



ÉTUDE DIAGNOSTIQUE ET REDIMENSIONNEMENT DU RÉSEAU D'ARROSAGE DE LA PÉPINIÈRE FORESTIÈRE MODERNE DE CHOTT MARIEM, SOUSSE-TUNISIE

DIAGNOSTIC STUDY AND RESIZING OF THE IRRIGATION SYSTEM OF THE MODERN FOREST NURSERY OF CHOTT MARIEM, SOUSSE-TUNISIE

M'SADAK Y., MANAI A.

¹ Institut Supérieur Agronomique - BP 47, 4042 Chott-Mariem, Université de Sousse, Tunisie

msadak.youssef@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'eau figure parmi les principaux éléments qui touchent de façon significative les différentes phases de croissance des plants. L'irrigation est généralement facilitée par un système d'arrosage qui devrait être maintenu en bon état de fonctionnement. L'objectif essentiel de l'investigation mise en œuvre est de diagnostiquer le réseau de fertigation par aspersion adopté au sein de la Pépinière Forestière Moderne (PFM) de Chott Mariem (Délégation d'Akouda, gouvernorat de Sousse, Tunisie) et d'apprécier expérimentalement la qualité d'arrosage des plants produits.

L'étude a comporté un diagnostic visuel pour relever les anomalies éventuelles, un contrôle de débits des asperseurs et un test d'uniformité de répartition de l'eau au niveau de différentes zones de l'aire de culture. Ce travail a touché également le redimensionnement partiel du réseau hydraulique.

A la lumière de cette étude diagnostique et des résultats acquis, on a pu constater quelques anomalies de colmatage et de fabrication des asperseurs au niveau de certaines zones de culture (Débits relevés entre 241,5 et 285,0 l/h). Par ailleurs, on a pu relever une bonne uniformité d'arrosage traduite par de bons coefficients d'uniformité variant entre 86,0 et 89,3% au niveau des zones

considérées. Malgré de tels résultats satisfaisants, d'autres anomalies ont été relevées, notamment, le colmatage des filtres et la chute considérable des débits des asperseurs lors de l'arrosage de deux zones simultanément avec une chute de la portée des asperseurs et la formation de gouttelettes grossières d'eau, ce qui est défavorable, en termes de qualité d'arrosage. Une telle situation exige l'application stricte de l'arrosage d'une seule zone de culture par tour d'arrosage, moyennant le recours à un programmeur fonctionnel d'arrosage.

Mots clés : Pépinière Forestière Moderne, Zone de culture, Réseau hydraulique, Diagnostic, Test d'uniformité, Redimensionnement partiel.

ABSTRACT

Water is one of the main elements that significantly affect the different growth phases of plants. Irrigation is usually facilitated by a watering system that should be kept in good working order. The main objective of the investigation is to diagnose the spraying fertigation network adopted within the Chott Mariem Modern Forest Nursery (PFM) (Delegation of Akouda, Sousse governorate, Tunisia) and to appreciate experimentally the watering quality of the plants produced.

The study included a visual diagnosis to identify potential anomalies, sprinkler flow control and a uniformity test for water distribution in different areas of the growing area. This work also affected the partial resizing of the hydraulic network.

In the light of this diagnostic study and the acquired results, it was possible to note some anomalies of clogging and sprinkler manufacture in certain growing areas (Flow rates recorded between 241.5 and 285.0 l/h). On the other hand, it was possible to observe a good uniformity of watering translated by good coefficients of uniformity varying between 86.0 and 89.3% at the level of the considered zones. In spite of such satisfactory results, other anomalies were noted, notably the clogging of the filters and the considerable drop in sprinkler flow rates when watering two zones simultaneously with a drop in the sprinkler range and the formation of droplets. Coarse water, which is unfavorable, in terms of watering quality. Such a situation requires the strict application of the watering of a single growing area per irrigation tower, by means of the use of a functional watering controller.

Keywords: Modern Forest Nursery, Culture area, Hydraulic network, Diagnostic, Uniformity test, Partial resizing.

INTRODUCTION

La demande de produits forestiers au niveau mondial ne cesse de croître et les superficies forestières diminuent considérablement (Amia, 2007), d'où, le recours à la production des plants forestiers dans différentes pépinières contribue de façon significative à l'amélioration pastorale, à la conservation et à la protection des sols et à la lutte contre la désertification et l'ensablement continental et maritime (Lamhamedi et al., 2006). En Tunisie, la première pépinière forestière permanente a été créée en 1937. A l'indépendance, en 1956, la Tunisie ne disposait que de 15 pépinières forestières traditionnelles. Récemment, elle en dispose de 103, dont 16 déjà modernisées (Yacoubi, 2015). La modernisation des pépinières s'est traduite par l'introduction de nouvelles technologies et l'amélioration des pratiques culturales. La pépinière forestière de Chott Mariem fait partie des pépinières modernes, consacrée à la production des plants forestiers, en introduisant de nouvelles technologies de production.

Besoin indispensable des plantes, l'eau est une ressource précieuse. C'est pourquoi la gestion de l'eau dans une pépinière doit être bien contrôlée. L'utilisation efficace d'un système d'asperseurs est influencée par plusieurs facteurs : la pression de l'eau, l'espacement des asperseurs, la hauteur des asperseurs, la verticalité des asperseurs, le choix des têtes d'asperseurs (buses), la pente du terrain, la vitesse du vent, la direction du vent, la température et la canopée des plants. Cette dernière, définie comme l'architecture des parties aériennes combinée à la surface et à l'angle foliaire, peut causer différentes pertes d'eau à l'arrosage suivant les espèces cultivées (Lamhamedi et al., 2006).

L'eau est aussi le vecteur de différentes pollutions : éléments fertilisants, pesticides, maladies. Le choix d'un procédé d'irrigation adapté, l'optimisation des apports et la limitation des rejets apparaissent comme des points essentiels pour l'augmentation de la production et la préservation de l'environnement (Mary et al., 2012). L'eau dans le substrat sert à dissoudre et à transporter les éléments minéraux pour la nutrition du plant. Un approvisionnement en eau en quantité suffisante et en qualité est un critère primordial dans le choix du site pour l'installation d'une pépinière (Lamhamedi et al., 2006).

L'entretien et le contrôle de l'installation d'arrosage au sein de la pépinière est une tâche nécessaire pour le maintien de la bonne production et la préservation des ressources. Letey et al. (1984) indiquent que le fait d'ignorer le facteur « uniformité d'irrigation » conduit à une sous-estimation de l'apport optimal d'irrigation nécessaire pour atteindre un rendement optimal. L'objectif de l'étude diagnostique au sein de la Pépinière Forestière Moderne (PFM) de Chott

Mariem consiste en une évaluation du fonctionnement de l'installation d'irrigation fertilisante (ou de fertigation) par aspersion, en appréciant les débits des asperseurs installés et l'uniformité d'arrosage, en dégagant les différentes anomalies existantes, en analysant relativement le redimensionnement du réseau hydraulique et en proposant des améliorations possibles pour maintenir l'installation en état de fonctionnement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

Localisation géographique et données climatiques de la pépinière

En Tunisie, La PFM de Chott Mariem (d'une superficie de 1,5 ha) relève du gouvernorat de Sousse et est rattachée administrativement à la délégation d'Akouda. Elle fut l'une des pépinières pilotes aménagées en Tunisie depuis 1998 dans le cadre du 9^{ème} plan de développement suivant le savoir-faire Canadien. La production au sein de cette pépinière est d'environ un million de plants par an, arrosée par de l'eau fournie, à partir de la station de pompage du barrage de Nabhana (sur l'oued Nabhana, à 23 km au nord-ouest de Sbikha, gouvernorat de Kairouan).

La zone d'étude appartient au bioclimat semi-aride (INM, 2004). La température minimale moyenne est de l'ordre de 7,3 °C (enregistrée pendant le mois de Février), et la température maximale moyenne est de l'ordre de 32,2 °C (mois d'Aout). La région de Chott Mariem se caractérise par une pluviométrie moyenne de l'ordre de 403 mm, et par des vents dominants provenant du Nord et du Nord-Ouest. La vitesse du vent est faible à modérée et exceptionnellement élevée avec un maximum de l'ordre de 3,4 m/s durant le mois d'Avril.

Description des principaux aménagements de la pépinière

La pépinière de Chott Mariem est dotée d'une ombrière (photo 1) qui couvre une superficie de 7956 m² pour assurer une production maximale de 1 million de plants. Cette superficie appelée plate-forme ou aire de culture est divisée en six zones de culture, réservées pour l'élevage des plants forestiers en conteneurs. Les conteneurs sont déposés, sous l'ombrière abritant l'aire de culture, sur des tables de culture. Ces tables sont surélevées de 15 cm à l'aide de blocs de ciment pour permettre un cernage aérien des racines. Chaque table est constituée d'un cadrage d'acier galvanisé capable d'en recevoir dix (2 x 5)

conteneurs à 15 cavités contiguës (3 x 5), de 410 cm³ chacune (Landis et al., 1989 ; Landis et al., 1990), voire, un volume actuel moindre (Cavité d'une capacité de 350 cm³).



Photo 1 : Aire de culture des plants forestiers sous ombrière au sein de la PFM de Chott Mariem (Cliché 2017)

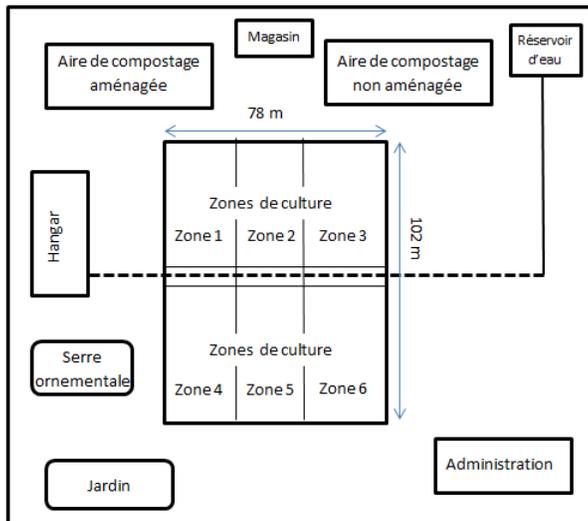


Figure 1 : Schéma d'organisation générale de la PFM de Chott Mariem



Photo 2 : Aire bétonnée de compostage au sein de la PFM de Chott Mariem (Cliché 2017)

Le schéma d'organisation générale de la PFM de Chott Mariem est illustré par la figure 1, montrant, entre autres, l'aire de culture et les aires de compostage. Ces dernières sont destinées à la production du compost sylvicole (photo 2), composant essentiel du substrat de culture des plants produits.

Description technique du réseau hydraulique de la pépinière

Le barrage de Nabhana alimente la pépinière en eau d'irrigation. Le réseau d'irrigation prend sa source dans deux bassins, un bassin à l'extérieur de capacité de stockage de 270 m³ et un bassin à l'intérieur de capacité de 60 m³. Le bassin d'intérieur est muni d'un groupe motopompe servant à l'arrosage des plants, d'une puissance de 0,75 kW et d'un débit variant de 1,2 à 4,2 m³/h. Le réseau hydraulique est formé par un ensemble d'infrastructures (ouvrages et équipements), illustrés par la figure 2, qui permettent le transport de l'eau d'irrigation et sa distribution sous pression utilisant un système de fertigation par aspersion.

La distribution d'eau se fait via un réseau enterré de tuyauteries en polychlorure de vinyle PVC (tuyau d'approche) et en polyéthylène PE (Porte-rampes et rampes). Une station de tête a été conçue pour assurer la filtration de l'eau d'irrigation (par un filtre à gravier, en premier lieu, puis, par un filtre à lamelles, en second lieu) et l'aspiration de l'eau et son pompage sous pression par le groupe motopompe, avant qu'elle soit acheminée dans le réseau secondaire et distribuée sur les zones de culture, via 108 asperseurs, à raison de 18 asperseurs (3 rampes d'arrosage x 6 asperseurs) par zone de culture (au total, 6 zones x 3 rampes x 6 asperseurs) disposés en carré (8 m × 8 m). Ces asperseurs, surélevés d'environ 1 m au-dessus du niveau du sol, fonctionnent à une pression de 2,5

bars chacun. L'arrosage de chaque zone de culture peut être déclenché, soit automatiquement, moyennant une électrovanne commandée par un programmeur de type « Nelson », soit manuellement, en agissant sur une vanne à bille. La station de tête offre également la possibilité de mener une irrigation fertilisante via l'injection des fertilisants par pompe doseuse.

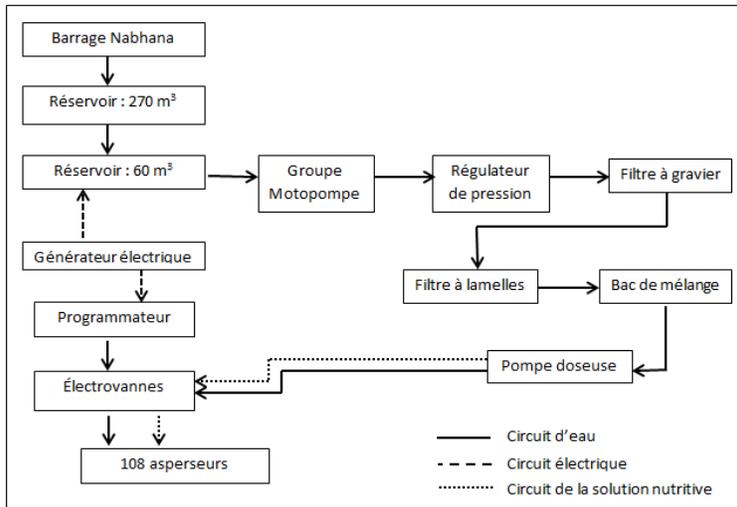


Figure 2 : Schéma synoptique des ouvrages et des équipements hydrauliques disponibles à la PFM de Chott Mariem

Démarche de l'étude diagnostique et calcul de redimensionnement du réseau d'arrosage

Considérations générales

L'objectif d'une étude diagnostique est d'évaluer un projet, devenu problématique à cause d'un vieillissement, de l'extension ou de la modification de certaines données initiales.

Lors de l'analyse de fonctionnement du système étudié, on doit examiner les données relatives aux états suivants :

- Données relatives au projet initial, en se référant aux dossiers de l'étude initiale pour se renseigner sur les différentes données relatives au projet déjà exécuté ;

- Données relatives au projet dans son état actuel, en effectuant des observations et en réalisant des enquêtes et par consultation de certains dossiers.

L'objectif de l'étude du fonctionnement de l'installation d'arrosage des plants, adoptée à la PFM de Chott Mariem, est de faire ressortir les différentes défaillances actuelles dans le réseau (diagnostics visuel et expérimental), et de proposer les améliorations possibles et un mode d'arrosage (choix entre l'arrosage d'une seule zone ou de deux zones simultanées) pour le bon fonctionnement du réseau hydraulique existant.

Contrôle des débits d'arrosage

Le contrôle des débits des asperseurs (q_{Asp}) est exécuté, en dosant les débits des asperseurs dans chaque zone. Pour chaque rampe, on a mesuré les volumes d'eau récoltés (V) du premier, troisième et dernier asperseur. On a collecté l'eau dans un seau pendant un temps (t) bien déterminé, puis à l'aide d'une éprouvette graduée, on a mesuré le volume récolté. Le débit est calculé par la formule suivante :

$$q_{\text{Asp}} = V/t$$

Pour obtenir une uniformité acceptable de l'arrosage, Christiansen (1942) propose de tolérer un écart maximal de 10% sur les débits des différents asperseurs mis en jeu. L'écart des pressions de fonctionnement doit subséquemment être limité à environ 20%.

Étude expérimentale de l'uniformité d'arrosage

Si le système d'irrigation sous pression a une distribution qui manque d'uniformité, alors la durée d'arrosage doit être augmentée, afin d'assurer la survie de tous les plants. En conséquence, plusieurs plants reçoivent trop d'eau et leur croissance sera affectée. Il est donc important de vérifier la bonne distribution de l'eau sur le terrain, en effectuant un test d'uniformité du système d'arrosage (Lamhamedi et al., 2006). D'après Nadon et al. (2016), le programme d'évaluation du système d'irrigation repose principalement sur la détermination d'un indice de performance : l'uniformité de la distribution d'eau. Cette uniformité est appréciée, moyennant l'installation d'une grille de pluviomètres régulièrement espacés. La dispersion des lames d'eau collectées dans les divers pluviomètres permet d'évaluer l'uniformité d'arrosage (M'Sadak et al., 2017).

Le test d'uniformité consiste à mesurer, dans unité parcellaire (pilotée par vanne), le débit au niveau des asperseurs bien répartis (Rieul et Ruelle, 2003). Selon Burt (2000), l'accroissement des rendements serait le plus souvent dû à une amélioration des uniformités d'arrosage. Les indicateurs les plus utilisés des paramètres sont l'uniformité de distribution (UD) et le coefficient d'uniformité (Cu) (Heermann et al., 1990).

Le coefficient de Christiansen (Cu) est largement utilisé comme indicateur des performances des systèmes d'irrigation. Il varie, suivant les performances des systèmes d'irrigation, de 0 à 100%, plus le coefficient est proche de 100%, plus l'uniformité est bonne (Yacoubi et al, 2005). Ce coefficient d'uniformité s'exprime par la formule de Christiansen (1942) comme suit.

$$Cu = 100 \left[1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (|V_i - V_m|)}{S_i} \right] / \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{|V_i|}{S_i} \right) \right]$$

Avec :

Cu : Coefficient d'uniformité (%)

V_i : Volume d'eau récolté dans le récipient i (cm^3)

V_m : Volume moyen de l'eau dans les n récipients (cm^3)

S_i : Section supérieure du récipient i (cm^2)

Lors de la mesure expérimentale de la pluie délivrée par les asperseurs, on sert d'un chronomètre, des pluviomètres (gobelets) et d'une éprouvette graduée. Le test d'uniformité d'arrosage consiste à mesurer le volume d'eau recueilli dans chaque gobelet pendant une durée d'arrosage d'une heure. Les gobelets ont été installés dans les cavités ($3 \times 5 = 15$ cavités adjacentes par conteneur) des conteneurs (au milieu de chaque conteneur) disposés sur les tables de culture (10 conteneurs par table) surélevées. On mesure les volumes d'eau recueillis, à l'aide de l'éprouvette et on déduit les volumes en ml/h. les gobelets utilisés sont disposés en maille carrée de 2 m de côté. Ils ont été répartis en amont, au centre et en aval de chaque zone de culture, afin de couvrir la totalité de la zone, et avoir ainsi un coefficient d'uniformité représentatif.

Diagnostic et analyse du redimensionnement partiel du réseau hydraulique

Le but du dimensionnement du réseau d'arrosage est de déterminer l'aptitude de la station de pompage à fournir l'eau sous la pression nominale nécessaire pour le bon fonctionnement des arroseurs dans le cas d'une seule zone et de deux zones simultanée.

Le calcul de dimensionnement d'un réseau d'irrigation revient à établir les expressions analytiques ci-après de la charge hydraulique successivement en tête de rampe (1), du porte-rampes (2), et du tuyau d'approche (3) :

$$H_r = H_{Asp} + 1,2 (J_r \times L_{fr}) \quad (1)$$

Avec :

H_r : charge hydraulique en tête de rampe (mce)

H_{Asp} : Pression de service d'un asperseur (mce)

J_r : perte de charge unitaire linéaire dans la rampe (m/m)

L_{fr} : longueur fictive de la rampe (m) dont l'expression est :

$$L_{fr} = ((N+1) (2N+1)) / 6 N^2 \times L_r$$

$N = 6$, puisque chaque rampe alimente six asperseurs.

$$H_{pr} = H_r + 1,2 (J_{pr} \times L_{fpr}) \quad (2)$$

Avec :

H_{pr} : charge hydraulique en tête du porte-rampes (mce)

J_{pr} : perte de charge unitaire linéaire dans le porte-rampes (m/m)

L_{fpr} : longueur fictive du porte-rampes (m)

$$H_{ta} = H_{pr} + 1,2 (J_{ta} \times L_{fta}) \quad (3)$$

Avec :

H_{ta} : charge hydraulique en tête du tuyau d'approche (mce)

J_{ta} : perte de charge unitaire linéaire dans le tuyau d'approche (m/m)

L_{fta} : longueur fictive du tuyau d'approche (m)

La pression nominale de fonctionnement d'un asperseur H_{asp} est de 25 mce, les pertes localisées sont estimées à 20% des pertes linéaires.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Diagnostic visuel

Le contrôle visuel du réseau d'arrosage des plants a porté essentiellement sur un certain nombre d'observations dont les principales sont relatées ci-après.

Sur le plan contrôle de la pression au niveau du système de filtration de l'eau, il n'existe qu'un seul manomètre en avant du filtre à gravier. Cependant, pour vérifier le nettoyage de ce filtre, on doit se repérer à la lecture de la pression, par l'intermédiaire d'un manomètre. Cette pression doit être prise à l'entrée et à la

sortie du filtre, d'où, il convient d'adopter le montage de deux manomètres amont et aval.

Au niveau de la zone 3 et de la zone 4, un certain nombre d'asperseurs s'est révélé considérablement colmaté, ce qui a imposé leur changement.

Au niveau de la zone 6, les asperseurs ne sont pas d'origine (différences constructives entre asperseurs installés, à cause de leur qualité inadaptée de fabrication).

Les asperseurs n'ont pas le même débit, et par conséquent, ils n'ont pas la même portée, ce qui crée des zones sur-arrosées et des zones sous-arrosées. Selon Lamhamedi et al. (2006), les conséquences d'un manque ou d'un excès d'eau peuvent être résumées comme suit :

- Un arrosage déficient cause une diminution générale de la croissance, une augmentation de la salinité du substrat, et le flétrissement du plant. Le pépiniériste doit surveiller rigoureusement l'humidité des conteneurs situés en bordure, à cause du risque de flétrissement plus élevé de ces plants.
- Un excès d'arrosage cause un manque d'oxygénation dans le substrat, un risque de pourriture des racines et un lessivage des éléments nutritifs. Pour assurer une croissance optimale, le système racinaire a besoin à la fois d'oxygène, d'eau et d'éléments nutritifs. En l'absence d'oxygène, les racines ne peuvent pas absorber efficacement l'eau et les éléments nutritifs.

L'eau distribuée par les asperseurs dépasse les besoins nets d'irrigation des plants. On remarque alors un gaspillage d'eau perdue à travers les trous de drainage des cavités de plantation surélevées. Le pilotage d'arrosage est quasiment absent, en raison du dysfonctionnement du programmeur d'arrosage, en effet, le recours au pilotage manuel suppose l'application des bonnes pratiques (respect de la dose, de la durée et de la fréquence d'arrosage par zone de culture), conditions nécessaires pour un pilotage convenable (similaire au pilotage automatique).

L'eau gaspillée s'écoule, selon la pente de l'aire de culture, vers l'amont de l'ombrière, ce qui gêne le déplacement des ouvriers dans les allées de circulation.

Contrôle des débits d'arrosage par asperseur et par zone

Les résultats des essais réalisés sont récapitulés dans le tableau 1 qui regroupe les débits relevés au niveau de trois asperseurs parmi les six rencontrés par zone, en considérant uniquement les trois premières zones de culture. L'évaluation des débits a concerné les trois rampes installées dans chaque zone.

Tableau 1 : Débits mesurés (l/h) des asperseurs installés à la PFM de Chott Mariem

Désignation	Zone 1			Zone 2			Zone 3		
	1 ^{er} asp.	3 ^{ème} asp.	6 ^{ème} asp.	1 ^{er} asp.	3 ^{ème} asp.	6 ^{ème} asp.	1 ^{er} asp.	3 ^{ème} asp.	6 ^{ème} asp.
1 ^{ère} rampe	261,0	258,0	245,4	250,2	248,0	242,0	282,0	275,0	253,0
2 ^{ème} rampe	258,0	260,0	240,0	250,0	247,8	241,5	285,0	270,0	252,0
3 ^{ème} rampe	248,0	250,5	244,0	259,5	246,0	242,4	270,0	265,0	253,8

Au niveau de l'installation d'arrosage, il y a des différences de débit entre les asperseurs (valeurs extrêmes : 241,5 l/h au niveau du 6^{ème} asperseur de la 2^{ème} rampe de la zone 2 et 285,0 l/h au niveau du 1^{er} asperseur de la 2^{ème} rampe de la zone 3), qui peuvent résulter, entre autres, des différences de fabrication entre les asperseurs, de la topographie du terrain (pente de l'ordre de 2%) et de l'état (usure ou colmatage) des asperseurs.

En se référant à la révélation (Écart maximal de 10% admissible entre les débits des différents asperseurs adoptés) de Christiansen (1942), on peut dire que la situation examinée des débits est tout à fait convenable entre zones d'arrosage (Écart < 10%), néanmoins, la différence n'est pas entièrement tolérable entre asperseurs de chaque zone considérée.

Mesures de contrôle du réseau d'arrosage

Appréciation expérimentale de l'uniformité de répartition de l'eau

La mesure d'uniformité des débits a touché les six zones desservies, à partir de la station de tête. Les coefficients d'uniformité calculés sont présentés dans le tableau 2.

D'après Clément et Galand (1979), une valeur de Cu de 75% correspond à un système d'aspersion de performance moyenne. Les coefficients d'uniformité calculés par la méthode de Christiansen au niveau des zones de culture de la pépinière sont alors de bons coefficients étant donné que la totalité des zones ont une valeur supérieure à 85%.

L'écart entre coefficients d'uniformité chez les parties de chaque zone est négligeable, ce qui traduit que l'effet de perte de charge créée par les rampes n'influe pas considérablement sur l'uniformité d'arrosage.

Tableau 2 : Détermination des coefficients d'uniformité de distribution de l'eau par zone de culture

Zone	Coefficient d'uniformité Cu (%)
1	86,4
2	86,0
3	89,3
4	87,2
5	87,2
6	88,6

Diagnostic et analyse de redimensionnement partiel du réseau hydraulique

Le calcul a été effectué, en vérifiant deux stratégies d'arrosage, tout en déterminant l'aptitude de la station de pompage à fournir l'eau sous la pression nominale nécessaire pour le bon fonctionnement des asperseurs, dans le cas d'une seule zone arrosée et dans le cas de deux zones arrosées simultanément. Ce calcul a débouché sur la détermination de la puissance nécessaire à fournir par la pompe pour l'arrosage, tout en comparant avec les performances de la pompe disponible. Les hypothèses de calcul prises en considération sont les suivantes :

- Débit nominal d'un asperseur : 229,6 l/h ;
- Débit nominal de la rampe : 1377,6 l/h ;
- Nombre d'asperseurs par rampe : 6 asperseurs ;
- Nombre d'asperseurs par zone : 18 asperseurs ;
- Écartement des asperseurs sur la rampe : 8 m ;
- HAsp : pression nominale de fonctionnement d'un asperseur : 25 mce ;
- Puissance fournie par la pompe : $P = Q \text{ Hmt} / 75 R$, avec R : rendement du groupe motopompe, soit 70%.
- Puissance mentionnée par le constructeur de la pompe : 0,75 kW.

Les valeurs de la puissance calculée dans les deux cas considérés sont mentionnées dans le tableau 3.

La puissance nécessaire dans le cas d'arrosage de deux zones simultanément est supérieure à la puissance de la pompe de la pépinière. Dans de telles conditions

les asperseurs fonctionnent avec une pression inférieure à leur pression nominale.

Tableau 3 : Puissance calculée de la pompe selon les deux scénarios examinés

	Puissance nécessaire à fournir par la pompe (kW)
Cas d'une seule zone arrosée	0,70
Cas de deux zones arrosées simultanément	1,78

La chute de pression au niveau des asperseurs provoque une diminution de leurs débits et risque d'avoir des gouttelettes plus grosses (mauvaise qualité d'arrosage). Afin de prouver expérimentalement la diminution des débits des asperseurs dans le cas d'arrosage de deux zones simultanément, on a mesuré les débits des asperseurs dans le cas d'arrosage de chaque zone à part et on a fait appel à leur comparaison (tableau 4).

Le tableau 4 montre une chute considérable des débits des asperseurs lors d'arrosage de deux zones simultanément de l'ordre de 50 l/h. Dans ce cas, la pompe n'est pas capable de faire fonctionner les asperseurs sous leur pression nominale.

Tableau 4 : Comparaison des débits des asperseurs suivant l'arrosage d'une seule zone et l'arrosage simultané de deux zones

Asperseur	Débit de la zone 1 (l/h)	Débit de la zone 1 dans le cas d'arrosage simultané de 2 zones (l/h)	Écart Débit (l/h)	Écart Débit (%)
1	240	186	54	22
2	223	170	53	23
3	215	164	51	24
4	235	175	60	25
5	232	174	58	25
6	235	175	60	26

Proposition des améliorations à apporter au niveau du réseau

Le réseau hydraulique est une installation fixe qui est utilisée pour distribuer l'eau d'irrigation. Il doit être conçu pour assurer une répartition homogène de l'eau sur l'aire de la culture. Certes, l'installation d'arrosage de la PFM de Chott Mariem a dévoilé des bons coefficients d'uniformité, quel que soit la zone arrosée, mais on ne peut pas nier l'existence de plusieurs anomalies dans le réseau de distribution, entre autres, au niveau du système de filtration. Ce dernier permet d'intercepter les particules en suspension et évite ainsi l'usure

prématurée de certaines pièces d'irrigation, notamment les buses. Au niveau de la PFM de Chott Mariem, il subsiste quelques asperseurs colmatés présentant des débits largement inférieurs par rapport à leur débit nominal. La chute des débits des asperseurs colmatés influe négativement sur la qualité d'arrosage des plants, et par conséquent, on a intérêt de les remplacer par d'autres asperseurs ayant les mêmes caractéristiques techniques.

Le phénomène de colmatage ne se manifeste pas complètement sur l'ensemble du réseau. En effet, le colmatage est lent, progressif et irrégulier, ce qui entraîne une baisse des débits dont l'importance est fonction des degrés de colmatage des organes de distribution et une mauvaise répartition de l'eau sur la pépinière (Saidi et al., 2017). Pour assurer la pérennité et la performance d'un réseau d'irrigation et afin d'améliorer l'état du réseau actuel, des mesures d'entretien et de contrôle sont à entreprendre (Rieul et Ruelle, 2003). Plusieurs améliorations du réseau sont nécessaires afin d'améliorer son fonctionnement.

Entretien du réseau : les organes de distribution tels que tuyau d'approche, porte-rampes et rampes sont sensibles au colmatage. Ceci entraîne une baisse des débits des asperseurs et une mauvaise répartition de l'eau sur l'aire de culture. Pour éviter de tels problèmes, certaines précautions deviennent nécessaires, ainsi que le contrôle régulier de fonctionnement de l'installation.

Purge du réseau : une des solutions pour améliorer l'uniformité de distribution. Les purges sont réalisées par chasse d'eau à débits importants, en ouvrant les extrémités des porte-rampes et rampes, en laissant couler l'eau jusqu'à ce qu'elle devienne claire. Cette action se fait pour évacuer les sédiments déposés dans les conduites du réseau. Au niveau de cette pépinière, les canalisations sont enterrées pour une raison esthétique et pour éviter de créer des obstacles, mais ce choix rend difficile l'opération de purge et le contrôle d'état des conduites. Il faut donc disposer les conduites à la surface du sol pour mieux entretenir et mieux contrôler le réseau d'arrosage.

Décolmatage chimique : les colmatages par précipitation calcaire (limon ou argile cimentée) nécessitent le nettoyage à acide fort, tel que l'injection de solution d'acide nitrique ou chlorhydrique dont la concentration en acide pur sera de 2 à 5% (2 à 5 l/m³) selon l'importance de colmatage (Soutter et al., 2007). Ces acides sont injectés par poste de fertilisation, il faut rincer abondamment, en fin de chaque opération pour ne pas nuire aux plants. On peut, au lieu du chlore, utiliser le sulfate de cuivre si l'eau ne contient pas de carbonate et de bicarbonate de calcium (pour éviter sa précipitation sous forme de carbonate de cuivre, inefficace contre les algues).

Décolmatage biologique : nécessaire pour les microorganismes contenus souvent dans l'eau et qui se développent dans le réseau ou dans les orifices de distribution (absence de filtres), le nettoyage se fait par injection du chlore sous forme d'eau de Javel de faible concentration (1 à 5 ppm) facilement disponible et peu dispendieux (Couture, 2006).

Décolmatage physique : le dépôt des particules grossières est, en général, le signe d'une filtration inadaptée. Il faudra vérifier et changer, si nécessaire, l'organe filtrant. Une filtration efficace n'empêche pas le dépôt progressif d'éléments fins. Si les purges normales ne suffisent pas à les éliminer, on peut être amené à déboucher le réseau, en portant la pression dans celui-ci à 2 ou 3 bars, en nettoyant les organes de distribution obstrués, lorsqu'ils sont démontables ou en les changeant.

Nettoyage et vérification des filtres : il faut vérifier que la pression entre l'amont et l'aval du filtre ne dépasse pas 0,5 bar. Si non, on doit nettoyer par contre-lavage. Dans le cas où le nettoyage devient fréquent, il améliore la capacité de filtration. Au niveau de cette pépinière, on ne dispose que d'un seul manomètre à l'amont du filtre à gravier, ce qui rend le contrôle difficile de la pression au niveau des filtres.

Passage à l'automatisation de la filtration : on peut remplacer les filtres de l'installation par des filtres qui disposent d'un système automatique de contre-lavage pour éviter le problème de colmatage. Les filtres à système automatique de contre-lavage sont disponibles sur le marché. La commande de contre-lavage de ces filtres est déclenchée par le différentiel de pression ou avec une minuterie (selon un intervalle de temps) et actionne deux vannes, la vanne amont en position contre lavage (entrée fermée du filtre, évacuation ouverte des eaux sales), et la vanne aval en position contre lavage (réseau d'arrosage fermé, entrée ouverte de contre-lavage).

Opportunité d'ajout des vannes automatiques de vidange : ces vannes s'ouvrent lorsque la pression chute dans le réseau, l'extrémité de la pompe se vide alors par gravité et les particules indésirables seront enlevées.

CONCLUSION

L'arrosage des plants au niveau de la PFM de Chott Mariem est assuré par un système de fertigation par aspersion au niveau de six zones de culture (identifiées de zone 1 à zone 6). Le contrôle visuel des asperseurs installés a dévoilé un colmatage accentué de certains asperseurs au niveau des zones 3 et 4

et des anomalies de fabrication entre asperseurs de la zone 6. Le diagnostic de fonctionnement du système d'arrosage a donné de bons coefficients d'uniformité variant de 86,0 à 89,3% au niveau de différentes zones de culture, ce qui est bénéfique pour la croissance et l'homogénéité de la végétation. Le redimensionnement partiel du réseau hydraulique a permis de constater que la pompe adoptée ne peut assurer qu'un arrosage individuel successif zone par zone de culture, pour garantir une meilleure répartition de l'eau. Malgré les bons coefficients d'uniformité relevés, il convient de signaler quelques anomalies rencontrées au niveau du réseau de distribution nécessitant l'intervention, moyennant le remplacement des asperseurs abondamment colmatés par d'autres, à l'état neuf, au niveau de la zone 3 et de la zone 4 (selon le contrôle visuel réalisé), l'adoption des filtres pourvus d'un système automatique de contre-lavage (réduction du colmatage au niveau du poste de filtration), et l'obligation d'application de l'arrosage d'une zone unique de culture, au lieu de deux zones simultanées ou plus (arrosage quelquefois adopté par les opérateurs). En définitive, des investigations ultérieures pourraient être consacrées à l'évaluation des comportements germinatif et végétatif des plants forestiers et du pilotage de leur irrigation, à travers la détermination exacte des paramètres d'arrosage, tout en considérant aussi les caractéristiques physico-chimiques du substrat de croissance adopté.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMIA F. (2007). Filière d'extraction du sable dans la Forêt Classée de la Mondah : Importance et enjeux. Mémoire de Stage. Agropolis-Tech, Montpellier, France, 78p.
- BURT CM. (2000). Selection of irrigation methods for agriculture. On-Farm Irrigation Committee. ASCE, 125 p.
- RIEUL L., RUELLE P. (2003). Guide pratique irrigation (3ème Éd.), AFEID, RNED-HA, CEMAGREF, Lavoisier, 344 p.
- CHRISTIANSEN JE. (1942). Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California, USA.
- CLÉMENT R., GALAND A. (1979). Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression, Éditions Eyrolles, Paris, France.
- COUTURE I. (2006). Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Colloque sur l'irrigation, L'eau, Source de Qualité et de Rendement, 13p.
- HEERMANN DF, WALLENDER WW., BOS MG. (1990). Management of Farm Irrigation Systems, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp.125-149.

- INM (2004). Bulletins de renseignements météorologiques pour l'agriculture. Division de la météorologie économique, service d'agro météorologie, Institut National de la Météorologie (INM), Tunis, pp.3-4.
- LAMHAMEDI MS., FECTEAU B., GODIN L., GINGRAS C. (2006). Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques Direction Générale des Forêts, République Tunisienne, 114 p.
- LANDIS T.D., TINUS R.W., MC DONALD S.E., BARNETT J.P. (1989). Seedling nutrition and irrigation, Vol 4, The Container Tree Nursery Manual. Agriculture Handbook 674. Washington DC: United States Department of Agriculture., Forest Service, 119 p.
- LANDIS T.D., TINUS R.W., MC DONALD S.E., BARNETT J.P. (1990). Containers and Growing Media. Agriculture Handbook 674. Washington DC: United States Department of Agriculture., Forest Service.
- LETEY J., VAUX HJ., FEINERMAN E. (1984). Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration, Agron. J., Vol.76, n°3, pp.435-441.
- MARY L., MORE P., BARRAUD F., MANCEAU R., THIOLLET-SCHOLTUS M. (2012). Itinéraires techniques et démarches agro-environnementales en pépinière ornementale hors sol, INRA Centre d'Angers-Nantes, 46 p.
- M'SADAK Y., MANAI A., HAMZA M.E. (2017). Comparative performances of mecanized systems of irrigation by spraying: Single ramps pivot and front. Journal of Water Science & Environment Technologies (JOWSET), ISSN: 2508-9250, Vol. 2, n°1, pp.151-158.
- NADON S., BERGERON D., BOIVIN C., VALLEE J. (2016). Création et validation d'un feuillet technique sur la performance de systèmes d'irrigation par aspersion et par goutte à goutte en champ, Rapport Final remis au RLIO, IRDA, Québec, Canada, 59 p.
- SAIDI A., MIMOUNI A., AMMARI Y., DAGHARI H. (2017). Étude diagnostique et redimensionnement du système d'irrigation par aspersion de la pépinière forestière d'Oued El Bir, El Haouaria-Tunisie, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°29, pp.265-282.
- SOUTTER M., MERMOUD A., MUSY A. (2007). Ingénierie des Eaux et du Sol : Processus et Aménagements. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 281 p.
- YACOUBI S., ZAIRI A., OUESLATI T., SLATNI A., AMAMI H. (2005). Influences des performances de l'irrigation par aspersion et du pilotage de l'irrigation et impact sur le rendement de la pomme de terre. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, Rabat, Maroc. IAV Hassan II, 14 p.
- YACOUBI W. (2015). La production de plants forestiers et pastoraux en Tunisie : État des lieux et perspectives d'avenir. Utilisation des espèces autochtones dans les programmes de restauration écologique en Tunisie, Atelier de Travail, Béja, 19 p.