nombre d'émetteurs par plant	2	1		
temps spécifique d'arrosage	4h 10 mn	6h 15 mn		
longueur rampe (m)	30	29		
Nombre de rampe	48	36	39	43
Débit par rampe (l/ heure)	29	193	97	58
Débit système (m3/ heure)	1.4	6.95	3.8	2.5
Diamètre rampe (mm)	16			
longueur totale des rampes (m)	1440	1044	1131	1247
Débit totale du système d'irrigation (m3/ heure)	14.65			
perte de charges totale par rampes (m)	3.2	4.42	4.29	4.8
perte de charge totale des rampes (m)	16.71			
porte rampe secteur A – B	63/57/PN10			
Perte de charge porte rampe secteur A-B (m)	0.68			
Porte rampe Secteur C	50/ 45.2/ PN10			
Perte de charge porte rampe Secteur C	0.58			
Diamètre conduite principale	75/ 67.8/ PN10			
Diamètre conduite de refoulement	90/ 73.6/ PN16			

✚ **Système d'irrigation**

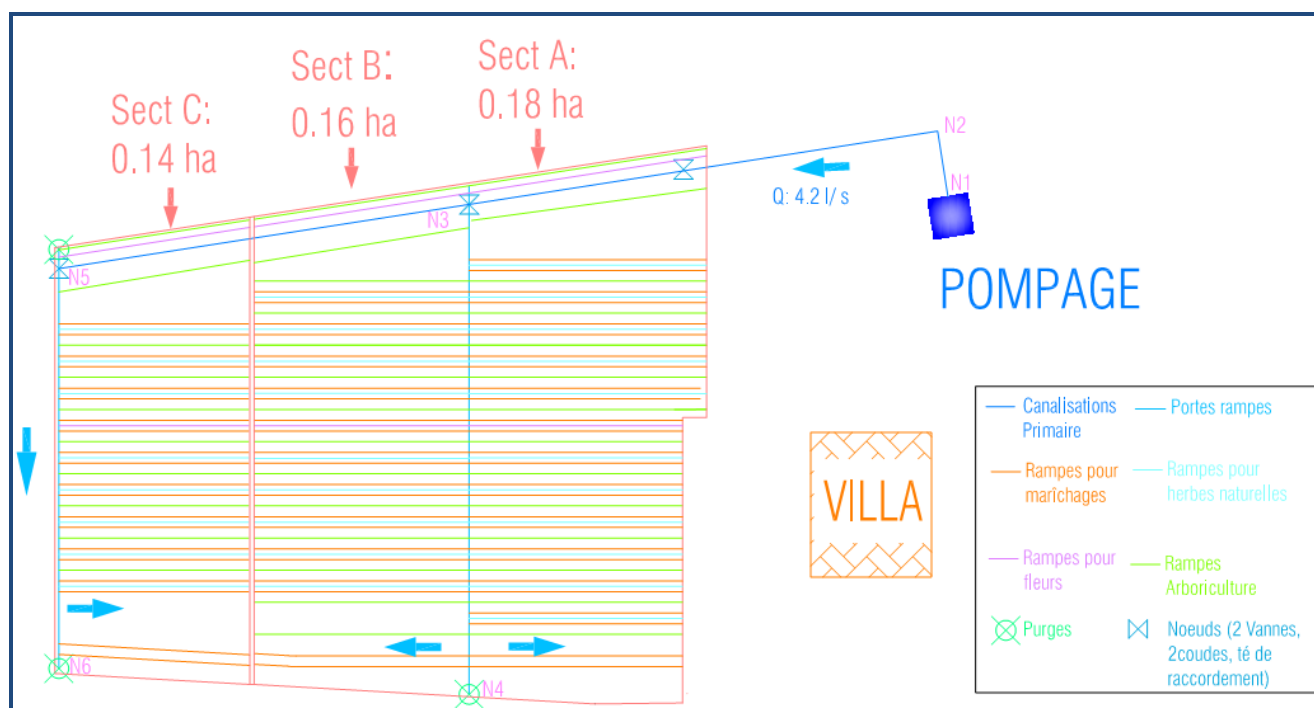


Figure 8: Plan du réseau d'irrigation

IV-5. Pompage et filtration

IV-5-1. Comparaison des modes de pompage

Dans cette partie il a été question de comparer les différents modes de pompage sur les critères de rendement, cout d'exploitation en MAD par m³, rejet de CO₂ par m³ d'eau pompé, durée de vie des équipements afin de faire un choix appropriée pour l'installation de notre système de pompage. Nous en déduisons le tableau suivant :

Tableau 7: comparaison des différents systèmes de pompage

Critères	Pompage à gaz	Pompage au diesel	Pompage électrique	Pompage solaire
Q (m3/ heure)	30	30	30	30
HMT (m)	100	100	100	100
η moteur (%)	30	40	82	-
η pompe (%)	27	27	74.6	-
η total	8.2	10.8	61	90
Coût d'investissement (MAD)	25 000	35 000	22 000	252 000
Coût d'exploitation (MAD/ m3 d'eau)	0.76	1.70	0 .63	0
Rejet de CO2 (Kg/ m3 d'eau)	0 .75	0.63	0.0018	0
Durée de vie (ans)	2	3	5	5 (20)

IV-5-2. Pompage

La pompe choisie est fonction du débit de 15 m3/ heure et de la HMT de 125 m, ces valeurs sont les caractéristiques de la pompe au point de fonctionnement. De ces valeurs nous choisissons une pompe GRUNDFOS disponible chez des revendeurs à Marrakech.

Les caractéristiques de la pompe retenues sont :

- Pompe GRUNDFOS SP 17 – 14
- Débit nominale de fonctionnement : 17 m3/ heure
- Pression nominale de fonctionnement : 115 m
- Puissance nominale : 9.2 kW
- Diamètre de refoulement :
- Le rendement du groupe moteur pompe est de 59.2 %

IV-5-3. Filtration

Il est prévu l'installation d'un filtre dans l'optique d'assurer une longue durée de vie du matériel d'irrigation, en empêchant l'obturation des goutteurs par divers matières en suspension dans l'eau d'irrigation.

Les caractéristiques du filtre sont les suivantes :

- Filtration à disque manuel ARKANE
- Surface : 950 cm²
- Porosité : 16 micros mètres
- Débit Maximale : 16 m³/ heure
- Pression maximale : 8 bars (80 mètre de colonne d'eau)
- Diamètre intérieur : 76.2 mm

V. Discussions et analyse

V-1. Analyse de la situation environnementale actuelle

V-1-1 Les eaux de surface

A partir des observations faites sur le terrain les analyses suivantes ont été faites :

- L'absence de système d'assainissement collectif provoque le ruissellement des eaux pluviales qui se charge de la pollution du centre avant de se déverser dans le Oued N'fis. Le Oued Tensift qui reçoit une partie de ces eaux du Oued N'fis est aussi victime de cette pollution avant de la transmettre à la mer en s'y déversant.
- L'utilisation anarchique du cours d'eau en amont a une incidence sur son régime, en effet il tarit dès le mois de janvier. Cette utilisation anarchique favorise également le contact du cours d'eau avec les produits chimiques, cela part à l'encontre de l'article 6 de la loi 10-95 adopté par l'assemblée du Maroc sur la gestion des ressources en eau.

V-1-2 Les eaux souterraines

- L'utilisation des puits perdus pour le rejet des eaux usées est de nature à favoriser la contamination de la nappe d'eau souterraine bien que la profondeur des puits perdus (5m) soit nettement inférieure à la profondeur moyenne de la nappe d'eau (70 m),
- Des mesures doivent être prises dans le but de clôturer les abords des puits et forages afin d'empêcher l'intrusion des eaux de ruissellements provenant des superficies agricoles chargées en pesticides,
- Des mesures doivent être prises afin de s'assurer de la limitation du débit de pompage en saison sèche conformément à la loi n° 10-95, car la situation de la ressource en eau souterraine est critique du fait de sa profondeur moyenne qui est passée de 25 m en 1980 à 70 m en 2004.

V-1-3 Le sol

- Des données météorologiques de la station de Saada, nous observons que la vitesse des vents est assez importante à Marrakech. Face à des vitesses de vent si élevées il convient de mettre en place des haies vives pour servir de brise vent afin de limiter l'érosion éolienne. Bien que présente sur la plupart des superficies agricoles enquêtées

leurs efficience n'est pas si importante pour empêcher l'érosion éolienne. La nécessité de renforcer ces haies est pressante.

- Aussi l'utilisation vulgarisée des méthodes d'irrigation localisée et le caractère salin des eaux engendrent de manière considérable le phénomène de salinisation des terres, les analyses effectuées sur les sols pris sur place ont révélé une salinité moyenne avec une teneur en sel soluble de 1.4 gramme par kilogramme de terre.
- L'intensification agricole provoque également une diminution de la fertilité du sol et aussi une accumulation des produits chimiques par effet de bioaccumulation. Le risque de déséquilibre et d'appauvrissement de la texture du sol est donc présent.

V-1-4 Air

Une dégradation qualitative de l'air ambiant est à craindre du faite de :

- L'utilisation des bonbonnes de gaz pour l'irrigation entrainant un rejet important en CO₂,
- Les nuisances sonores provoquées par les systèmes de pompage qui sont pour la plupart du temps très vieux.

V-2. Analyse de la situation économique et sociale du centre

V-2-1 Situation économique

Les systèmes d'irrigation employée sur les exploitations et l'élevage pratiqué permettent une augmentation du pouvoir économique du centre. Cependant cette économie reste fragile pour les raisons suivantes :

- Dépendance de l'activité agricole et de l'élevage vis-à-vis de la nappe d'eau qui tend à tarir,
- La sévérité des conditions climatiques manifestées par une période relativement froide en hiver et une période d'une grande sécheresse en été influence le rendement des récoltes,
- Le manque de financement pour l'achat des engrais, des pesticides, et d'un système d'irrigation performant pour les petits exploitants,
- Le manque de qualification pour l'installation d'un système d'irrigation efficient et économique.

V-2-2 Situation Sociale

La fragilité de l'économie dans le centre et les méthodes de pompage présentées ci-dessus entraînent des impacts sociaux, à savoir:

- L'insécurité économique chez les jeunes ruraux qui préfèrent émigrés vers les villes, cela est dû aux pertes de rendements agricoles aléatoires qui sont des conséquences du changement climatique et des mauvaises pratiques agricoles,
- Aussi l'utilisation des bonbonnes de gaz pose des problèmes d'insécurité sur les fermes qui sont souvent confrontées à des explosions quand la technique de raccordement au moteur n'est pas maîtriser.

Tableau 8: résumé et mesure d'intensité de la situation actuelle du centre

Composantes		Impact	Causes	Intensité
eau	eau de surface	pollution du Oued N'fis	Manque de système d'assainissement collectif	Majeure
		diminution du débit d'écoulement	utilisation agricole non optimisée, forte évaporation	Moyenne
	eau souterraine	diminution de la ressource en eau souterraine	Irrigation intensive, forte demande en eau d'irrigation	Majeure
		pollution de la nappe d'eau	Infiltration de produit chimique et pesticide	Moyenne
Sols		Salinisation des terres	Irrigation localisée	Moyenne
		Diminution de fertilité	Agriculture intensive	Majeure
		Augmentation de la teneur en produit chimique par effet de bioaccumulation	Pesticides, engrais	Moyenne
Economique		Rendement agricole non maitrisée	Changement climatique	Majeure
		Faible rendement pour les petits exploitants	Manque de financement	Moyenne
		Augmentation du pouvoir économique du centre	Vente des productions agricoles	Moyenne
Social		Exode rurale	Précarité des conditions de travail	Moyenne
		Dangers d'explosions	Utilisation des bonbonnes de gaz	Moyenne
Energie		Pollution atmosphérique	Utilisation d'énergies fossile	Majeure
		Nuisances Sonores	Vétusté des moteurs d'irrigation	Faible

V-3. Impact des pratiques agricoles sur l'environnement

La rareté et la diminution de la ressource en eau, suite à la sécheresse et à la diminution du régime des précipitations, est l'un des problèmes majeurs qui menace la durabilité de l'agriculture Marocaine et du développement durable en général. Ce problème est accentué par la défaillance des pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs, notamment celles liées au travail du sol et à la gestion des résidus de récolte, qui amplifient les risques de désertification. D'autres pratiques culturales menacent la durabilité des systèmes de production à travers leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine, nous citons ici la dégradation de la qualité des eaux et des produits agricoles suite à l'utilisation non raisonnée des engrais chimiques et des pesticides.

Ajoutons à cela le problème de crise énergétique qui est accentuée par l'utilisation de pratiques très consommatrices en énergie non renouvelables et très polluantes pour l'environnement.

Tableau 9: résumé de l'impact environnemental des pratiques agricoles

Pratiques agricoles	Description	Effets sur l'environnement
Travail du sol	▪ Choix des outils non raisonné et utilisation non adéquate : travail dans le sens de la pente ▪ Abondance des outils à disques : Passages répétés ▪ Forte consommation en carburants	▪ Dégradation de la structure du sol : battance, compactage, tassement,... ▪ Problème de ruissellement et d'érosion hydrique et éolienne ▪ A long terme, baisse du potentiel productif: baisse de la qualité du sol,... ▪ Pollution atmosphérique : émission du gaz carbonique
Fertilisation	▪ Utilisation limitée et non raisonnée des engrais chimiques ▪ Utilisation limitée des amendements organiques ▪ Utilisation des résidus pour l'alimentation des animaux et pour l'usage domestique ▪ Absence d'analyses du sol ▪ Défaillance des techniques d'épandages des engrais	▪ Dégradation de la structure : déséquilibre de la composition minérale ▪ Problème d'érosion ▪ Pollution de l'eau et du sol ▪ Risques pour la santé humaine
Désherbage	▪ Forte infestation des cultures par les mauvaises herbes ▪ Choix non raisonné des herbicides ▪ Défaillance des techniques d'application	▪ Pollution de l'eau et du sol ▪ Risques pour la santé de l'agriculteur et du consommateur
Protection phytosanitaire	▪ Abondance de maladies ▪ Choix non raisonné des pesticides ▪ Défaillance des techniques d'applications	▪ Pollution de l'eau et du sol ▪ Risques pour la santé de l'agriculteur et du consommateur
Récolte	▪ Dates de récolte non raisonnée ▪ Défaillance des techniques de récolte	▪ Risques pour la santé humaine : ▪ résidus de pesticides dans les récoltes ▪ Dégradation de la structure du sol : tassement ▪ Détérioration de la qualité

		des récoltes
--	--	--------------

V-4. Situation attendue

V-4-1. Environnemental

L'impact des pratiques agricoles dans le centre de Tnine des Oudaya étant connu, la vulgarisation de l'agriculture biodynamique passera par un ensemble de mesures afin d'éviter les mêmes nuisances que les pratiques agricoles actuelles causent à l'environnement.

Ces mesures sont diversifiées et concernent les domaines suivants :

Le sol

La création d'une station de compostage qui est une des composantes de ce projet (construction d'un village écologique) permettra :

- ❖ L'amélioration de la qualité des sols par l'augmentation de la matière organique,
- ❖ L'amélioration de la stabilité structurale du sol en raison de l'absence des travaux aratoires et l'augmentation de la matière organique,
- ❖ La diminution du risque d'érosion grâce au maintien des résidus de récolte à la surface du sol,
- ❖ L'amélioration de la fertilité générale du sol.

L'eau

La rationalisation de la consommation d'eau passera par :

- ❖ La maîtrise du besoin en eau des cultures qui seront pratiquées,
- ❖ L'efficacité du système d'irrigation,
- ❖ La réduction de l'évapotranspiration grâce à la couverture des bassins de stockage jusqu'à l'irrigation nocturne.

Les cultures

Le choix des cultures se fera dans le but de s'adapter aux changements climatiques. Le choix de ces cultures ayant portées sur des nouvelles variétés, cela permettra :

- ❖ L'augmentation du rendement, par rapport aux variétés anciennes utilisées par les agriculteurs. Le gain sera plus important en années relativement sèches,

- ❖ La résistance aux parasites qui permet, non seulement des gains de productivité, mais des économies en utilisation de déparasitant,
- ❖ La stabilité de la production en raison de l'adaptation (plasticité) des variétés aux variations biotiques et abiotiques (température).

V-4-2. Social

❖ Niveau de sensibilisation aux mesures d'adaptation au changement climatique

Les actions de formation et d'accompagnement des agriculteurs qui travailleront sur la superficie agricole qui portera la vulgarisation de l'agriculture biodynamique, permettront d'améliorer le niveau de sensibilisation à la problématique du changement climatique et de ses impacts sur l'agriculture, ainsi que la maîtrise des mesures d'adaptation au changement climatique.

❖ Production alimentaire

Les productions qui seront issues de l'agriculture biodynamique présenteront l'avantage d'être plus saines et seront dénuées de tout produit chimique. Aussi la qualité du point de vue saveur obtenue avec l'agriculture biodynamique sera également un atout considérable.

V-5. Contraintes d'adduction

La vérification des paramètres d'écoulement se résume dans le tableau suivant :

Tableau 10 : fonctionnalité système de canalisation

Tronçons	Long (m)	Débit (l/s)	Dcommercial (mm)	Dinterne (mm)	Facteur correctif	Pdc (m)	ΣPdc (m)	V (m/s)	Vondes (m/s)	Δh instantanée (m)	PN (m)
P-N1	1	4.2	75	67.8	1	0.02	0.02	1.16	522	62	100
N1-N2	8	4.2	75	67.8	1	0.19	0.21	1.16	522	62	100
N2-N3	65	4.2	75	67.8	1	1.54	1.76	1.16	522	62	100
N3-N4	59	2.8	63	57	0.356	0.56	2.32	1.10	520	58	100
N3-N5	58	1.4	50	45.2	1	1.33	3.09	0.87	522	46	100
N5-N6	47	1.4	50	45.2	0.361	0.39	3.47	0.87	522	46	100

Tableau 11: calcul de pression

Points	P	N0	N1	N2	N3	N4	N5	N6
PS (m)	125	42.76	42.74	42.55	41.00	40.44	39.67	39.28
MDP (m)	-	113.88	104.72	104.53	102.99	98.69	86.16	85.78
mDP (m)	-	-28.37	-19.25	-19.44	-20.99	-17.80	-6.82	-7.21
PFA (m)	160	100	100	100	100	100	100	100
PMA (m)	192	120	120	120	120	120	120	120

V-5-1. Vérification des pertes de charges

La vérification des pertes de charges avec la formule de Manning Strickler donne des résultats similaires.

V-5-2. Vitesse d'écoulement

Pour un bon fonctionnement du réseau d'adduction la vitesse d'écoulement doit être comprise entre 0.5m/ s et 1.8m/ s, ce qui est le cas pour notre réseau.

V-5-3. Coups de béliers

La valeur des surpressions et dépressions pouvant résulter des fermetures et arrêt instantanée de pompes ou vannes a été calculée. De cette valeur on déduit les valeurs minimales et maximales de pression de fonctionnement calculées à chaque nœud. En comparant les pressions de fonctionnement calculées et la pression maximale admissible des conduites, nous remarquons le phénomène de coups de béliers n'est pas à craindre.

V-6. Choix du type de pompage

Après comparaison, le pompage à gaz a montré des coûts d'investissement et d'exploitation moins important que le diesel et le solaire. Mais ces coûts sont sensiblement égaux à ceux du pompage électrique. Notre objectif étant de pratiquer une agriculture sans rejet de substance chimique le pompage solaire semble être indiqué. Mais compte tenu :

- Du coût d'installation des pompes solaires,

- De la connexion au réseau électrique existante sur notre superficie expérimentale,
- Du caractère expérimental de notre installation,
- De la faible pollution du mode de pompage électrique.

Nous avons décidé d'utiliser une pompe électrique.

VI. Conclusion

La situation de référence actuelle du centre de Tnine des Oudaya se caractérise par un manque de qualification des exploitants. On parle du manque de qualification dans la mesure où les besoins en eau des plantes ne sont pas maîtrisés et que les techniques culturales le sont moins. L'objectif premier chez l'exploitant étant de donner le maximum d'eau à sa plante.

L'étude des besoins en eau a permis de choisir la période favorable en contre saison pour effectuer l'irrigation des cultures afin d'économiser le plus possible la ressource en eau.

En ce qui concerne la pratique de l'agriculture biodynamique, nous remarquons que le débit d'irrigation (15 m³/ heure) est élevé pour une superficie de 0.5 ha. Cela s'explique par la densité des cultures pratiquées.

La rentabilité des superficies agricoles étant liée aux coûts d'exploitation, l'utilisation du gaz butane comme carburant reste la solution. En réalité ce carburant est avantageux sur tous les points par rapport au diesel et à l'essence de par son faible taux de rejet de CO₂ et son bas coût d'exploitation qui permet d'augmenter la marge bénéficiaire des exploitants. Mais la subvention de ces bouteilles de gaz par le gouvernement sera-t-elle définitive ? L'utilisation des modules photovoltaïque pour l'irrigation est la solution pour un développement durable de l'activité agricole dans les centres ruraux.

L'impact environnemental des pratiques agricoles sur le centre de Tnine des Oudaya ayant été défini, la vulgarisation de l'agriculture biodynamique devrait s'effectuer dans des conditions favorables à l'environnement.

L'application de l'agriculture biodynamique présente de nombreux avantages mais sa vulgarisation sur de grande superficie reste incertaine pour un pays comme le Maroc où les ressources en eau sont limitées. Sa vulgarisation sur des superficies importantes entraînerait des débits d'exploitation critique pour la ressource en eau souterraine.

VII. Recommandations et perspectives

Le pompage de l'eau du forage sur notre superficie expérimentale n'étant pas destiné uniquement à l'irrigation, il conviendrait de faire des prélèvements régulier sur une période de 6 mois afin éviter d'éventuels problèmes liés à l'utilisation de l'eau.

L'automatisation du système à l'aide de capteurs d'humidité placé au sol qui enclencherait le processus d'irrigation sous le seuil d'irrigation permettrait une économie en main d'œuvre, temps de pompage, ressources en eau.

Bien que lassant il faudra veiller régulièrement à la fermeture des vannes des lignes de citronniers pendant les jours d'irrigation concernant uniquement le maraichage pour éviter un apport supplémentaire en eau aux citronniers.

Bibliographie

Balaghi R., Jlibene M., Benaouda H., Kamil H., Debbarh Y. (2011), Étude de l'impact environnemental et social, *projet intégration du changement climatique dans la mise en œuvre du plan Maroc vert, octobre*.

Bourrach El H. (2000) Possibilités d'économie d'énergie en du travail du sol au Maroc, *Département de machinisme agricole, IAV HASSAN II, MAROC*.

Keïta A. (2010), localized irrigation, cours d'irrigation. Institut 2iE, Ouagadougou Burkina Faso.

Legates. D.R. and Willmott. C.J (1990). Mean seasonal and spatial variability in global surface air temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 41, 11-21.
Office Nationale de l'Eau Potable au Maroc, (2007).Rapport d'étude d'assainissement des centres de Tnine des Oudaya et Sidi Zouine.

Ouédraogo B. (2008), pompes et station de pompage, *cours de pompes*. Institut 2iE, Ouagadougou Burkina Faso.

Projet INCO –WADEMED. (2004). Modernisation de l'agriculture irriguée. *Actes séminaire, avril*.

Rieul L. (1990) Irrigation-guide pratique. *CEMAGREF, Montpellier*.

Sites internet

<http://www.agriculture.gov.ma/pages/lirrigation-au-maroc>, mars 2012.

<http://www.homejardin.com>, mars 2012.

<http://www.ce.utexas.edu>, Avril 2012.

Annexes

I. Analyse de l'eau et du sol dans le centre

I-1. Analyse des paramètres physico-chimique de l'Eau

Tableau 12: Analyse bactériologique de l'eau

Bulletin d'Analyses bactériologique n°54 B/12			
Analyses demandées par	Société ITRI		
Nature du prélèvement:	Eaux de puits - Non traitée		
Prélèvements effectués par	ITRI		
Date du prélèvement: 22 Février 2012	Date du début de l'analyse: 22 Février 2012 à 11h30		
<i>Recherches pratiquées</i>	<i>METHODES UTILISEES</i>	<i>VALEURS INDICATIVES</i>	<i>RESULTATS DE L'ANALYSE</i>
Bactéries aérobies revivifiables à 22°C /ml	NM 03 - 7 - 005	< 100 (recommandée)	12
Bactéries aérobies revivifiables à 37 ° c /ml	NM 03 - 7 - 005	< 20 (recommandée)	5
Coliformes totaux /100ml	NM 03 - 7 - 003	<10	3
Coliformes thermo tolérants /100ml	NM 03 - 7 - 006	0	Absence
Streptocoques fécaux /100ml	NM 03 - 7 - 006	0	Absence
spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices /20ml	PNM ISO 6461 - 2	1	Absence

Tableau 13: Analyse physico-chimique

Bulletin d'Analyses Physico-chimique n°54 PC/12			
Analyses demandées par	Société ITRI		
Nature du prélèvement	Eaux de puits - Non traitée		
Prélèvements effectués par	ITRI		
Date du prélèvement: 22 Février 2012	Date du début de l'analyse: 22 Février 2012		
<i>Recherches pratiquées</i>	<i>Unités</i>	<i>VALEURS MAXIMALES ADMISIBLES</i>	<i>RESULTATS DE L'ANALYSE</i>
MESURES PHYSICO-CHIMIQUES			
pH	Unité pH	6.5-8.5	6.94
conductivité à 20°C	µs/cm	2700	776
minéralisation totale	mg/l	2000	543

CATIONS			
calcium ca ⁺⁺	mg/l	<150	77.76
magnésium mg ⁺⁺	mg/l	<100	128.25
dureté ou titre hydrométrique	°F	30°F	32°F
ANIONS			
chlorures cl ⁻	mg/l	<250	71

Tableau 14: conclusion des analyses

ANALYSES BACTERIOLOGIQUES:	
Conclusion	ABSENCE DES GERMES DE CONTAMINATION FECALE
ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES	
Conclusion	L'eau analysée est caractérisée par: UNE CONDUCTIVITE NORMALE: 776µS/ cm UNE FAIBLE CONCENTRATION EN CHLORE: 71mg/l DES TAUX DE CALCIUM ET DE MAGNESIUM → EAU DURE: 32°F UNE MINERALISATION TOTALE DE: 543 mg/l

I-2. Analyse du sol

L'échantillon de terre prélevé de la parcelle prévue pour le maraîchage, se caractérise analytiquement par :

- **Calcaire total** : le sol est moyennement calcaire, dont le taux en CaCO₃ est de 7.4%.
- **Texture** : le sol a une texture équilibrée de type argilo Limono sableuse, ce type de texture confère au sol une moyenne perméabilité et une rétention en eau légère. La composition granulométrique est la suivante :

Tableau 15: Analyse du sol

Argile (%)	Limon fin (%)	Limon Grossier (%)	Sable fin (%)	Sable Grossier (%)	Texture
36.5	19.2	15.0	14.8	12.5	ALS

- **Matière organique** : le sol est légèrement pourvu en matière organique, le pourcentage existant dans la terre fine est de 1.45%.
- **Azote total** : le sol est peu pourvu en N – total, dont le taux est de 0.12%.
- **Alcalinité** : le pH du sol est moyennement alcalin, il varie de 8.44.
- **Salinité** : le sol est moyennement salin, la conductivité électrique de l'extrait 1/5 est de 0.98 mmho/ cm, soit une teneur en sels solubles de 3.15 g/ kg de terre.

- **Phosphore assimilable** : le sol est légèrement pourvu en P_2O_5 , la teneur est de 16.2 ppm.
- **Potasse échangeable** : le sol est moyennement pourvu en K_2O , la teneur est de 172.8 ppm.

II. Politique du Maroc sur la Gestion des ressources en eau

La loi sur l'eau loi n° 10-95, qui est adoptée par l'assemblée nationale du Maroc en septembre 1995, constitue une orientation pour le développement des ressources en eau au Maroc. La loi se compose de 13 chapitres et 123 articles qui spécifient :

- 1) L'eau étant une fortune publique et la définition du domaine public hydraulique
- 2) L'obligation du réenregistrement du droit de l'utilisation de l'eau dans un délai de cinq ans après la promulgation de la loi sur l'eau et la définition de la succession et du transfert du droit de l'utilisation de l'eau
- 3) La conservation et la protection du domaine public hydraulique
- 4) La mise en place du Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC) ainsi que le développement des ressources en eau et la gestion intégrée des ressources en eau par l'agence du bassin hydraulique (ABH) par bassin
- 5) Le système d'approbation, les droits et les obligations concernant l'utilisation de domaines publics hydrauliques
- 6) La conservation de l'eau, la prévention de la pollution et les standards de la qualité de l'eau
- 7) L'alimentation en eau potable
- 8) L'eau naturelle et la vente de l'eau naturelle
- 9) L'utilisation et la gestion de l'eau pour l'agriculture, la prévention de la pollution de l'eau, la restriction de l'eau pour l'irrigation pendant la période de sécheresse
- 10) La restriction de l'utilisation d'eau pendant la période de sécheresse
- 11) La prévision de la demande en eau, le registre de l'eau, les mesures pour l'inondation, etc.
- 12) La mise en place du conseil de l'eau aux niveaux provincial, communal et municipal et la participation des habitants pour la conservation et la gestion de l'eau
- 13) Le dévoilement des violations de la loi par la police de l'eau et les amendes et poursuites

III. Dimensionnement préliminaire

III-1. Données météorologique

Les données de l'évapotranspiration fournies par l'office régional de la mise en valeur agricole du Haouz sont les suivantes :

Tableau 16: évapotranspiration et pluviométrie

Mois	jan	fév.	mars	avril	mai	jun	juill.	août	sept	oct.	nov.	déc.
Evapotransp (mm/mois)	59.1	72.0	114.2	131.1	160.3	178.7	194.8	182.1	142.0	109.7	72.7	56.3
Pluviométrie (mm)	22.1	28.6	20.1	21.7	14.4	2.8	1.3	4.8	7.0	17.6	34.7	19.5

III-2. Besoin en eau citronniers

III-2-1. Coefficient culturaux

Le coefficient cultural est une valeur dépendant du stade végétatif de la plante permettant de calculer l'évapotranspiration maximale. Les stades végétatifs de la plante sont : initial, développement, mi- saison, arrière-saison.

Les coefficients culturaux que nous utiliserons pour l'évaluation des besoins en eaux sont ceux de la famille des citrus.

En utilisant le logiciel CropWat 8.0¹ de la FAO on représente les coefficients culturaux obtenus en fonction des différents stades végétatifs.

Les plants occupant seulement une partie du sol car étant en irrigation localisé nous introduirons le coefficient de réduction K_r qui est fonction du taux de couverture du sol par la plante. Nous prendrons un taux de couverture de 90% vue la densité des cultures qui seront pratiquées, ce qui correspond à un coefficient de réduction de 100% (Keller et Karmelli).

¹ : conçu par la FAO pour aider les agro-météorologues, les agronomes et les ingénieurs en irrigation à effectuer des calculs types pour les études concernant l'évapotranspiration et les besoins en eaux des cultures, et plus particulièrement la conception et la gestion des dispositifs d'irrigation

III-2-2. Pluie efficace

Elle est une source d'apport d'eau naturelle pour les plantes. Pour l'estimation des besoins en eaux nous appliquerons un coefficient aux précipitations afin de trouver la pluie efficace.

$$\begin{aligned} P_{eff} &= 0.8 \times P \text{ si } P > 75\text{mm} \\ P_{eff} &= 0.6 \times P \text{ si } P < 75\text{mm} \end{aligned}$$

P_{eff} : pluie efficace (mm)

P : précipitation (mm)

III-2-3. Calculs des besoins en eaux

Les plants de citronniers sont des cultures permanentes, nous évaluerons le besoin en eau pour le cycle jeune à mature (365 jrs) et par la suite pour le cycle mature sur une période de 365 jrs également. Les besoins en eaux des plants de citronniers dans la région de Marrakech sont présentés ainsi :

Cycle végétatif jeune à mature

Tableau 17: calcul du besoin en eau des citronniers (cycle jeune à mature)

Mois	Janv.			Fév.			Mars			Avr.			mai			juin		
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ETP (mm)	19.66	19.66	19.66	24.00	24.00	24.00	38.07	38.07	38.07	43.71	43.71	43.71	53.43	53.43	53.43	59.58	59.58	59.58
Kr	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KC	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.69	0.69	0.68	0.68	0.67	0.67	0.66	0.66	0.65	0.65	0.65	0.65
ETM (mm)	13.76	13.76	13.76	16.80	16.80	16.80	30.36	30.12	29.88	36.23	35.93	35.64	39.41	39.08	38.76	42.25	42.25	42.25
P(mm)	7.24	7.24	7.24	9.53	9.53	9.53	6.68	6.68	6.68	7.24	7.24	7.24	4.78	4.78	4.78	0.91	0.91	0.91
Pe (mm)	4.34	4.34	4.34	5.72	5.72	5.72	4.01	4.01	4.01	4.34	4.34	4.34	2.87	2.87	2.87	0.55	0.55	0.55
ETM-Pe (mm)	9.42	9.42	9.42	11.08	11.08	11.08	26.35	26.11	25.87	31.88	31.59	31.30	36.54	36.22	35.89	41.70	41.70	41.70
Besoin journalier (mm/jr)	0.94	0.94	0.94	1.11	1.11	1.11	2.63	2.61	2.59	3.19	3.16	3.13	3.65	3.62	3.59	4.17	4.17	4.17
Mois	juill.			Aout			Sep			oct.			nov.			déc.		
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ETP (mm)	65.00	65.00	65.00	60.69	60.69	60.69	47.34	47.34	47.34	36.57	36.57	36.57	24.22	24.22	24.22	18.76	18.76	18.76
Kr	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KC	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69	0.69	0.70
ETM (mm)	39.45	39.45	39.45	30.77	30.77	30.77	23.77	23.77	23.77	15.88	16.01	16.14	12.60	12.71	12.81	12.91	13.02	13.12
P (mm)	0.44	0.44	0.44	1.60	1.60	1.60	2.33	2.33	2.33	5.86	5.86	5.86	11.55	11.55	11.55	6.49	6.49	6.49
Pe (mm)	0.26	0.26	0.26	0.96	0.96	0.96	1.40	1.40	1.40	3.52	3.52	3.52	6.93	6.93	6.93	3.89	3.89	3.89
ETM-Pe (mm)	39.18	39.18	39.18	29.81	29.81	29.81	22.37	22.37	22.37	12.36	12.49	12.63	5.67	5.78	5.88	9.02	9.12	9.23
Besoin journalier (mm/jr)	3.92	3.92	3.92	2.98	2.98	2.98	2.24	2.24	2.24	1.24	1.25	1.26	0.57	0.58	0.59	0.90	0.91	0.92

Cycle végétatif mature

Tableau 18: Tableau 6: calcul du besoin en eau des citronniers (cycle mature)

mois	janv.			fév.			Mars			Avr.			mai			juin		
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ETP (mm)	19.66	19.66	19.66	24.00	24.00	24.00	38.07	38.07	38.07	43.71	43.71	43.71	53.43	53.43	53.43	59.58	59.58	59.58
Kr	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KC	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
ETM (mm)	13.76	13.76	13.76	16.80	16.80	16.80	26.65	26.65	26.65	30.60	30.60	30.60	37.40	37.40	37.40	41.71	41.71	41.71
P (mm)	7.24	7.24	7.24	9.53	9.53	9.53	6.68	6.68	6.68	7.24	7.24	7.24	4.78	4.78	4.78	0.91	0.91	0.91
Pe (mm)	4.34	4.34	4.34	5.72	5.72	5.72	4.01	4.01	4.01	4.34	4.34	4.34	2.87	2.87	2.87	0.55	0.55	0.55
ETM-Pe (mm)	9.42	9.42	9.42	11.08	11.08	11.08	22.64	22.64	22.64	26.25	26.25	26.25	34.54	34.54	34.54	41.16	41.16	41.16
Besoin journalier (mm/jr)	0.94	0.94	0.94	1.11	1.11	1.11	2.26	2.26	2.26	2.63	2.63	2.63	3.45	3.45	3.45	4.12	4.12	4.12
Mois	juill.			Aout			Sep			oct.			nov.			déc.		
décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ETP (mm)	65.00	65.00	65.00	60.69	60.69	60.69	47.34	47.34	47.34	36.57	36.57	36.57	24.22	24.22	24.22	18.76	18.76	18.76
Kr	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Kc	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
ETM (mm)	45.50	45.50	45.50	42.48	42.48	42.48	33.14	33.14	33.14	25.60	25.60	25.60	16.95	16.95	16.95	13.13	13.13	13.13
P (mm)	0.44	0.44	0.44	1.60	1.60	1.60	2.33	2.33	2.33	5.86	5.86	5.86	11.55	11.55	11.55	6.49	6.49	6.49
Pe (mm)	0.26	0.26	0.26	0.96	0.96	0.96	1.40	1.40	1.40	3.52	3.52	3.52	6.93	6.93	6.93	3.89	3.89	3.89
ETM-Pe (mm)	45.24	45.24	45.24	41.52	41.52	41.52	31.74	31.74	31.74	22.08	22.08	22.08	10.02	10.02	10.02	9.24	9.24	9.24
Besoin journalier (mm/jr)	4.52	4.52	4.52	4.15	4.15	4.15	3.17	3.17	3.17	2.21	2.21	2.21	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	0.92

Besoin en eau net des citronniers : **4.52 mm/ jr.**

III-3. Besoin en eau de la tomate

III-3-1. Coefficient cultural

Du fait du nombre important des cultures maraichères à pratiquer de manière expérimentale nous allons évaluer l'apport d'eau aux cultures maraichères en partant de l'évaluation du besoin en eau de la tomate car elle présente des besoins en eau élevés par rapport aux autres cultures maraichères.

En utilisant également le logiciel CROP WAT nous obtenons les différents coefficients culturaux de la tomate recommandée par la FAO.

Le coefficient de réduction sera également de 100%.

Les cultures maraichères qui seront effectuées sont :

Tomate, L'aubergine, Le poivron, Calebassier, Courgette, Chou chinois, chou brocoli, chou-fleur, claytone de cuba, sarriette commune, le persil, fenouil, aneth, tym, origan, le coriane, cerfeuil, ciboule de chine, céleri, concombre, melon, menthe, la pastèque, le quinoa.

III-3-2. Pluie efficace

Les valeurs de la pluie efficace restent inchangées :

III-3-3. Besoin en eau

Mois	Mars			Avril			Mai			Juin			juillet		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ETP (mm)	38.07	38.07	38.07	43.71	43.71	43.71	53.43	53.43	53.43	59.58	59.58	59.58	65.00	65.00	65.00
Kr	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
KC	0.60	0.60	0.60	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	0.98	0.80	0.80	0.80
ETM (mm)	22.84	22.84	22.84	50.27	50.27	50.27	61.45	61.45	61.45	68.52	68.52	58.09	52.00	52.00	52.00
P (mm)	6.68	6.68	6.68	7.24	7.24	7.24	4.78	4.78	4.78	0.91	0.91	0.91	0.44	0.44	0.44
Pe (mm)	4.01	4.01	4.01	4.34	4.34	4.34	2.87	2.87	2.87	0.55	0.55	0.55	0.26	0.26	0.26
ETM- Pe (mm)	18.83	18.83	18.83	45.92	45.92	45.92	58.58	58.58	58.58	67.97	67.97	57.54	51.74	51.74	51.74
Besoin journalier (mm/jr)	1.88	1.88	1.88	4.59	4.59	4.59	5.86	5.86	5.86	6.80	6.80	5.75	5.17	5.17	5.17

Besoin en eau net de la tomate : **6.8 mm/jr.**

III-4. Besoin d'irrigation

Le besoin d'irrigation est le volume d'eau en mm/jr à apporter par le système d'irrigation tout en intégrant les éventuels pertes d'eau du au défaut possible du système d'irrigation et le besoin d'eau de lessivage des sels minéraux se formant sur la croute du sol.

Du faite de la forte concentration observée suite à l'analyse de l'eau et du sol nous estimerons le besoin de lessivage, qui représente la quantité d'eau nécessaire pour arracher les couches de sels formées en surface par bioaccumulation.

Pour évaluer le besoin d'irrigation nous considérerons une efficience de 90% du système d'irrigation aux gouttes à gouttes (*Savva et Frenken*).



Calcul du besoin de lessivage

Après analyse physico-chimique, l'eau du forage affiche une conductivité est de 0.776 dS/cm. La valeur de la conductivité minimale et maximale du sol pour les citronniers sont respectivement 1.7 et 8 dS/ cm, le rendement relatif Yr est donc pris égal à 1 (*Keller end Bliesner, 1990*).

$$L_{rt} = \frac{C_e}{2 \times C_{max}} = \frac{0.776}{2 \times 8} = 0.051 \text{ (citronniers)}$$

$$L_{rt} = \frac{C_e}{2 \times C_{max}} = \frac{0.776}{2 \times 12.5} = 0.031 \text{ (Tomates)}$$

C_e = Conductivité électrique de l'eau d'irrigation

C_{max} = Conductivité électrique d'unsol saturé

L_{rt} = coefficient du besoin de lessivage

Nous déduisons la valeur du besoin de lessivage par la formule suivante :

$$L_r = L_{rt} \times \frac{\text{besoin en eau (mm/jr)}}{\text{rendement d'irrigation}}$$

Nous trouvons respectivement pour les citronniers et pour la tomate un besoin de lessivage de **0.25 mm/ jour** et **0.23 mm/ jour**.

$$\text{besoin d'irrigation} = \frac{\text{besoin en eau des plantes}}{\text{rendement de l'irrigation}} + \text{besoin de lessivage} =$$

$$\frac{4.52}{0.9} + 0.25 = 5.3 \text{ mm/jr (Citronniers)}$$

$$\text{besoin d'irrigation} = \frac{\text{besoin en eau des plantes}}{90\%} + \text{besoin de lessivage}$$

$$= \frac{6.8}{0.9} + 0.23 = 8 \text{ mm/jr (Tomates)}$$

III-5. Calcul de la réserve facilement utilisable d'eau

La réserve utilisable du sol est la quantité d'eau maximale percevable par les plantes dans une tranche de sol comprise entre la capacité au champ et la capacité au point de flétrissement permanent.

La réserve facilement utilisable est la tranche de la réserve utilisable qui peut être puisée par les plantes sans grande difficulté. Le facteur de tarissement P qui permet le passage de la réserve utilisable à la réserve facilement utilisable est égal à 2/3.

L'analyse du sol sur la superficie expérimentale à révéler une texture équilibrée de type Limono sablo argileux, ce type de texture confère au sol une assez bonne perméabilité et une rétention en eau moyenne. La réserve utilisable pour cette texture de sol (argileux sableux) pour une profondeur racinaire d'un mètre est de 140 mm (CROP WAT 8.0).

La profondeur racinaire de la tomate est comprise entre 0.5 et 1 m, compte tenu du nombre important de culture maraichère nous considérerons une profondeur moyenne d'enracinement de 0.5 m de sorte à considérer une hypothèse défavorable.

Pour les citronniers la profondeur d'enracinement à considérer est de 1.4 m (CROP WAT 8.0).

Tableau 19: réserve facilement utilisable du sol

Type de culture	Profondeur d'enracinement (mm)	Réserve utilisable (mm)	Facteur de tarissement	Réserve facilement utilisable
Tomate	0.5	70	2/3	46
Citronniers	1.4	196	2/3	130

Nous considérerons une réserve utilisable de sol de **53mm**.

III-6. Fréquence d'irrigation et tour d'eau

La fréquence d'irrigation est la durée maximale qui sépare deux irrigations, tandis-que le tour d'eau est la durée réelle qui sépare deux irrigations.

$$\begin{aligned} \text{fréquence d'irrigation} &= \frac{(\text{réserve facilement utilisable du sol})}{\text{dose réelle d'irrigation}} = \frac{130}{5.3} \\ &= 24 \text{ jours (clémentiniers)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{fréquence d'irrigation} &= \frac{(\text{réserve facilement utilisable du sol})}{\text{besoin en eau d'irrigation}} = \frac{46}{8} \\ &= 5 \text{ jours (tomate)} \end{aligned}$$

Le tour d'eau étant obligatoirement inférieur à la fréquence d'irrigation nous prendrons un tour d'eau de 6 jours pour les citronniers et de 3 jours pour la tomate. Afin de permettre le repos d'un jour par semaine nous appliquerons une dose pratique d'irrigation correspondant à 3.5 jours et 7 jours de tour d'eau pour la tomate et les citronniers. Ainsi le repos sera effectif chaque dimanche.

III-7. Dose pratique d'irrigation

Le tour d'eau et le besoin d'irrigation étant déterminés nous déterminons la dose d'irrigation pour chacune des deux cultures par une multiplication.

$$\text{Dose pratique d'irrigation} = \text{besoin d'irrigation} \times \text{tour d'eau}$$

Le besoin d'irrigation pour la tomate et les citronniers étant respectivement de 5.3 mm/jr et de 8 mm/jr pour des tours d'eau théorique de 3.5 et 7 jours (repos d'un jour par semaine) nous obtenons une dose pratique d'irrigation de **37.1 mm et de 28 mm**

III-8. Temps maximum d'arrosage

Nous considérerons un temps maximum d'arrosage de 6 heures avec un seul poste d'arrosage afin d'évaluer le débit spécifique de pompage.

III-9. Calcul du débit spécifique (l/s/ha)

Le débit spécifique s'obtient en fonction du besoin d'irrigation total, temps maximum d'arrosage, et du nombre spécifique de poste d'arrosage.

$$\begin{aligned}
 qe \text{ (l/s/ha)} &= \frac{\text{dose brute (mm)}}{T \text{ (j)} \times T_s \left(\frac{h}{jr} \right) \times N_s \times 0.36} = \frac{37.1}{7 \times 6 \times 1 \times 0.36} \\
 &= 2.45 \text{ l/s/ha (citronniers)} \\
 \\
 qe \text{ (l/s/ha)} &= \frac{\text{dose brute (mm)}}{T \text{ (j)} \times T_s \left(\frac{h}{jr} \right) \times N_s \times 0.36} = \frac{28}{3.5 \times 6 \times 1 \times 0.36} \\
 &= 3.76 \text{ l/s/ha (tomates)}
 \end{aligned}$$

Le débit total d'équipement est donc de 6.21 litres/seconde/hectare, pour une irrigation de 6 heures par journée. Ce qui correspond exactement à une pompe de 22.5 m³/ heure pour un hectare.

IV. Dimensionnement du système d'irrigation de la villa

IV-1. Données

Type de sol : **Limono sablo argileux**

Reserve utilisable par mètre : **140 mm**

Cultures à pratiquées : **arboriculture (citronniers) et maraichage (tomates)**

Besoin en eau d'irrigation (citronniers) : **4.17 mm/ jr**

Besoin en eau d'irrigation (tomates) : **6.9 mm/ jr**

Tour d'eau d'irrigation (citronniers) : **7 jours (pratique)**

Tours d'eau d'irrigation (tomates) : **3.5 jours (pratique)**

Dose d'irrigation (citronniers) : **31.7 mm**

Dose d'irrigation (Tomates) : **28 mm**

Estimation du Débit spécifique d'équipement (Citronniers): **2.24 l/s/ha soit 8.2 m3/ ha/ heure**

Estimation Débit spécifique d'équipement (Tomate): **3.85 l/s/ha soit 14m3/ ha /heure**

IV-2. Arboriculture

Il s'agira ici d'irriguer les citronniers présents sur la superficie. Le système d'irrigation utilisé pour l'arboriculture présente les caractéristiques suivantes :

Marque : **Aquadrip**

Goutteurs montés en dérivation grâce à des têtes de vipère

Pression de service : **2bars**

Pression maximale : **3.5 bars**

Débit par goutteur : **1 l/ heure**

Ecartement des plants (latéral) : **4m**

Ecartement des goutteurs (longitudinal) : **1 m**

Pluviométrie des goutteurs : **4.5 mm/ heure**

Nombre d'émetteurs par plant :

$$N_{\text{emetteurs}} = \frac{SF \times 0.75}{a \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{\pi \times \left(\frac{2^2}{4}\right) \times 0.75}{0.93 \times 2} = 1.2$$

SF: surface occupée par les feuilles de citronniers (diamètre = 2m)

*a: aire mouillée par les goutteurs de 4.5 mm/h sur sol argileux – sableux
: 0.93 m² (ref: localized irrigation)*

D'où l'utilisation de deux goutteurs par pied de citronnier, les goutteurs seront situés à 0.5 mètre de chaque côté du tronc afin d'éviter l'écoulement sur celui-ci pouvant provoquer la gommose.

Longitudinalement entre deux pieds de citronnier il sera placé un goutteur permettant d'augmenter l'humidification de la parcelle pour mieux répondre ainsi au critère d'une agriculture biodynamique.

Temps spécifique maximum par rampe : $T_s = \frac{D_g}{P_{\text{émi}}} = \frac{37}{9} = 4 \text{ h } 10 \text{ mn}$

Longueur rampe : **29.24 m**

Nombre de goutteurs par rampe : **29 goutteurs**

Nombres de rampes : **16 × 3 = 48**

Débit par rampe :

$$Q_{\text{rampe}} = \text{nombre de goutteurs} \times Q_{\text{goutteurs}} \left(\frac{l}{s} \right) = 29 \times 1 = 29 \text{ l/ heure}$$

Débit système d'irrigation (citronniers) : $Q_{\text{système}} = 48 \times 29 = 1392 \text{ l/h soit } 1.4 \text{ m}^3/\text{h}$

Longueur totale à installer : **1440 m**

Diamètre rampe : **16 mm**

Coût : **1.5 MAD /m** soit 2175 MAD pour **1450 m**

Nombre totale de goutteurs à acheter : **1392**

Coût goutteur : **0. 75 MAD** soit 1050 pour **1400 goutteurs**

IV-3. Maraichages

Les écartements des goutteurs dépendront de la culture effectuée par billon. Les écartements de goutteurs varieront respectivement entre 0.15 m, 0.30 m, ou 0.5 m.

Type Goutteur intégré sur rampe de marque **Aquadrip**

Pression de service : **2 bars**

Pression maximale : **3.5 bars**

Rampe à écartement de 0.15 m par goutteur

Ecartement des goutteurs (longitudinaux) : **0. 15m**

Débit par goutteur : **1l / heure**

Pluviométrie d'infiltration : **4.5 mm/ heure**

Nombre d'émetteurs par plant : **1**

Temps spécifique par rampe : $T_s = \frac{D_g}{P_{émi}} = \frac{28}{4.5} = 6h\ 15\ mn$

Longueur par rampe : **29 m**

Nombre de rampes : **36**

Nombre de goutteurs par rampe : **193**

Débit par rampe : **193 l/ heure**

Débit totale (rampe à écartement de 0 .15 m) : **6948 l/ heure**

Diamètre rampe : **16 mm**

Longueur totale de rampe à acheter : **1044 m**

Cout par mètre linéaire : **0.5 MAD** par mètre soit **525 MAD** pour 1050 m

 Rampe à écartement de 0.3 m par goutteur

Ecartement des goutteurs (longitudinaux) : **0.30 m**

Débit par goutteur : **1l /heure**

Pluviométrie des goutteurs : **4.5 mm/ heure**

Nombre d'émetteur par plant : **1**

Temps spécifique par rampe : $T_s = \frac{D_g}{P_{émi}} = \frac{28}{4.5} = \mathbf{6h\ 15\ mn}$

Longueur par rampe : **29 m**

Nombre de rampes : **39**

Nombre de goutteurs par rampe : **97**

Débit par rampe : **97 l/ heure**

Débit d'irrigation (rampe à écartement de 0.30 m) : **3783 l/ heure**

Diamètre rampe : **16 mm**

Longueur totale de rampe à acheter : **1131 m**

Cout par mètre linéaire : **0.5 MAD** par mètre soit **570 MAD** pour 1150 m

 Rampe à écartement de 0.5 m par goutteur

Ecartement des goutteurs (longitudinaux) : **0.50 m**

Débit par goutteur : **1l / heure**

Pluviométrie des goutteurs : **4.5 mm/ heure**

Nombre de goutteurs par plant : **1**

Temps spécifique d'arrosage : $T_s = \frac{D_g}{P_{émi}} = \frac{25}{4.5} = \mathbf{6h\ 15\ mn}$

Longueur de rampe : **29 m**

Nombre de rampe : **43**

Nombre de goutteurs par rampe : **58**

Débit par rampe : **58 l/ heure**

Débit totale (rampe à écartement de 0.5 m) : **2494 l/ heure**

Diamètre rampe (mm) : **16**

Longueur totale de rampe à installer : **1247 m**

Cout par mètre linéaire : **0.5 MAD** par mètre soit **625 MAD pour 1250 m**

✚ **Débit totale du système d'irrigation**

$$Q_{Totale} = \sum \text{débits} = 15 \text{ m}^3/\text{heure}$$

V. Dimensionnement des tubes d'irrigation

La superficie agricole a subi des travaux de planage ce qui lui confère une pente nulle.

Vitesse d'eau conseillée dans les tubes est de : 0.5 à 1.7 mètre par seconde. Nous considérerons une vitesse de 1.2 m/s pour nos calculs.

V-1.Système d'irrigation

V-1-1. Porte rampe (secteur A-B)

✚ Calcul de diamètre

Le débit transitant dans le porte rampe irrigant le secteur A et B représente les 2/3 du débit total.

$$Q_{sectA-B} = \frac{2}{3} * Q_{totale} = 10 \text{ m}^3/\text{heure}$$

$$\text{Calcul Diamètre : } D \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{Q_{sectA-B} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{heure}} \right)}{V \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}} \times 18.811 = 54.30 \text{ mm}$$

D (mm) : Diamètre calculée

V ($\frac{m}{s}$) : vitesse en mètre par seconde

$Q_{sectA-B}$: Débit du porte rampe irriguant le secteur A et B

Choix porte rampe: PVC, Diamètre Extérieur 63 mm, Diamètre Intérieure 57 mm, PN 10.

✚ Perte de charge

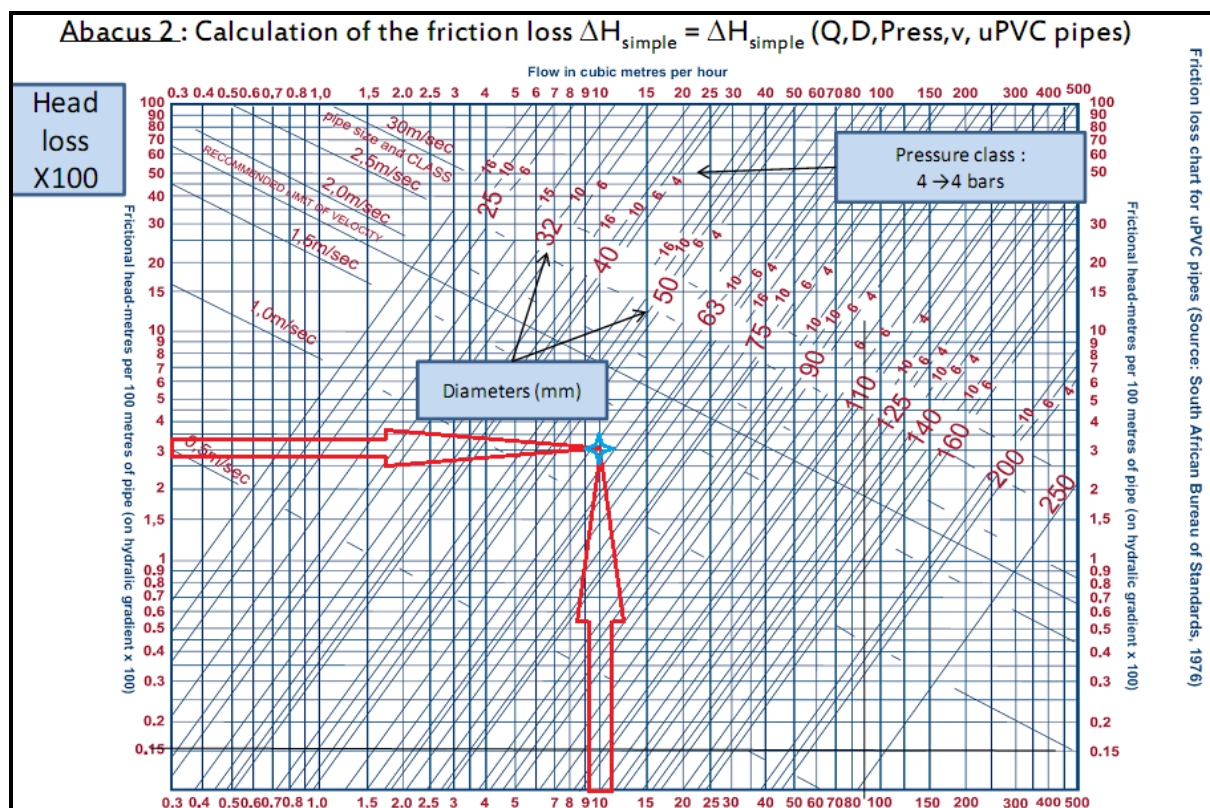


Figure 9: lecture de perte de charge simple par méthode des abaqes

La perte de charge simple est de 3% pour le PVC de diamètre extérieur 63 mm en considérant une vitesse de 1.2 m/ s et un débit transitant de 10 m³/ heure (*Friction loss chart for uPVC : south African bureau of standard, 1976*).

Le nombre de rampes connectées sur le porte rampe du secteur A et B est de 112. Le coefficient de correction de la perte de charge simple en fonction du nombre de rampes connectés sur le porte rampe est de 0.356 (*Keller et Kramelli*)

La longueur du porte rampe est de : **60 m**

$$Pdc_{\text{ totale }} : \Delta H_{\text{rampes}} (m) = \Delta H_{\text{simple}} (\%) \times L (m) \times F = 0.03 \times 60 \times 0.356 = \mathbf{0.64 \text{ m}}$$

$L (m)$: longueur du porte rampe sect_{A-B}

$\Delta H_{\text{rampes}} (m)$: perte de charge dans le porte rampe

V-1-2. Porte Rampe (secteur C)

✚ Calcul du diamètre

Débit transitant dans le porte rampe du secteur C : 5 m³/ heure.

Diamètre calculé : 38.39 mm

Choix porte rampe: PVC, Diamètre Extérieur 50 mm, Diamètre Intérieure 45.2 mm, PN 10.

✚ Perte de charge

Pour un débit de 5 m³/ heure, une vitesse de 1.2 m/ seconde et un diamètre commerciale en PVC de 50 mm on obtient une perte de charge simple de 3%.

La longueur du porte rampe irriguant le secteur C est de : 47 m

Le facteur de correction pour 53 rampes connectées est de 0.361.

$$Pdc_{\text{ totale }} : \Delta H_{\text{rampes}} (m) = \Delta H_{\text{simple}} (\%) \times L (m) \times F = 0.03 \times 53 \times 0.361 = \mathbf{0.51 \text{ m}}$$

✚ Perte de charge portes rampes

$$Pdc_{\text{portes rampes}} = \sum Pdc_{\text{totale}} = \mathbf{0.51 + 0.64 = 1.15 \text{ m}}$$

V-1-3. Rampes arboriculture

Longueur de la rampe : 29 m

Ecartement des goutteurs : 1 m

Nombre de goutteurs : 29

Débit par rampe : 29 l/s

Diamètre rampe : 16 mm

Pdc (*Friction loss chart for PE: south African bureau of standard, 1976*): 1%

Facteur de correction pour 29 goutteurs : 0.368

Pdc par rampe : $\Delta H_{rampes} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) \times F = 0.01 \times 29 \times 0.368 = 0.1 m$

Pdc : $Pdc_{totale} = Pdc_{rampes} \times nombre\ de\ rampe = 0.1 m \times 32 = 3.2 m$

V-1-4. Rampe maraichage

✚ Ecartement : 0.15 m

Longueur de la rampe : 29 m

Ecartement des goutteurs : 0.15 m

Nombre de goutteurs : 193

Diamètre rampe : 16 mm

Perte de charge (*friction loss chart for PE: South African bureau of standard, 1976*): 1.2%

Facteur de correction : 0.356

Pdc par rampe :

$$\Delta H_{rampes} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) \times F = 0.012 \times 29 \times 0.356 = 0.123 m$$

Pdc totale :

$$\Delta H_{rampes} (m) = Pdc\ par\ rampe \times Nombre\ de\ rampe = 0.123 m \times 36 = 4.42 m$$

✚ Ecartement : 0.30 m

Longueur de la rampe : 29 m

Ecartement des goutteurs : 0.3 m

Nombre de goutteurs : 97

Diamètre rampe: 16 mm

Pdc (*friction loss chart for PE: South African bureau of standard, 1976*): 1%

Facteur de correction : 0.356

Pdc par rampe : $\Delta H_{rampe} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) \times F = 0.01 \times 29 \times 0.356 = \mathbf{0.11 m}$

Pdc totale : $\Delta H_{rampe} (m) = Pdc \text{ par rampe} \times \text{Nombre de rampe} = 0.11 m \times 39 = \mathbf{4.29 m}$

✚ **Ecartement : 0.5 m**

Longueur de la rampe : 29 m

Ecartement des goutteurs : 0.5 m

Nombre de goutteurs : 58

Diamètre rampe: 16 mm

Pdc (friction loss chart for PE: South African bureau of standard, 1976): 1%

Facteur de correction : 0.356

Pdc par rampe :

$\Delta H_{rampe} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) \times F = 0.01 \times 29 \times 0.356 = \mathbf{0.11 m}$

Pdc totale :

$\Delta H_{rampe} (m) = Pdc \text{ par rampe} \times \text{Nombre de rampe} = 0.11 m \times 43 = \mathbf{4.8 m}$

✚ **Perte de charge totale des rampes**

$$Pdc_{rampes} = \sum Pdc_{totale} = 4.8 m + 4.29 m + 4.42 m + 3.2 m = \mathbf{16.5 m}$$

V-1-5. *Conduite primaire*

Débit Q : $\mathbf{15 m^3/h}$

$$\text{Calcul Diamètre : } D (mm) = \sqrt{\frac{Q_{condprincip} \left(\frac{m^3}{heure} \right)}{V \left(\frac{m}{s} \right)}} \times 18.811 = \mathbf{69.54 mm}$$

$D (mm)$: Diamètre calculée

$V \left(\frac{m}{s} \right)$: vitesse en mètre par seconde

Q_{cond} : Débit de la conduite principale

Choix porte rampe: PVC, Diamètre Extérieur 75 mm, Diamètre Intérieure 67.8 mm, PN 10.

Perte de charge

La perte de charge simple: 2.35% (*Friction loss chart for uPVC : south African bureau of standard, 1976*).

La longueur de la conduite principale: 65 m

$$Pdc: \Delta H_{conduite principale} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) \times F = 0.0235 \times 65 = \mathbf{1.52 m}$$

$L (m)$: longueur du porte rampe sect_{A-B}

$\Delta H_{rampe} (m)$: perte de charge dans le porte rampe

V-1-6. Conduite secondaire

Q : 5 m³/ heure

$$\text{Calcul Diamètre : } D (mm) = \sqrt{\frac{Q_{condprincip} \left(\frac{m^3}{heure} \right)}{V \left(\frac{m}{s} \right)}} \times 18.811 = \mathbf{69.54 mm}$$

Perte de charge

Pour un débit de 5 m³/ heure, une vitesse de 1.2 m/ seconde et un diamètre commerciale en PVC de 50 mm on obtient une perte de charge simple de 3%.

Longueur de la conduite : 57 m

$$Pdc totale: \Delta H_{rampe} (m) = \Delta H_{simple} (\%) \times L (m) = 0.03 \times 57 = \mathbf{1.71 m}$$

V-2.Choix de filtre

Filtration à disque manuel ARKANE

Surface : 950 cm²

Porosité : 16 micros mètres

Débit Maximale : 16 m³/ heure

Pression maximale : 8 bars (80 mètre de colonne d'eau)

Diamètre intérieur : 76.2 mm

Prix : 3410 MAD



Figure 10: image du filtre

V-3.Dimensionnement Station de pompage

V-3-1. Refoulement

Débit **Q : 15m³/ h**

$$\text{Calcul Diamètre : } D \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{heure}} \right)}{v \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}} \times 18.811 = \mathbf{72.85 \text{ mm}}$$

Diamètre de refoulement : Polyéthylène basse densité, Diamètre extérieur 90 mm, Diamètre Intérieur **73.6 mm, PN16.**

Hauteur de refoulement : **81 m**

Calcul perte de charge :

$$\Delta H = a \times \frac{\left[Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \right]^N}{[D(\text{m})]^M} \times H = 0.916 \times 10^{-3} \times \frac{(4.2 \text{ E} - 3)^{1.78}}{(0.0736)^{4.78}} \times 81 = 1.13 \text{ m}$$

a, n m : coefficient de colbrook – calmon – lechapt

V-3-2. HMT

$$HMT = (H_{\text{géométrique}} + \text{Pression de service} + \Delta H_{\text{porte rampes}} + \Delta H_{\text{conduite principale}} + \Delta H_{\text{conduite secondaire}} + \Delta H_{\text{refoulement}} + \Delta H_{\text{filtres}} + \Delta H_{\text{rampes}}) = (81 + 20 + 1.15 + 1.52 + 1.71 + 1.12 + 2.5 + 16.7) = 125.7 \text{ m}$$

V-3-3. Choix de pompe

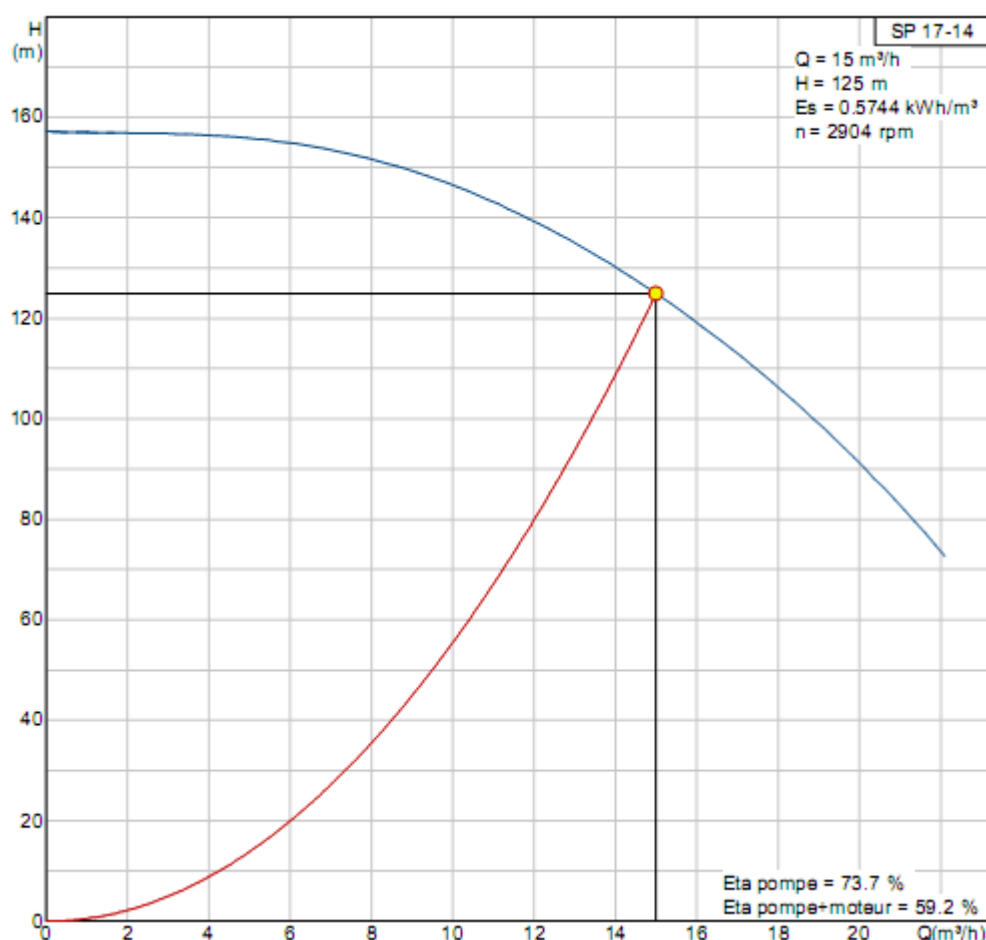
La pompe choisie à l'aide de WINCAPS est une GRUNDFOS SP 17 – 14. Les caractéristiques de la pompe sont les suivantes :

Débit et HMT nominale : 17 m³/ heure et 115 m,

Caractéristique au point de fonctionnement (Q, HMT) : 15 m³/ heure, 125 m)

Rendement moteur et pompe : 59.2 %

Puissance absorbée : 9.2 KW



VI. Carnet de Nœud du système d'adduction

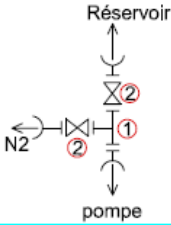
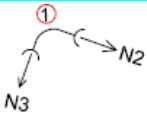
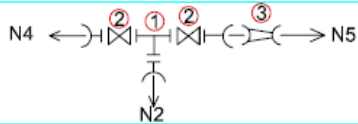
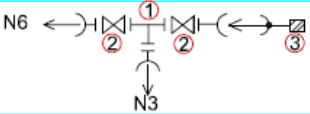
CARNET DE NOEUD DE LA SUPERFICIE EXPERIMENTALE				
N° NOEUD	SCHEMA	COMPOSANTES	Quantité	Matériau
N1		① Té 90/75/75	1	PVC
		② Robinet vanne DN 75	2	PVC
N2		① Coude 1/4 à emboitement DE 75	1	PVC
N3		① Té 75/63/63	1	PVC
		② Robinet vanne DN 63	2	PVC
		② Reducteur 63/50	1	PVC
N4		① Purge DE 63	1	PVC
N5		① Té 50/50/50	1	PVC
		② Robinet vanne DN 50	2	PVC
		③ purge DE 50	1	PVC
N6		① Purge DE 50	1	PVC

Figure 12: Carnet de Nœuds

Les pièces hydrauliques utilisées pour le montage du réseau hydraulique (rampe non comprise) sont présentées à travers le tableau ci-dessous.

VII. Calendrier d'irrigation

✚ Irrigation citronniers année 2012

Tableau 20: Calendriers d'irrigation des citronniers

CALENDRIER D'IRRIGATION DES CITRONNIERS							
Date	Décade	phase	besoin (mm/jr)	Besoin d'irrigation (mm)	Dose pratique (mm)	temps spécifique (h:mn /jr)	Horaire
14-mai-12	2	Maturation	3.45	4.08	28.58	3h 11 mn	21h - 00h 15 mn
21-mai	3		3.45	4.08	28.58	3h 11 mn	21h - 00h 15 mn
28-mai	3		3.35	3.97	27.81	3h 06 mn	21h - 00h 06 mn
04-juin	1		4.12	4.83	33.79	3h 45 mn	21h - 00h 45 mn
11-juin	2		4.12	4.83	33.79	3h 45 mn	21h - 00h 45 mn
18-juin	2		4.12	4.83	33.79	3h 45 mn	21h - 00h 45 mn
25-juin	3		4.12	4.83	33.79	3h 45 mn	21h - 00h 45 mn
02-juil	1		4.52	5.27	36.91	4h 06 mn	21h - 01h 06 mn
09-juil	1		4.52	5.27	36.91	4h 06 mn	21h - 01h 06 mn
16-juil	2		4.52	5.27	36.91	4h 06 mn	21h - 01h 06 mn
23-juil	3		4.52	5.27	36.91	4h 06 mn	21h - 01h 06 mn
30-juil	3		4.52	5.27	36.91	4h 06 mn	21h - 01h 06 mn
06-août	1		4.15	4.86	34.03	3h 50 mn	21h - 00h 50 mn
13-août	2		4.15	4.86	34.03	3h 50 mn	21h - 00h 50 mn
20-août	2		4.15	4.86	34.03	3h 50 mn	21h - 00h 50 mn
27-août	3		4.15	4.86	34.03	3h 50 mn	21h - 00h 50 mn
03-sept	1		3.17	3.77	26.41	2h 55 mn	21h - 23h 55 mn
10-sept	2		3.17	3.77	26.41	2h 55 mn	21h - 23h 55 mn
17-sept	3		3.17	3.77	26.41	2h 55 mn	21h - 23h 55 mn
24-sept	3		3.17	3.77	26.41	2h 55 mn	21h - 23h 55 mn
01-oct	1		2.21	2.71	18.94	2h 06 mn	21h - 23h 06 mn
08-oct	1		2.21	2.71	18.94	2h 06 mn	21h - 23h 06 mn
15-oct	2		2.21	2.71	18.94	2h 06 mn	21h - 23h 06 mn
22-oct	3		2.21	2.71	18.94	2h 06 mn	21h - 23h 06 mn
29-oct	3		2.21	2.71	18.94	2h 06 mn	21h - 23h 06 mn
05-nov	1		1	1.36	9.53	1h 06 mn	07h - 08h 06 mn
12-nov	2		1	1.36	9.53	1h 06 mn	07h - 08h 06 mn
19-nov	2		1	1.36	9.53	1h 06 mn	07h - 08h 06 mn
26-nov	3		1	1.36	9.53	1h 06 mn	07h - 08h 06 mn
03-déc	1		0.92	1.27	8.91	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
10-déc	2		0.92	1.27	8.91	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn

17-déc	2		0.92	1.27	8.91	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
24-déc	3		0.92	1.27	8.91	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
31-déc	3		0.92	1.27	8.91	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn

Irrigation citronniers année 2013

07-janv	1	Maturation	0.94	1.29	9.06	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
14-janv	2		0.94	1.29	9.06	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
21-janv	3		0.94	1.29	9.06	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
28-janv	3		0.94	1.29	9.06	1h 00 mn	07h - 08h 00 mn
04-févr	1		1.11	1.48	10.38	1h 10 mn	07h - 08h 10 mn
11-févr	2		1.11	1.48	10.38	1h 10 mn	07h - 08h 10 mn
18-févr	2		1.11	1.48	10.38	1h 10 mn	07h - 08h 10 mn
25-févr	3		1.11	1.48	10.38	1h 10 mn	07h - 08h 10 mn
04-mars	1		2.26	2.76	19.33	2h 10 mn	07h - 09h 10 mn
11-mars	2		2.26	2.76	19.33	2h 10 mn	07h - 09h 10 mn
18-mars	2		2.26	2.76	19.33	2h 10 mn	07h - 09h 10 mn
25-mars	3		2.26	2.76	19.33	2h 10 mn	07h - 09h 10 mn
01-avr	1		2.63	3.17	22.21	2h 30 mn	21h - 22h 30 mn
08-avr	1		2.63	3.17	22.21	2h 30 mn	21h - 22h 30 mn
15-avr	2		2.63	3.17	22.21	2h 30 mn	21h - 22h 30 mn
22-avr	3		2.63	3.17	22.21	2h 30 mn	21h - 22h 30 mn
29-avr	3		2.63	3.17	22.21	2h 30 mn	21h - 22h 30 mn
06-mai	1		3.45	4.08	28.58	3h 12 mn	21h - 23h 12 mn
13-mai	2		3.45	4.08	28.58	3h 12 mn	21h - 23h 12 mn

Irrigation du maraichage année 2013

Tableau 21: Calendrier d'irrigation de la tomate

CALENDRIER D'IRRIGATION DU MARAICHAGE (tomates)							
Date	Décade	Cycle végétatif	besoin (mm/jr)	Besoin d'irrigation (mm)	Dose pratique (mm)	temps spécifique (h:mn /jr)	horaire
1-mars-13	1	INITIALE	1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
4-mars-13	1		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
8-mars-13	1		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
11-mars-13	2		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
15-mars-13	2		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
18-mars-13	2		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
22-mars-13	3		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
25-mars-13	3		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn

29-mars-13	3		1.88	2.32	8.12	1h 50 mn	07h - 08h 50 mn
1-avr.-13	1	CROISSANCE	2.8	3.34	11.69	2h 40 mn	21h - 23 h 40 mn
5-avr.-13	1		2.8	3.34	11.69	2h 40 mn	21h - 23 h 40 mn
8-avr.-13	1		2.8	3.34	11.69	2h 40 mn	21h - 23 h 40 mn
12-avr.-13	2		3.41	4.02	14.07	3h 10 mn	21h - 00h 10 mn
15-avr.-13	2		3.41	4.02	14.07	3h 10 mn	21h - 00h 10 mn
19-avr.-13	2		3.41	4.02	14.07	3h 10 mn	21h - 00h 10 mn
22-avr.-13	3		3.98	4.65	16.28	3h 40 mn	21h - 00h 40 mn
26-avr.-13	3		3.98	4.65	16.28	3h 40 mn	21h - 00h 40 mn
29-avr.-13	3		3.98	4.65	16.28	3h 40 mn	21h - 00h 40 mn
3-mai-13	1		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
6-mai-13	1		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
10-mai-13	1		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
13-mai-13	2	MI-SAISON	5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
17-mai-13	2		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
20-mai-13	2		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
24-mai-13	3		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
27-mai-13	3		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
31-mai-13	3		5.86	6.74	23.59	5h 15 mn	21h - 02h 15 mn
3-juin-13	1		6.8	7.79	27.25	6h 5 mn	21h - 02h 15 mn
7-juin-13	1		6.8	7.79	27.25	6h 5 mn	21h - 03h 05 mn
10-juin-13	1		6.8	7.79	27.25	6h 5 mn	21h - 03h 05 mn
14-mai-13	2		6.8	7.79	27.25	6h 5 mn	21h - 03h 05 mn
17-juin-13	2		6.8	7.79	27.25	6h 5 mn	21h - 03h 05 mn
21-juin-13	3		5.75	6.62	23.17	5h 10 mn	21h - 02h 10 mn
24-juin-13	3		5.75	6.62	23.17	5h 10 mn	21h - 02h 10 mn
28-juin-13	3		5.75	6.62	23.17	5h 10 mn	21h - 02h 10 mn
2-juil.-13	1	ARRIERE SAISON	5.95	6.84	23.94	5h 20 mn	21h - 02h 20 mn
5-juil.-13	1		5.95	6.84	23.94	5h 20 mn	21h - 02h 20 mn
9-juil.-13	1		5.95	6.84	23.94	5h 20 mn	21h - 02h 20 mn
12-juil.-13	2		5.56	6.41	22.43	5H	21h - 02h 00 mn
16-juil.-13	2		5.56	6.41	22.43	5H	21h - 02h 00 mn
19-juil.-13	2		5.56	6.41	22.43	5H	21h - 02h 00 mn
23-juil.-13	3		5.17	5.97	20.91	4H 40 mn	21h - 01h 40 mn
26-juil.-13	3		5.17	5.97	20.91	4H 40 mn	21h - 01h 40 mn
30-juil.-13	3		5.17	5.97	20.91	4H 40 mn	21h - 01h 40 mn

VIII. Evaluations des prix

Tableau 22: évaluation des prix

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (MAD)	Montant (MAD)
I.	Réseau de conduite				
	Conduite primaire: Ø 75, PVC, PN10	ml	75	35	2625
	Conduite secondaire : Ø 50, PVC, PN10	ml	60	25	1500
	portes rampes Ø 63 PVC, PN10,	ml	60	30	1800
	porte rampe Ø 50, PVC, PN10,	ml	50	25	1250
	Rampes Ø 16, sans goutteurs, arboriculture	ml	1500	1.5	2250
	Goutteurs avec tête de vipère	u	1400	0.75	1050
	Rampes à goutteurs intégrées, écartement 0.15 m	ml	1050	0.50	525
	Rampes à goutteurs intégrées, écartement 0.30 m	ml	1150	0.50	575
	Rampes à goutteurs intégrées, écartement 0.50 m	ml	1250	0.50	625
	réducteur Ø 63/ 50	u	1	25	25
	Té 90/ 75/ 75	u	1	70	70
	Té 75/ 63/ 63	u	1	60	60
	Té 50/ 50/ 50	u	1	50	50
	COUDE 90, Ø 75	u	1	70	70
	Vanne DN 75	u	2	120	240
	Vanne DN 63	u	2	100	200
	Vannette DN 16	u	170	4	255
	Vanne DN 50	u	2	80	160
	Bouchon pour purgeur	u	3	10	30
	Fil de fer pour pose de rampes	u	1	20	20
	main d'œuvre pour pose et désherbage	u	5	800	4000
	Serre en bambou	FF	1	2 000	2000
	Sous coût Total I				19805
II.	Pompe et station de pompage				
	pompe Grundfos	u	1	22 000	22000
	Conduite de refoulement PEBD,	ml	81	40	3240
	Filtre	u	1	3 410	3410
	Installation de la pompe	FF	1	5 000	5000
	Sous Cout Total II				33650
	Coût Total II				54 355

Le cout total pour l'installation du système irrigué est de **54 355 MAD TTC** soit **3 207 300 FCFA TTC** ; sachant que la valeur d **1 MAD** équivaut à **60 FCFA**.

IX. Fiche d'enquête

Le questionnaire suivant a été élaboré afin d'obtenir les informations sur la situation actuelle dans le centre de Tnine des Oudaya :

N° :
/...../.....

Date :

Gestion des déchets

- 1) Superficie de l'exploitation :
-
- 2) Culture :

Type	Surface	Rendement	Période de récolte	observations
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

- 3) Réutilisation des déchets ? oui ☐ non ☐
- 4) Adhérence à la collecte ? oui ☐ non ☐
- 5) Elevage :

Composition du troupeau	nombre
1.	
2.	
3.	

- 6) Réutilisation du fumier ? oui ☐ non ☐
- 7) Possibilité de vente du fumier ? oui ☐ non ☐

Sols

1) Utilisation du pesticide : oui ☐ non ☐

Si oui :

Type	Quantité/ ha	Observation
1.		
2.		
3.		

2) Utilisation des engrais : oui ☐ non ☐

Si oui :

Type	Quantité/ ha	Observation
1.		
2.		
3.		

3) Suivi de la qualité du sol oui ☐ non ☐

Energie

1) Utilisation d'engin mécanique

Type	Nombre	Période d'utilisation	observation
Tracteur			
Camion			
Automobiles			
Moto			
Autres (.....)			

2) Type d'irrigation :
.....
.....

Type d'énergie	Quantité (volume/ période)	Débit	Nombre d'heure d'irrigation/ jr	observations

Type d'électrification	Coût mensuel/ Quantité	Observation
Réseau local		
Gaz		

Type de la ressource	utilisation (irrigation, élevage, domestique)	observations
Eau souterraine		
Réseau d'eau potable		
Eaux de surface		

.....

région :

non

non