
Salinité des eaux et méthodes d'irrigation en lien avec le rendement des cultures maraichères : analyse et pistes de gestion

Auteur : Cherbuin, Jules

Promoteur(s) : Wellens, Joost

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13906>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des Sciences

Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

Année académique 2021-2022

Salinité des eaux et méthodes d'irrigation en lien avec le rendement des cultures maraichères : analyse et pistes de gestion



Culture sous serre-ferme des Jésuites

Mémoire présenté par Jules CHERBUIN

**en vue de l'obtention de Master en Sciences et Gestion de
l'environnement, à**

finalité spécialisée en Gestion Intégrée des Ressources en Eau

Rédigé sous la direction de Joost WELLENS

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Auteur du présent document : CHERBUIN Jules
julescherbuin@gmail.com



Faculté des Sciences

Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

Année académique 2021-2022

Salinité des eaux et méthodes d'irrigation en lien avec le rendement des cultures maraichères : analyse et pistes de gestion

Mémoire présenté par Jules CHERBUIN

**en vue de l'obtention de Master en Science et Gestion de
l'environnement,**

finalité spécialisée en Gestion Intégrée des Ressources en Eau

Rédigé sous la direction Joost WELLENS

Remerciements

L'élaboration de ce mémoire a été un véritable défi personnel. Je tiens à présenter ma sincère gratitude à l'ensemble des personnes qui ont contribué directement ou indirectement à l'élaboration de ce mémoire.

Premièrement je tiens à remercier à mon promoteur académique Monsieur Wellens Joost pour sa bienveillance et pour m'avoir guidé lors des expérimentations de terrain et aiguillé dans l'élaboration de ce travail.

Je tiens aussi à remercier les professeurs BROUYERE Serge et ORBAN Philippe pour leur bienveillance, leur disponibilité, et leurs conseils pratiques.

Je remercie vivement mon tuteur de stage Jean-Roch DEMAN, chef de culture au ferme des Jésuites, et la directrice Nathalie PICOTIN-LO, directrice d'exploitation de la filiale de maraichage bio du groupe Vitamine T, pour m'avoir accueilli et fait confiance tout au long de mon stage et m'avoir permis de réaliser ce travail.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe de la ferme pour leur accueil. Particulièrement les employés / personnes avec lesquels qui j'ai pu travailler sur le terrain, je pense particulièrement à Damir, Johan, Mickael et Nasser.

Je tiens à remercier Audrey, Laurine, François, Thomas et Marine pour leur amitié tout au long du master.

Enfin, je présente mes sincères remerciements à ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de mes études.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans une mission rendue nécessaire suite à un constat sur la perte de rendement des cultures de l'exploitation maraichère « la Ferme des Jésuites ». La zone d'étude est une ferme qui se situe dans les Flandres françaises à l'extrémité Nord-ouest de la France, proche du littoral de la mer du Nord. L'irrigation en champs et sous serres est assurée par plusieurs forages qui prélèvent l'eau de la nappe superficielle des sables Pissard. Cette nappe est en contact avec la mer. Ce contexte hydrogéologique semble favorable à la salinisation des eaux d'irrigation.

Ceci nous amène à présenter l'exploitation qui s'inscrit dans un environnement géographique et climatique singulier. L'étude du contexte géologique nous permettra de mieux comprendre les analyses des eaux et de sol. En effet des analyses de sols et d'eau ont été réalisées durant l'été 2021, in situ et/ou en laboratoire. Nous étudierons alors les résultats au regard de la littérature puis dans un second temps, nous ferons le point sur les pratiques d'irrigation de la ferme que nous comparerons avec la littérature. Ces études nous amèneront à lier les différents facteurs pouvant influencer le rendement des cultures. Ainsi, nous pourrions évoquer des pistes d'action, notamment dans les pratiques et méthodes d'irrigation dans le cadre de la Ferme des Jésuites.

Mots clés : Salinité, qualité des eaux, sol, irrigation, rendement, efficience, légumes

Abstract

This work is part of an assignment related to a report concerning the loss of crop yields on the vegetable farm "La Ferme des Jésuites".

The study area is a farm located in the French Flanders region on the north-western end of France, close to the North Sea coast. Field and greenhouse irrigation are provided by several boreholes that draw water from the Pissard upper aquifers. Moreover this water table is in contact with the sea. Therefore the hydrogeological context seems favourable to a salinization of the irrigation water. This leads us to present the agricultural operation as part of a singular geographical and climatic environment. The study of the geological context will allow us to better understand the analyses of the water and the soil.

The soil and water analyses were carried out during the summer of 2021, in situ and/or in the laboratory . Thus we will study the results with regard to previous reports and, in a second phase, we will compare and review both previous reports and the farm's irrigation practices. These studies will lead us to find connections among the different factors which can influence crop yield. In the end we should be able to suggest a plan for action, particularly in the irrigation practices and the methods implemented in "la Ferme des Jésuites".

Key words: Salinity, water quality, soil, irrigation, yield, efficiency, vegetables

Table des matières

Introduction	1
Contextualisation	2
1-Présentation de l'organisation	2
2-Situation géographique : La ferme des Jésuites	3
3-Contexte climatologique.....	4
1-Au niveau régional et du bassin.....	4
2-Au niveau local.....	4
4-Contexte Géologique	5
1-La géologie et géomorphologiques	5
2-Géologie localisée proche de la Ferme des Jésuites.....	7
5-Hydrogéologie.....	8
6-Description de la zone d'étude.....	9
1 Présentation de la zone d'étude	9
2 Description des forages.....	10
Méthodologie.....	12
Partie 1 : Les eaux d'irrigation à destination des cultures maraichères.....	13
1.1 Résultats d'Analyses sur le site.....	13
1.1.1 Eau des forages	13
1.1.2 Sol de la ferme.....	14
1.1.3Légumes	14
1.2 Littérature.....	15
1.2.1lien eaux plantes.....	15
a) Généralités sur le fonctionnement de la plante	15
b) Plantes et stress hydrique.....	15
c) Plantes et salinité	16
d) Le cas du bore	17
1.2.2 Qualité de l'eau et irrigation	18
a) Caractéristiques physico-chimiques	18
b) Classification des eaux d'irrigation	18
c) Diagramme de PIPER.....	18
d) Diagramme de SCHOELLER et BERKALOFF	19
e) Notion de salinité.....	19
f) Diagramme de Wilcox	20
g) Le Taux d'Adsorption du Sodium (SAR),	21
h) Les carbonates et bicarbonates.....	21

i) Le Potentiel Hydrogène	21
j) Le calcium et le magnésium	21
k) Éléments azotés	21
l) Le bore (mg/L).....	22
m) Autres Oligo-éléments	22
1.2.3 Aspects relatifs à la qualité du sol et évaluation de la qualité de l'eau	23
a) La texture	23
b) L'infiltration	23
c) La salinité du sol	24
d) Risque d'accumulation de sels dans le sol et lessivage	24
1.3 Etude de la qualité des eaux d'irrigation de la ferme	25
1.3.1 Catégorisation des eaux.....	25
a) Diagramme de piper	26
b) Diagramme de Schoeler-Berkaloff.....	26
1.3.2 Etude de la salinité des eaux de la ferme	28
a) Salinité.....	28
c) Classification de Wilcox / classification des eaux d'irrigation selon le sar est la conductivité	28
1.3.4 Qualité des eaux d'irrigation.....	29
a) Comparaison avec les recommandations (FAO 1985)	30
b) Exploitation des résultats selon les recommandations de la Fao.....	31
1.3.5 Bilan.....	32
1.3.6 Analyses conductimétriques.....	32
a) Protocole et matériel	32
b) Résultats analyses.....	33
1.3.7 Etude du Sol de la ferme	34
a) Texture	34
b) Analyses conductivité est texture.....	35
Partie 2 : Méthodes et pratiques d'irrigation.....	36
2.1 Littérature	37
2.1.2 Système d'irrigation	37
a) Irrigation gravitaire	37
b) Irrigation souterraine.....	37
c) Irrigation sous pressions	38
d) Irrigation par aspersion.....	39
e) Irrigation goutte à goutte ou micro-irrigation	40

2.1.3 Equipement d'irrigation	41
a) Les dispositifs de contrôle d'écoulement.	41
b) Filtration.....	43
2.1.3 L'efficience d'irrigation	44
a) Notion d'efficience.....	44
b) Mesure d'efficience : Test Christiansen et uniformité d'application	44
c) Efficience des systèmes d'irrigation.....	45
2.1.4 Irrigation et salinité.....	46
2.1.5 Risque d'obturation	47
2.2 Irrigation à la ferme des Jésuites	48
2.2.1 Description des systèmes d'irrigation de la ferme	48
a) Goutte à goutte dans les serres.....	48
b) Aspersion en pleins champs	49
2.2.2 Etude des dispositifs de contrôle d'écoulement et filtrations.....	51
a) Goutte à goutte : dispositifs de contrôles d'écoulements de la ferme	51
b) L'aspersion est dispositifs de contrôles d'écoulements de la ferme.....	51
c) Comparaisons avec la littérature	52
d) Filtration de la ferme	52
2.2.3 Observation lors du fonctionnement matériel d'irrigation.	54
a) Matériel et fonctionnement	54
b) Observation du matériel pour la goutte à goutte.....	55
c) Observation du matériel pour l'aspersion	55
d) Bilan des observations.....	57
2.2.4 Test d'uniformité des Christiansen	57
a) Expérimentation/limites	57
b) Méthodes.....	58
c) Matériel utilisé	59
d) Résultats	59
2.2.5 Bilan des observations et test.....	61
Discussion.....	62
Conclusion générale et recommandation.....	65
Annexes.....	67
Sources.....	80

Table des figures

Figure 1 : Carte localisation ferme des Jésuites échelle 1 :35 000	3
Figure 2 : Diagramme ombrométrique climat data	5
Figure 3 : Log schématiques des formations géologiques (open data-brgm)	6
Figure 4 : Données du forage BSS000ACSA se trouvant à 200 mètres au Nord-Est de la Ferme. (brgm)	7
Figure 5 : Coupe hydrogéologique schématique (-nord gov.fr)	9
Figure 6 : Diagramme de Piper reprenant les eaux d’irrigation – logiciel Diagramme univ. Avignon	26
Figure 7 : Diagramme de Schoeler-Berkaloff des eaux de la ferme - logiciel Diagramme univ.D’Avignon	27
Figure 8 : Diagramme de Wilcox reprenant les eaux des forages de la ferme - logiciel Diagramme univ. d’Avignon.....	28
Figure 9 : Conductimètre « Hanna instruments » et sa sonde	33
Figure 10 : Diagramme de texture GEPPA 1964 avec les sols de la ferme.	34
Figure 11 : Irrigation par aspersion sur la ferme.....	36
Figure 12 : Exemple d’un système d’irrigation gravitaire cuvette en arboriculture (d’après Soltner 1995).....	37
Figure 13 : Principaux composants invariants d’un système d’irrigation sous pression (Tabl.2.1 FAO Rome 2008)	38
Figure 14 : Irrigation par aspersion sur rampe (schéma : Cemagref), AgroParisTech	39
Figure 15 : Schéma type d’une installation d’irrigation au goutte à goutte présentant les éléments d’installation- FAO 1990.....	41
Figure 16 : Schéma illustré du fonctionnement du goutte à goutte dans les serres de la ferme.....	48
Figure 17 : les éléments d’une installation de couverture d’asperseurs Source M. Kay, consultant et M. Hièble, FAO 1990	49
Figure 18 : Schéma illustré du fonctionnement de l’aspersion dans les serres de la ferme .	50
Figure 19 : Dispositifs de contrôles d’écoulement présent sur le goutte à goutte	51
Figure 20 : Rampes d’aspersion en PVC en blanc et PEHD démontées	54
Figure 21 : Anomalie de fonctionnement du système goutte à goutte.....	55
Figure 22 : Anomalie de fonctionnement du système d’aspersion	56
Figure 23 : Schéma de principe du test de Christiansen.....	58
Figure 24 : Utilisation du matériel lors des tests d’irrigation	59
Figure 25 : Résultat du test de Christiansen et de l’uniformité de distribution	60

Figures des tableaux

Tableau 1 : Formations du Flandrien autour de Dunkerque	7
Tableau 2 : Description des paramètres des forages.....	11
Tableau 3 : Résultats d'analyses chimiques des eaux de forage	13
Tableau 4 : Résultats d'analyses granulométriques et de conductivité des sols et de la ferme	14
Tableau 5 : Classement des légumes en fonction de la profondeur de leurs racines (oframa)	16
Tableau 6 : classement des légumes selon leur tolérance à la salinité extrait (FAO bulletin 29). Influence de la salinité de l'eau d'irrigation (cew)ou de la salinité du sol (cee)1 sur le rendement.	17
Tableau 7 : Classification de l'eau en fonction de la salinité - Source : extrait Rhoades, Oster et Schroer (FAO).....	19
Tableau 8 : Classification des eaux selon la conductivité et le SAR	20
Tableau 9 : Recommandation d'usage des eau d'irrigation , Fao Tbl 1 water quality for irrigation 1994.....	22
Tableau 10 : classe texturale, CEC et type de sol (Jasmin NEUPANE, Wenxuan GUO, 2019) 23	
Tableau 11 : taux d'infiltration en régime permanent selon le type sol tbl chap 9 water quality for irrigation 1994	24
Tableau 12 : Comparaison des eaux de la ferme avec Recommandation d'usage des eaux d'irrigation, Fao Tbl 1 water quality for irrigation 1994	30
Tableau 13 : Résultats des conductivités mesurées et des hauteurs d'eau	33
Tableau 14 : Récapitulatif de la texture et de la conductivité des sols irrigué par les forages.	35
Tableau 15 : Résumé des dispositifs de contrôle de l'écoulement (Tabl.3.4 FAO Rome 2008)	42
Tableau 16 : Efficience approximative d'application de l'irrigation pour divers systèmes ou méthodes d'irrigation au niveau de l'exploitation (Tabl.6.7 FAO Rome 2008)).	45
Tableau 17 : Classification de la vitesse du vent selon la FAO.....	45
Tableau 18 : limites critiques applicables la classification des risques d'obturation des installations d'irrigation du goutte-à-goutte en fonction de l'eau utilisée (tableau N°38 de la FAO) Bucks et Nakayama, d'après Howell et al. 1980).....	47
Tableau 19 : Dispositifs de contrôle d'écoulement de la ferme au regard des recommandations de la FAO (Tabl.3.4 FAO Rome 2008)	52

Listes des abréviations

BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières
ECe	Conductivité électrique du sol
ECw	Conductivité électrique de l'eau
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
PH	Potentiel hydrogène
PVC	PolyVinyl Chloride
PEHD	Polyéthylène haute densité
OFRAMA	Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales 5 Ontario ; Canada)
SAR	Rapport d'Adsorption du Sodium

Introduction

L'irrigation est une pratique multifactorielle où le climat l'eau le sol et les pratiques d'irrigation sont intimement liés. Le cas étudié, une ferme maraîchère à vocation sociale de 14 hectares située dans le nord de la France et relativement proche de la mer du Nord, présente un intérêt singulier pour comprendre l'importance des paramètres dont il faut tenir compte pour optimiser le rendement des cultures. Cette exploitation utilise l'eau de quatre forages pour l'irrigation de ses légumes. Au cours de l'année 2019/2020 des anomalies ont été observées sur l'aspect et la croissance de certaines plantes cultivées ainsi que sur leur environnement, pouvant traduire une forte salinité des eaux d'irrigation et/ou d'autres problèmes agronomiques.

La qualité de l'eau tout comme sa quantité disponible sont primordiaux pour le bon développement des végétaux. En effet, pour se développer, une plante, dont la teneur en eau varie de 70 à 95% de son poids total, absorbe l'eau principalement par ses racines. Ses besoins en eau varient selon l'espèce et le stade de croissance. La plante, lorsqu'elle est confrontée à des conditions environnementales défavorables manifeste des signes (flétrissement, aspect brûlé, tâches, atrophies...) qui affectent son bon développement. D'autres facteurs, comme la texture et la composition du sol entrent également en jeu dans le développement d'un végétal.

La qualité de l'eau se détermine par ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques. Elle varie selon le type et la quantité de sels dissous. Les sels contenus dans l'eau d'irrigation vont rester dans le sol après évaporation ou utilisation par les plantes. Les conséquences sur les cultures sont alors variables selon la nature du sol, le climat, le type de végétal et les modalités de gestion de l'irrigation. (FAO bulletin N°29).

Dans ce contexte, les méthodes et pratiques d'irrigation utilisées sont un facteur qui peut influencer directement sur le rendement des cultures par une meilleure utilisation de l'eau.

Contextualisation

1-Présentation de l'organisation

« La ferme des Jésuites » est située sur la commune de Grande-Synthe, dans le Nord de la France proche Dunkerque et à 3 km de la mer.

Cette ferme s'étend sur 14ha et a une activité de maraichage en serre et en plein champ. Ses cultures principales sont les tomates, les salades, les radis, les blettes et le poireau pour les cultures en serre et le poireau, la courgette, le cèleri branche, la betterave, les blettes et les radis pour le plein champ. Elle a commencé sa conversion en agriculture biologique il y a 1 an. Le chef d'exploitation est Monsieur DEMAN Jean-Roch. La Ferme distribue ses produits in situ, dans les magasins de type coopérative et via les circuits courts. Elle propose également des prestations d'entretien d'espaces verts.

Cette organisation a vocation sociale, elle emploie une soixantaine de personnes en parcours d'insertion sociale et professionnelle. Elle appartient au groupe vitamine T, leader de l'entrepreneuriat social, et vise l'insertion par l'activité économique et l'accompagnement social.

La ferme des jésuites est jumelée avec la Serre des Prés, située à Lesquin, avec laquelle elle travaille de pair. Elle joue un rôle important dans la fourniture de légumes pour la conserverie située à la Serre des Près et alimente le secteur de Lille en produits bios transformés comme des soupes ou autres préparations légumières.

Durant l'été 2020, lors de l'irrigation par aspersion, des dommages sur les légumes ont été constatés notamment le flétrissement total de certains légumes comme le cèleri branche par exemple. Les personnels ont aussi relevé des auréoles blanches sur les bâches des serres et des légumes atrophiés.

Sur ces bases d'observations, la directrice du groupe, Madame PICOTIN LO Nathalie et le chef d'exploitation DEMAN Jean-Roch ont décidé de me recruter afin d'étudier la situation.

2-Situation géographique : La ferme des Jésuites

L'exploitation agricole, d'une surface d'environ 14 hectares, se situe en Flandre française, dans le bassin versant du delta de l'Aa, en région des Hauts-de-France plus précisément dans le département du Nord, à cheval sur les communes de Mardyck et de Grande-Synthe. Ces villes font partie de la Communauté Urbaine de Dunkerque et partagent le port de Dunkerque. La Ferme se trouve à environ 21 km de l'extrémité sud-ouest de la Belgique.



Figure 1 : Carte localisation ferme des Jésuites échelle 1 :35 000

Elle est localisée à environ 3 km de de la mer du Nord et à moins de 500m de la dérivation du canal de Bourbourg. Le bassin de Mardyck fait la liaison entre la dérivation du canal de Bourbourg et le port de Dunkerque

Ses coordonnées géographiques (Mercator, EPSG3857) sont 51.0099486 de latitude et 2.272170555555554 de longitude ; Elle est située entre une zone industrielle et la zone urbaine de Grande-Synthe. (Figure 1)

L'altitude du terrain s'élève à près de 3 mètres au-dessus du niveau de la mer (carte topographique Institut national de l'information géographique et forestière).

3-Contexte climatologique

1-Au niveau régional et du bassin

A l'Ouest de la région Nord le climat est de type océanique. La proximité de la côte se traduit par de faibles amplitudes thermiques, les hivers sont doux avec peu d'épisodes neigeux et des étés plutôt frais. La température annuelle est modérée (10°C, source météo France).

La pluviométrie correspond au climat tempéré océanique, les pluies se répartissent de façon régulière sur toute l'année (167 jours/an), elles sont globalement peu abondantes (en moyenne de 700mm/an). En hiver, en automne et au printemps, les précipitations se présentent sous la forme de pluies fines et régulières.

L'analyse des précipitations montre cependant un fort déficit des pluies au printemps et au début de l'été, période correspondant à la forte activité végétative. En été, les précipitations sont courtes et abondantes et se présentent souvent sous forme d'orage. (Directions Départementales des Territoires et de la Mer du Pas-de-Calais et du Nord et Communauté Urbaine de Dunkerque).

Le littoral bénéficie en général d'une pluviométrie plus faible que dans les terres et d'un ensoleillement plus élevé (environ 1700heures/an).

2-Au niveau local

Plus localement le diagramme ombrométrique (Figure 2), montre que la ville de Grande-Synthe compte 727 mm/an de pluie par an. Le mois de décembre est le plus humide avec 72 mm de pluie. On observe que les mois correspondant au printemps jusqu'au début de l'été sont les moins pluvieux avec les mois de mars et avril qui présentent les plus faibles précipitations avec 50 mm.

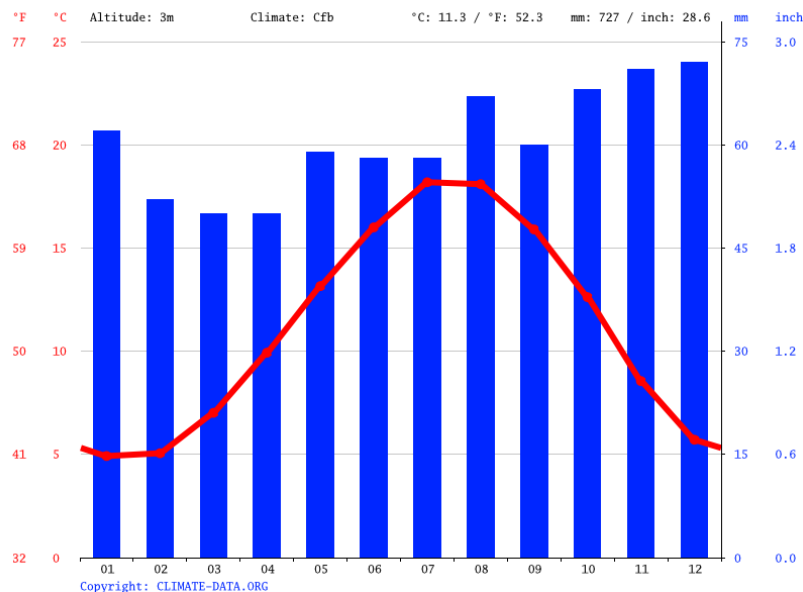


Figure 2 : Diagramme ombrométrique climat data

Les saisonnalités sont bien marquées avec des températures qui sont les plus hautes au mois de juillet avec 18.2°C en moyenne et les plus basses en janvier avec 4.9°C de moyenne.

D'après la carte climatique de Koppen-Geiger, il s'agit d'un climat tempéré avec un climat humide et un été tempéré. (André Hufty 2001) .

En ce qui concerne la vitesse des vents, Dunkerque enregistre une moyenne annuelle de 11kts, soit 5,65 m/s.

4-Contexte Géologique

1-La géologie et géomorphologique

Le territoire étudié se situe dans le Flandrien, formation géologique datant du Quaternaire. On ne retrouve pas de traces consistantes des ères primaires et secondaires. Les niveaux du sous-sol se sont constitués à l'ère tertiaire. Le quaternaire a modifié en très grande partie le profil géologique de la plaine, laissant quelques traces éparses du tertiaire.

Les formations du tertiaire et du quaternaire sont liées à plusieurs invasions de la mer (lors de l'Eocène au Tertiaire et de multiples fois lors du Quaternaire), ainsi qu'aux régressions (lors de l'Oligocène au tertiaire notamment). (SAGE : delta de l'Aa). Notons qu'en bordure de mer, après les multiples invasions par les eaux marines, la plaine a été asséchée par l'homme

au Moyen Âge. (Encyclopédie Universaelis) ; Les études et prélèvements effectués par le Bureau de recherche géologique et minières (BRGM) lors du diagnostic du réseau sur le forage de Bourbourg (indice BSS00035X0185) révèlent que le flandrien local comprend des dépôts récents postérieurs au troisième siècle après JC comme illustré ci-dessous (Figure 3).

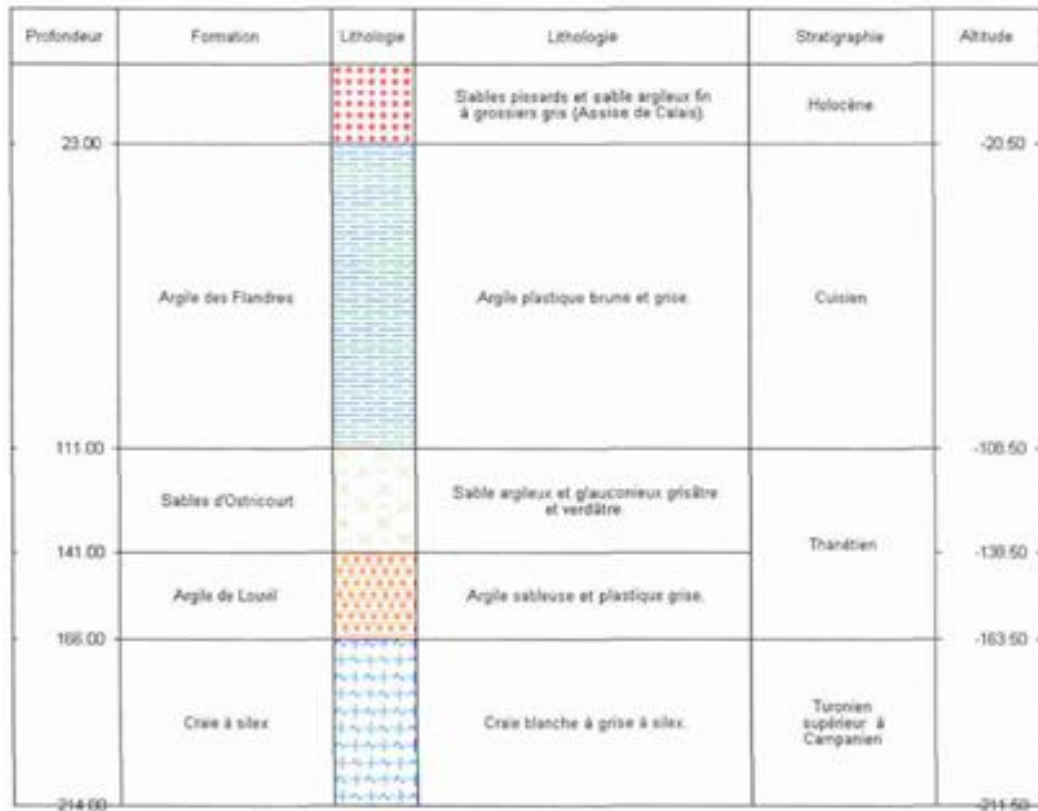


Figure 3 : Log schématiques des formations géologiques (open data-brgm)

2-Géologie localisée proche de la Ferme des Jésuites

Le Flandrien autour de Dunkerque est formé de différents dépôts

(tableau 1)

Dunes et cordons littoraux sableux		Lors de l'instauration de la barrière côtière au Moyen âge
Assises de Dunkerque	Limono-sableux et limono argileux marins	Après le IIIème s ap JC
Tourbe de surface		Lors de la période régressive - Début du Flandrien supérieur
Assises de Calais	Sables sur l'argile de l'Yprésien	Flandrien moyen

Tableau 1 : Formations du Flandrien autour de Dunkerque

Des sables Pissards et des sables argileux composent les assises de Dunkerque et de Calais. Plus en détail, il s'agit de dépôts limono-sableux et limono-argileux marins ou « **assises de Dunkerque** » (Dubois 1924) (Figure 4).

Identifiant national de l'ouvrage

BSS000ACSA

Ancien code - avant 2017
00036X0086/SJ

Log géologique numérisé

Nombre de niveaux : 3

Profondeur	Lithologie	Stratigraphie
De 0 à 0,35 m	SUPERF. TERRE	QUATERNAIRE
De 0,35 à 1,75 m	LIMON, SABLEUX; ARGILE	FLANDRIEN PLAGE
De 1,75 à 8,7 m	SABLE, FIN GRIS LIMONEUX	FLANDRIEN PLAGE

Figure 4 : Données du forage BSS000ACSA se trouvant à 200 mètres au Nord-Est de la Ferme. (brgm)

5-Hydrogéologie

La plaine maritime de Flandres est une zone topographique basse dont le niveau se situe entre 2 et 5m au-dessus du niveau de la mer. Des endiguements de marais maritimes et estuariens ont permis une poldérisation des territoires sur la mer (Goeldner-Gianella, 2007, Verger, 2011). De ce fait, les eaux en provenance de la plaine ou des bassins versants supérieurs s'écoulent en mer naturellement à marée basse. Un système de canaux de drainage d'irrigation et de fossés, les « watergang », a été mis en place afin de drainer l'eau.

Trois aquifères sont présents : « l'aquifère des sables de Flandre » appelé aussi « sables Pissard » dont l'imperméabilité repose principalement sur les argiles épaisses de l'Yprésien, puis l'aquifère des sables du landénien et enfin celui constitué par la nappe de craie sénonienne.

Un aquifère est "une couche de terrain ou une roche, dont les caractéristiques (fissuration, perméabilité) permettent de stocker l'eau et de la laisser circuler librement. La nappe d'eau qu'il contient est susceptible d'alimenter des ouvrages de production d'eau potable ou d'être utilisée pour l'irrigation : puits, forages et captages." (Brgm 2010).

La nappe superficielle des sables Pissard est en contact avec la mer. Son eau, d'une nappe fine d'eau douce en surface, est saumâtre et sa qualité médiocre. En effet, les eaux de mer, plus denses que les eaux douces, s'insèrent sous le niveau de l'eau douce et tendent à remonter dans les terres en formant un biseau comme on peut le voir sur la coupe hydrogéologique. (figure 7)

Cette nappe est actuellement utilisée pour l'agriculture (Brgm 2010), comme à la Ferme Des Jésuites. Si l'on pompe de manière importante dans cette nappe, on peut entraîner une remontée des eaux salines. L'étude du BRGM laisse à penser que le niveau de la nappe fluctue uniquement selon les variations saisonnières au-delà d'une distance de 3-4km du littoral (BIZE - CORREGE burgeap- S.RAMON brgm). La Ferme des Jésuites semble se situer à une distance suffisante pour ne pas être influencée par les marées.

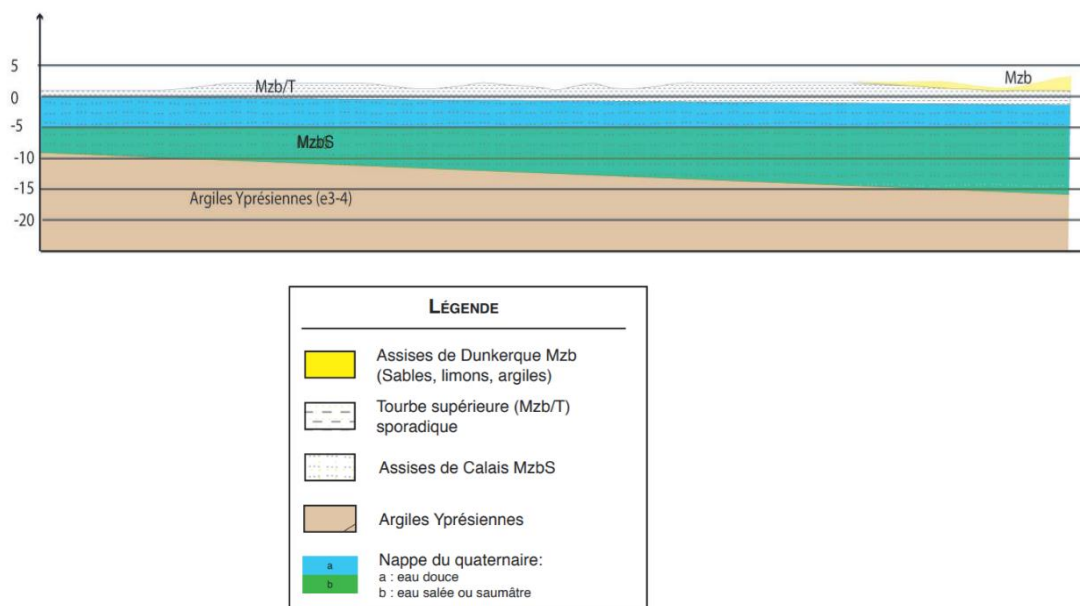


Figure 5 : Coupe hydrogéologique schématique (-nord gov.fr)

La côte du littoral peut aussi présenter un biseau d'eau salée. Globalement, le sens d'écoulement s'oriente en direction de la mer, vers le Nord. La vitesse d'écoulement reste très lente (le gradient hydraulique est inférieur à 0,1%) ; (BRGM). L'agriculture s'approvisionne en eau principalement dans les eaux des watergangs.

6-Description de la zone d'étude

1 Présentation de la zone d'étude

La ferme s'étend sur 14 hectares répartis en plusieurs champs aux alentours de la ferme. Seuls environ 6 hectares sont exploités pleinement en maraichage.

Les terres sont cultivées en plein champs pour la majorité. Deux groupements de serres se situent également au Nord-Est, à l'Est de l'exploitation. Ces serres sont utilisées pour les cultures à forte valeur ajoutée, elles occupent une surface de 3500m² pour le groupement Est et de 1600 m² pour le groupement Nord.



Figure 6 : Carte de la ferme avec forages et serres échelle 1 :4000

2 Description des forages

Les forages sont au nombre de cinq sur l'exploitation. Quatre d'entre eux permettent d'irriguer les cultures : « DLF » au sud, « Berck » au centre de la ferme, « Serre 10 » au Nord, à proximité du groupement de serres, et « Priester » à l'Ouest qui, lui, se trouve à proximité de l'autre groupement de serres. Le cinquième forage est utilisé pour des activités de nettoyage.

Le forage de Priester irrigue la zone Est de l'exploitation tandis que le forage DLF celle de la partie Sud (proche de la route sur la figure). Le forage Berck irrigue les parties centrales ainsi que la parcelle Ouest.

Enfin le forage Serre 10 permet d'irriguer la partie Nord. Ces informations sont reprises et complétées dans le tableau suivant :

Forage	Profondeur (en m)	Altitude (en m)	Zones d'Irrigation	Hauteur de nappe maximum en m au 31/03
Berck	9.40	2.98	Parcelle centre et Ouest	1.56
DLF	8.60	2.99	Parcelle Sud	1.46
Priester	9.40	2.40	Parcelle Est + serre Est	0.91
Serre 10	10.35	2.77	Parcelle Nord + Serre Nord	1.38
Ferme	6.90	3.20	X	X

Tableau 2 : Description des paramètres des forages

Les hauteurs de nappe, ainsi que les altitudes sont cohérentes avec la littérature étudiée (environ 3m selon la carte topographiques). Seule l'altitude de Priester diffère car le forage se trouve proche d'une descente de Wateringue. (Annexe 1 photo du forage).

Les méthodes d'irrigation

Deux méthodes d'irrigation sous pression sont pratiquées sur l'exploitation. L'irrigation par aspersion en plein champ et l'irrigation par goutte à goutte dans les serres. Elles seront détaillées dans la partie concernant l'irrigation.

Les profondeurs de forage comprises entre 6.90 et 10.50 mètres correspondent à une zone sableuse l'aquifère (t) de type nappe libre. Le toit de la nappe est compris entre 1 à 1.5 mètre au-dessus de la surface, ce qui correspond aux données de littérature.

Méthodologie

Suite aux observations du chef de culture concernant des pertes de rendement sur l'exploitation, un travail d'analyse autour de la qualité des eaux d'irrigation a été amorcé. Ce travail se limite à l'étude contextualisée de la qualité des eaux et des pratiques d'irrigation. Il ne comprend pas l'ensemble des paramètres qui peuvent influencer sur le rendement des légumes. Il s'inscrit dans le cadre d'un stage effectué in situ. La pratique et l'observation sur le terrain ont permis de mieux appréhender le contexte et les limites de l'étude.

L'objectif de ce mémoire est d'étudier les eaux et les pratiques d'irrigation puis d'évaluer leur impact sur le rendement et de proposer des pistes d'action d'amélioration.

Afin de répondre au problème des légumes endommagés nous avons étudié le contexte climatologique et géologique dans lequel l'exploitation développe son activité de maraichage. En parallèle, nous avons effectué des observations de terrain sur les pratiques et modalités d'irrigation et effectué des analyses d'eau et de sol en laboratoire « Galys Eurofins ».

Ainsi, des tests pratiques ont pu être effectués comme le Test de Christiansen et les analyses conductimétriques. Notons que l'étude relative à la qualité des eaux se fera uniquement sur les données des analyses de laboratoire. Lors des tests d'uniformité d'irrigation les moyens techniques et financiers de la ferme représentent nos principales contraintes.

Ce travail comprend deux parties respectivement liées à la qualité des eaux d'irrigation (avec une attention particulière portée sur la salinité) et aux pratiques d'irrigation et de l'efficacité de ces dernières.

Chaque partie présente une revue de littérature qui nous permettra d'exploiter les éléments nécessaires à la compréhension et à l'analyse des résultats. Les données de nos tests terrain viendront étoffer nos données.

Un fois l'analyse des tests réalisée, nous discuterons des résultats, en les comparant avec la littérature étudiée pour évaluer l'influence sur les légumes. Ces résultats nous amèneront à une discussion autour de l'état général en tenant compte des différents paramètres et facteurs étudiés, le tout mis en lien avec les moyens de la ferme. Ceci permettra alors de proposer des pistes de gestion.

Partie 1 : Les eaux d'irrigation à destination des cultures maraichères

Nous avons demandé et mené des analyses concernant l'eau d'irrigation et complété notre étude par des analyses de texture et de conductivité des sols (annexe 2 et 3) afin de pouvoir effectuer des comparaisons avec les résultats d'études menées antérieurement et repris dans la littérature.

1.1 Résultats d'Analyses sur le site

1.1.1 Eau des forages

Les résultats obtenus sur le site de la ferme sont les suivants :

Eléments dosés au 28/05/2021 - mg/L sauf conductivité Ms/cm	Priester	DLF	Berck	Serre 10
PH	7,4	7,1	7,1	7,4
Conductivité à 25°	3,808	1,702	1,725	5,152
Ca++	326,7	336,9	325,6	189,8
Mg++	58,8	17,7	23,9	103,7
Na+	573,1	84,7	100,1	943,6
K+	40,6	6,4	51	73,5
Cl-	1064,1	240,3	297,7	1495,6
SO4	141,9	108,9	104,5	132,2
H2PO4	0,4	0,2	0,3	0,7
NO3	0,1	0,1	0,1	0,1
HCO3	503,7	523,4	550,7	642,5
Nh4+	1,1	0,5	1,1	2
Oligo- éléments				
Fe	1,09	2,48	2,67	0,83
Mn	0,12	0,19	0,21	0,05
Cu	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Bore (B)	0,42	0,19	0,27	0,87
TDS	2710.5	1319.1	1455	3583.7

Tableau 3 : Résultats d'analyses chimiques des eaux de forage

1.1.2 Sol de la ferme

Les analyses du sol ont révélé la texture et la conductivité

Éléments (%)	Priester	DLF	Berck	Serre 10
Argile	8,76	19,14	6,07	18,34
Limons fins	4,00	7,69	2,64	9,03
Limons grossiers	5,81	10,00	5,58	12,29
Sables fins	42,40	20,39	42,95	33,15
Sables Grossiers	34,39	38,95	40,50	17,53
Calcaires total	2,57	0,89	0,91	5,25
Carbone organique	0,76	1,08	0,50	1,62
Matières organiques	1,31	1,86	0,86	2,80
Conductivité ms/m	140	19	13	120

Tableau 4 : Résultats d'analyses granulométriques et de conductivité des sols et de la ferme

1.1.3 Légumes

En ce qui concerne les analyses sur les plantes, les constats ont été reportés par les responsables de l'exploitation car les observations s'étalent sur toute la période de maraîchage. Ils se résument à un aspect flétri et une faible croissance des légumes. En plein champs, des taches ou traces de brûlures sont apparues sur les feuilles, notamment sur le céleri branche.

1.2 Littérature

1.2.1 lien eaux plantes

a) Généralités sur le fonctionnement de la plante

Pour se développer, les plantes évoluent entre deux milieux, le sol et l'atmosphère. Elles absorbent du sol l'eau et des ions minéraux via leurs racines et reçoivent de l'atmosphère l'énergie de la lumière et le dioxyde de carbone (CO₂) via leurs feuilles (voire par leurs tiges). (J.-C. LABERCHE, 2010). Leurs besoins en eau et nutriments varient, entre autres, selon leur stade de croissance, le type de plante notamment selon la profondeur de leurs racines (FAO).

b) Plantes et stress hydrique

Le stress hydrique de la plante, appelé également stress osmotique, est subi lorsque « la quantité d'eau transpirée par la plante est supérieure à la quantité qu'elle absorbe ». (René Heller, Robert Esnault, Claude Lance 1993). Plusieurs facteurs influent sur l'absorption de l'eau par la plante, il s'agit non seulement de la disponibilité de l'eau dans le sol, mais aussi « de l'importance du développement de l'appareil racinaire et du niveau de transpiration des parties aériennes de la plante » (FAO Bulletin N°29 1985 réimprimé 1994). Les principales raisons d'un stress hydrique proviennent, entre autres, d'un manque d'eau dans le sol. La diminution du flux hydrique modifie automatiquement le potentiel hydrique foliaire et la fermeture des stomates (Benton Jones, 1999). Un déficit hydrique trop important génère un flétrissement de la plante.

Globalement, l'activité physiologique baisse lorsque la teneur en eau diminue (R. HELLER, R. ESNAULT & C. LANCE, 1993). Des expériences menées sur des tomates (TÜZEL ; 1994) montrent qu'une irrigation insuffisante peut causer un stress hydrique et influencer sur le développement à la fois des racines et du fruit. Un des éléments pris en compte est la profondeur effective d'enracinement car c'est via les racines que la plante absorbe environ 80 % de ses besoins en eau. «La profondeur d'enracinement dépend de la physiologie de la plante, du type de sol et de la disponibilité en eau (mode d'irrigation). Des valeurs indicatives sont données dans le Bulletin d'irrigation et de drainage de la FAO n° 24 (1985 réimprimé 1994). En général, les légumes (pois, tomates, pommes de terre, oignons, concombre, etc.) ont des

racines peu profondes, de l'ordre de 50 à 60 cm. Il est aussi observé que l'enracinement variera selon l'âge de la plante. Le tableau ci-dessous présente la profondeur des racines selon la plante, plus les racines sont superficielles, plus l'irrigation doit être fréquente mais peu abondante (OFRAMA).

Superficielles (jusqu'à 30 cm de profondeur)	Intermédiaires (entre 30 et 60 cm de profondeur)	Profondes (supérieures à 60 cm de profondeur)
Céleri ,laitue, oignon, pomme de terre, radis	brocoli, carotte, chou, chou-fleur, concombre, courgette, haricot mange-tout, poivron, tomate	Asperge, citrouille, courge d'hiver, maïs sucré, , panais

Tableau 5 : Classement des légumes en fonction de la profondeur de leurs racines (oframa)

c) Plantes et salinité

Il faut noter que les plantes répondent différemment au sel, selon l'espèce, la variété, le stade de développement, les conditions de cultures et la concentration de sel. (MALLEK-MAALE et al., 1998).

La physiologie d'un végétal peut être impactée de façon directe ou indirecte par le stress salin, il peut s'agir d'un changement de métabolisme et ou d'une réduction de croissance. (AJMAL KHAN et al., 2000 ; GARG et al., 2002). Globalement, il a été montré que le potentiel hydrique diminue drastiquement en présence de stress salin (KINET et al., 1998). Plusieurs exemples dans la littérature montrent les effets du stress salin sur la réduction de la croissance des plantes, comme sur la tomate (ROMERO-ARANDA et al.,2001), la betterave à sucre (GHOULAM et al.,2002) et le coton (MELONI et al.,2001) En résumé, les effets du sel et leurs conséquences sur la plante sont complexes, ils comprennent le déficit hydrique (DESCLOS et al.,2008), le manque et le déséquilibre de nutrition (CHEN et al.,2007) et une toxicité par les ions (PANG et al.,2007). La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de sodium, particulièrement le NaCl (GREGORY., 2020).

LA FAO (Bulletin N°29), classe le rendement des légumes selon leur tolérance à la salinité de l'eau d'irrigation (ce_w) ou de la salinité du sol (ce_e)¹

Tableau 6 : classement des légumes selon leur tolérance à la salinité extrait (FAO bulletin 29). Influence de la salinité de l'eau d'irrigation (cew) ou de la salinité du sol (cee)¹ sur le rendement.

CULTURES	100%		90%		75%		50%		0%	
	« maximum » ³									
	CE _e	CE _w	CE _e	CE _w	CE _e	CE _w	CE _e	CE _w	CE _e	CE _w
CULTURES LÉGUMIÈRES										
Courgette (Courgette)	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Betterave rouge ⁴	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Courge, pétoncle	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Brocoli	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomate	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Concombre	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Épinards	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Céleri	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Chou	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Pomme de terre	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Patate douce	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1
Poivre	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Laitue	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Radis	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Oignon	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Carotte	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Haricot	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Navet	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0
CULTURES FRUITIÈRES										
Raisin	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Mûre	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Boysenberry (Rubus ursinus)	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Fraise	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7

¹ Adapté de Maas et Hoffman (1977) et Maas (1984). Ces données ne devraient servir que de guide pour les tolérances relatives entre les cultures. Les tolérances absolues varient en fonction du climat, des conditions du sol et des pratiques culturales. Dans les sols gypsifères, les plantes toléreront une salinité du sol (ECe) supérieure d'environ 2 dS/m à celle indiquée, mais la salinité de l'eau (ECw) restera la même que celle indiquée dans ce tableau.

² ECe signifie la salinité moyenne de la zone racinaire mesurée par la conductivité électrique de l'extrait de saturation du sol, rapportée en deciSiemens par mètre (dS/m) à 25°C. ECw signifie conductivité électrique de l'eau d'irrigation en deciSiemens par mètre (dS/m). La relation entre la salinité du sol et la salinité de l'eau (ECe = 1,5 ECw) suppose une fraction de lixiviation de 15 à 20 % et un modèle d'utilisation de l'eau de 40 à 30-20-10 % pour les quartiers supérieur à inférieur de la zone racinaire. Ces hypothèses ont été utilisées pour élaborer les lignes directrices du tableau 1.

³ Le potentiel de rendement nul ou eCe maximal indique la salinité théorique du sol (ECE) à laquelle la croissance des cultures cesse.

⁴ Les betteraves sont plus sensibles pendant la germination ; L'ECE ne doit pas dépasser 3 dS/m dans la zone

d) Le cas du bore

Il faut aussi considérer les traces d'autres sels notamment du bore qui peuvent être toxiques à faible dose. (GREGORY., 2005). Le bore, comme mentionné plus loin lors des détails sur les caractéristiques physico-chimiques, est indispensable pour les plantes mais devient toxique à haute dose. Son degré de toxicité peut se mesurer à l'aide du pH : Jusqu'au pH 6,4 l'absorption de bore par les plantes ne montre pas de différence mais à pH 7,4 l'absorption diminue de 2,5 fois PETERSON et NEWMAN (1976).

1.2.2 Qualité de l'eau et irrigation

La qualité d'une eau est fonction de son usage. Il n'existe pas de références normatives sur la qualité de l'eau d'irrigation pour l'agriculture au niveau européen ou français.

Les agences de l'Eau et les directions régionales de l'environnement (affiliée au ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie) ont établi un Système d'Évaluation de la *Qualité de l'eau* (SEQ-eau) pour les eaux de surfaces et pour les eaux souterraines. Il se base sur les recommandations du ministère de l'agriculture du Canada. Le SEQ-eau est en cohérence avec l'objectif généralisé de la directive Cadre européenne qui vise un bon état chimique et écologique de l'eau.

En revanche, des lignes directrices existent pour aider à évaluer la qualité de l'eau d'irrigation à des fins agricoles (Bulletin FAO 1985 réimprimé en 1994). Il faut préciser que ces dernières ne sont pas totalement satisfaisantes car les conditions sur le terrain sont toutes spécifiques. Les études des chercheurs (R.S. Ayers et D.W. Westcot 1985) se concentrent sur les caractéristiques chimiques et physiques. Les caractéristiques biologiques, entre autres, ne sont pas estimées comme étant de première importance.

a) Caractéristiques physico-chimiques

Le Bulletin d'irrigation et de drainage N° 29 de la FAO (FAO 1976e révision 1) a élaboré des critères permettant d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation.

b) Classification des eaux d'irrigation

Les eaux souterraines peuvent être classées grâce à différentes méthodes, on utilisera ici le diagramme de Piper (1944) et celui de Schoeller-Berkaloff (1962) qui représentent graphiquement la composition chimique des eaux. Ces diagrammes permettent une analyse rapide des faciès hydro chimiques des eaux souterraines.

c) Diagramme de PIPER

Il représente l'analyse de l'eau en trois points, dans les triangles de base les anions, les cations et le dernier point situé dans le losange permet de caractériser l'eau en fonction, des teneurs en Na⁺, K, Ca + Mg, CO₃ + HC0₃ et Cl +S0₄.

d) Diagramme de SCHOELLER et BERKALOFF

Cette figure « représente chaque analyse par une ligne brisée, profil caractéristique de la concentration de chaque ion majeur en solution dans l'eau, les six échelles logarithmiques à égale distance les unes des autres, étant décalées de façon à aligner les valeurs unitaires des milliéquivalents des différents anions et cations » (LOUVRIER 1971 BRGM).

e) Notion de salinité

La salinité correspond à la masse de sels, composés ioniques constitués de cations liés à des anions, dissous dans 1 L d'eau. Elle provient principalement des ions Sodium Na^+ et Chlorure Cl^- (BARBIERO, 1994) mais aussi des sels de magnésium (Mg^{2+}), de potassium (K^+) de soufre (SO_4^{2-}) et de bicarbonates. (Paul Emile, 2003).

A noter que le chlorure peut être toxique sur la partie foliaire lors du contact avec l'eau chargée en chlorures (MAAS 1984 FAO N°29).

Le niveau de salinité se mesure par la conductivité électrique (Échelle pratique de salinité 1978 (practical salinity scale). Elle permet d'apprécier la teneur de l'eau en ions. Une conductivité élevée indique une concentration en ions élevée. L'instrument utilisé ici est le conductimètre (KLOPPMANN W., BOURHANE A., SCHOMBURGK S. 2010).

Le tableau ci-après présente la classification de l'eau en fonction de la salinité

	EC dS/m	TDS mg/litre
Eau non saline	< 0,7	< 500
Eau saline	0,7-42	500-30 000
Eau légèrement saline	0,7-3,0	500-2 000
Eau modérément saline	3,0-6,0	2 000-4 000
Eau très saline	> 6,0	> 4 000
Eau très fortement saline	> 14,0	> 9 000
Saumure	> 42	> 30 000

Tableau 7 : Classification de l'eau en fonction de la salinité - Source : extrait Rhoades, Oster et Schroer (FAO)

f) *Diagramme de Wilcox*

L'analyse des eaux selon le pourcentage de sodium et la conductivité nous permet, à l'aide du diagramme de WILCOX (1955), de déterminer le risque de salinité des eaux selon différentes classes d'eau. Ce diagramme permet de classer les eaux d'irrigation selon ces 2 paramètres*. Wilcox classifie des niveaux de qualité des eaux destinées à l'irrigation selon la conductivité électrique en micromhos/cm et le SAR (Tableau 8) :

Conductivité et niveau de salinité de l'eau	Aptitude de l'eau à l'irrigation	SAR	Charge en sodium de l'eau	Aptitude de l'eau à l'irrigation
C1 faible	utilisable pour la plupart des sols et des types de culture avec pratique de lessivage habituel	S1	faible	Utilisable sur tous les sols sans danger pour les cultures. Vigilance cependant pour les cultures sensibles au sodium (comme l'avocat)
C2 moyen	Utilisable pour les plantes qui ont une tolérance modérée au sel si un lessivage modéré est pratiqué. Pas de nécessité de contrôle de la salinité	S2	moyenne	Utilisable sur sols à texture grossière présentant une bonne perméabilité
C3 fort	Non utilisable sur les sols ayant un drainage déficient, nécessité d'un contrôle de salinité, sélectionner des plantes tolérantes au sel.	S3	Elevée	Peut produire des niveaux d'échange de sodium dangereux dans la plupart des sols. Nécessité d'une gestion des sols, d'un bon drainage et de beaucoup de lessivage
C4 très fort	Ne convient pas en conditions normales d'irrigation mais peut être utilisé sous certaines conditions : le sol doit être perméable, le drainage adéquat, l'eau doit être appliquée en grande quantité pour fournir un lessivage efficace, les plantes doivent avoir une bonne résistance au sel	S4	Très élevée	Non satisfaisant, sauf si le taux de salinité est bas, voire moyen avec un niveau de calcium. Cela rend l'utilisation de l'eau possible (le sol peut parfois dissoudre suffisamment de calcium pour diminuer le danger lié au sodium) *

*comme la combinaison de C1S3 ou C1S4

Tableau 8 : Classification des eaux selon la conductivité et le SAR

g) Le Taux d'Adsorption du Sodium (SAR),

Le SAR s'utilise pour déterminer le risque d'imperméabilisation du sol, il mesure le risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation.

Sa formule est $SAR = Na / \sqrt{1/2(Ca+Mg)}$ (Exprimée en meq/L).

C'est la « Proportion relative de cations sodium (Na+) à d'autres cations (Hergert, Gary W). Le sodium est important pour maintenir la perméabilité du sol. Cependant, sa structure peut être dégradée lorsque son apport est trop important. L'ion Sodium se substitue au Calcium et au Magnésium (ions alcalino-terreux) et cela diminue la perméabilité, le sol devient dur et compact, et entraîne le flétrissement et l'asphyxie des plantes (R.S. Ayers D.W.; Westcot 1985). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé.

h) Les carbonates et bicarbonates

Une teneur élevée dans l'eau des substances alcalines, les carbonates (CO₃=) et les bicarbonates (HCO₃-) a pour conséquence d'élever le risque de sodium au-delà du niveau calculé pour le SAR. Une teneur en bicarbonate de l'eau appliquée au moyen d'asperseurs pose le problème de dépôts blancs sur les fruits et les feuilles (FAO 1985).

i) Le Potentiel Hydrogène (pH)

Le pH indique le niveau acido-basique de l'eau. H+ montre la concentration en ions hydrogènes. Plus les ions H+ sont concentrés, moins le PH est élevé. Une eau neutre a une solution de pH= 7, une eau basique aura un PH supérieur à 7 et, inversement, une solution acide aura un PH inférieur à 7 ;

j) Le calcium et le magnésium

Ils indiquent le niveau de dureté de l'eau. Ils sont à l'origine des formations de calcaire. A teneur égale en magnésium, des sols sableux soumis à lessivage risquent davantage de donner lieu à une carence en magnésium si leur pH est faible (Chapman 1973).

k) Éléments azotés

Le nitrate (HCO₃-) et l'ammonium (N-NH₄)

Ces éléments sont absorbés principalement sous forme moléculaire ionisée. Le HCO₃ constitue la source d'azote majoritaire dans les sols (Marschner, 1995).

l) Le bore (mg/L)

Le bore (B) est un métalloïde, il est un des composants indispensables pour les de végétaux à hauteur de 0,2mg/l. À haute dose, 1 à 2 mg/l, le bore devient phytotoxique et un contaminant indésirable des eaux potables et d'irrigation, il peut tuer les plantes (FAO). Les carences en bore s'observent surtout dans les sols alcalins ou sur les collines sablonneuses. Les symptômes de carence en bore varient énormément d'une culture à l'autre (OFRAMA).

m) Autres Oligo-éléments

Un certain nombre d'oligo-éléments, en plus du sodium, du chlorure et du bore, sont toxiques pour les plantes à très faibles concentration, comme le Cuivre, le Fer, le Manganèse et le Zinc ou encore le sélénium.

Le tableau ci-dessous récapitule les recommandations de la FAO selon la qualité de l'eau d'irrigation ainsi que la méthode d'irrigation pratiquée :

Problème d'irrigation potentiel	Unités	Degré de restriction d'utilisation		
		Rien	Légère à modérée	Sévère
CE_w	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Toxicité spécifique (affecte les cultures sensibles)				
Sodium (Na)⁴				
arrosage superficiel		< 3	3 – 9	> 9
arrosage par aspersion	meq/L	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)⁴				
arrosage superficiel	meq/L	< 4	4 – 10	> 10
arrosage par aspersion	meq/L	< 3	> 3	
Bore (B)⁵	mg/l	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3.0
Azote (NO₃ - N)⁶	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO₃)				
(arrosage aérien uniquement)	meq/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8.5
pH		Plage normale 6,5 – 8,4		

Tableau 9 : Recommandation d'usage des eau d'irrigation , Fao Tbl 1 water quality for irrigation 1994

1.2.3 Aspects relatifs à la qualité du sol et évaluation de la qualité de l'eau

« Le sol fonctionne comme un milieu pour la croissance des plantes, un régulateur du débit d'eau. C'est une entité dynamique où des interactions complexes se produisent entre ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (...). Texture du sol, matière organique, le contenu, la conductivité électrique apparente et les propriétés biologiques sont des propriétés relativement stables qui sont généralement prises en compte pour la gestion spécifique au site de champs » (Jasmin NEUPANE, Wenxuan GUO, 2019)

a) La texture

La classe texturale du sol définit les différents types de sol texture (Thi Sn Tran, Irda (CRAAQ, 2003) comme suit

Classe texturale	Type de sol	Taille des particules et particularité
Sables	Léger	grande taille (diamètre <2mm), Retiennent peu l'eau, leurs éléments sont grossiers.
Loams	Moyen	< 2 µm [0,002 mm], stockent davantage que les sables. Ils sont peu poreux.
Argile	Lourd	taille moyenne, entre 2 et 50 µm.

Tableau 10 : classe texturale, CEC et type de sol (Jasmin NEUPANE, Wenxuan GUO, 2019)

La texture du sol affecte la taille des pores et la porosité des sols. Elle influe sur la variabilité de la disponibilité en eau des cultures (Jasmin NEUPANE, Wenxuan GUO, 2019). « A profondeurs utiles égales, les sols à texture sableuse ont un plus faible réservoir que les sols à texture limono argileuse ». JAMAGNE et BETREMIEUX, 1992). A noter que, les sables, mélangés au limon et à l'argile présentent un risque de compaction. (JAMAGNE et BETREMIEUX, 1992).

b) L'infiltration

L'infiltration de l'eau dépend de la qualité du sol, il est mesuré par le taux d'infiltration, à savoir la vitesse que prend l'eau pour entrer dans le sol en une heure (hauteur d'infiltration en une heure). Un sol limoneux sableux a un taux d'infiltration qui se situe entre 20 et 30 mm/heure.

Type de sol	Taux d'infiltration en régime permanent (mm/heure)
sable	moins que 30
limon sableux	20-30
limon	10-20
limon argileux	5-10
argile	1-5

Tableau 11 : taux d'infiltration en régime permanent selon le type sol tbl chap 9 water quality for irrigation 1994

c) La salinité du sol

La salinité est mesurée avec la conductivité (à 25°) en mmhos/cm (LALLEMAND-BARRES 1980). Les sols sont considérés comme salins lorsqu'ils ont une conductivité électrique de l'extrait de sol saturé supérieure à 4 dS/m à 25°C (Richards 1954). La conductivité électrique apparente du sol dépend de la salinité du sol, de sa texture, de sa densité apparente, de sa concentration en ions, du type et de la quantité d'argile, de l'épaisseur de la couche arable et de sa teneur en eau. (FAO N°29 et Jasmin NEUPANE, Wenxuan GUO, 2019).

Notons que la FAO utilise le rapport 1,5 pour obtenir la salinité du sol (Ece) à partir de de l'eau d'irrigation (E_{cw}).

d) Risque d'accumulation de sels dans le sol et lessivage

Plusieurs facteurs peuvent engendrer une salinisation des sols, il peut s'agir « d'une utilisation d'une eau de qualité mauvaise, d'un drainage non efficace, d'un manque de lessivage, d'un taux important d'évaporation, de remontées du niveau des nappes » (LALLEMAND –BARRES 1980).

Dans le cas d'eau d'irrigation salée, le lessivage est préconisé, notamment pour le goutte à goutte car il peut éviter l'accumulation du sel dans le sol (Hamdy 2001a). Divers auteurs avancent qu'un lessivage espacé est préférable à un lessivage systématique car il peut provoquer un engorgement et asphyxier les cultures. (CRUESI, 1970). Il est recommandé de lessiver lorsque les pertes par évapotranspiration sont faibles (HAMDY, 2001a).

1.3 Etude de la qualité des eaux d'irrigation de la ferme

Rappelons que l'eau d'irrigation provient de la nappe superficielle des formations quaternaires composés de sables pissards. Cette nappe renferme de l'eau saumâtre surmontée d'une mince nappe d'eau douce de qualité médiocre et très contaminable. « Si l'on pompe de manière importante dans cette nappe, on peut entraîner une remontée des eaux salines. » (Etudes d'impact p6, service de l'état dans le Nord - 2018)

L'étude des eaux reprend les paramètres évoqués lors de la revue de littérature.

Dans un premier temps nous allons catégoriser la nature des eaux et leur charge avant irrigation et les comparer avec les « normes d'irrigation » reprises dans les différentes littératures.

Nous présenterons leurs aptitudes à irriguer.

Les propositions de gestion se feront lors de la discussion en même temps que la partie irrigation.

1.3.1 Catégorisation des eaux

Afin de faciliter l'étude des analyses nous avons repris ces derniers avec des diagrammes énoncés dans la littérature étudiée.

Les diagrammes permettent d'étudier leur nature et leur concentration respective.

a) Diagramme de piper

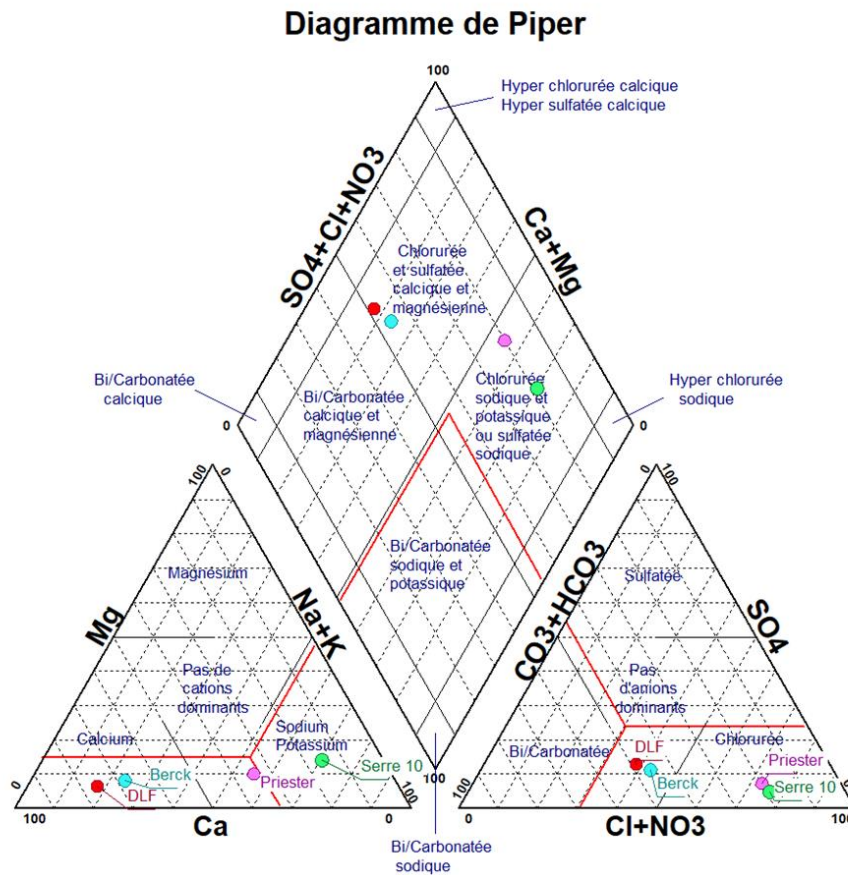


Figure 6 : Diagramme de Piper reprenant les eaux d'irrigation – logiciel Diagramme univ. Avignon

Le diagramme nous informe que les eaux de DLF et Berck sont plutôt chlorurées calcites, à la frontière avec les eaux bicarbonatées calcites. Les proportions des ions sont relativement pour ces deux forages. Le cation dominant reste le calcium (Ca).

Les eaux des forages Priester et serre 10 sont quant à elles chlorurées sodiques et sulfatées. On remarque que le forage de serre 10 a pour cation dominant le sodium (Na).

b) Diagramme de Schoeler-Berkaloff

Le diagramme de Schoeler-Berkaloff (figure 8) nous montre que les allures des courbes brisées des eaux de Berck et DLF sont similaires, les concentrations sont proches sur l'ensemble des ions.

Nous notons que Berck est légèrement plus chargé en en sodium en chlore et en magnésium.

Nous constatons que les forages de Serre 10 et de Priester ont des allures semblables avec de fortes concentrations au chlorure et sodium. Le forage de Serre 10 présente de plus fortes concentrations en magnésium sodium et chlorure.

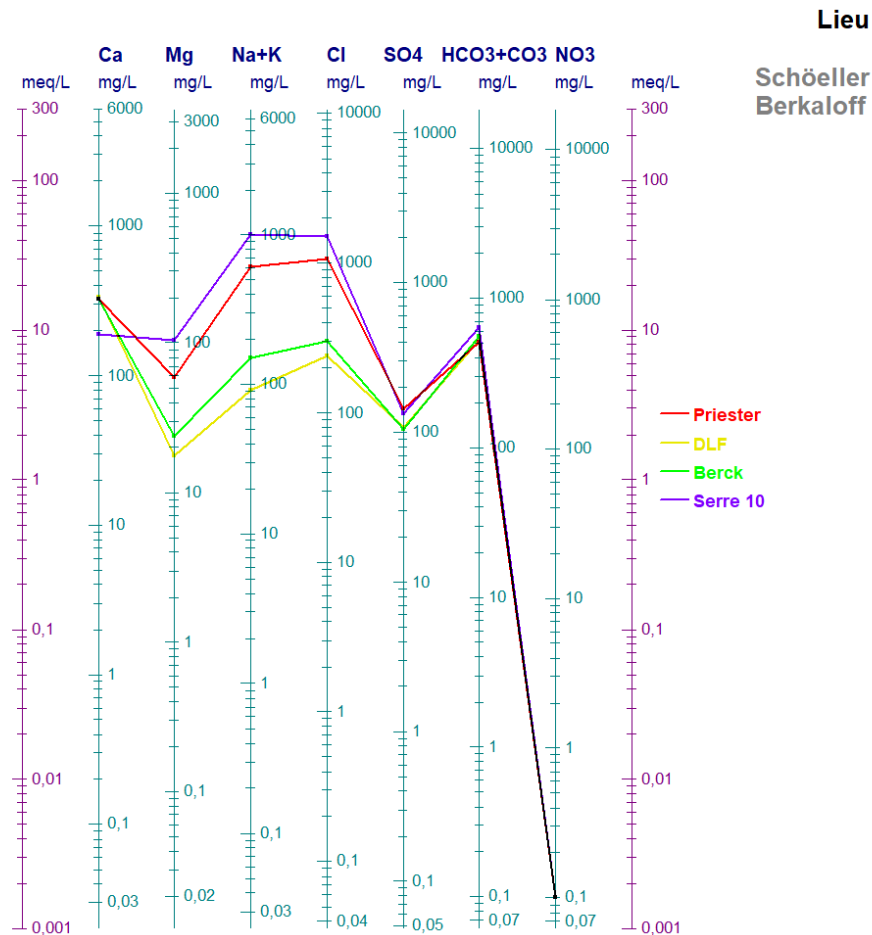


Figure 7 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff des eaux de la ferme - logiciel Diagramme univ.D'Avignon

Nous constatons que les valeurs de bicarbonate (HCO3) des nitrates (Na) sont semblables ainsi que celles du calcium et sulfate(SO4)

Nous remarquons que les forages Serre 10 et Priester sont largement plus chargés en sodium et en chlorure avec un ordre de grandeur différent pour ces paramètres. Des différences sont notables sur le magnésium.

La minéralisation des forages traduit d'une possible intrusion d'eau de mer.

Les principales différences entre les forages se font au niveau des ions salins caractéristiques des eau marines. L'ensemble des forages montre des traces de salinité marine. Les forages de Priester et serre 10 sont largement plus chargés, cela pourrait nous laisser penser à une intrusion d'eau de mer importante.

1.3.2 Etude de la salinité des eaux de la ferme

a) Salinité

Les analyses de départ reprennent la conductivité qui permet d'estimer les sels dissous.

Nous constatons notamment (tableau) que l'ensemble des eaux sont salines. Les eaux de Berck et DLF sont « eaux légèrement salines » alors que les eaux de Priester et Serre 10 sont « modérément salines ».

c) Classification de Wilcox / classification des eaux d'irrigation selon SAR est la conductivité

Le diagramme de Wilcox (Figure 10) nous indique la classification des eaux de la ferme. Nous décrivons ces classes grâce au tableau 8 qui présente les classes des niveaux de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

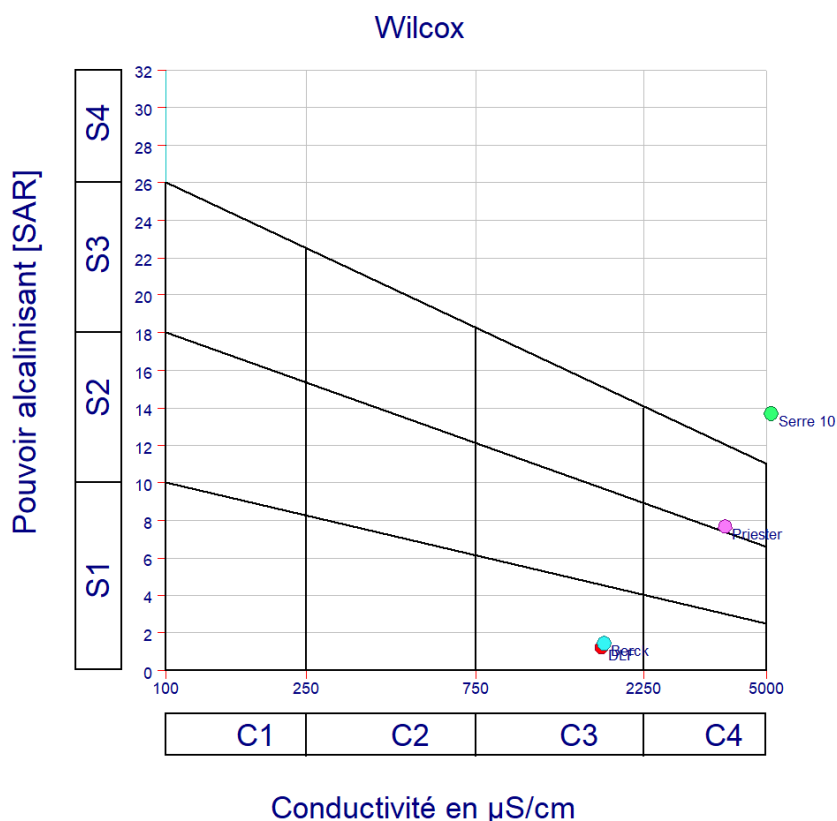


Figure 8 : Diagramme de Wilcox reprenant les eaux des forages de la ferme -logiciel Diagramme univ. d'Avignon

Les eaux de DLF et Berck sont de classe C3S1, ce qui qualifie des eaux de moyenne qualité assez chargées en sel dissous qui pourrait avoir un impact sur les plantes mais avec peu de risque lié au sodium (alcalinisation des sol). Un contrôle de la salinité des sols est le bienvenu.

Les eaux de Priester, sont classées C4S3, ce qui qualifie des eaux de mauvaise qualité fortement chargées avec des risques de salinisation Il peut y avoir avec des risques liés au sodium qui pourraient endommager la plupart des sols, un lessivage et bon drainage pourraient être à prévoir.

Ces eaux ne conviennent pas aux conditions normales d'irrigation, les plantes doivent avoir une bonne résistance au sel.

Les eaux de Priester sont classées C5S4, elles présentent des eaux de mauvaise qualité une très forte minéralisation avec d'importants risques d'alcalinisation des sols.

Nous venons de classer ces eaux d'irrigation, afin de compléter l'analyse chimique.

1.3.4 Qualité des eaux d'irrigation

Afin de compléter l'analyse nous reprendrons les critères de recommandations de la Fao grâce au tableau ci-dessous (tableau 13) qui présente les principaux éléments pouvant conduire à une restriction d'utilisation.

a) Comparaison avec les recommandations (FAO 1985)

- (R.S. Ayers et D.W. Westcot)

Problème d'irrigation potentiel	Unités	Degré de restriction d'utilisation			Analyses de Ferme des Jésuites			
		Rien	Légère à modérée	Sévère	Priester	DLF	Berck	Serre
Salinité (affecte la disponibilité en eau des cultures) ²								
CE_w	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	3,808	1,702	1,725	5,152
(ou)								
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000	2710,5	1319,1	1455	3583,7
Toxicité ionique spécifique (affecte les cultures sensibles)								
Sodium (Na) ⁴								
arrosage superficiel	Sar	< 3	3 – 9	> 9	7.66	1.22	1.44	13.67
arrosage par aspersion	meq/L	< 3	> 3		24.92	3.68	4.35	41.03
Chlorure (Cl) ⁴								
arrosage superficiel	meq/L	< 4	4 – 10	> 10	30.06	6.79	8.41	42.25
arrosage par aspersion	meq/L	< 3	> 3		30,06	6,79	8,41	42,25
Bore (B) ⁵								
	mg/l	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0	0,42	0,19	0,27	0,87
Oligoéléments								
Effets divers (affecte les cultures sensibles)								
Azote (NO₃ - N) ⁶								
	mg/l	< 5	5 – 30	> 30	0,1	0,1	0,1	0,1
Bicarbonate (HCO₃)								
(arrosage aérien uniquement)	meq/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8.5	8,26	8,58	9,03	10,53
pH								
		Plage normale 6,5 – 8,4			7,4	7,1	7,1	7,4

Tableau 12 : Comparaison des eaux de la ferme avec Recommandation d'usage des eaux d'irrigation, Fao Tbl 1 water quality for irrigation 1994

¹ dS/m = déciSiemen/mètre en unités SI (équivalent à 1 mmho/cm = 1 millimho/centi-mètre)

² NO₃ -N signifie que le laboratoire analysera le NO₃ mais rapportera le NO₃ en termes d'azote chimiquement équivalent. De même, pour NH₄ -N, le laboratoire analysera pour NH₄ mais rapportera en termes d'azote élémentaire chimiquement équivalent. L'azote total disponible pour la plante sera la somme de l'azote élémentaire équivalent. La même méthode de déclaration est utilisée pour le phosphore.

Tableau 13 : comparaison avec les recommandations FAO

« Les restrictions sont à titre indicatif et peuvent varier selon de nombreux paramètres : « restriction d'utilisation » indique qu'il peut y avoir une limitation dans le choix de la culture ou qu'une gestion spéciale peut être nécessaire pour maintenir la pleine capacité de production, elle n'indique pas que l'eau est impropre à l'utilisation. (Fao chap-évaluation de la qualité des eaux Tableau 13). »

b) Exploitation des résultats selon les recommandations de la Fao

Ces observations se confirment lors des analyses.

Si l'on se réfère aux recommandations de la FAO (R.S Ayers et DW Wetscot) on constate que l'eau des forages Priester et Serre 10 relève d'un degré sévère, voire extrême, de restriction d'utilisation pour les cultures, cela concerne principalement le niveau de salinité :

-Le niveau de salinité mesuré par la conductivité, de 3,808 Ds/m pour Priester et de 5,152 pour Serre 10 dépasse largement les recommandations (>3) et a pour conséquence d'affecter la disponibilité en eau des cultures.

La teneur extrêmement élevée de sodium pour ces deux forages (24,92 pour Priester et 41,03 pour Serre 10 pour un arrosage par aspersion est de 3). Les deux autres forages dépassent également ce seuil (>3 pour l'aspersion) avec une teneur de 3,68 pour DLF et 4,35 pour celui de Berck.

La teneur en chlorures de Priester et Serre 10 qui s'élève respectivement à 30,06 et 42,25meq/L alors qu'elle ne devrait pas dépasser 10 meq/L, correspond à un impact sévère sur les cultures sensibles au sel.

Ces informations confirment que le niveau de salinité dépasse le seuil admissible pour les plantes.

-le bicarbonate, respectivement de 9,03 et 10,53 meq/L est supérieur à la plage maximum du degré sévère de restriction d'utilisation en aspersion pour les cultures (8,5). A noter que le forage DLF a une concentration à la limite de ce seuil.

Quant à la concentration en bore, elle est satisfaisante sur l'ensemble des forages.

Aussi le ph se situe dans la plage normale d'utilisation.

1.3.5 Bilan

Les éléments de contexte, associés à ceux repérés dans la littérature, nous amènent, non seulement à la vigilance, mais aussi à recommander des mesures autour des surfaces irriguées par les forages Priester et Serre 10. (Dans les serres) mais aussi sur les pratiques d'irrigation.

L'étude de la salinité et du sodium avec le SAR nous informe que les risques d'alcalinisation sont bien présents sur le sol irrigué par les forages de Priester et Serre 10 de la ferme. Cette salinité peut avoir un effet sur le rendement des plantes.

1.3.6 Analyses conductimétriques

Le conductimètre permet d'analyses de conductivité, permettant d'obtenir des données sur la teneur en sel dissout des eaux.

Pour étoffer nos analyses, la ferme a acquis un conductimètre (Hanna instruments modèle Hi99301), adapté à une utilisation pour l'exploitation avec une résolution 0.001ms/cm et une gamme de 0.00 à 20.00ms/cm (fiche produit annexe 4). Nous avons réalisé ces analyses dans le but de suivre l'évolution de la salinité des forages et de les comparer avec les résultats des analyses de laboratoire. Ces mesures ont été réalisées le 17 Juin, après une période d'irrigation, nous incluons l'analyse des eaux du forages du forage ferme servant à laver les légumes.

a) Protocole et matériel

Nous réalisons une purge des eaux de forage avant nos analyses, entre chaque mesure nous rincerons la sonde est le bécher avec de l'eau distillée pour éviter les contaminations croisées.

Matériel utilisé :

- Conductimètre TDS
- Sonde
- Becher
- Eau distillée



Figure 9 : Conductimètre « Hanna instruments » et sa sonde

b) Résultats analyses

Lors des périodes d'irrigation les volumes d'eau extraits ne sont pas mesurés ce qui représente une limite à ces tests. Une autre limite provient du fait que les conductivités du 25 mai ont été mesurées en laboratoire.

	Conductivité ms/m 28/05/21	H d'eau en m 25/05/21	Conductivité ms/m 17/06/21	H d'eau en m 17/06/21
Serre 10	5.15	1.60	7.82	2.50
Priester	3.81	1.07	5.27	1.84
DLF	1.7	1.60	2.39	2.09
Berck	1.725	1.54	2.21	2
Ferme	x	1.40	2.14	1.9

Tableau 13 : Résultats des conductivités mesurées et des hauteurs d'eau

Nous constatons que l'eau de forage de Serre 10 traduit d'une forte hausse de conductivité 2.67 ms/cm, celui de Priester a une augmentation de 1.46 ms/cm. Les eaux forage de Berck ont augmenté respectivement de 0.69ms/cm et 0.48ms/cm.

Les valeurs de conductivité des forages de Berck, DLF et Ferme sont proche. Nous remarquons que les hauteurs d'eau mesurées diminuent suite à l'irrigation, elles sont de 90 cm pour Priester de 75cm et de 49 cm pour DLF et 48cm.

Nous observons une tendance évolutive des conductivités sur l'ensemble des forages, traduisant d'une intrusion d'eau saline qui est inquiétante. L'augmentation de la conductivité des forages de Priester et Berck se fait dans le même ordre de grandeur, elle reste admissible et dans la même catégorie

de restriction d'irrigation selon le tableau de la FAO (Tableau 12 ligne ECW). Les conductivités proches des eaux de forage de Berck Dlf et Ferme pourraient traduire d'une évolution linéaire. Si cela est confirmé cela permettrait de réaliser un lien entre hauteur d'eau et la salinité. La forte augmentation de conductivité pour Priester et Serre 10 est inquiétante, cela traduit d'une infiltration d'eau de saline privilégiée. Le conductimètre permet de contrôler l'évolution de la salinité des forages et d'orienter rapidement les décisions liées au pompage et à l'irrigation.

1.3.7 Etude du Sol de la ferme

Dans cette partie nous nous limiterons à l'analyse texturale du sol ainsi qu'à la conductivité. Cela nous permet d'évaluer la concentration en sel et le possible impact sur les légumes. La texture nous permettra d'estimer les propriétés physiques du sol.

La précédente étude d'eau nous a informés que les eaux de forage pourraient avoir un impact sur le sol.

Nous avons prélevé des échantillons de sol de différentes parcelles.

Ces échantillons ont été analysés, par un laboratoire (Galys), afin d'obtenir des données granulométrie et de conductivité. (Tableau 14).

a) Texture

Les analyses granulométriques nous ont permis d'établir la texture grâce au diagramme de texture GEPPA ci-dessous. (Figure 10)

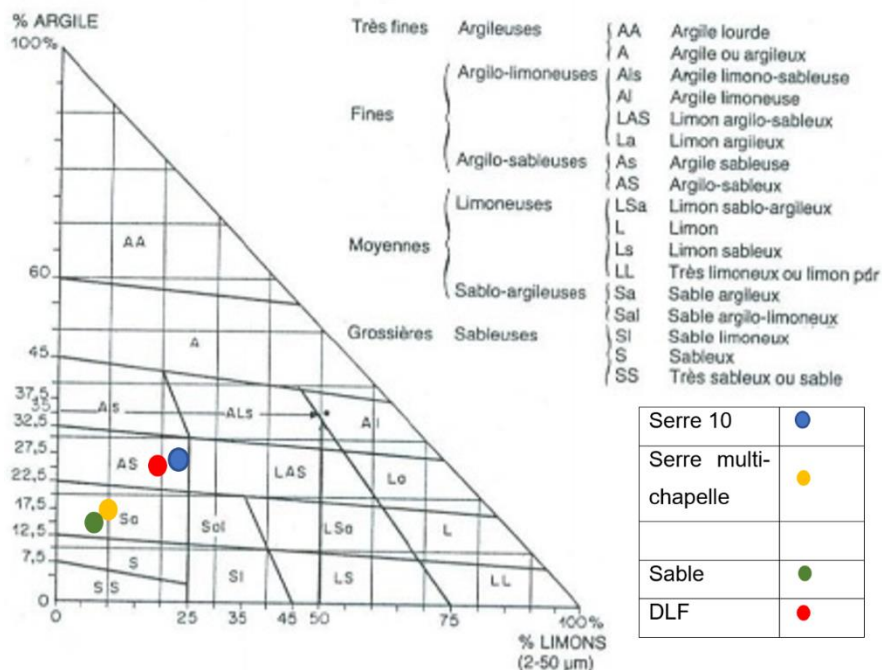


Figure 10 : Diagramme de texture GEPPA 1964 avec les sols de la ferme.

Type/parcelle	Texture	Conductivité ms/m	Forage utilisé
Serre 10	Sablo-argileux	120	Serre 10
Serre multi-chapelle	Sableux	140	Priester
Plein champs Sable	Sableux	13	Berck
Plein champs DLF	Sablo-argileux	19	DLF

Tableau 14 : Récapitulatif de la texture et de la conductivité des sols irrigué par les forages.

b) Analyses conductivité est texture

Il s'agit de textures grossières dans laquelle l'infiltration est bonne, elle est estimée à moins de 30mm/h pour les sols sableux (Priester et Berck), et entre 20 et 30 mm) pour les sols

Nous constatons que les conductivités sont huit fois plus élevées en Serre. Compte tenu de la littérature, les conductivités des serres restent faibles. En effet, selon cette dernière la concentration des sols peut être estimée à 1,5 fois plus élevée par rapport aux conductivités des eaux d'irrigation. Nous pouvons penser que les faibles valeurs de conductivité sont favorisées par la bonne perméabilité des sols qui drainent le sel en profondeur et par un lessivage dû aux eaux de pluie en plein champ.

Selon le tableau de la FAO la conductivité des sols engendre des baisses de rendements sur les cultures les plus sensibles comme les haricots et les fraises.

Partie 2 : Méthodes et pratiques d'irrigation

La littérature, après une présentation des modalités d'irrigation pratiquées à la ferme, nous permettra de comparer l'exploitation des techniques d'irrigation. Deux méthodes d'irrigation sous pression sont pratiquées sur l'exploitation. L'irrigation par aspersion et l'irrigation en goutte à goutte.



Figure 11 : Irrigation par aspersion sur la ferme

En plein champs l'irrigation est assurée par aspersion via des rampes mobiles. L'ensemble des forages destinés à l'irrigation sont utilisés à l'irrigation par aspersion.

Dans les serres, l'irrigation est assurée par irrigation goutte-à-goutte.

L'eau utilisée provient du forage Serre 10 pour les serres situées au Nord au et de Priester pour le groupement de serres à l'Est, comme mentionné lors de la contextualisation.

2.1 Littérature

2.1.2 Système d'irrigation

L'irrigation en agriculture est le fait d'arroser artificiellement les terres.

Les systèmes d'irrigation se répartissent en trois types : l'irrigation de surface ou irrigation gravitaire, l'irrigation sous pression que sont le goutte-à-goutte et l'irrigation par aspersion et l'irrigation souterraine (Rieul et la 2003 ; Compaoré 2006).

a) Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire, mode le plus ancien et le plus répandu, distribue l'eau qui est répartie au sol sur une parcelle à l'air libre (Compaoré 2006). La FAO la définit comme suit : « *Méthode d'exploitation d'un système d'irrigation total ou partiel utilisant uniquement la gravité, l'eau étant disponible à un niveau suffisant (ou une pression suffisante) pour assurer son adduction, sa distribution et sa répartition sur les champs* » (A. Phocaidès 2008.). L'efficacité de l'irrigation se situe entre 70 et 80% si les dispositifs mécaniques sont élaborés et le système d'étanchéité de l'équipement maîtrisé (Rieul 1997). Dans le cas contraire, l'efficacité de l'irrigation peut se situer entre 25 et 48% (Walker 1999 ; Lage et al 2004)

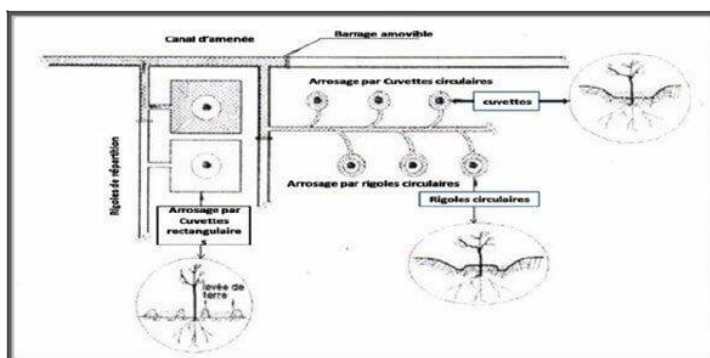


Figure 12 : Exemple d'un système d'irrigation gravitaire cuvette en arboriculture (d'après Soltner 1995)

b) Irrigation souterraine

L'irrigation souterraine est un système de drainage sous la terre qui alimente les plantes en eau. Nous nous intéressons à l'irrigation par aspersion qui est utilisée en plein champs, ainsi qu'à l'irrigation au goutte à goutte, mise en place dans les serres.

c) Irrigation sous pressions

Tout système **d'irrigation par conduites sous pression** a pour but d'acheminer l'eau sur la zone à irriguer. Il comprend des conduites fermées, des raccords et dispose d'un dispositif mis en place pour assurer l'acheminement et l'écoulement dont le débit est de l'ordre de 1m³/h. Une pression de 2 à 3 bars est nécessaire pour le transport et la distribution. Cette

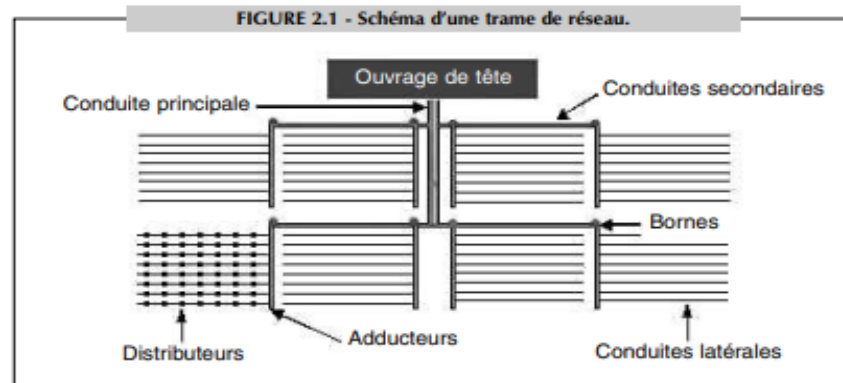


Figure 13 : Principaux composants invariants d'un système d'irrigation sous pression (Tabl.2.1 FAO Rome 2008)

pression provient d'une unité de pompage ou d'une source d'eau dont le niveau est plus haut que la zone à irriguer. Ce système présente une efficacité hydraulique de 90 à 95% (Rieul, 1997 ; Compaoré 2006)

La Fao (Rome 2008) a regroupé les principaux éléments invariants qui composent les systèmes sous pression (illustration ..).

- l'ouvrage de tête (unité de contrôle de la charge)
- Les conduites principales et secondaires
- les bornes
- les adducteurs (conduites d'alimentation)
- les conduites latérales (tuyaux d'irrigation) avec les distributeur

L'irrigation par aspersion et la micro irrigation sont deux systèmes d'irrigation sous pression

d) Irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion permet d'arroser une culture sous forme de pluie artificielle. Les systèmes d'aspersion sont variés tant en ce qui concerne leurs systèmes de débit et de diamètre, qu'en ce qui concerne la hauteur du jet et leur mécanisme. « L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle ». (FAO 2008). Des canons d'arrosage peuvent aussi être utilisés pour la diffusion.

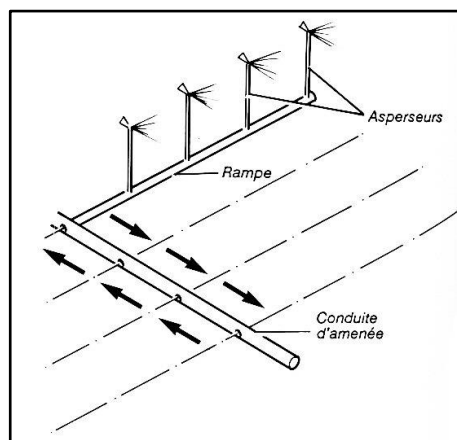


Figure 14 : Irrigation par aspersion sur rampe (schéma : Cemagref), AgroParisTech

« Le système le plus largement utilisé et le moins coûteux pour irriguer les fermes de petites et moyennes dimensions est le système d'aspersion à rampes mobiles avec une pression de fonctionnement basse à moyenne (2–3,5 bars). Les asperseurs sont disposés à intervalles égaux (6–12 m) sur les conduites latérales posées sur le champ à des intervalles prédéterminés (nommées positions des conduites latérales) de 6 à 18 m, de façon à ce que l'eau d'irrigation soit répartie uniformément sur toute la zone couverte. »

L'ouvrage de tête est simple, incluant seulement les vannes de réglage (sectionnement, anti-retour, purgeurs d'air, etc.). Les conduites principales et secondaires sont en général des tuyaux rigides en PVC enterrés (de 90 à 150 mm de diamètre), ou des tuyaux en (PEHD de 75 à 110 mm de diamètre), posés à la surface du sol. Les bornes (2 ou 3 pouces) sont implantées le long des adducteurs (principaux ou secondaires), à un intervalle identique à celui des conduites latérales d'aspersion. Les adducteurs et les conduites latérales

peuvent être constitués soit de tuyaux en PEHD, soit de tuyaux à raccord rapide en acier léger ou aluminium (63 à 75 mm). » (FAO Rome 2008)

e) Irrigation goutte à goutte ou micro-irrigation

L'irrigation au goutte à goutte ou micro-irrigation distribue l'eau sous pression de façon localisée, au pied de la plante via des goutteurs par un système de canalisations. Les canalisations se composent de tuyaux assemblés en plastique (PE opaque ou PVC). Une conduite maîtresse alimente des canalisations latérales perforées ou disposant de goutteurs spéciaux, permettant ainsi de distribuer l'eau au goutte à goutte sur le sol à un débit préétabli pouvant aller de 1 à 10 litres par heure. Les canalisations latérales ont d'ordinaire d'un diamètre allant de 10 à 25 mm et la pression de l'eau se situe généralement entre 0,5 et 2,5 atmosphères. L'eau sort sous forme de goutte à goutte car la pression diminue à cause des frottements lorsqu'elle s'évacue par les passages ou orifices des goutteurs.

L'altération du débit de pression à la sortie peut être limitée si les émetteurs ont des régulateurs de pression. Une vanne manuelle ou un enchaînement de valves programmables contrôle le temps et l'intervalle d'irrigation. Lorsque le volume déterminé est distribué, l'écoulement est automatiquement interrompu (FAO 1997).

L'eau peut être diffusée par différents moyens, « par goutteurs, mini-diffuseurs, barboteurs, micro-jets, etc (...). La méthode de distribution de l'eau et le type de distributeur sont les principales caractéristiques d'un système d'irrigation sous pression.» (FAO 2008 Guide technique). Ils induisent la pression, le type d'installation, les débits et la durée d'application.

L'unité de pompage
 L'unité de tête ou de contrôle en tête
 Les canalisations principales et secondaires
 Les rampes
 Les goutteurs ou distributeurs.

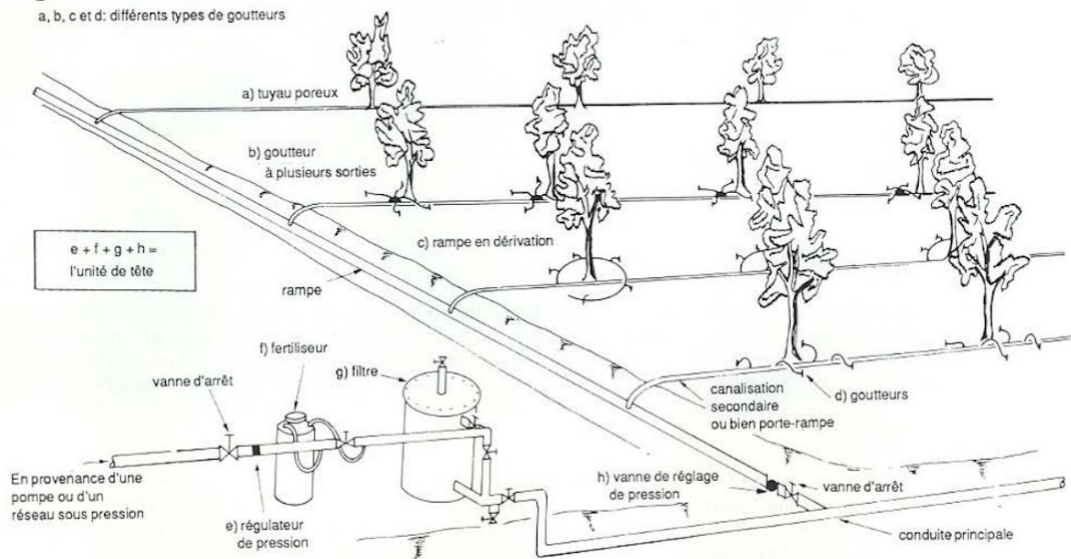


Figure 15 : Schéma type d'une installation d'irrigation au goutte à goutte présentant les éléments d'installation-FAO 1990

2.1.3 Equipement d'irrigation

a) Les dispositifs de contrôle d'écoulement.

« Par dispositif de contrôle, on entend tout dispositif installé dans un système hydraulique visant à assurer que le fluide atteigne la destination désirée au moment voulu dans les quantités requises (la valeur du débit) et avec la pression requise.

Comme un tel dispositif doit assurer un fonctionnement satisfaisant d'un système hydraulique, la sélection de son type, de sa dimension et de son emplacement est de la plus grande importance. Il faut donc, pour effectuer ce choix, bien connaître les diverses caractéristiques du dispositif et comprendre intégralement son fonctionnement. Un entretien correct du dispositif est également important afin d'assurer des performances adéquates et sans panne du dispositif.

Il existe essentiellement trois catégories de dispositifs de contrôle de l'écoulement :

- les dispositifs directionnels ou vannes, qui servent à régler directement l'écoulement du fluide. Installés dans la conduite, ils servent à mettre en route ou arrêter l'écoulement et à fixer son débit, sa pression et sa direction. Des exemples de tels dispositifs sont les vannes de sectionnement, les vannes de contrôle et les vannes de réglage ;
- les dispositifs de mesure. Il ne suffit pas, pour assurer un régime d'écoulement approprié, de seulement régler l'écoulement. Il est également nécessaire de rassembler des informations précises sur les paramètres de l'écoulement, afin de procéder aux ajustements requis, pour atteindre les conditions d'écoulement désirées. Les débitmètres et compteurs volumétriques, ainsi que les manomètres, appartiennent à ce groupe ;
- les dispositifs auxiliaires. Ceux-ci n'agissent pas directement sur l'écoulement du fluide, mais permettent au système de fonctionner sans perturbation. Les purgeurs et les soupapes de sécurité font partie de ce groupe. » (Fao Rome 2008)

TABLEAU 3.4 - Résumé des dispositifs de contrôle de l'écoulement

Dispositifs directionnels ou vannes	Vannes de sectionnement	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes à boisseau sphérique • Vannes à papillon • Robinets-vannes • Vannes à disque* (sphère, angle et oblique ou vanne en Y) • Vannes radiales
	Vannes de contrôle (clapets anti-retour)	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes de contrôle à battant • Vannes de contrôle parallèle
	Vannes de réglage**	<ul style="list-style-type: none"> • Vannes à disque* (sphère, angle et oblique ou vanne en Y) • Vannes radiales
Dispositifs de mesure	Compteurs	<ul style="list-style-type: none"> • Débitmètres • Compteurs volumétriques
	Jauges	<ul style="list-style-type: none"> • Manomètres
Dispositifs auxiliaires	Purgeurs d'air Soupapes de sécurité	

* L'obturation d'une vanne à disque se fait soit par un piston soit par un diaphragme.

** Les vannes de réglage régulent la pression, le débit ou le niveau d'eau par une commande directe ou pilotée à distance.

Tableau 15 : Résumé des dispositifs de contrôle de l'écoulement (Tabl.3.4 FAO Rome 2008)

b) Filtration

« La filtration de l'eau d'irrigation est d'une importance majeure pour l'application normale de ce système. Les impuretés solides contenues dans l'eau doivent être éliminées par une filtration efficace pour éviter que les goutteurs ne soient endommagés par engorgement. Le type de filtration dépend du type d'impuretés et du degré de filtrage requis ». (Fao Rome 2008 A. Phocaidés)

Les degrés de filtration sont énoncés selon la nature des distributeurs d'eau :

-16–25 mesh (1 000–500 microns) pour des asperseurs à rotation lente sous moyenne pression (actionnés par impact) ;

-80–160 mesh (200–100 microns) pour les goutteurs » (Fao Rome 2008 A. Phocaidés)

Le système peut comporter des filtres pour éviter l'obturation. Les plus courants sont la crépine filtrante sur la conduite d'aspiration, les filtres à sables pour la rétention des particules légères et le filtre à tamis (dont le degré de filtration peut aller de 200 à 75 microns). Ces filtres doivent être nettoyés régulièrement de façon manuelle ou automatique.

Il faut distinguer les équipements selon le système, en « micro irrigation, on trouve des filtres et des injecteurs de fertilisant au niveau des ouvrages de tête alors qu'en aspersion et en irrigation par tuyaux (gainés), ces ouvrages sont simples avec un équipement minimal ». (Fao Rome 2008 A. Phocaidés).

2.1.3 L'efficacité d'irrigation

a) Notion d'efficacité

Cette notion est interprétée différemment selon la période et les objectifs visés. La conception traditionnelle du génie hydraulique (VAN HALSEMA., al 2012) consiste à mesurer le rapport entre l'eau utilisée avantageusement et l'eau totale appliquée. A cela s'ajoutent deux sous conceptions, celle d'efficacité de transport (Et) ou du réseau (BOS et al.1990 ; PERRY,2007) qui permet de se pencher sur les phénomènes de déperdition d'eau survenus lors de l'acheminement de l'eau et celle d'efficacité d'application (Ea) qui regarde les flux au niveau de la parcelle. (VAN HALSEMA., al 20

b) Mesure d'efficacité : Test Christiansen et uniformité d'application

En ce qui concerne l'irrigation par aspersion, l'appréciation de l'uniformité du système peut se mesurer grâce au test de Christiansen qui permet de calculer le coefficient d'uniformité (CU) comme suit :

(Tiercelin et al, 2006)

$$C = 100 \left(1 - \frac{S}{nm} \right)$$

Avec : C : coefficient de Christiansen en %
S : somme de la valeur absolue des différences entre la mesure locale et la moyenne
n : nombre de mesures locales
m : irrigation moyenne.

Une uniformité maximale correspond à un coefficient de 100%, En pratique on peut obtenir un coefficient d'uniformité de 75% à 85% (cours d'irrigation Mooc, université de Liège)

L'indice d'uniformité de distribution (DU) nous informe sur le niveau de qualité de répartition de hauteur d'eau infiltrée dans la parcelle. Il est calculé comme suit :

$$DU = 100 \left(\frac{P_{qi}}{P_m} \right)$$

Avec : DU : uniformité de distribution en %
Pqi : moyenne de la hauteur d'eau du quartile inférieur en mm
Pm : moyenne de l'ensemble des hauteurs d'eau en mm

c) Efficience des systèmes d'irrigation

Plusieurs facteurs entrent en jeu, le système d'irrigation, son mode de gestion, l'aménagement de la parcelle, les caractéristiques du sol (Pereira et al., 2006).

L'efficience approximative d'application de l'irrigation a été calculée dans la littérature et peut se résumer dans le tableau ci-après (Figures 16)

Système/méthode	Ea %
Réseau de canal en terre, irrigation de surface	40-50
Réseau de canal revêtu, irrigation de surface	50-60
Réseau de conduites sous pression, irrigation de surface	65-75
Systèmes d'irrigation par tuyaux souples	70-80
Systèmes d'aspersion basse et moyenne pression	75
Micro-asperseurs, micro-jets, mini-asperseurs	75-85
Irrigation goutte-à-goutte	80-90

Tableau 16 : Efficience approximative d'application de l'irrigation pour divers systèmes ou méthodes d'irrigation au niveau de l'exploitation (Tabl.6.7 FAO Rome 2008)).

Le système de l'irrigation au goutte à goutte s'avère être le plus performant, il présente un « haut degré d'efficience de distribution » (FAO Rome 2008).

Notons que la vitesse du vent influe sur l'uniformité de l'arrosage en irrigation par aspersion. Plus la vitesse du vent est élevée, plus les trajectoires sont déviées et plus il faut réduire l'espacement entre asperseurs. A noter que même « un vent léger réduit sérieusement l'uniformité de l'arrosage (...) au-dessus de 3,5m/s la Fao déconseille la pratique de l'aspersion » (FAO Rome 2008).

À partir de 2.24m/s les sprinklers devraient être plus rapprochées (Meriam, Keller 1978). Les classifications des forces du vent diffèrent selon les auteurs, mais les affirmations convergent sur le fait que la vitesse du vent altère l'uniformité de l'arrosage et qu'une distance réduite entre deux asperseurs. OUFELLI (1997) a des effets positifs sur la répartition de l'eau.

Classification de la vitesse du vent selon la FAO :

Vitesse du vent	Régime
0-2 mph 0-.09m/s	presque calme
2-5 mph 0.9m- 2.23m/s	peu de vent
5-10 mph 2.23-4.5m/s	venteux
>10 mph > 4.5 m/s	Très venteux

Tableau 17 : Classification de la vitesse du vent selon la FAO

2.1.4 Irrigation et salinité

Dans l'étude documentaire du BRGM "la méthode d'irrigation au goutte à goutte a été utilisée avec succès avec des eaux fortement chargées en sel. Son avantage est qu'elle garde la teneur en eau du sol élevée, au moins dans la zone racinaire, maintenant ainsi un niveau de concentration peu élevé de sel dans la terre. De plus, il se produit un lessivage sous le goutteur et une forte teneur en eau, les racines évitant ainsi les zones d'accumulation du sel. Après les récoltes, il faut lessiver pour éliminer le sel avant les semences suivantes." (LALLEMAND -BARRES- 1980). Lors d'une irrigation par aspersion, l'eau chargée en chlorures peut endommager la surface foliaire (FAO 1997).

2.1.5 Risque d'obturation

L'obstruction des goutteurs est un problème rencontré couramment avec l'irrigation au goutte à goutte. Elle peut aussi se produire dans les conduites. Son origine peut être diverse, il peut s'agir d'éléments grossiers comme le sable, de particules légères en suspension comme les algues ou du sable fin ou encore de causes chimiques. Les éléments chimiques qui provoquent l'obturation à partir d'un certain niveau (tableau 18) sont, entre autres, le Fer et le Manganèse.

La FAO a classé (à gauche) les facteurs de risques dans le tableau ci-dessous (Bucks et Nakayama d'après Howell, Bucks et Chesness 1980). Nous avons comparé ce classement avec les informations obtenues avec nos résultats d'analyse

Facteurs	Risque d'obturation			Résultats Ferme des Jésuites			
	Léger	Modéré	Sérieux	Priester	DLF	Berck	Serre 10
physiques							
Particules en suspension (ppm maximum) 1/	< 50	50-100	> 10	x	x	x	x
chimiques							
pH	< 0,7	7,0-8,0	> 8,0	7,4	7,1	7,1	7,4
Particules dissoutes totales TDS (ppm maximum) 1/	< 500	500-2000	> 2000	2710.5	1319.1	1455	3583.7
Manganèse (ppm maximum) 1/	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5	0,12	0,19	0,21	0,05
Fer (ppm maximum) 1/	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5	1,09	2,48	2,67	0,83

1/ Concentration maximale mesurée sur un nombre représentatif d'échantillons d'eau à l'aide de protocoles d'analyse normalisés. 2/ Le nombre maximal de bactéries par millilitre peut être obtenu à l'aide d'échantillonneurs portatifs et d'une analyse en laboratoire.

Tableau 18 : limites critiques applicables la classification des risques d'obturation des installations d'irrigation du goutte-à-goutte en fonction de l'eau utilisée (tableau N°38 de la FAO) Bucks et Nakayama, d'après Howell et al. 1980).

2.2 Irrigation à la ferme des Jésuites

Les systèmes d'irrigation à la ferme des Jésuites sont des systèmes d'irrigation sous pression, nous porterons notre attention sur l'analyse du matériel ainsi que sur les éléments pouvant influencer les performances d'irrigation.

2.2.1 Description des systèmes d'irrigation de la ferme

a) Goutte à goutte dans les serres

Dans les serres, l'irrigation est assurée par irrigation goutte-à-goutte.

L'eau est extraite des forages et par l'unité de pompage (pompe), elle est acheminée par un réseau enterré en plastique PEHD 90mm jusqu'à l'intérieur des serres avec des sorties sous forme de vanne 1 pouce. Dans la serre, des vannes 1 pouce sont raccordées à un adducteur en PEHD de 25mm de diamètre où sont raccordées des vannettes en PVC branchées sur des tuyaux poreux qui distribuent l'eau au pied des cultures. (Figure 16



Figure 16 : Schéma illustré du fonctionnement du goutte à goutte dans les serres de la ferme

b) *Aspersion en pleins champs*

En plein champ, l'irrigation se fait par aspersion. Il s'agit d'un système d'irrigation à rampe mobile durant la période d'irrigation. La figure 1 reprend les éléments de la rampe.

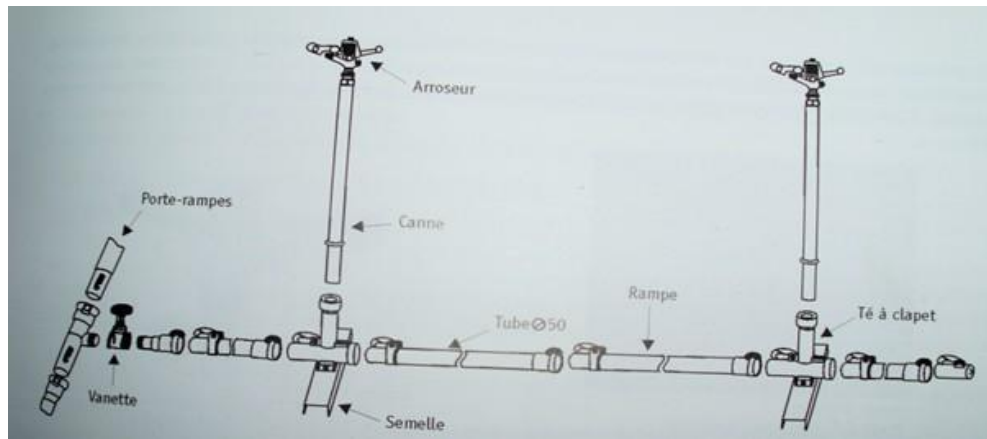


Figure 17 : les éléments d'une installation de couverture d'asperseurs Source M. Kay, consultant et M. Hièble, FAO 1990

Les rampes d'aspersion sont composées de tuyaux et de sprinklers montés sur canne et branchés sur des Tés à clapet.

L'eau est extraite par les pompes et acheminée via des canalisations enterrées en plastique de PEHD de 150mm aux différentes parcelles.

Ce réseau est connecté à un réseau secondaire en surface de diamètre 90 mm qui contient des vannes juste avant les bornes où sont raccordées les rampes par l'intermédiaire d'un tuyau souple. Le fonctionnement est repris dans la figure 18.

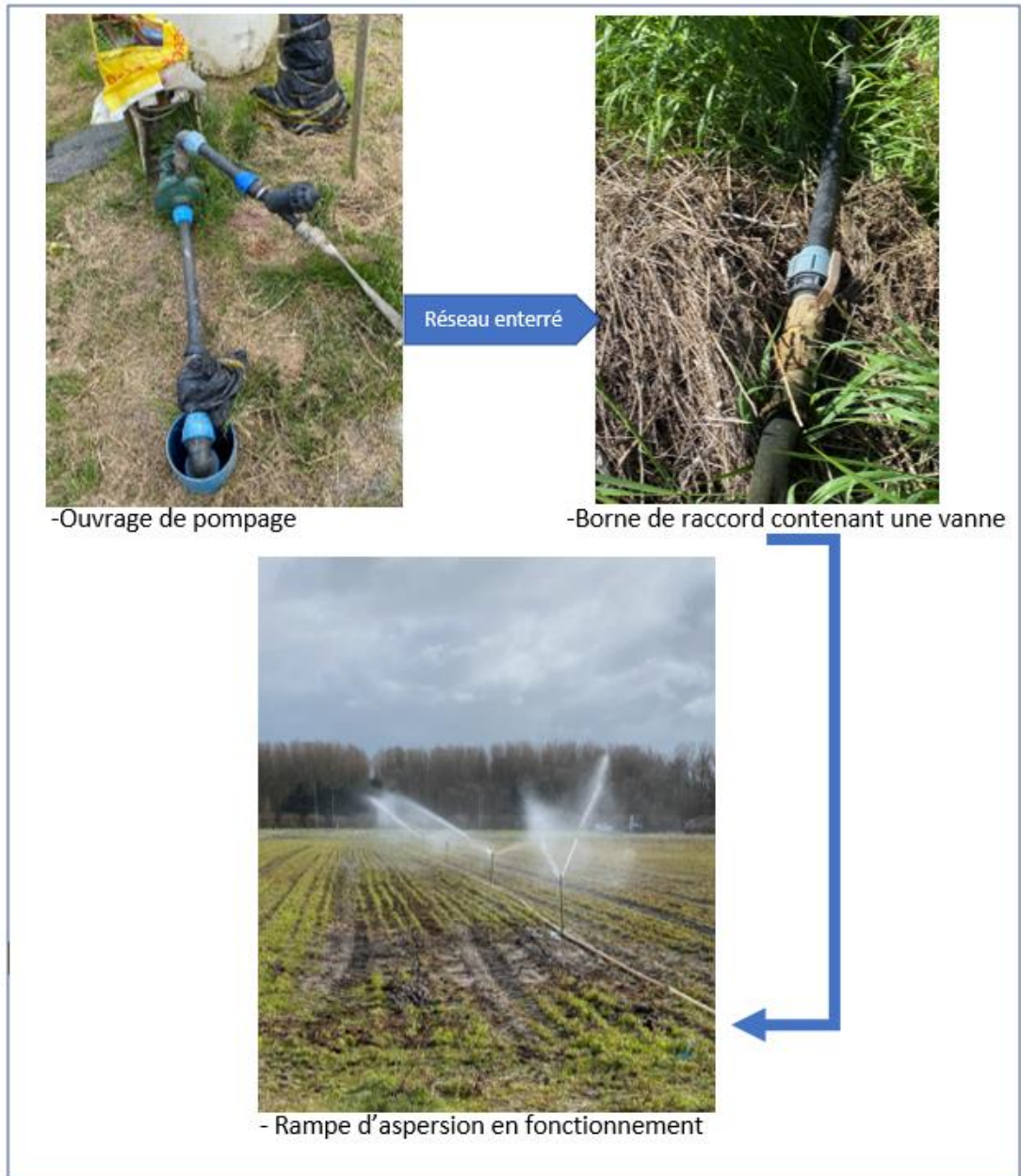


Figure 18 : Schéma illustré du fonctionnement de l'aspersion dans les serres de la ferme

2.2.2 Etude des dispositifs de contrôle d'écoulement et filtrations

a) Goutte à goutte : dispositifs de contrôles d'écoulements de la ferme

Nous avons constaté que les systèmes d'irrigation sous pression de la ferme ne possèdent pas l'ensemble des « dispositifs de contrôle d'écoulement », seules des vannes de sectionnement (vanne à biseaux sphérique), sont présentes, et la régulation de pression se fait par tâtonnement à l'ouverture de la vanne, de même pour les vannettes en PVC situées avant les tuyaux poreux. (Figure 19)

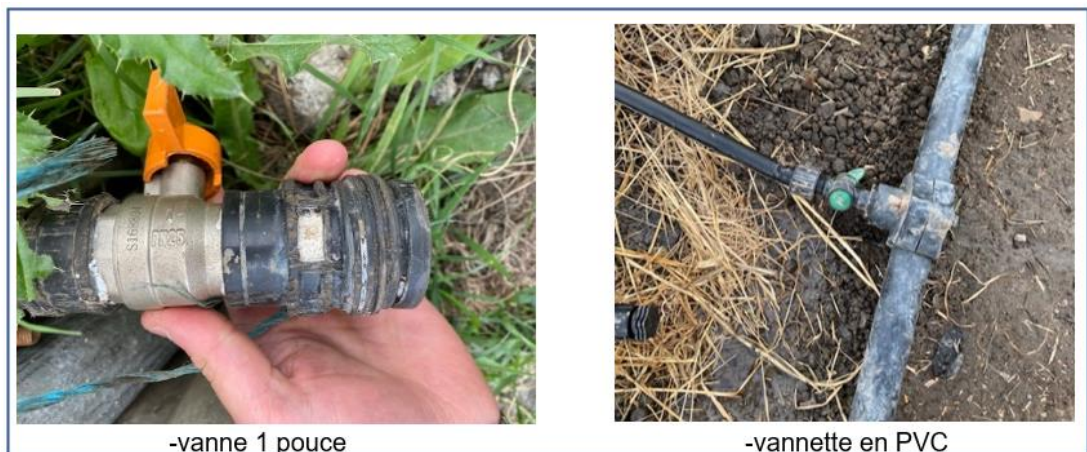


Figure 19 : Dispositifs de contrôles d'écoulement présent sur le goutte à goutte

b) L'aspersion est dispositifs de contrôles d'écoulements de la ferme

Pour l'aspersion des vannes de sectionnement sont présentes aux bornes des adducteurs. Elles sont utilisées en position ouvert ou fermé.

Des manomètres existent à la sortie des pompes mais ne sont plus en état de fonctionnement.

c) Comparaisons avec la littérature

Le tableau ci-dessous reprend les dispositifs de contrôle de l'écoulement Énoncés par (Tabl.3.4 FAO Rome 2008) au regard de ceux de la ferme (en gris).

Dispositifs de contrôle de l'écoulement (FAO)		Goutte à goutte	Plein champs	Bilan
Dispositifs directionnels ou vannes	-Vannes de sectionnement -Vannes de réglages -Vanne de contrôle	-Vanne de sectionnement	-Vanne de sectionnement	Ne permet pas une gestion d'a pression
Dispositifs de mesure	-Compteur -jauges	sans	-jauges non fonctionnel	Pas de mesure de pression
Dispositifs auxiliaires	Soupape de sécurité, purgeur d'air	sans	sans	

Tableau 19 : Dispositifs de contrôle d'écoulement de la ferme au regard des recommandations de la FAO (Tabl.3.4 FAO Rome 2008)

Selon la littérature le dispositif actuel ne permet pas au fluide d'atteindre « la destination désirée au moment voulu dans les quantités requises et avec la pression requise. »(manuel technique FAO) Cela peut affecter l'efficacité d'application des organes d'irrigation.

d) Filtration de la ferme

Tout d'abord rappelons que les eaux souterraines, sont généralement chargée de solides en suspension comme le sable, le limon, le fer, le manganèse (A. Phocides Fao 2008). Le tableau des risques d'obturation en micro irrigation, selon nos données chimiques, nous montre un fort taux de fer des eaux Berck et DLF, ce qui induit des risques sévères de colmatage pour la micro irrigation. Le ph et le manganèse présentent des risques modérés.

-La charge en TDS des eaux de Priester et de Berck, largement supérieure à 2000ppm, présente un risque sévère de colmatage.

Ce risque d'obstruction nécessiterait « L'application de produits chimiques dans l'eau d'irrigation » (FAO CHAP 7). Cela induit un cout de fonctionnement et une technicité élevée. Une analyse physique permettrait de mieux évaluer les besoins de filtration.

Selon la nature géologique de la zone de pompage l'on pourrait s'attendre à la présence de sable, un hydrocyclone (séparateur de sable) pourrait être nécessaire.

Nous n'avons relevé qu'un seul organe de filtration sur l'ensemble des forages. Il s'agit d'une crépine permettant de filtrer les éléments les plus grossiers, situés à l'extrémité du tuyau de pompage. Les goutteurs nécessitent une finesse de filtration à 130 microns (annexe 5). Ce qui correspond à des filtres tamis.

Alors que les sprinklers nécessiteront des besoins en filtration de 1 000 microns (A. Phocaidés Fao 2008)

Ces conditions pourraient entraîner des risques de colmatage des distributeurs d'eau accrus pour le goutteur. Cela pourrait jouer sur les performances d'irrigation.

2.2.3 Observation lors du fonctionnement matériel d'irrigation.

Nous avons mis en place les systèmes d'irrigation en marche, en fonctionnement identique à celui des périodes d'irrigation, afin de pouvoir évaluer le système. Ces observations se limitent à des observations visuelles.

a) Matériel et fonctionnement

Le goutte à goutte a été installé selon le fonctionnement décrit dans la partie « description des systèmes d'irrigation. », les tuyaux poreux qui ont été installés (marque NETAFIM) fonctionnent avec une pression située entre 0.3 et 1.4 bars (documentation technique annexe 5).

La régulation de pression a été effectuée avec la vanne 1 pouce et les vannettes PVC.

L'aspersion a été installée selon le fonctionnement décrit dans la description les sprinklers 360°(marque Rolland) ont une pression de fonctionnement de 3 à 4.5 bars (documentation technique annexe 6). Les tuyaux des rampes d'aspersion sont de deux natures de plastique différent en PVC et plastique PEHD semi rigide. Nous avons installé les deux types de lignes d'aspersion avec les matières plastiques différentes. (Figure 20)



Figure 20 : Rampes d'aspersion en PVC en blanc et PEHD démontées

b) Observation du matériel pour la goutte à goutte

Lors de la mise en route nous constatons que l'ouverture totale des vannes 1 pouce provoque l'éclatement des gaines dû à la suppression. Le réglage du degré d'ouverture nécessite de régler délicatement l'ouverture de la vanne. Lors du fonctionnement nous remarquons des fuites au niveau de certaines vannes, aussi l'uniformité d'application ne semble pas homogène (figure 21).



Figure 21 : Anomalie de fonctionnement du système goutte à goutte

c) Observation du matériel pour l'aspersion

Durant le fonctionnement, nous avons observé qu'une bonne partie des tuyaux PVC est endommagé au niveau des raccords. (Figure 22).

Avec les tuyaux PEHD des fuites, dues au mauvais état des joints, sont observées au niveau des raccords à attache rapide.

Sur les Tés à clapet au niveau des branchements de cannes des fuites sont constatées.

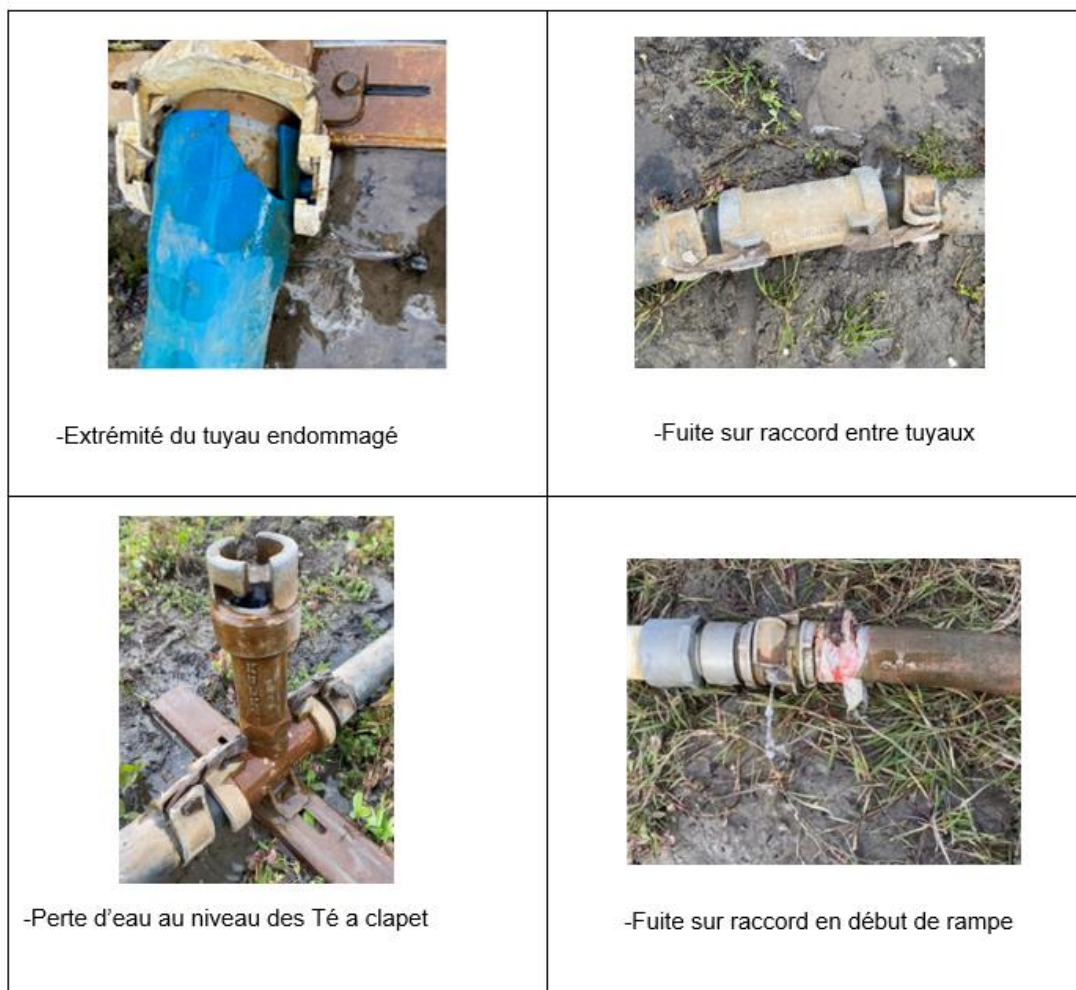


Figure 22 : Anomalie de fonctionnement du système d'aspersion

Le colmatage d'un sprinkler à été observé durant l'irrigation ainsi que des fuites au niveau du raccord d'arrivée d'eau avec le tuyau flexible.

Nous observons que le matériel est endommagé et que les lignes en PVC présentent des fuites majeures tout au long du système. Les lignes en plastique possèdent moins de pertes d'eau.

d) Bilan des observations

Pour l'aspersion les lignes en PVC semblent plus endommagées. Pour le goutte à goutte, les pertes d'eau se font au niveau des vannes PVC.

Le matériel d'irrigation est endommagé et présente de nombreuses fuites.

Bien que l'efficacité de transport n'ait pu être mesurée, nous pouvons avancer qu'une influence des « déperditions d'eau survenues lors de l'acheminement de l'eau » (van Halsema, al 2012) semble avoir un fort impact sur l'efficacité de transport.

L'absence de filtration, les risques de colmatage des distributeurs d'eau, notamment pour les goutteurs, peuvent influencer sur les performances d'irrigation.

La gestion approximative des débits et l'absence de gestion de pression, pourraient affecter l'application uniforme des doses d'irrigation, des goutteurs et sprinklers qui fonctionnent à des pressions données. Cela pourrait avoir un impact sur l'efficacité d'application.

2.2.4 Test d'uniformité des Christiansen

Ce test a pour but de calculer le coefficient d'uniformité d'application du système d'irrigation par aspersion.

L'efficacité d'application de l'irrigation par aspersion se situe environ à 75% et 85% comme mentionné dans la partie littérature.

a) Expérimentation/limites

Ce test nous permet d'évaluer les performances du système d'irrigation.

Nous pourrions estimer si l'uniformité d'application de l'eau au niveau de la parcelle peut avoir un impact sur les légumes.

Le coefficient de distribution d'uniformité a été aussi calculé lors de ce test (détaillé annexe 7).

Les limites de ce test sont importantes, nous ne disposons pas de mesures de pression. Les moyens techniques et économiques à disposition ne nous permettent pas de réaliser ce test dans des conditions optimales.

b) Méthodes

Le test de Christiansen, comme mentionné lors de la revue de littérature, nous donne le coefficient d'uniformité (CU).

Formule :

C : coefficient de Christiansen %

$$C = 100 \left(1 - \frac{S}{nm} \right)$$

S : somme de la valeur absolue des différences entre la mesure locale et moyenne

n : nombre de mesures locales

m : irrigation moyenne.

Notons que « Un coefficient de Christiansen de 100% caractérise une application parfaite, inatteignable en pratique. Pour l'aspersion, on visera un C de 85% et on tentera de rester supérieur à 75% » (mooc irrigation université de liège 2021).

Nous testons l'uniformité de recouvrement des 4 asperseurs entre 2 rampes. Chaque rampe d'aspersion placée face à face en plein champs contient 2 asperseurs eux aussi face à face.

Le principe est repris dans le schéma ci-dessous

Ecartement en mètre	0	3	6	9	12	Ecartement en mètre
4	⊗ x	x	x	x	x	⊗ 4
4	x	x	x	x	x	4
4	⊗ x	x	x	x	x	⊗ 4



: Direction de l'eau

X : seau en mesure



: Asperseur Rolland 17

Figure 23 : Schéma de principe du test de Christiansen

sceau

Dans ce test les asperseurs sont écartés de 12 m, ce qui correspond à l'utilisation usuelle de ces derniers. Les 12 récupérateurs d'eau sont placés selon une grille de 3 m en longueur et de 4 mètres en largeur. Nous mesurons les hauteurs d'eau à 12 endroits sous les sprinklers. Ces mesures quantité d'eau sont converties en mm de pluie.

c) Matériel utilisé

Pour mettre en place ce test nous avons eu besoin du matériel suivant.

- Pompes
- 2 Rampes d'aspersion complètes
- Seaux (28.cm de diamètre)
- verre doseur
- Chronomètre
- Données manométriques
- un mètre enrouleur



Figure 24 : Utilisation du matériel lors des tests d'irrigation

d) Résultats

Les 4 asperseurs ont fonctionné pendant 30 minutes. Nous avons mesuré les volumes d'eau de chaque seau au terme de l'essai. Ces valeurs ont été converties en millimètres d'eau appliquée en valeur absolue par rapport à la moyenne.

La vitesse du vent relevée pendant le test est de 5,3m/s.

Hauteur moyenne des eaux d'irrigation (m)	9,36	mm/h
---	------	------

Ecartement en mètre	0	3	6	9	12	Ecartement en mètre
4	2,015	5,26	2,01	4,81	3,83	4
4	2,01	4,94	2,01	2,86	4,48	4
4	5,59	1,36	1,04	5,46	4,81	4

S=52,52 ; m=9.36 ; n=15

Coefficient de Christiansen = 62.59 %

m=9.36 pqi = 5

Uniformité de distribution = 55.56%

Figure 25 : Résultat du test de Christiansen et de l'uniformité de distribution

Les résultats du test rapportent un coefficient de Christiansen de 62.59%, il est largement en dessous des taux requis de 75%.

Le coefficient de distribution d'uniformité est de 55.56 % (voir calcul tableur annexe 7), cette valeur est inquiétante, elle est près de 20% en dessous des valeurs minimums recommandées dans la littérature (tableau de la FAO 6.7).

Un élément pouvant amplifier ce phénomène est la vitesse du vent qui pendant le test est de 5.3m/s, la littérature annonce qu'au-delà 3.5m/s l'influence des vents à une fort impact sur l'uniformité d'application.

Notons que, à partir de 2,4m/s, une meilleure uniformité pourrait être atteinte en rapprochant les sprinklers (Meriam, Keller 1978).

La mauvaise gestion de pression est un élément qui influe aussi sur l'uniformité d'application. L'uniformité d'application est le facteur clef qui influera l'efficience.

L'irrigation ne permet pas d'irriguer uniformément les légumes et induit de fortes pertes d'eau par infiltration. En d'autres termes l'irrigation peut induire des carences d'eau pour les cultures ou un surdosage pour d'autres cultures sur le même périmètre irrigué.

2.2.5 Bilan des observations et test

Les tests d'irrigation, le manque de dispositifs de contrôle d'écoulement ne permettent pas de garantir les pressions hydrauliques requises pour le fonctionnement des systèmes sous pression goutte à goutte (1 bar environ et 3.5 à 4 bars).

Notre observation montre un matériel vieillissant avec de forts signes d'usure et induit des limites à l'efficacité de transport.

Le manque de filtre pourrait entraver le bon fonctionnement des systèmes distributeurs d'eau.

L'efficacité d'application, mesurée lors du test de Christiansen notamment, montre que les pratiques actuelles ne permettent pas une irrigation uniforme sur les légumes ce qui peut induire des pertes de rendement.

Discussion

L'objectif visé ici est d'aider la ferme des Jésuites, dont le rendement des cultures est fragilisé du fait d'une salinité des eaux d'irrigation, d'un manque de moyens financiers et de peu de connaissances techniques en matière d'irrigation.

Notons que ce travail prend en compte un environnement géographique spécifique, l'exploitation étudiée se trouvant à environ 3 m au-dessus du niveau de la mer et proche du littoral sous un climat tempéré avec des pluies et des vents moyens voire en rafales lors des rares tempêtes.

Les résultats sont uniquement à titre indicatif et représentent une infime partie de ce qui pourrait expliquer la perte de rendement des cultures. En effet, un nombre considérable de facteurs serait à prendre en compte pour effectuer une étude complète dont les types de cultures, leur âge, leur hauteur, leur période de croissance, les spécificités de chacun des légumes, l'évapotranspiration, les besoins nutritifs, les besoins en eau selon la période de croissance...

Il faudrait approfondir l'étude des sols notamment sur leurs caractéristiques physiques, leur perméabilité, le drainage interne, leur profondeur...

L'analyse chimique de l'eau reste partielle et ponctuelle. En effet il manque des informations quantitatives et qualitatives, comme par exemple les différents niveaux d'eau ou encore les qualités physiques et biologiques.

Quant à l'étude des méthodes et systèmes d'irrigation, elle reste également limitée par les moyens techniques, financiers et matériels de la ferme.

Par ailleurs, il faut aussi prendre en compte les limites relatives aux méthodes utilisées, aux paramètres étudiés, aux marges d'erreur lors des différents tests.

Quant aux propositions, elles tiennent également compte des moyens techniques disponibles qui réduisent considérablement nos propositions d'actions, considérant que les moyens financiers sont limités et que le personnel dispose de compétences réduites dans le domaine de l'irrigation et du maraichage.

Suite à cette étude, nous pouvons qualifier l'eau de saline, ce qui a un impact négatif sur la croissance des plantes, sur leur feuille avec l'apparition de brûlures du fait du fort taux de chlorures lors de l'irrigation par aspersion, et au niveau de la zone racinaire en irrigation au goutte à goutte, pouvant alors provoquer un stress hydrique dû à la salinité. En effet, la forte conductivité de l'eau d'irrigation provenant des forages Priester et Serre 10, est un frein majeur pour le rendement de la plupart des cultures comme mentionné dans le tableau « classement des légumes selon leur tolérance à la salinité (FAO bulletin 29 1985) ». Au regard de ces éléments, certains légumes ou fruits résistent mieux à l'influence de la salinité de l'eau d'irrigation (ce_w) et /ou de la salinité du sol (ce_e). Cependant une majorité des légumes listés présentent une sensibilité accrue à la teneur en sel du sol et des eaux d'irrigation. Ces propositions restent uniquement à titre indicatif. Elles prennent en compte la plus forte tolérance à la salinité de l'eau d'irrigation, ainsi en ordre décroissant les légumes les plus tolérants seraient les suivants : courgette, betterave rouge, brocoli, tomate, épinards, céleri, chou. Certaines cultures sont sensibles, comme le radis, l'oignon, la carotte, le haricot, le navet. Une autre alternative serait de favoriser les légumes dont les racines sont profondes puisqu'ils absorbent 80% de leur besoin en eau par les racines, comme l'asperge, la citrouille par exemple, ainsi ils pourraient absorber l'eau en profondeur mais là encore il faudrait tenir compte d'autres informations comme la résistance mécanique des racines selon l'espèce.

Des contrôles mesurés dans le temps révèlent une augmentation de la salinité des eaux. Les deux forages les plus préoccupants sont Priester et Serre 10. Ces forages semblent largement endommagés, un contrôle régulier à l'aide du conductimètre permettrait de réduire le risque de détériorer les autres forages. Le sol, dont la texture est plutôt perméable, présente des conductivités acceptables en plein champs. On remarque cependant que la conductivité de sol dans les serres est plus élevée, ce qui peut avoir un effet sur la plupart des cultures. Il semble nécessaire d'effectuer un lessivage, avant la mise en culture, mais aussi de façon régulière pour minimiser l'accumulation des sels en surface.

Le matériel d'irrigation est lacunaire, on note notamment l'absence de dispositif d'écoulement et de filtration ce qui joue sur les performances d'irrigation.

En ce qui concerne le goutte à goutte, les problèmes engendrés sont entre autres dus au matériel et à la qualité de l'eau. Le goutte à goutte actuel nécessiterait à minima un régulateur de pression et un filtre à tamis avec une finesse de filtration 130 microns.

La salinité de l'eau distribuée au goutte à goutte dans les serres a un impact sur le sol (mais pas sur la partie foliaire). Comme mentionné plus haut, des lessivages sont nécessaires pour contrecarrer le phénomène de salinisation. Notons également que des risques d'obturation et de colmatage existent, du fait de la composition chimique de l'eau (teneur en sels dissous élevée) et du manque de filtration. Pour éviter cela, un nettoyage du réseau serait souhaitable. Cela demande une technicité élevée et implique des coûts.

L'irrigation par aspersion présente de mauvaises efficacités de transport et d'application comme ont révélé nos tests et observations. Ceci génère des pertes importantes alors que les forages sont vulnérables. Cette pratique est également soumise à la force du vent et induit une inégale répartition de l'eau sur les cultures. De plus, avec ce système d'irrigation, la salinité de l'eau qui est distribuée par voie aérienne, est nocive lorsqu'elle se pose sur la partie foliaire. Dans ce cas, les légumes à feuilles pourraient être préférablement cultivés dans la zone où le goutte à goutte est pratiqué.

L'absence de crépine filtrante au bout des pompes engendrer des risques de colmatage par des éléments grossiers. L'investissement au moins dans l'achat de ce matériel serait nécessaire.

Pour mieux gérer les pratiques d'irrigation, l'exploitation pourrait se servir du modèle de productivité de l'eau des cultures AquaCrop, modèle élaboré par la FAO.

Conclusion générale et recommandation

Comptes-tenus des compétences professionnelles et des moyens financiers limités, la ferme dispose de peu de marges de manœuvre. Cependant, des pistes de solutions, à son échelle, existent. Elle pourrait se donner des objectifs à différents horizons.

A court terme, en partant de nos constats, elle pourrait sélectionner les légumes les plus résistants à la salinité et préférer le goutte à goutte pour les légumes à feuille et les légumes à faible enracinement, ces derniers demandant un arrosage fréquent. Les légumes avec moins de feuilles, à racines profondes peuvent croître en plein champs et être irrigués par aspersion. Pour contrer les effets du sel sur le sol, elle pourra pratiquer des lessivages fréquents. La surveillance du niveau de salinité devra se faire de façon régulière à l'aide du conductimètre pour limiter les impacts sur les légumes.

Pour l'aspersion il serait intéressant de favoriser les rampes d'aspersion en PEHD, qui montrent moins de signes d'usure. Il faudrait aussi limiter l'utilisation par vent fort et par défaut approcher les rampes d'aspersion lorsque le vent est supérieur à 3.5 m/s (A. Phocaidès Fao 2008).

A moyen terme, Elle devra également nettoyer et filtrer son système d'irrigation pour éviter les risques d'obturation ; Il faudrait à minima investir dans des systèmes de filtration (crépines filtrantes pour chaque forage, filtres à tamis pour les forages des Priester et Serre 10).

Si l'eau devient inutilisable il serait judicieux de s'approvisionner avec une eau de meilleure qualité comme l'eau du réseau pour les cultures à plus forte valeur ajoutée. Cette eau pourrait être appliquée manuellement ou avec de faibles investissements via une motopompe et tuyaux flexibles.

A long terme, également, la question de l'utilisation des eaux des forages Priester et Serre 10, donc de la disponibilité en eau, devra se poser. Il faudra

prévoir un investissement conséquent dans un système d'irrigation plus adapté aux contraintes de la ferme.

Ces investissements devront tenir compte de possibles solutions alternatives, qui permettraient de sécuriser l'aspect qualitatif et quantitatif de la ressource en eau comme la filtration ou le stockage des eaux de pluie. Un boisement aux abords des champs pourrait être prévu afin de limiter l'impact du vent sur les performances de l'irrigation.

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Forage de Priester proche watering

Annexe 2 : Analyses chimiques d'eaux des Forages Laboratoire Galys

Annexe 3 : Analyses de sol Laboratoire Galys

Annexe 4 : Documentation technique conductimètre Hanna instruments

Annexe 5 : Documentation technique ligne goutteur netafilm

Annexe 6 : Documentation sprinkler Rolland 17

Annexe 7 : Test d'uniformité : extrait tableur test d'uniformité

Annexe 1 : Forage de Priester proche watering



Annexe 2 - Analyses chimiques d'eaux des Forage Laboratoire Galys



GALYS

laboratoire agricole

14, Rue André Boule

41000 Blois

Tél : 02 54 55 88 88 Fax : 02 54 55 89 50

Nos ref : 2021050158

Vos ref : SERRE 20 N°1

ANALYSE D'EAU

RESULTATS ET VISUALISATION				Très faible	Faible	Normal	Elevé	Très élevé
Eléments dosés								
AMBIANCE CHIMIQUE		mg/l	meq/l					
Bicarbonates	HCO3	642,5	10,53					
Carbonates	CO3							
Acidité	pH	7,4						
Correction pH *								
Conductivité 25°C		5,152	mS/cm					
Titre hydrotimétrique		93	°F					
ELEMENTS AZOTES		mg/l	meq/l					
Ammonium	N-NH4	2,0	0,14					
Nitrate	N-NO3	0,1	0,01					
ELEMENTS MINERAUX								
Phosphore	P-H2PO4	0,7	0,02					
Potassium	K	73,5	1,88					
Calcium	Ca	189,8	9,49					
Magnésium	Mg	103,7	8,54					
Soufre	S-SO4	132,2	8,26					
SALINITE		mg/l	meq/l					
Chlore	Cl	1495,6	42,25					
Sodium	Na	943,6	41,03					
OLIGO-ELEMENTS		mg/l						
Fer	Fe	0,83						
Manganèse	Mn	0,05						
Cuivre	Cu	< 0,05						
Zinc	Zn	< 0,05						
Bore	B	0,87						

* Correction à pH 5,8 -Acide nitrique à 36° baumé

ANALYSE D'EAU

RESULTATS ET VISUALISATION				Totalement faible	Faible	Normal	Elevé	Totalement élevé
Eléments dosés								
AMBIANCE CHIMIQUE								
		mg/l	meq/l					
Bicarbonates	HCO ₃	503,7	8,26					
Carbonates	CO ₃							
Acidité	pH	7,4						
Correction pH *								
Conductivité 25°C		3,808	mS/cm					
Titre hydrotimétrique		107	°F					
ELEMENTS AZOTES								
		mg/l	meq/l					
Ammonium	N-NH ₄	1,1	0,08					
Nitrate	N-NO ₃	0,1	0,01					
ELEMENTS MINERAUX								
Phosphore	P-H ₂ PO ₄	0,4	0,01					
Potassium	K	40,6	1,04					
Calcium	Ca	326,7	16,33					
Magnésium	Mg	58,8	4,84					
Soufre	S-SO ₄	141,9	8,87					
SALINITE								
		mg/l	meq/l					
Chlore	Cl	1064,1	30,06					
Sodium	Na	573,1	24,92					
OLIGO-ELEMENTS								
		mg/l						
Fer	Fe	1,09						
Manganèse	Mn	0,12						
Cuivre	Cu	< 0,05						
Zinc	Zn	< 0,05						
Bore	B	0,42						

* Correction à pH 5,8 -Acide nitrique à 36° baumé

Nos ref : 2021050159

Vos ref : BERCK N°3

ANALYSE D'EAU

RESULTATS ET VISUALISATION				Très faible	Faible	Normal	Elevé	Très élevé
Eléments dosés								
AMBIANCE CHIMIQUE				mg/l	meq/l			
Bicarbonates	HCO3	550,7	9,03					
Carbonates	CO3							
Acidité	pH	7,1						
Correction pH *								
Conductivité 25°C		1,725	mS/cm					
Titre hydrotimétrique		92	°F					
ELEMENTS AZOTES				mg/l	meq/l			
Ammonium	N-NH4	1,1	0,08					
Nitrate	N-NO3	0,1	0,01					
ELEMENTS MINERAUX								
Phosphore	P-H2PO4	0,3	0,01					
Potassium	K	51,0	1,31					
Calcium	Ca	325,6	16,28					
Magnésium	Mg	23,9	1,96					
Soufre	S-SO4	104,5	6,53					
SALINITE				mg/l	meq/l			
Chlore	Cl	297,7	8,41					
Sodium	Na	100,1	4,35					
OLIGO-ELEMENTS				mg/l				
Fer	Fe	2,67						
Manganèse	Mn	0,21						
Cuivre	Cu	< 0,05						
Zinc	Zn	< 0,05						
Bore	B	0,27						

* Correction à pH 5,8 -Acide nitrique à 36° baumé

Nos ref : 2021050160

Vos ref : DLF N°4

ANALYSE D'EAU

RESULTATS ET VISUALISATION				Très faible	Faible	Normal	Elevé	Très élevé
Eléments dosés								
AMBIANCE CHIMIQUE				mg/l	meq/l			
Bicarbonates	HCO3	523,4	8,58					
Carbonates	CO3							
Acidité	pH	7,1						
Correction pH *								
Conductivité 25°C				1,702	mS/cm			
Titre hydrotimétrique				92	°F			
ELEMENTS AZOTES				mg/l	meq/l			
Ammonium	N-NH4	0,5	0,03					
Nitrate	N-NO3	0,1	0,01					
ELEMENTS MINERAUX								
Phosphore	P-H2PO4	0,2	0,01					
Potassium	K	6,4	0,16					
Calcium	Ca	336,9	16,85					
Magnésium	Mg	17,7	1,46					
Soufre	S-SO4	108,9	6,81					
SALINITE				mg/l	meq/l			
Chlore	Cl	240,3	6,79					
Sodium	Na	84,7	3,68					
OLIGO-ELEMENTS				mg/l				
Fer	Fe	2,48						
Manganèse	Mn	0,19						
Cuivre	Cu	< 0,05						
Zinc	Zn	< 0,05						
Bore	B	0,19						

* Correction à pH 5,8 -Acide nitrique à 36° baumé

Annexe 3 :Analyses de sol Laboratoire Galys



LA FERME DES JESUITES
2 BOULEVARD THOMSON
CS 60500
59815 LESQUIN CEDEX
FRANCE

Réception: 26/05/2021 Edition du rapport : 14/06/2021	Nos références : Echantillon N° : 2021052453 Code Rapport : RACB-2021052453-15140544
--	--

RAPPORT D'ANALYSE

Vos références : DLF		
Date de prélèvement : 25/05/2021		
DETERMINATION	Résultat	Unité
<i>Analyses réalisées par GALYS - BLOIS (41) - Mise en analyse le 28/05/2021 - Accréditation N°1-6798</i>		
✕ Argile <i>NF X 31-107</i>	199	g/kg
✕ Limons fins <i>NF X 31-107</i>	80	g/kg
✕ Limons grossiers <i>NF X 31-107</i>	104	g/kg
✕ Sables fins <i>NF X 31-107</i>	212	g/kg
✕ Sables grossiers <i>NF X 31-107</i>	405	g/kg
✕ Calcaire total (CaCO ₃) <i>NF ISO 10693</i>	9.3	g/kg
Carbone organique <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	11.19	g/kg
Matières Organiques <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	19.36	g/kg
Conductivité <i>NF ISO 11265</i>	19.000	mS/m

Réception: 26/05/2021	Nos références :
Édition du rapport : 14/06/2021	Echantillon N° : 2021052452
	Code Rapport : RACB-2021052452-15140544

RAPPORT D'ANALYSE

Vos références : SERRE 10
Date de prélèvement : 25/05/2021

DETERMINATION	Résultat	Unité
<i>Analyses réalisées par GALYS - BLOIS (41) - Mise en analyse le 28/05/2021 - Accréditation N°1-6798</i>		
✕ Argile <i>NF X 31-107</i>	203	g/kg
✕ Limons fins <i>NF X 31-107</i>	100	g/kg
✕ Limons grossiers <i>NF X 31-107</i>	136	g/kg
✕ Sables fins <i>NF X 31-107</i>	367	g/kg
✕ Sables grossiers <i>NF X 31-107</i>	194	g/kg
✕ Calcaire total (CaCO3) <i>NF ISO 10693</i>	58.1	g/kg
Carbone organique <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	17.91	g/kg
Matières Organiques <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	30.98	g/kg
Conductivité <i>NF ISO 11265</i>	120.000	mS/m

Réception: 26/05/2021	Nos références :
Édition du rapport : 14/06/2021	Echantillon N° : 2021052451
	Code Rapport : RACB-2021052451-15140544

RAPPORT D'ANALYSE

Vos références : SABLE
Date de prélèvement : 25/05/2021

DETERMINATION	Résultat	Unité
<i>Analyses réalisées par GALYS - BLOIS (41) - Mise en analyse le 28/05/2021 - Accréditation N°1-6798</i>		
✕ Argile <i>NF X 31-107</i>	62	g/kg
✕ Limons fins <i>NF X 31-107</i>	27	g/kg
✕ Limons grossiers <i>NF X 31-107</i>	57	g/kg
✕ Sables fins <i>NF X 31-107</i>	439	g/kg
✕ Sables grossiers <i>NF X 31-107</i>	414	g/kg
✕ Calcaire total (CaCO3) <i>NF ISO 10693</i>	9.3	g/kg
Carbone organique <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	5.09	g/kg
Matières Organiques <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	8.81	g/kg
Conductivité <i>NF ISO 11265</i>	13.000	mS/m

Réception: 26/05/2021	Nos références :
Edition du rapport : 14/06/2021	Echantillon N° : 2021052450
	Code Rapport : RACB-2021052450-15140544

RAPPORT D'ANALYSE

Vos références : SERRE MULTI
Date de prélèvement : 25/05/2021

DETERMINATION	Résultat	Unité
<i>Analyses réalisées par GALYS - BLOIS (41) - Mise en analyse le 28/05/2021 - Accréditation N°1-6798</i>		
✕ Argile <i>NF X 31-107</i>	92	g/kg
✕ Limons fins <i>NF X 31-107</i>	42	g/kg
✕ Limons grossiers <i>NF X 31-107</i>	61	g/kg
✕ Sables fins <i>NF X 31-107</i>	445	g/kg
✕ Sables grossiers <i>NF X 31-107</i>	361	g/kg
✕ Calcaire total (CaCO ₃) <i>NF ISO 10693</i>	27.0	g/kg
Carbone organique <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	7.93	g/kg
Matières Organiques <i>Méthode interne MT-COR adaptée de NF ISO 14235</i>	13.72	g/kg
Conductivité <i>NF ISO 11265</i>	140.000	mS/m

Annexe 4 : Documentation technique conductimètre Hanna instruments

HI99301 EC/TDS-mètre compact

Étanche, ergonomique et économique

Léger, compact et étanche, il est parfait pour les mesures sur site. Équipé d'un écran à 2 niveaux, il affiche simultanément la conductivité (ou TDS) et la température. **HI99301** est livré en mallette de transport pour les mesures sur site, avec une sonde de conductivité/TDS robuste. La correction de température s'effectue automatiquement grâce au capteur de température intégré. Qu'il soit employé en local technique ou sur le terrain, il séduit par sa polyvalence et sa simplicité d'utilisation.

Les points forts

- ✦ Boîtier étanche et compact facile à nettoyer
- ✦ Affichage simultané de la conductivité (ou TDS) et de la température
- ✦ Kit prêt à mesurer livré dans une mallette de transport robuste
- ✦ Étalonnage au clavier, simple à réaliser
- ✦ Sonde multiparamètre EC/TDS/°C robuste
- ✦ Correction automatique des mesures en température
- ✦ Coefficient de température et facteur TDS réglables
- ✦ Indicateur d'alerte en cas de faible niveau de charge des piles

Spécifications		HI99301
Gamme	EC	0,00 à 20,00 mS/cm
	TDS	0,00 à 10,00 g/L (ppt)
	Température	5,0 à 105,0°C
Résolution	EC	0,01 mS/cm
	TDS	0,01 g/L (ppt)
	Température	0,1 °C
Exactitude	EC / TDS	±2% pleine échelle
	Température	±0,5 °C
Facteur de conversion TDS	Ajustable, de 0,45 à 1,00 en pas de 0,01	
Étalonnage	Automatique, en 1 point à 12,88 mS/cm ou à 6,44 g/L (ppt) (CONV 0,5) ou 9,02 g/L (ppt) (CONV 0,7)	
Correction de température	Automatique, avec β ajustable de 0,0 à 2,4 %/°C en pas de 0,1 %	
Sonde	HI763063 , EC/TDS/°C, avec connecteur Quick DIN et câble 1 m (fournie)	
Alimentation / Durée de vie	3 piles 1,5 V AAA / Environ 1400 heures d'utilisation continue Auto-extinction après 8, 60 minutes ou désactivée	
Dimension / Poids	154 x 63 x 30 mm / 196 g	

Présentation

HI99301 est livré en mallette de transport avec une sonde de conductivité **HI763063**, solution d'étalonnage à 12,88 mS/cm (20 mL), solution d'étalonnage à 6,44 g/L (20 mL), solution de nettoyage pour électrodes (2 x 20 mL), un becher 100 mL et les piles.

Sonde

HI763063 Sonde EC/TDS/Température avec connecteur Quick DIN et câble 1 m

Solutions

HI70030P Solution d'étalonnage 12800 µS/cm en sachet, 25 x 20 mL

HI70038P Solution d'étalonnage 6,44 g/L (ppt) en sachet, 25 x 20 mL

Accessoires

HI710028 Étui antichoc orange

HI710029 Étui antichoc bleu



Quick DIN

Sonde de conductivité avec connexion Quick DIN avec dispositif de détartrage



HI710029
Étui antichoc bleu

Source : www.hannainstruments.fr

Annexe 5 : Documentation technique ligne goutteur netafilm

Source : www.netafim.fr

SPÉCIFICATIONS

- Finesse de filtration à respecter : 130 microns / 120 mesh.

DONNÉES TECHNIQUES - GOUTTEURS

Épaisseur de la paroi - 0.15 mm

DÉBIT* (L/H)	PRESSION DE FONCTIONNEMENT MAX.** (BAR)	DIMENSIONS DU PASSAGE DE L'EAU LARGEUR-PROFONDEUR-LONGUEUR (MM)	SURFACE DE FILTRATION (MM²)	CONSTANT K	EXPOSANT X	FILTRATION RECOMMANDÉE (MICRON)/(MESH)
0.80	1.0	0.59 x 0.33 x 25	12	0.265	0.48	130/120
1.10		0.51 x 0.44 x 13	14	0.392	0.45	130/120
1.60		0.65 x 0.55 x 13	15	0.568	0.45	130/120
2.20		0.72 x 0.65 x 13	15	0.780	0.45	130/120
2.80		0.84 x 0.73 x 13	15	0.993	0.45	200/80

* Débit à 1.0 bar de pression ** Selon le diamètre et l'épaisseur de paroi du tuyau

DÉBIT (L/H) VS. PRESSION (BAR)

Épaisseur de la paroi - 0.15 mm

DÉBIT (L/H)	PRESSION (BAR)										
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.4
0.80	0.45	0.52	0.57	0.63	0.67	0.72	0.76	0.80	0.84	0.87	0.94
1.10	0.64	0.73	0.81	0.88	0.94	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.29
1.60	0.93	1.06	1.17	1.27	1.36	1.45	1.53	1.60	1.67	1.74	1.86
2.20	1.28	1.46	1.61	1.75	1.87	1.99	2.10	2.20	2.29	2.39	2.56
2.80	1.85	2.05	2.22	2.38	2.53	2.67	2.10	2.80	2.92	3.04	3.26

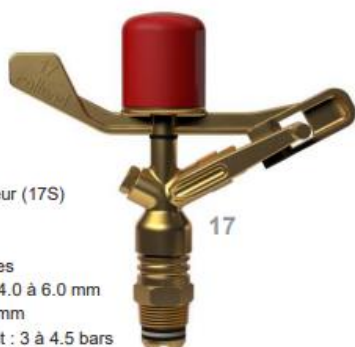
* Débit à 1.0 bar de pression

Annexe 6 : Documentation technique sprinkler Rolland 17



CARACTÉRISTIQUES

- ✓ Arroseur et buse laiton
- ✓ Angle du jet : 28°
- ✓ Arroseur circulaire ou secteur (17S)
- ✓ Filetage 3/4" Mâle BSP
- ✓ Débit de 0.95 à 3.53 m³/h
- ✓ Rayon de 14.0 à 18.0 mètres
- ✓ Diamètres buse avant : de 4.0 à 6.0 mm
- ✓ Buse arrière : de 2.0 à 3.0 mm
- ✓ Pression de fonctionnement : 3 à 4.5 bars



17 (une buse)

Diamètre buse (mm)	Pression (bar)	Débit* (l/h)	Rayon* (m)	Pluviométrie* (mm/hr)		
				15x15	18x18	21x21
4.0	2.5	950	14.00	4.2	2.9	2.2
	3.0	1050	14.30	4.7	3.2	2.4
	3.5	1150	15.10	5.1	3.5	2.6
4.2	3.0	1160	14.50	5.2	3.6	2.6
	3.5	1255	15.40	5.6	3.9	2.8
	4.0	1360	15.70	6.0	4.2	3.1
4.5	3.0	1300	14.90	5.8	4.0	2.9
	3.5	1400	15.60	6.2	4.3	3.2
	4.0	1500	16.10	6.7	4.6	3.4
5.0	3.0	1550	15.50	6.7	4.8	3.5
	3.5	1600	16.30	7.1	4.9	3.6
	4.0	1700	17.20	7.6	5.2	3.9
5.5	3.0	1900	16.20	8.4	5.9	4.3
	3.5	2020	17.00	9.0	6.2	4.6
	4.0	2100	17.30	9.3	6.5	4.8
6.0	3.5	2090	16.50	9.3	6.5	4.7
	4.0	2190	17.60	9.7	6.8	5.0
	4.5	2300	18.10	10.2	7.1	5.2

* A litre indicatif uniquement.

17 (double buse)

Diamètre buse (mm)	Pression (bar)	Débit* (l/h)	Rayon* (m)	Pluviométrie* (mm/hr)		
				15x15	18x18	21x21
4.5 x 2.5	3.0	1640	14.90	7.3	5.1	3.7
	3.5	1785	15.60	7.9	5.5	4.0
	4.0	1910	16.10	8.5	5.9	4.3
5.0 x 2.5	3.0	1820	15.50	8.1	5.6	4.1
	3.5	1965	16.30	8.7	6.1	4.5
	4.0	2086	17.20	9.3	6.4	4.7
5.5 x 3.0	3.0	2375	16.20	10.6	7.3	5.4
	3.5	2575	17.00	11.4	7.9	5.8
	4.0	2740	17.30	12.2	8.5	6.2
6.0 x 3.0	3.0	3220	16.50	14.3	9.9	7.3
	3.5	3420	17.60	15.2	10.6	7.8
	4.0	3530	18.10	15.7	10.9	8.0

* A litre indicatif uniquement.

Existe aussi :
 Buse motrice : Ø4.8
 Buse motrice avec diffuseur intégré : Ø5.8D1 - Ø6D1
 Buse motrice plastique : Ø4.0 - 4.5 - 5.0

17S (secteur)

Diamètre buse (mm)	Pression (bar)	Débit* (l/h)	Rayon* (m)
4.5	3.0	1300	14.90
	3.5	1400	15.60
	4.0	1500	16.10
5.0	3.0	1550	15.50
	3.5	1600	16.30
	4.0	1700	17.20
5.5	3.0	1900	16.20
	3.5	2020	17.00
	4.0	2100	17.30
6.0	3.5	2090	16.50
	4.0	2190	17.60
	4.5	2300	18.10

Existe aussi : Buse motrice : Ø4.8 - Ø5.8D1 (diffuseur intégré).
 * A litre indicatif uniquement.

UTILISATION

- Cultures maraîchères, prairies, vergers, pépinières, espace vert, rabattage de poussières, ...

SPÉCIALITÉS

- Buse brise jet disponible.
- Asperseur polyvalent.
- Très bonne homogénéité d'arrosage.
- Version secteur pour le 17S.
- Écartement de 12 à 21 mètres.
- Axe inox pour une meilleure résistance à l'usure.
- Capuchon de protection.
- Jupe de protection pour le ressort de pression.
- Tests CEMAGREF disponibles sur demande.

Annexe 7 : Test d'uniformité : extrait tableur test d'uniformité

Tableur uniformité de distribution

moyenne	9,36	mm/h				
distance	0	3	6	9	12	distance
4	11,37	14,62	11,37	4,55	5,52	4
4	11,37	14,30	11,37	6,50	4,87	4
4	14,9	10,72	10,40	3,90	4,55	4
Pmoyen	9,36					
Pqi	5					
DU	55,56					

Sources

AYERS 1985 Water quality for agriculture

BARBIER J., CHERY L., PETELET-GIRAUD E. (2001) Contribution à la caractérisation des états de référence géochimique des eaux souterraines, outils et méthodologie

BARBIERO Laurent 1994 Les sols alcalinisés sur socle dans la vallée du fleuve Niger: origines de l'alcalinisation et évolution des sols sous irrigation

BINGHAM F.T., GARBER M.J., 1970 - Zonal salinization of the root system with NaCl and boron in relation to growth and water uptake of corn plants. Soil Sei. Soc. Amer. Proc., 34 122-126.

BIZE -CORREGE burgeap- S.RAMON BRGM) Mars 1969 Service géologique régional du Nord Pas de Calais

BOS MG 1990 On irrigation efficiency 4th edition

BRIDA Nathalie 2008 Modélisation du bilan hydrique : l'étape clé de la détermination des paramètres et des variables d'entrée

BRUAND Ary, PÉREZ FERNÁNDEZ P., DUVAL Odile, QUÉTIN P., NICOUILLAUD Bernard, GAILLARD H., RAISON L., PESSAUD J.-F., PRUD'HOMME L. 2006 Estimation des propriétés de rétention en eau des sols <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00068212/document>

CHAPMAN 1973 The Potassium, Sodium, Magnesium, Calcium and Phosphate Nutrition of Sugarbeet (*Beta vulgaris*) Grown on Soils Containing Incorporated Straw

CLARK RB, ZETO SK, RITCHEY KD, BALIGAR VC 1979 Boron accumulation by maize grown in acidic soil amended with coal combustion products vol78

CREPA / OMS) – 2007 Protocole de détermination des paramètres physico chimiques et bactériologiques

CRUESI, 1970 Recherches et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées UNESCO. 243P.

DELAIRE Mickaël 2005 Variations de la capacité d'absorption minérale par les racines du jeune *Acer pseudoplatanus*, L.(Acéracées) consécutives à l'histoire nutritionnelle récente

DUBOIS G. (1924) - Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France

GHOULAM C, FOURSYS A, FARES K – 2002-Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars

GLASS & SIDDIQI 1995 Nitrate induction in spruce: an approach using compartmental analysis

GONTARD François 2020 Point de vue - La recherche de l'efficacité maximum de l'eau, un objectif à ne pas déconnecter d'une vision intégrée du système de production

GREGORY 2005 Phytotoxicity of biosolids and screening of selected plant species with potential for mercury phytoextraction

HAMDY A., 2001a Saline irrigation management for a sustainable use. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 49P.

HELLER R., ESNAULT R. & LANCE C. 1993 mécanisme général des plantes :, Physiologie végétale, t. I : Nutrition, Masson, Paris, 5e éd.

HELLER René, RONA Jean-Pierre, « ABSORPTION VÉGÉTALE », Encyclopædia Universalis

HERGERT, GARY W. et KNUDSEN, DELNO, "G77-328 Irrigation Water Quality Criteria" (1977).

HOFFMAN 1980 Pratiques pastorales et dynamique de couvert végétal en pays lobi

HUFTY André 2001 – Introduction à la climatologie

JAMAGNE et BÉTREMIEUX, in Lemonnier, 1992 Structure du sol . Estimation de la Réserve Utile à partir de la texture.

JOHN L, LOGAN Merriam, KELLER Jack 1978 Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management

KLOPPMANN W., BOURHANE A., ASFIRANE F. (2011) biseaux salés Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau.

KLOPPMANN W., BOURHANE A., SCHOMBURGK S. (2010), Salinisation des masses d'eaux en France métropolitaine et dans l'Outre-mer. Rapport BRGM/RP

LABERCHE J.-C., Biologie végétale, Dunod, Paris, 3e éd. 2010

LALLEMAND-BARRES 1980 aménagement des sols salés- irrigation avec des eaux salées

LOUVRIER M 1971 étude hydrochimique de quelques eaux minérales françaises –application de méthodes de traitement automatique - BRGM

LUYTEN K., and LEBBE L. 2008 Effects of Global Change on Heterogeneous Coastal Aquifers: A Case Study in Belgium

MAAS E. V., HOFFMAN G. J., 1977. Crop salt tolerance - Current assessment. ASCE J. Irrig. Drain. Div., 103, 115-134

MARSCHNER, 1995 Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn. Academic, London, UK, p 889

NEUPANE Jasmin, GUO Wenxuan, 2019) Base agronomique et stratégies pour une eau de précision (Department of Plant and Soil Science, Texas Tech University)

OUERFELLI N., 1997. Possibilités d'amélioration des performances de l'irrigation par aspersion dans les perimetres de Siliana, Tunisie.

PEREIRA L.S., ALLEN R. & PERRIER A., 2006. Méthode pratique du calcul des besoins en eau. In : Tiercelin J.-R. & Vidal A., eds. *Traité d'irrigation*. 2^e éd. Paris : Lavoisier, 227-268

PERRY CJ, 2007 Efficient irrigation : inefficient communication ; flawed recommendation 56

PERSON J., 1978 Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux. Bull. BRGM (2^{ème} série) section III, n°2 : 143- 151.

PIPER A.M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. American Geophysical Union, Trans. 914-923.

PETERSON et NEWMAN (1976) Influence of soil pH on the availability of added boron

PRINS K, KAY M, HEIBLOEM M; FAO 1990 gestion des eaux en irrigation Manuel de formation n° 5 Méthodes d'irrigation <https://www.fao.org/3/s8684f/s8684f.pdf>

RODIER J., L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats, Paris (France), Dunod, 1996,

- RODIER J., LEGUDE B., MERLET N. et coll. 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579p.
- ROMERO-ARANDa, T Soria, J Cuartero - Plant science, 2001-Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions –
- ROZEMA et FLOWERS, 2008 Salinity tolerance in halophytes
- SHOELLER 1962, les eaux souterraines
- SOUTTER Marc, MERMOUD André, MUSY André 2007 Ingénierie des eaux et du sol: processus et aménagements
- TANJI et KIELEN, 2002 Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas
- TIERCELIN J.-R. & GRANIER J., 2006. L'irrigation par aspersion. In : Tiercelin J.-R. & Vidal A., eds. Traité d'irrigation. 2e éd. Paris : Lavoisier, 549-583.
- TUZEL (Y). 1994, effects of plastic water tubes on glasshouse climate and tomato production /
- VAN HALSEMA.,al 2012 efficiency and productivity terms for water management : a matter of contextual relativism versus general absolutism 108
- VANDENBOHEDE et al.,2014"De Louw et al., 2013 ; Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands
- WANG D, GAO Y, LI M, STURROCK CJ, GREGORY AS 2020... - Plant and Soil, Change in hydraulic properties of the rhizosphere of maize under different abiotic stresses-
- WESTCOT, 1985 Water quality for agriculture
- WILCOX L.V 1955 classification and use of irrigation waters
- YOUCHE 2010 Amélioration de la distribution de l'eau d'irrigation pour la culture biologique de la tomate de serre. Canada
-