



**HAL**  
open science

# Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?

Natacha Orand

## ► To cite this version:

Natacha Orand. Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03436237

**HAL Id: dumas-03436237**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03436237v1>**

Submitted on 19 Nov 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**AGROCAMPUS OUEST**

CFR Angers  CFR Rennes

<p>Année universitaire : <b>2020 - 2021</b></p> <p>Spécialité : <b>Paysage</b></p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) :</p> <p><b>Paysage : Opérationnalité et Projet</b></p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

**Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?**

Par : Natacha ORAND

*Soutenu à Angers le 23/09/2021*

**Devant le jury composé de :**

Président : Marie-Hélène MACHEREL

Maître de stage : David HERAU

Enseignant référent : Pierre-Emmanuel BOURNET

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »





## Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier l'entreprise Terideal-Sirev, et l'ensemble de ses collaborateurs, de m'avoir accueillie avec bienveillance durant mon stage de fin d'études chez eux.

De même, je tiens à remercier particulièrement mon maître de stage David Héreau, et le directeur de l'agence, Raphaël Karm, qui ont su me former et m'apporter leur expérience durant mes six mois de stage. Ils m'ont fait découvrir les domaines de l'arrosage et de la fontainerie, qui m'étaient encore inconnus. Je les remercie également pour l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée durant la rédaction et la relecture de mon mémoire.

Je souhaite aussi remercier mon école Agrocampus Ouest, où j'ai pu réaliser mes années d'études d'ingénieur et y acquérir de précieuses connaissances. Ainsi que mon professeur référent, Pierre-Emmanuel Bournet, pour m'avoir guidée lors de mes réflexions et questionnements sur mon mémoire.

Enfin, j'aimerais exprimer ma gratitude à mes proches et ma famille, qui m'ont toujours soutenue et accompagnée durant mes études. Et plus particulièrement à Alexane Gesbert et Noémie Robert qui m'ont soutenue et conseillée durant ces derniers mois décisifs.

# Avant-propos

## Structure d'accueil

J'ai pu réaliser mon stage de fin d'études au sein du groupe Terideal dans l'entreprise Sirev localisée à Angers.

Terideal se démarque depuis plus de 50 ans sur le marché de l'aménagement du territoire. Le groupe présent partout en France regroupe près de 2 000 collaborateurs experts dans près de 40 métiers du bâtiment, des travaux publics, des aménagements paysagers, de l'électricité et de l'arrosage/fontainerie. Ces différents métiers exercés en synergie, permettent à Terideal de réaliser des chantiers complexes sur l'ensemble du territoire.

L'entreprise Terideal-Sirev est composée de trois agences réparties en France : Tours, Bordeaux et l'agence principale à Angers. L'entreprise, présente sur le marché public comme privé, est spécialisée dans trois domaines :

- **La conception et la réalisation du système d'arrosage** de parcs et jardins, golfs, terrains de sport, hippodromes, plateformes végétalisées de tramways, etc.
- **La création, rénovation et entretien de fontaines.** L'entreprise dispose d'ailleurs de compétences en automatisme lui permettant de réaliser des fontaines avec des effets d'eau, de lumière et son.
- **L'installation de stations de pompage** permettant l'approvisionnement en eau des différents espaces arrosés.

Terideal-Sirev se démarque par sa volonté à être leader et précurseur sur les problématiques en matière de gestion de l'eau et bien-être du végétal. L'entreprise cherche constamment à mettre en place des solutions innovantes afin de répondre à ces objectifs. C'est pour ses valeurs et son expertise reconnue que j'ai choisi Terideal-Sirev pour réaliser mon stage de fin d'études.

## Mission au sein de l'entreprise

Au sein de Terideal-Sirev, j'ai assisté mon maître de stage David Hérau dans la conduite de travaux de nombreux chantiers. J'ai principalement été chargée du contrat de maintenance d'arrosage de la ligne A du tramway d'Angers. Une grande partie de mon travail était alors dédiée à faire respecter les termes de ce contrat tout en trouvant des solutions pour effectuer un arrosage le plus économe en eau. C'est pour cela que j'ai décidé d'y dédier mon mémoire.



## Glossaire

**Adventice** : Plante indésirable dont la croissance n'est pas souhaitée.

**Capacité au champ** : Seuil maximal de rétention d'eau du sol.

**Évapotranspiration** : Transfert d'eau vers l'atmosphère par évaporation au niveau des sols et transpiration au niveau des végétaux.

**Évapotranspiration potentielle** : Valeur théorique de référence qui correspond à la quantité maximale d'eau qui peut être évaporée par une surface engazonnée.

**Évapotranspiration réelle** : Quantité exacte d'eau transpirée par un couvert végétal.

**Electrovanne** : Vanne commandée électriquement. Fonctionnement semblable à un robinet, elle permet de laisser passer l'eau ou non dans un réseau.

**Ilot de chaleur urbain** : Phénomène d'augmentation de la température en milieu urbain par rapport au milieu rural environnant.

**Photosynthèse** : Processus, chez les végétaux, qui permet de synthétiser des sucres en utilisant l'énergie lumineuse, le dioxyde de carbone et l'eau.

**Point de flétrissement permanent** : Seuil à partir duquel la réserve utile est entièrement consommée, c'est le seuil létal pour la plante.

**Point de flétrissement temporaire** : Seuil à partir duquel la plante rentre dans la réserve difficilement utilisable, elle est en stress hydrique.

**Réserve utile** : Quantité d'eau que le sol peut stocker puis restituer aux végétaux.

**Réserve facilement utilisable** : Partie de la réserve utile facilement accessible à la plante, sans qu'elle soit en stress hydrique.

**Réserve difficilement utilisable** : Partie de la réserve utile difficilement accessible à la plante. Réserve de survie qui provoque un stress hydrique.

**Ressuyage** : Séchage d'un sol pendant 48 à 72h après une période de saturation en eau.

**Saturation** : Etat du sol lorsqu'il est gorgé en eau, le sol ne peut plus stocker d'eau. Toute eau ajoutée au sol est alors perdue par drainage.

**Services écosystémiques** : Bienfaits directs et indirects qu'apportent les écosystèmes à l'homme.

**Stomate** : Orifice présent sur les feuilles des végétaux permettant les échanges gazeux et aqueux entre le végétal et son milieu.

**Stress hydrique** : Stress que subit un végétal lorsque ses besoins en eau sont supérieurs aux ressources disponibles.

**Stress thermique** : Stress que subit un végétal lorsque la température est trop élevée ou trop basse par rapport à la gamme de températures nécessaire pour le bon fonctionnement de son organisme.

**Syringe** : Faible arrosage de 0.2 à 1 mm réalisé la journée en période de fortes chaleurs afin de diminuer la température foliaire du gazon et la surface du sol.

**Teneur volumique en eau** : Rapport entre le volume d'eau contenu dans un volume de sol

**Tuyère** : Arroseur à jet fixe dont on peut régler l'angle du jet (90°, 180°, 360° etc.).

## Liste des abréviations

**ALM** : Angers Loire Métropole

**CC** : Capacité au champ

**CHU** : Centre hospitalier universitaire

**ETP** : Évapotranspiration potentielle

**ETR** : Évapotranspiration réelle

**ICU** : Îlot de chaleur urbain

**PDU** : Plan de déplacement urbain

**PFP** : Point de flétrissement permanent

**PFT** : Point de flétrissement temporaire

**RDU** : Réserve difficilement utilisable

**RFU** : Réserve facilement utilisable

**RU** : Réserve utile

**SMTUAA** : Syndicat Mixte pour les Transports Urbains de l'Agglomération Angevine



## Table des matières

Table des figures.....	I
Table des tableaux.....	II
Liste des annexes.....	II
Introduction.....	1
I) Tramway et consommation d'eau : un lien étroit.....	3
1) Le tramway d'Angers.....	3
a) L'histoire du tramway d'Angers.....	3
b) Une ligne A qui a atteint ses objectifs.....	4
c) Des nouvelles lignes pour compléter la ligne A.....	4
2) Du gazon pour accompagner les voies de tramway.....	5
a) Pourquoi mettre du gazon ?.....	5
b) Quel type et forme de gazon ?.....	6
c) Un gazon mis à rude épreuve.....	7
3) L'arrosage, un rôle clé pour la végétation du tramway.....	8
a) L'arrosage : une réponse aux contraintes techniques mais également politiques....	8
b) L'eau, une ressource de plus en plus fragile.....	9
c) Le système d'arrosage sur le tramway d'Angers.....	11
d) Une connaissance sur la gestion et les besoins en eau actuellement limitée pour le tramway d'Angers.....	12
4) Un conflit entre la gestion de la ressource en eau et la réponse aux contraintes techniques, politiques et sociales.....	13
II) Comment agir sur la consommation d'eau sur une ligne de tramway ?.....	14
1) La conception du projet, une première étape pour anticiper la consommation d'eau.....	14
a) Le choix du type de plateforme.....	14
b) Le choix des espèces végétales à mettre en place.....	15
c) L'étude du système d'arrosage.....	16
2) La conduite et la maintenance de l'arrosage, l'élément majeur pour agir sur la consommation d'eau.....	19
a) La quantité d'eau à apporter.....	20
b) La méthode d'arrosage.....	21
c) Une maintenance rigoureuse du système d'arrosage pour éviter toute perte en eau.....	22
3) Le tramway d'Angers, une vitrine politique qui impacte la consommation d'eau.....	23
4) Une consommation d'eau pouvant être influencée à plusieurs niveaux.....	25
III) Les leviers d'action pour une gestion raisonnée de l'eau sur la ligne A du tramway d'Angers.....	26
1) Un arrosage plus précis pour une diminution de la consommation en eau.....	26
a) Des sondes d'humidité et de température pour un meilleur suivi de l'arrosage.....	26
b) Déterminer des seuils pour un arrosage plus précis.....	28

c) La méthode d'arrosage du syringe : une alternative éventuelle en période de fortes chaleurs ?.....	31
2) Etude des contraintes politiques sur la consommation d'eau .....	33
a) Méthode pour la mise en place du questionnaire à destination des décisionnaires	34
b) Résultats du questionnaire .....	34
3) Etude des contraintes sociales sur la consommation d'eau .....	35
a) Méthode pour la mise en place du questionnaire à destination des citoyens .....	35
b) Résultats du questionnaire .....	36
Conclusion .....	39
Bibliographie .....	41
Sitographie .....	42
Documents internes .....	44
Dires d'expert .....	44
ANNEXES .....	45

## Table des figures

Figure 1 : Tracé de la ligne A du tramway d'Angers et ses principaux lieux de desserte .....	3
Figure 2 : Tracé des lignes A, B et C du tramway d'Angers .....	4
Figure 3 : Gazon de placage .....	6
Figure 4 : Représentation du phénomène d'ICU.....	7
Figure 5 : Gazon jaunit aux abords des rails de la ligne A du tramway d'Angers, descente du CHU .....	8
Figure 6 : Gazon de la ligne A du tramway d'Angers jauni à cause d'un manque d'eau, descente du CHU.....	9
Figure 7 : Recensement des vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2019 ..	10
Figure 8 : Principe de l'implantation en carré des arroseurs sur le tramway d'Angers .....	11
Figure 9 : Principe du réseau d'arrosage sur le tramway d'Angers .....	11
Figure 10 : Principe du fonctionnement de la gestion centralisée sur le tramway d'Angers ..	12
Figure 11 : schéma de principe d'une plateforme de tramway « hors sol ».....	14
Figure 12 : schéma de principe d'une plateforme de tramway « perméable » .....	14
Figure 13 : Aspect visuel durant l'hiver d'un gazon constitué d'espèces en C4, Cherokee Country Club, Knoxville, Tennessee.....	15
Figure 14:Arrosage par aspersion sur la ligne A du tramway d'Angers, Bd Elisabeth Boselli	16
Figure 15 : Mise en place de la subirrigation sur le tramway T10 à Paris .....	17
Figure 16 : Modélisation de la pluviométrie lors d'une implantation en carré. En rouge la zone avec la pluviométrie la plus forte, en vert la zone avec la pluviométrie la plus faible.....	18
Figure 17 : Schéma d'implantation en triangle des arroseurs .....	18
Figure 18 : Modélisation de la pluviométrie lors d'une implantation en triangle. En rouge la zone avec la pluviométrie la plus forte, en vert la zone avec la pluviométrie la plus faible. ...	18
Figure 19 : Arrosage d'une petite bande engazonnée avec des tuyères sur la ligne A du tramway d'Angers, Rue des Capucins.....	19
Figure 20 : Schéma de la réserve hydrique du sol.....	20
Figure 21 : Pyriculariose du gazon .....	21
Figure 22 : Fuite sur le tramway d'Angers à la suite d'un arroseur cassé, Avenue Mendes France.....	23
Figure 23 : Panneaux de communication de la ville sur la « Rénovation verte » du quartier de Belle Beille .....	24
Figure 24 : Photomontage du projet « Arborescence ».....	24
Figure 25 : : Gradient de « verdure » sur la plateforme du tramway d'Angers, descente du CHU .....	24
Figure 26 : Vue aérienne de la descente du CHU avec la localisation des tronçons d'expérimentations de la ligne A.....	26
Figure 27 : Sonde de température (1) et sonde capacitive (2) .....	27
Figure 28 : Sondes d'humidité disposées dans le sol à -5 et -10 cm avec une sonde de température entre 0 et - 5cm .....	27
Figure 29 : Sondes d'humidité et de température reliées à un boîtier connecté disposé dans un regard.....	27
Figure 30 : Détermination du seuil de la capacité au champ grâce au taux d'humidité de l'horizon à -10cm.....	28
Figure 31 : Zone d'expérimentation n°1 avant la période de fortes chaleurs (16/07/21), température du sol 25°C.....	29
Figure 32 : Zone d'expérimentation n°1 4j après le début des fortes chaleurs (21/07/21), température du sol 35°C.....	29
Figure 33 : Zone d'expérimentation n°1 5j après la reprise de l'arrosage (27/07/21) .....	29
Figure 34 : : Zone d'expérimentation n°1 10j après la reprise de l'arrosage (02/08/21) .....	29
Figure 35 : Courbes de températures des zones 1 et 2 pour les deux premiers jours de l'expérimentation du syringe .....	32

Figure 36 : Courbes de températures des zones 1 et 2 pour les deux derniers jours de l'expérimentation du syringe.....	32
Figure 37 : Aspect visuel du gazon de la zone n°1 (témoin) 4 jours après le début de l'expérience.....	33
Figure 38 : Aspect visuel du gazon de la zone n°2 (syringe) 4 jours après le début de l'expérience.....	33
Figure 39 : Réponses sur l'importance du gazon sur les voies de tramway.....	36
Figure 40 : Photos proposées pour la question « Accepteriez-vous ces différents aspects esthétiques ? Sélectionnez les photos correspondantes » 1 : 76,2% ; 2 : 94% ; 3 : 79,8% ; 4 : 73,8%.....	36
Figure 41 : Réponses sur la compréhension de l'arrosage en période de restriction d'eau afin de maintenir le gazon en vie.....	37
Figure 42 : Réponses sur la compréhension de l'arrosage en période de restriction d'eau afin de maintenir le gazon au maximum de son esthétisme.....	37
Figure 43 : Photos proposées pour la question « Afin de diminuer la consommation d'eau, jusqu'à quel niveau trouveriez-vous le gazon acceptable ? Sélectionnez les photos correspondantes » et « En période de canicule et de restriction en eau, toléreriez-vous ces différents aspects du gazon ? Sélectionnez les photos correspondantes » 1 : 75% et 77,4% ; 2 : 73,8% et 77,4% ; 3 : 73,8% et 83,3% ; 4 : 83,3% et 94%.....	37

## Table des tableaux

Tableau 1 : Les différents types de services écosystémiques.....	5
Tableau 2 : Espèces présentes sur le tramway d'Angers et leurs caractéristiques.....	6
Tableau 3 : Consommation en eau pour l'arrosage des plateformes engazonnées du tramway d'Angers entre 2014 et 2019.....	10
Tableau 4 : Dates et heures des différents syringes réalisés durant l'expérimentation.....	31

## Liste des annexes

Annexe I : Carte de la ville d'Angers et des lieux cités dans ce mémoire.....	46
Annexe II : Formule de Penman-Monteith pour le calcul de l'ETP.....	47
Annexe III : Détermination de la capacité au champ après des épisodes de pluies sur les zones d'expérimentations 1 et 2.....	48
Annexe IV : Détermination de la capacité au champ après saturation du sol avec des seaux d'eau sur les zones d'expérimentations 1 et 2.....	49
Annexe V : Evolution de l'humidité sur les zones d'expérimentations 1 et 2 durant la période sans arrosage.....	50
Annexe VI : Evolution de l'humidité sur les zones d'expérimentations 1 et 2 durant l'expérimentation de la méthode du syringe.....	51
Annexe VII : Réponses au questionnaire destiné à l'employé de chez Irigo.....	52
Annexe VIII : Réponses au questionnaire destiné à l'employé de chez Angers Loire Métropole.....	61
Annexe IX : Résultats du questionnaire destiné à la population angevine.....	67

## Introduction

L'accroissement de la population mondiale est actuellement l'une des principales priorités de notre société. En 40 ans, entre 1960 et 1999, la population mondiale a doublé, passant de 3 à 6 milliards [1]. En 2019, l'Organisation des Nations Unies a estimé que nous étions plus de 7.7 milliards d'habitants sur Terre, et que nous devrions atteindre les 10 milliards d'ici 2050. Cette hausse démographique se ressent dans les villes, qui s'étalent et se densifient de plus en plus répondant à l'augmentation des demandes de logements, travaux, structures etc. En 2050, 2 personnes sur 3 habiteront en zone urbaine, contre un peu plus de 1 personne sur 2 aujourd'hui. Cette augmentation représente près de 2.5 milliards d'habitants en plus dans les villes [2].

La croissance constante de la population urbaine entraîne avec elle nombre de problématiques : pollution atmosphérique, îlots de chaleur urbains, destruction de la biodiversité, etc. Ces constats amènent la population et les structures politiques à penser la ville autrement. Une ville écologiquement responsable, socialement équitable et économiquement viable : une ville durable. Cette prise de conscience tend alors à réfléchir sur l'intégralité du fonctionnement de notre société, notamment sur la question des mobilités, un réel enjeu dans les villes à l'heure actuelle.

En France, la voiture est de loin le premier mode de déplacement urbain [3]. Ce monopole de l'automobile entraîne un engorgement du réseau viaire dans les villes, accentuant ainsi les problématiques de pollution atmosphérique, de réchauffement climatique, d'îlots de chaleur urbain auxquelles les villes doivent faire face. On peut citer en exemple la ville de Paris qui, énormément sujette à la pollution atmosphérique, est contrainte d'interdire au sein de ses murs la circulation de véhicules jugés trop polluants [4].

C'est dans ce contexte que les villes réfléchissent davantage à développer les modes de transport doux, tel que les transports en commun, les transports électriques, le vélo ou la marche. En France, parmi les transports en commun, le tramway se dégage. Très populaire dans les années 1945, le tramway disparaît presque totalement dans les années 70 au profit de l'automobile. C'est dans les années 80 que le tramway fait son grand retour (Émangard, 2012). Aujourd'hui, presque chaque grande et moyenne ville de France comptabilise une ligne de tramway. En 2017 on dénombrait en France pas moins d'une soixantaine de lignes de tramway présentes dans une trentaine de villes (Commissariat général au développement durable, 2020). Le tramway se démarque comme le mode de transport en commun répondant aux enjeux du développement durable. L'utilisation de l'électricité comme énergie limite l'impact environnemental de ce moyen de transport. Les lignes de tramway permettent également une restructuration et une requalification des espaces publics, favorisant ainsi le développement économique et social des zones urbaines.

Aujourd'hui, les projets de tramway sont aussi de réels aménagements paysagers. En effet, de nombreuses lignes de tramway sont maintenant végétalisées, permettant d'apporter du végétal en ville. On peut citer en exemple les lignes d'Angers et de Tours, végétalisées sur plus de 50% de leur tracé. Ou encore les nouvelles lignes en construction d'Angers, qui seront végétalisées sur 80% de leur tracé (Michel, 2019). Engazonner les abords des rails de tramway est le premier moyen de végétaliser les voies. Cela permet de former une coulée verte au sein des villes. Néanmoins, le gazon des voies de tramway se situe dans un environnement urbain et artificiel, qui lui impose de nombreuses contraintes. Tout d'abord des contraintes techniques, qui mettent en péril sa survie mais aussi des enjeux politiques et sociaux qui imposent au gazon d'être très esthétique. L'arrosage du gazon est ainsi une nécessité pour répondre à ces contraintes.

À cause du dérèglement climatique, les vagues de chaleur se densifient et s'intensifient. L'eau devient alors une ressource qui se rarifie et les départements du territoire subissent de plus en plus de restrictions sur son usage. Ces restrictions ont pour but de préserver les usages « prioritaires » de l'eau, tels que l'alimentation en eau potable de la population, la santé et la sécurité ou les besoins des milieux naturels. Tous les usages « non prioritaires » sont alors impactés. Cela concerne l'usage professionnel, avec l'agriculture, les usines, les golfs, etc. Mais également l'usage domestique (arroser son jardin, nettoyer sa voiture, etc.) et l'usage public, avec notamment l'arrosage des espaces verts. Ces restrictions sont présentes à différents niveaux, allant de la simple prévention avec pour principe l'autolimitation, à l'interdiction d'usage de l'eau sur des plages horaires précises, voire dans les cas les plus extrêmes, l'interdiction totale d'utiliser de l'eau sur une période donnée (Préfet de Maine-et-Loire, 2020).

Les aménagements paysagers étant les premiers concernés par ces restrictions, leur conception, gestion puis leur suivi et entretien doivent appréhender la gestion raisonnée de la ressource en eau. Les lignes de tramway, quand elles sont végétalisées, sont donc elles aussi directement impactées par ces restrictions. Plusieurs questionnements surviennent alors. Est-il possible de diminuer la consommation d'eau tout en répondant aux contraintes techniques et aux enjeux politiques et sociaux des lignes de tramway ? Les exigences esthétiques ne doivent-elles pas être revues à la baisse pour permettre une diminution de la consommation en eau ? Les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux que subit le gazon, sont-ils compatibles dans un contexte de réchauffement climatique et de restriction d'eau ? Ces différents questionnements nous amènent à poser la problématique suivante :

**Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?**

Cette problématique fait ressortir deux hypothèses qui serviront de ligne directrice :

- Une meilleure connaissance du site et du végétal permet une diminution de la consommation en eau
- Les exigences politiques et sociales sur l'aspect esthétique du gazon sont un frein pour une diminution de la consommation en eau

Pour répondre à cette problématique et ces hypothèses, nous nous appuyerons sur un cas d'étude, celui de la ligne A du tramway de la ville d'Angers. Dans un premier temps, nous tâcherons de présenter le site de la ligne A du tramway d'Angers, ses problématiques et ses contraintes. Par la suite, nous identifierons tous les moyens possibles permettant d'influencer la consommation en eau des lignes de tramway. Nous nous positionnerons sur ces moyens pour déterminer ceux pouvant être de réels leviers d'action à mettre en place sur la ligne d'Angers. Une troisième et dernière partie nous permettra d'étudier en détail les leviers d'action mis en place à Angers, ainsi que d'analyser leurs résultats. Pour finir, une conclusion donnera des réponses à la problématique. Les hypothèses seront validées ou non, et des critiques seront émises sur la méthode et le travail effectués. Des réflexions complémentaires seront apportées permettant de poursuivre le travail réalisé à la suite de ce mémoire.

## I) Tramway et consommation d'eau : un lien étroit

### 1) Le tramway d'Angers

#### a) L'histoire du tramway d'Angers

Comme une majorité des grandes et moyennes villes françaises après les années 70, l'agglomération d'Angers a dû réfléchir à ses politiques de déplacements urbains afin de désengorger le réseau viaire de la ville. En 1976, le Syndicat Mixte pour les Transports Urbains de l'Agglomération Angevine (SMTUAA) est créé afin d'organiser les transports en commun sur l'agglomération. Dans les années 90, des études ont été lancées afin d'élaborer le premier Plan de déplacement Urbain (PDU) de l'agglomération. Ce document paru dans les années 2000, souligne la nécessité de renforcer et réorganiser le réseau de transports en commun pour répondre aux problématiques de l'automobile de plus en plus présente en ville. Le développement du réseau de bus ne pouvant répondre suffisamment à cet enjeu, le projet de la Ligne A du tramway d'Angers a vu le jour (Angers Loire Métropole, 2016).

Cette ligne de tramway devait répondre à trois objectifs. Le but premier était de renforcer le caractère structurant des transports en commun, pour favoriser les transports collectifs au détriment de la voiture. Cette restructuration du réseau des transports en commun devait également permettre d'améliorer l'attractivité et la qualité des espaces urbains en les préservant de la pollution et de l'engorgement générés par la circulation automobile. Enfin, cette ligne de tramway devait répondre à des enjeux stratégiques de structuration du territoire. L'axe Nord/Sud choisi devait desservir de nombreux quartiers phares et pôles d'emplois de l'agglomération (Figure 1) (Angers Loire Métropole, 2016).

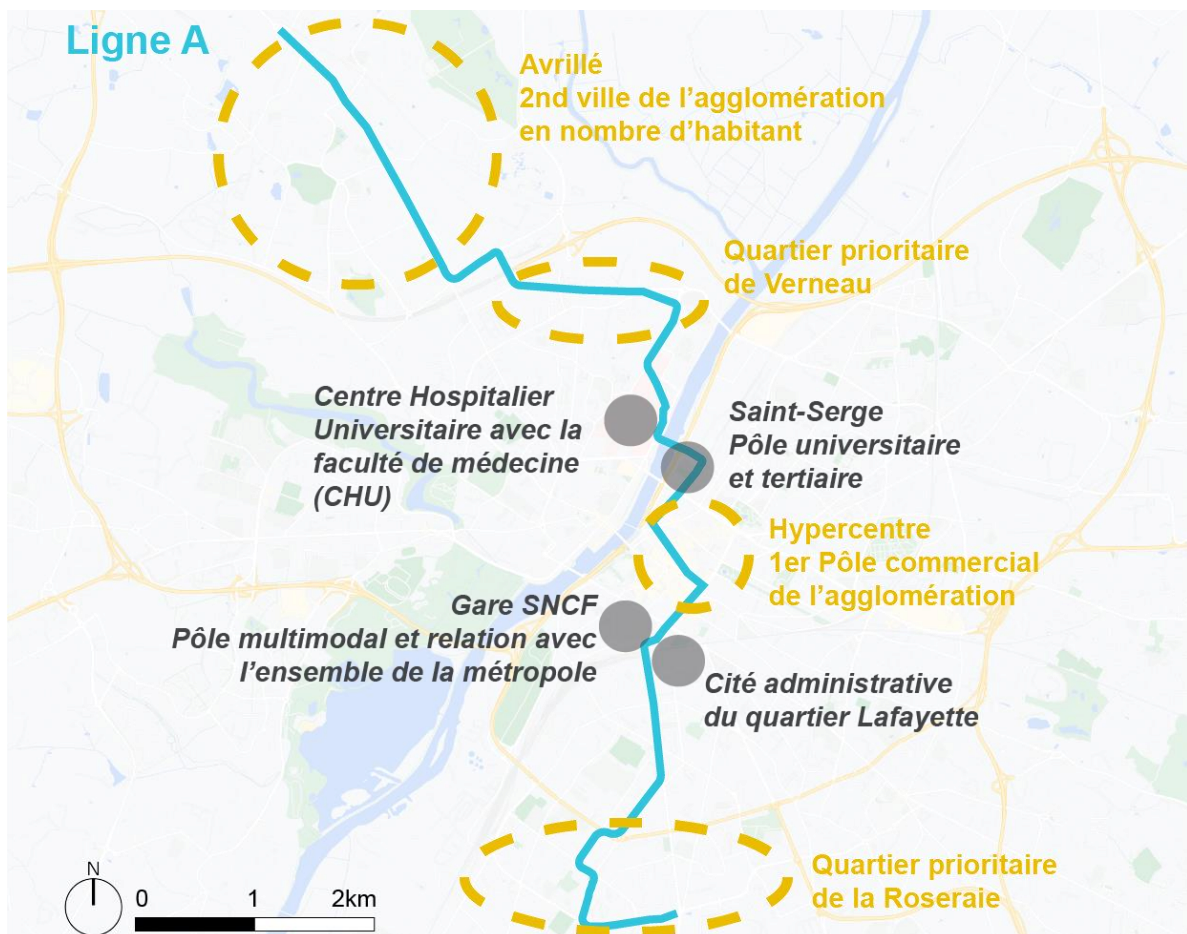


Figure 1 : Tracé de la ligne A du tramway d'Angers et ses principaux lieux de desserte (Orand, 2021)

## b) Une ligne A qui a atteint ses objectifs

Le premier objectif du renforcement du service de transports en commun a largement été atteint. En effet, l'arrivée du tramway a eu un réel impact sur la fréquentation du réseau qui enregistre une augmentation de 12% entre 2007 et 2012. Le tramway associé au renouvellement du plan de circulation a également eu un impact positif sur la circulation automobile. Une diminution du trafic routier a été constatée sur une majorité du tracé, avec une diminution de plus de 50% pour certains secteurs depuis la mise en circulation de la ligne A. Cela a également permis la mise en place de nombreux aménagements d'apaisements comme la mise en place de « zones 30 » ou encore de pistes cyclables (Angers Loire Métropole, 2016).

Cette baisse du trafic automobile a engendré des impacts positifs sur l'environnement. Il a été relevé sur la rue de Létanduère et l'avenue Jean XXIII (Annexe I) une baisse du niveau sonore global comprise entre 2 et 9 dB entre 2005 et 2014. Une meilleure qualité d'air a également été enregistrée avec une baisse du niveau des polluants sur plusieurs parties de la ligne. À la suite de la mise en place du tramway, on constate par exemple sur le boulevard du Maréchal Foch (Annexe I) une baisse de 19% en protoxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) (Angers Loire Métropole, 2016).

Enfin, comme souhaité, le tramway a également été un élément moteur en termes de projets urbains. On peut notamment souligner l'extension urbaine sur les quartiers Capucins ou bien la construction de nouvelles structures urbaines sur le tracé du tramway, comme la piscine Aquavita inaugurée en 2014 (Annexe I). Cette première ligne a également accompagné la rénovation urbaine des quartiers prioritaires de la Roseraie et Verneau (Annexe I), afin de désenclaver ces quartiers et les encrer dans la ville [5]. Enfin, le tramway a permis la valorisation de certains sites comme la place du Ralliement (Annexe I) qui est devenue aujourd'hui la place centrale emblématique de l'agglomération (Angers Loire Métropole, 2016).

## c) Des nouvelles lignes pour compléter la ligne A

Lors de la création du PDU, il a tout de suite été mis en avant la nécessité de disposer de deux lignes de tramway avec les axes Nord/Sud et Est/Ouest afin d'avoir un réseau général complet et complémentaire de transports en commun. (Conseil de développement de la région d'Angers, 2015). C'est dans ce contexte que les premières études préalables pour la ligne B et C sont menées en 2014 avec le début des travaux en 2018 [6]. La ligne B suit l'axe Est/Ouest, quant à elle, la ligne C suit un axe Ouest/Sud en empruntant les voies de la Ligne A et B (Figure 2).

Les objectifs des lignes B et C sont alors de poursuivre et compléter ceux de la ligne A. En termes de structuration urbaine, les lignes B et C permettront de finir de desservir les grands quartiers de la ville ainsi que les grands pôles d'emplois et de formations non desservis par la ligne A (Figure 2). On peut citer en exemple le campus de Belle Beille (Annexe I) riche de ses 12 700 étudiants (Angers Loire Métropole, 2016b). Les nouvelles lignes devraient permettre à l'intégralité du réseau de tramway de desservir 100 000 habitants, soit 35% de la population d'Angers Loire Métropole (ALM) [7].

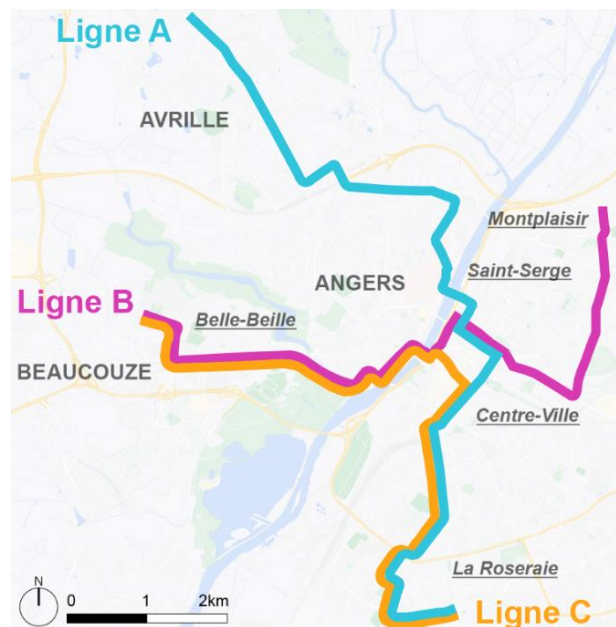


Figure 2 : Tracé des lignes A, B et C du tramway d'Angers (Orand, 2021)



Ces nouvelles lignes permettent également de jouer un rôle moteur dans les politiques de renouvellement et désenclavement urbain des quartiers prioritaires comme Belle Beille ou Montplaisir (Annexe I) (Angers Loire Métropole, 2016b).

La construction des nouvelles lignes permet aussi de conforter et d'accroître l'attractivité dont la ville fait preuve depuis plusieurs années. En effet, la ville est riche de divers palmarès tels que la ville la plus attractive de France en 2018 [8] ou plusieurs fois dans le top 10 des villes où il fait bon vivre [9]. Ce dynamisme se ressent dans la croissance démographique de l'agglomération, avec une augmentation de 0,6% par an de la population entre 2013 et 2018 contre 0,2% entre 2008 et 2013 [10]. Cette croissance est légèrement supérieure à la moyenne nationale qui est de 0,4% par an entre 2011 et 2016 (INSEE, 2019).

Enfin, ces nouvelles lignes ont pour objectif de conforter les bienfaits constatés de la ligne A en termes de qualité de vie, avec notamment la réduction des pollutions sonores, une amélioration de la qualité de l'air ou encore, une place du piéton et des mobilités douces accrues face à l'automobile.

## 2) Du gazon pour accompagner les voies de tramway

### a) Pourquoi mettre du gazon ?

Les plateformes engazonnées sont très populaires sur les lignes de tramway en France. On peut le constater sur le tramway d'Angers où 65% des plateformes de la ligne A sont végétalisées (Michel, 2019). Cela représente 8 km sur les 12 km de la ligne, soit environ 56 000 m<sup>2</sup>, l'équivalent de 8 terrains de foot [11]. Pour les lignes B et C, 80% de leurs tracés devraient être des plateformes végétalisées [7]. Cet engouement pour les plateformes végétalisées s'explique du fait qu'elles répondent à divers services écosystémiques (Tableau 1).

Tableau 1 : Les différents types de services écosystémiques (Commissariat général au développement durable, 2021)

Services de Support/Soutien	Services de Production	Services de Régulation	Services Culturels
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cycle de la matière</li> <li>•Cycle de l'eau</li> <li>•Formation des sols</li> <li>•Conservation de la biodiversité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alimentation</li> <li>•Eau</li> <li>•Fibres</li> <li>•Combustibles</li> <li>•Ressources génétiques</li> <li>•Produits biochimiques et pharmaceutiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Du climat</li> <li>•De la qualité de l'air</li> <li>•Des flux hydriques</li> <li>•De l'érosion</li> <li>•Des maladies</li> <li>•Des parasites</li> <li>•De la pollinisation</li> <li>•Des risques naturels</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Valeurs spirituelles et religieuses</li> <li>•Valeurs esthétiques</li> <li>•Récréation et écotourisme</li> </ul>

Le gazon offre tout d'abord de nombreux services de régulation. Le fait d'engazonner permet de garder une partie de la plateforme perméable, limitant ainsi l'artificialisation des sols. Un sol perméable augmente la résilience du milieu face aux aléas climatiques, notamment les inondations, grâce à une meilleure gestion des eaux pluviales (Michel, 2019). L'évapotranspiration des sols, ainsi que de la végétation, permet également de rafraîchir le milieu, luttant ainsi contre les phénomènes d'îlots de chaleur urbains (IAU, 2010). Le gazon répond également aux services de support, notamment avec le cycle du carbone. En effet, les gazons sont des puits de carbone, ils absorbent le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) atmosphérique, et le stockent dans le sol via les racines [12]. Enfin, le gazon répond aux services culturels.

En effet, les gazons ont un aspect esthétique fort, et permettent facilement de végétaliser et de « verdier » les villes. Cela permet d'amener la « nature en ville », qui est très appréciée et recherchée par les français. D'après un sondage sur les descriptions de « la ville idéale » par les citoyens, une ville « écologique, verdoyante » est de loin la première attendue évoquée (31%). Les autres attentes étaient : l'amélioration des transports (10%), l'amélioration de la sécurité (10%), le développement économique et social (8%) [13].

## b) Quel type et forme de gazon ?

Le gazon peut se mettre en place par semis ou en placage. Sur le tramway d'Angers, comme pour une majorité de tramway, c'est le gazon de placage qui est privilégié. Le gazon de placage est un gazon naturel pré-cultivé. Il est ensuite prélevé (déplaqué) dans son intégralité avec une fine couche de substrat pour être transplanté sur un autre substrat déjà aménagé (Figure 3).



Figure 3 : Gazon de placage (Gazon Duguet, 2021)

Le gazon de placage est favorisé sur les plateformes de tramway car il est très pratique et simple en termes de pose. Il permet d'avoir un résultat esthétique immédiat avec un gazon dense, homogène et sans adventices. À la différence, un gazon semé demandera plusieurs semaines avant d'obtenir un résultat visuel satisfaisant. De plus, sa mise en place est plus laborieuse et météo-dépendante [14].

Ce choix de pose pour le gazon présente tout de même plusieurs inconvénients. Le déplacage du gazon est un processus stressant pour la plante : une partie des racines du gazon est scarifiée afin de retirer le gazon de son milieu, racines qui peuvent rester plusieurs jours à l'air libre. Ce processus rend le gazon plus sensible à différents stress (thermique, hydrique, piétinement, etc.), notamment durant les premières semaines de son installation. Une quantité d'eau importante doit alors être apportée pour compenser ces stress, et permettre au gazon de s'enraciner correctement dans le sol.

Le gazon de placage est produit par des semences, qui sont commercialisées en mélange. Les mélanges sont composés de différentes espèces. Le choix des espèces et de leur proportion dans les mélanges est fait en fonction de nombreux facteurs : type d'usage (facteur le plus important), climat, type de sol, etc. Le tramway d'Angers présente le mélange suivant : 40% Ray-Grass / 40% Pâturin des Prés / 20% Fétuque Rouge ½ traçante (Tableau 2).

Tableau 2 : Espèces présentes sur le tramway d'Angers et leurs caractéristiques (Choix du gazon.org, 2021)

Nom français des espèces Nom latin des espèces	Atouts	Contraintes
<b>Fétuque rouge demi-traçante</b> <i>Festuca rubra litoralis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Donne des gazons à feuilles fines</li> <li>• Supporte des tontes courtes et fréquentes</li> <li>• Pousse relativement faiblement</li> <li>• Supporte bien les zones ombragées</li> <li>• Supporte bien un entretien limité</li> <li>• Excellente pérennité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible tolérance au piétinement et à l'arrachement</li> <li>• Redémarrage plus difficile après une sécheresse et des fortes chaleurs</li> <li>• Installation assez lente</li> </ul>
<b>Pâturin des prés</b> <i>Poa pratensis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bonne résistance au piétinement et à l'arrachement</li> <li>• Fourni un gazon très dense</li> <li>• Bonne résistance à la chaleur en présence d'eau</li> <li>• Très bonne résistance au froid une fois installé</li> <li>• Faible vitesse de pousse</li> <li>• Présence de rhizomes pour se régénérer</li> <li>• Bonne pérennité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation très lente</li> <li>• Espèce peu agressive subissant la concurrence dans les mélanges</li> <li>• Sensible à la sécheresse</li> <li>• Sensible aux maladies (rouilles, fil rouge...)</li> <li>• Fertilisation indispensable</li> </ul>
<b>Ray grass anglais</b> <i>Lolium perenne</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation très rapide en toute saison</li> <li>• Très bien adapté aux zones tempérées et bon comportement hivernal</li> <li>• Excellente résistance au piétinement et à l'arrachement</li> <li>• Reverdissement rapide après un apport d'eau</li> <li>• Tolérant aux zones légèrement ombragées</li> <li>• Peu exigeant sur la préparation du sol</li> <li>• Bonne pérennité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comportement estival moyen, un peu sensible à la chaleur et à la sécheresse</li> <li>• Assez exigeant en éléments fertilisants</li> <li>• Compétition importante vis-à-vis des autres espèces</li> </ul>

Ce mélange est le même depuis la création de la ligne. D'après l'entreprise en paysage en charge du gazon des plateformes, le choix chez les fournisseurs en gazon de placage était très restreint à l'époque, ce mélange a été le seul proposé. Depuis, le fournisseur propose d'autres mélanges peut-être plus adaptés, mais l'entreprise gérant l'entretien du gazon a préféré continuer avec le mélange d'origine, afin de garder une homogénéité sur la plateforme (Roche, 2021).

La Fétuque Rouge demi-traçante et le Pâturin des Prés sont des espèces qui ont une pousse lente, ce qui est idéal dans le cadre du tramway où la hauteur du gazon ne doit pas dépasser les 5 cm pour assurer une bonne visibilité des rails aux conducteurs. Par ailleurs, ces dernières et le Ray-Grass anglais supportent bien les entretiens fréquents, également un avantage majeur dans ce contexte. De plus, ces espèces ont une bonne pérennité, permettant ainsi d'éviter un renouvellement trop fréquent du gazon. Toutefois, on peut remarquer que les espèces mises en place sont peu tolérantes à la chaleur et à la sécheresse, ce qui est un désavantage sur les plateformes du tramway, où le gazon peut facilement subir des fortes chaleurs ou un manque d'eau en période de restriction (Tableau 2).

### c) Un gazon mis à rude épreuve

Du fait de leur environnement et de leur structure, les plateformes du tramway forment pour le gazon un milieu très spécifique, avec des contraintes particulières. Le milieu urbain forme un écosystème à part entière, avec des caractéristiques qui lui sont propres : artificialisation des sols, activité anthropique, pollution atmosphérique, etc. L'ensemble de ces caractéristiques amène à la singularité d'un climat urbain. Ce climat urbain est caractérisé par une différence de température de plusieurs degrés avec le milieu rural qui l'entoure :

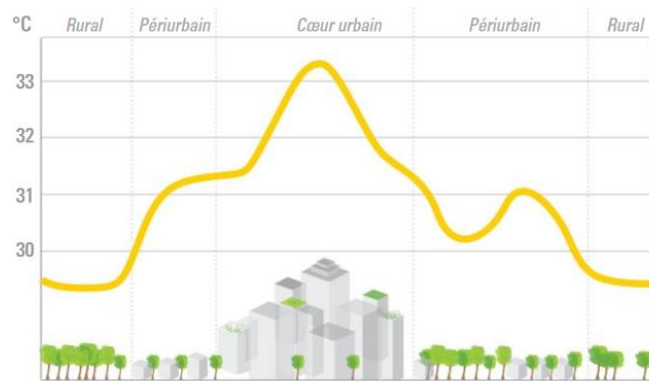


Figure 4 : Représentation du phénomène d'ICU (Elioth.com, 2020)

c'est le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU) (Figure 4). Ce phénomène est d'autant plus marqué la nuit, où les différences peuvent atteindre les 16°C (IAU, 2010). Ces écarts de températures sont constatés tant dans l'air ambiant, qu'à la surface du sol ou en profondeur (Recurt, 2020). Ce phénomène impacte alors l'intégralité de la plante : de son système foliaire à son système racinaire.

La plateforme sur laquelle est implantée le gazon est une seconde contrainte. La plateforme du tramway d'Angers est composée d'une dalle béton continue sur laquelle repose des plots béton soutenant les rails du tramway, et entre 12 et 15 cm de substrat pour le gazon de placage (RD Angers, 2020). Cette faible épaisseur de substrat induit une faible réserve utile du sol, c'est-à-dire une faible réserve en eau utilisable pour la plante. De plus, la dalle de béton continue empêche toute connexion entre le sol sous-jacent et le substrat, les racines ne peuvent donc pas aller en profondeur. Les matériaux utilisés pour la plateforme, majoritairement le béton et l'acier, engendrent également des contraintes sur le gazon. Ces contraintes sont dues au comportement qu'ont ces matériaux par rapport aux rayonnements solaires et à la chaleur. Le premier facteur qui influe ce comportement est la capacité thermique, c'est-à-dire la capacité du matériau à accumuler puis restituer la chaleur. Pour comparaison, le béton a une capacité thermique de 2400 kJ/m<sup>3</sup>°C contre 1350 pour la terre sèche (IAU, 2010).

Le deuxième paramètre est l'albédo (sans unité), qui est la capacité d'un matériau à réfléchir ou absorber les rayonnements solaires. Plus l'albédo est faible, plus le matériau absorbe les rayonnements, et vice versa. Un albédo de 0 correspond à une absorption totale des rayonnements solaires. Le béton, lui, présente un albédo de 0.20 (IAU, 2010). Du fait des phénomènes thermiques et d'albédo, le béton absorbe ainsi environ 80% de l'énergie qu'il reçoit pour la restituer par la suite (IAU, 2010). Dans le cas de la plateforme, une partie de l'énergie reçue par le béton est restituée dans le sol, ce qui le réchauffe nécessairement. Le gazon à proximité des bordures béton a alors tendance à jaunir plus rapidement. L'acier des rails présente également un albédo faible, mais aussi une conductivité thermique élevée, qui est la capacité à répartir la chaleur dans le matériau. Ces deux éléments associés font que l'acier chauffe énormément en plein soleil, ce qui a tendance à assécher le sol voire brûler le gazon qui est à proximité des rails (Figure 5). Sur le tramway d'Angers, il a été relevé que les rails du tramway pouvaient atteindre les 80°C en plein soleil (Le Liboux, 2021).



Figure 5 : Gazon jaunit aux abords des rails de la ligne A du tramway d'Angers, descente du CHU (Orand, 2021)

Le gazon peut aussi subir les contraintes d'une tonte trop courte. En période estivale, il est recommandé une hauteur de tonte assez haute, environ 8 cm. Ceci permet d'avoir davantage d'ombre au sol, de mieux conserver l'humidité et d'éviter un assèchement du sol (Association des producteurs de gazon du Québec, 2008). Cependant, sur le tramway d'Angers, le gazon est constamment gardé à une hauteur de 5 cm afin de permettre une bonne visibilité des rails aux conducteurs du tramway. Le gazon et le sol auront alors tendance à sécher plus rapidement, ce qui peut provoquer un stress hydrique.

Tous ces facteurs engendrent que le gazon des plateformes de tramway est plus facilement sujet aux stress :

- Hydrique, par la faible épaisseur de substrat, la dalle béton de la plateforme et les tontes fréquentes
- Thermique, par les matériaux de la plateforme

L'arrosage joue alors un rôle essentiel pour répondre à ces contraintes techniques.

### 3) L'arrosage, un rôle clé pour la végétation du tramway

#### a) L'arrosage : une réponse aux contraintes techniques mais également politiques

L'eau est l'élément essentiel pour la croissance et le bon développement des végétaux. À partir du moment où les apports en eau et l'eau stockée dans le sol sont inférieurs aux besoins et à la consommation d'eau de la plante, alors la plante rentre en stress hydrique. En période de stress hydrique, la plante arrête alors d'évapotranspirer afin de limiter les pertes en eau. La photosynthèse, l'alimentation minérale et la croissance végétative sont alors coupées (Levine, 1992).

La plante rentre en dormance, ses fonctions métaboliques sont réduites afin de consommer moins d'eau et de préserver ses organes vitaux (Association des producteurs de gazon du Québec, 2008). Cela provoque en premier lieu un flétrissement des feuilles et un jaunissement de la plante jusqu'à atteindre une sénescence des feuilles et de la plante entière si cet état est maintenu trop longtemps (Cochard, 1991) (Figure 6).

Le gazon de la plateforme du tramway est également soumis au stress thermique. Dans notre cas le stress thermique est dû à la chaleur. Le stress thermique apparaît quand la température est supérieure à la gamme de températures préférentielles de la plante. Quand la plante est en stress thermique, elle évapotranspire encore plus afin de réguler sa température, elle perd alors davantage d'eau, ce qui augmente ses besoins et sa consommation en eau. Ceci peut provoquer par la suite un stress hydrique. Les effets visuels du stress thermique sur la plante sont semblables à ceux du stress hydrique (Levine, 1992).



Figure 6 : Gazon de la ligne A du tramway d'Angers jauni à cause d'un manque d'eau, descente du CHU (Orand, 2021)

Dans notre cas, c'est l'arrosage qui constitue l'essentiel des apports en eau, notamment en période estivale. L'arrosage permet alors d'apporter la quantité d'eau nécessaire à la plante pour la maintenir en vie et ainsi de répondre aux contraintes techniques.

L'arrosage permet également de répondre aux exigences politiques et sociales. Techniquement, l'arrosage de la plante est nécessaire pour la maintenir en vie, cependant le maintien en vie ne signifie pas que la plante reste verte toute l'année. Les mécanismes de défense de la plante et les effets sur l'aspect visuel apparaissent dès le début du stress hydrique, c'est-à-dire avant que la plante ne meure. Or, politiquement il est essentiel de garder le gazon vert par le biais de l'arrosage. Effectivement, Angers est la « Ville la plus verte de France » avec ses 204 m<sup>2</sup> d'espace vert par habitant [15]. Le tramway, avec sa coulée verte, est alors une vitrine qui permet d'illustrer ce palmarès. Les élus tiennent énormément à cette bande verdoyante, c'est pour cela qu'il est stipulé dans le cahier des charges d'entretien de la plateforme que « le gazon fait l'objet d'un entretien spécifique visant à maintenir sa vigueur et sa couleur verte toute l'année » (RD Angers, 2020).

L'arrosage est alors une solution majeure pour répondre aux contraintes techniques et aux exigences politiques qui font face sur le tramway d'Angers. Cependant, répondre à ces contraintes et exigences nécessite une quantité d'eau relativement importante. La gestion de la ressource en eau devient alors un enjeu.

### b) L'eau, une ressource de plus en plus fragile

Sous l'effet du changement climatique, depuis les années 1900, une évolution du climat de la France métropolitaine a été constatée : hausse des températures de 1.7°C en moyenne [16]. Les effets du changement climatique ont également une influence sur les épisodes météorologiques, notamment les vagues de chaleur. Entre 1947 et 2019, il a été recensé 41 vagues de chaleurs. Sur ces 41 vagues, seulement 9 ont eu lieu avant 1989 contre 31 entre 1989 et 2019, soit 3 fois plus durant ces 30 dernières années. Sur ces 41 vagues, 23 ont eu lieu après les années 2000 dont 17 depuis 2010. Ce qui correspond à presque une vague de chaleur par an. On constate alors que ces événements extrêmes sont de plus en plus fréquents, mais également plus longs et plus intenses (figure 7).

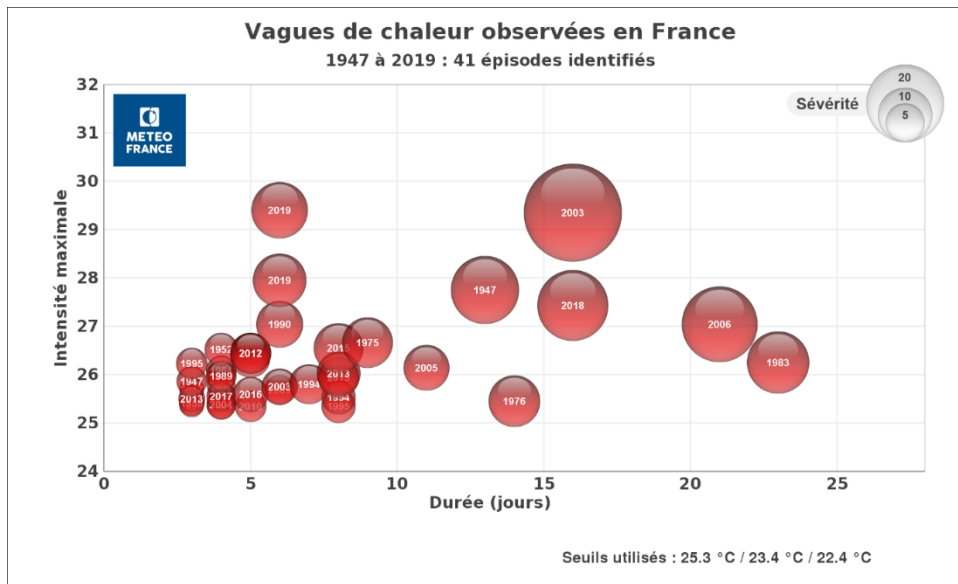


Figure 7 : Recensement des vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2019 (Météo France, 2020)

Durant ces périodes extrêmes, la population a donc besoin de rafraîchissement. L'arrosage devient alors une solution, il permet le rafraîchissement des ICU par transpiration des plantes et arrosage de l'espace public (IAU, 2010). Toutefois, la ressource en eau devient difficile à partager, à cause des aléas climatiques, des sécheresses et l'intensification des épisodes caniculaires. Il devient également difficile d'estimer les ressources en eau disponibles. La compétition pour les besoins en eau se fait alors ressentir de plus en plus. En effet, l'irrigation des espaces verts n'est pas prioritaire, c'est d'ailleurs l'un des premiers secteurs à subir des interdictions durant les vagues de chaleur où des arrêtés de restriction d'eau sont mis en place (Préfet de Maine-et-Loire, 2020). Cela s'explique du fait que l'eau en France est majoritairement utilisée pour le secteur de l'industrie et de l'agriculture : 25% de l'eau consommée pour l'industrie et 50% pour l'agriculture [17].

Depuis 2017, on peut constater sur le tramway d'Angers une augmentation de la consommation en eau, ce qui traduit bien l'augmentation en intensité des épisodes de fortes chaleurs (Tableau 3). Sur ces six années, la consommation moyenne est de 52 284 m<sup>3</sup> par an. Ce qui représente la consommation d'eau d'environ 980 français sur un an [18], soit 0.6% de la population Angevine. Irigo, l'entreprise en charge du réseau de tramway à Angers, paye 1.09 €/m<sup>3</sup> d'eau. Entre 2014 et 2019, l'arrosage représente alors en moyenne 56 989 € de dépenses annuelles, soit plus de 1/7 du budget total pour l'entretien paysager des plateformes du tramway de la ligne A (Le Liboux, 2021).

Tableau 3 : Consommation en eau pour l'arrosage des plateformes engazonnées du tramway d'Angers entre 2014 et 2019 (RD Angers, 2020)

Année	Consommation d'eau (m <sup>3</sup> )
2014	54 150
2015	48 804
2016	40 223
2017	48 864
2018	54 080
2019	67 584

D'autre part, pour le tramway d'Angers, l'arrosage du gazon se fait par l'eau de ville, donc de l'eau potable. Une compétition avec la population se rajoute alors en période de restriction. En effet, en période de restriction, la population est limitée sur son usage de l'eau : interdiction d'arroser son potager, de laver sa voiture, etc. L'irrigation de la plateforme de tramway en période de restriction est alors mal comprise, et est considérée comme du gaspillage [19]. La gestion de la ressource en eau devient alors une nécessité, dans un premier temps afin de préserver une ressource qui se rarifie, notamment pour l'eau potable. Puis pour réduire les frais que cela peut engendrer et respecter la volonté de la population, qui devient de plus en plus critique sur l'utilisation de l'eau, particulièrement en période de restriction.

### c) Le système d'arrosage sur le tramway d'Angers

L'arrosage des zones engazonnées s'effectue par aspersion à l'aide d'arroseurs. L'aspersion consiste à distribuer l'eau dans les airs sous forme de pluie, simulant ainsi une précipitation. Les plateformes de tramway étant majoritairement de forme rectangulaire, l'implantation des arroseurs suivent un schéma « en carré » (Figure 8).

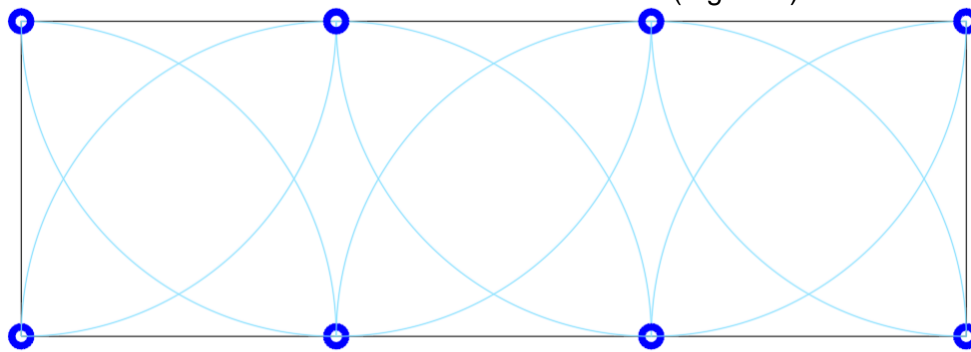


Figure 8 : Principe de l'implantation en carré des arroseurs sur le tramway d'Angers (Orand, 2021)

L'arrosage de l'intégralité de la ligne de tramway est assuré par 10 chambres de comptage en eaux réparties sur la ligne. Les chambres de comptage sont des locaux souterrains où le réseau d'arrosage est raccordé au réseau d'eau de ville. Un compteur d'eau est installé puis géré par la concessionnaire de l'eau potable afin de connaître et refacturer les consommations effectuées sur les plateformes. Ces dix chambres forment chacune des secteurs d'arrosage distincts (Figure 9).

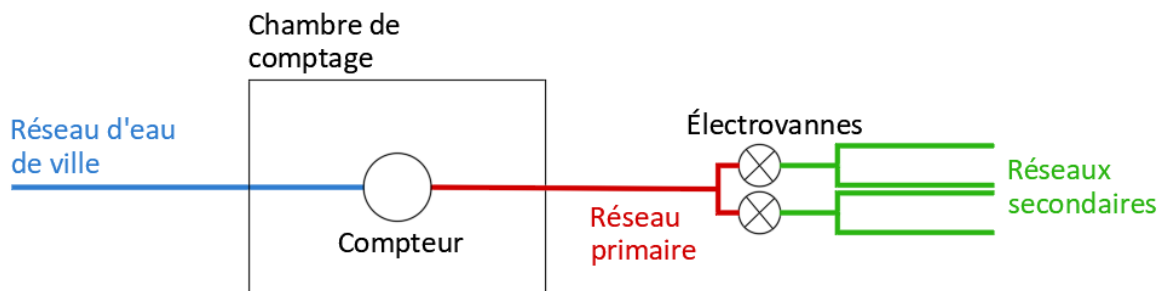


Figure 9 : Principe du réseau d'arrosage sur le tramway d'Angers (Orand, 2021)

Sur chaque secteur, les réseaux primaires d'arrosage partent des chambres de comptage pour alimenter les réseaux secondaires qui se situent au niveau des plateformes du tramway, alimentant ainsi les arroseurs. Des vannes électriques (électrovannes) isolent les réseaux secondaires avec les arroseurs, des réseaux primaires. Une électrovanne gère ainsi une zone comprenant plusieurs arroseurs qui fonctionnent simultanément (Figure 9).

L'arrosage sur le tramway est automatisé, il s'effectue à l'aide d'une gestion centralisée. C'est un ordinateur qui est équipé d'un logiciel qui permet de gérer l'arrosage à distance : création de programmes d'arrosage avec des durées ou des quantités d'eau précises, etc. Chaque chambre de comptage possède un satellite : c'est un programmeur qui est connecté à la gestion centralisée pour recevoir des informations. Les électrovannes sont reliées électriquement à ces satellites. L'ordinateur envoie les programmes d'arrosage aux satellites. Les satellites gèrent ensuite l'enclenchement électrique des électrovannes (Figure 10).

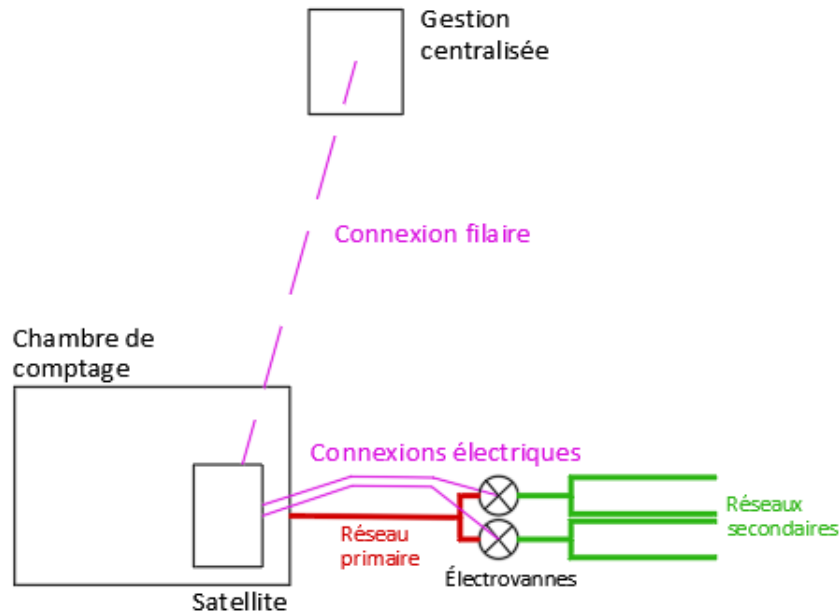


Figure 10 : Principe du fonctionnement de la gestion centralisée sur le tramway d'Angers (Orand, 2021)

#### d) Une connaissance sur la gestion et les besoins en eau actuellement limitée pour le tramway d'Angers

Lors de son installation, le tramway d'Angers disposait d'une station météorologique connectée au logiciel de gestion centralisée afin de recueillir différentes données permettant de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP) du gazon, c'est-à-dire la quantité théorique d'eau transpirée donc consommée par le gazon. Cependant, cette station météo a été enlevée car les données fournies n'étaient pas fiables. En effet, la station était située à Avrillé au niveau du centre de maintenance du tramway, une zone beaucoup moins urbanisée, où les conditions climatiques sont alors différentes (Annexe I). Les données récoltées n'étaient alors pas représentatives de la configuration dans laquelle se trouve le gazon. De plus, du fait des rails et du béton de la plateforme qui chauffent énormément, le gazon a tendance à évapotranspirer davantage par rapport à un gazon en pleine terre.

L'arrosage sur le tramway d'Angers se fait alors de manière empirique en fonction de la météo. Quand le gazon commence à jaunir ou que les températures augmentent, on augmente l'arrosage. A l'inverse, l'arrosage est diminué lors de chutes de températures ou de mauvais temps. S'ajoute à ceci la pression constante sur l'aspect « vert » du gazon, la peur de voir le gazon jaunir entraîne un arrosage systématique dès les premiers rayons de soleil ou l'augmentation des températures, sans savoir s'il y a un réel besoin en eau.

Ce manque de données associé aux pressions politiques, fait qu'il est difficile d'estimer les besoins en eau sur les plateformes du tramway, ce qui induit une gestion de l'eau non optimale, avec un sur-arrosage fréquent afin d'être certain de maintenir l'aspect esthétique du gazon.



Contrairement à d'autres secteurs, le tramway d'Angers exprime actuellement un retard en termes de gestion raisonnée de l'eau. En effet, si nous prenons l'exemple des golfs ou des terrains sportifs, on constate que ces derniers cherchent de plus en plus des solutions pour avoir un arrosage le plus précis possible (données terrain), permettant ainsi d'avoir un apport en eau optimal pour la plante tout en limitant leur consommation d'eau. Par exemple, l'entreprise Terideal-Sirev a installé, dans plus d'une quarantaine de golfs, des sondes d'humidité connectées. Un questionnaire réalisé au sein de l'entreprise a montré que ces sondes ont permis aux gestionnaires des golfs de mieux gérer leur arrosage quotidien et de diminuer leur consommation en eau (Zoyo, 2020).

Malgré ce manque de connaissances, les gestionnaires de la ligne A du tramway restent soucieux de leur consommation d'eau, et cherchent de nouvelles méthodes afin de réduire cette dernière.

#### 4) Un conflit entre la gestion de la ressource en eau et la réponse aux contraintes techniques, politiques et sociales

Nous avons pu voir que le tramway est un environnement particulier pour le gazon, du fait du milieu urbain et de la structure de la plateforme, qui met facilement le gazon en stress hydrique et thermique. L'arrosage est alors primordial pour répondre à ces contraintes techniques, mais également aux exigences politiques très fortes.

L'importance qu'a l'arrosage pour le gazon, tend à se questionner sur la consommation d'eau. En effet, répondre pleinement à ces contraintes et exigences demande une quantité d'eau importante. Toutefois, l'eau devient une ressource rare, dont la compétition pour son usage augmente constamment, notamment pour l'eau potable et en période de restriction. Il devient alors nécessaire de s'intéresser à avoir une gestion raisonnée de la ressource en eau, et c'est pour cela que les gestionnaires du tramway d'Angers s'en préoccupent.

Cependant, cette gestion raisonnée de la ressource en eau ne doit pas impacter l'aspect esthétique du gazon. Un réel conflit apparaît alors entre l'aspect esthétique du gazon et la diminution de la consommation en eau. Plusieurs questionnements et enjeux ressortent alors :

- Est-il possible de diminuer la consommation d'eau tout en répondant aux contraintes techniques et exigences esthétiques ?
- Certaines contraintes ne doivent-elles pas être revues pour permettre une diminution de la consommation en eau ?
- L'accroissement des vagues de chaleurs impliquent une augmentation des restrictions en eau, demandant ainsi une forte diminution de la quantité d'arrosage. Ces restrictions sont-elles compatibles pour répondre aux enjeux politiques et contraintes techniques ?

Trois axes majeurs semblent se dégager pour agir sur la consommation en eau tout en préservant l'aspect esthétique du gazon : la conception, l'arrosage et la politique.

## II) Comment agir sur la consommation d'eau sur une ligne de tramway ?

### 1) La conception du projet, une première étape pour anticiper la consommation d'eau

Lors de la création d'un projet, l'étape de conception en amont est cruciale. Elle permet une meilleure anticipation du projet, et d'éviter tout réajustement une fois le projet fini. D'autant plus que, une fois un projet fini, plusieurs éléments sont difficilement rectifiables. Dans l'objectif d'une diminution de la consommation en eau sur les voies engazonnées de tramway, plusieurs éléments peuvent être étudiés durant la conception :

- Le type de plateforme
- Le choix des espèces de végétaux mis en place
- Le matériel d'arrosage mis en place ainsi que l'implantation

#### a) Le choix du type de plateforme

Lors de la conception d'une ligne de tramway, le type de plateforme utilisé est un premier facteur pouvant influencer la consommation en eau. Il existe deux types de plateforme végétalisée : une dite « hors-sol/imperméable » et une autre dite « perméable » (Michel, 2019).

Comme vu précédemment, la plateforme du tramway d'Angers est constituée d'une dalle béton continue formant ainsi une déconnexion entre le substrat et le sol. C'est donc une plateforme « hors-sol » (Figure 11). Ce type de plateforme induit un stress hydrique plus fréquent sur le gazon, ce qui provoque une consommation en eau importante pour garder le gazon en vie.

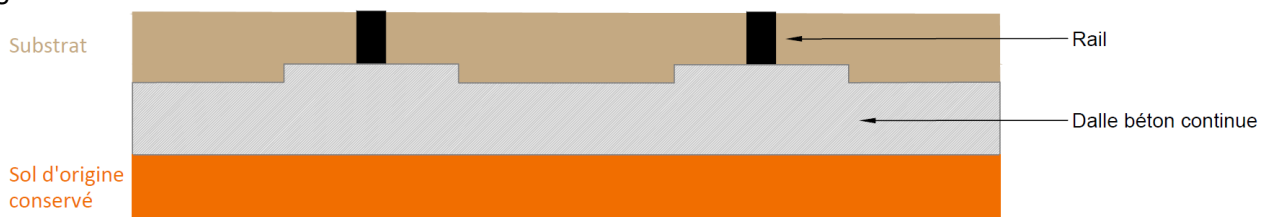


Figure 11 : schéma de principe d'une plateforme de tramway « hors sol » (Orand, 2021)

La méthode « perméable » consiste à avoir du béton seulement sur les emprises des rails. Cela permet alors une épaisseur de substrat supérieure à une plateforme traditionnelle « hors sol » (Figure 12).

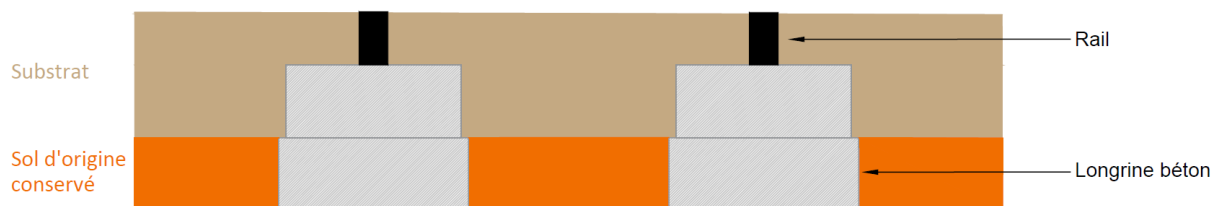


Figure 12 : schéma de principe d'une plateforme de tramway « perméable » (Orand, 2021)

À Avignon, la mise en place d'une plateforme perméable a permis d'avoir une épaisseur de substrat 3 fois supérieure aux plateformes « hors sols » classiques [20]. Une épaisseur de substrat plus importante permet alors d'augmenter la réserve en eau du sol. De plus, la connexion directe entre le sol et le substrat permet au gazon de mieux résister à des conditions de sécheresse. En effet, les racines du gazon jouent un rôle essentiel pour sa résistance au stress hydrique, car ce sont elles qui permettent d'apporter l'eau présente dans le sol à la plante. Un enracinement en profondeur permet donc au gazon de puiser dans les réserves en eau plus profondes du sol.

Ainsi, plus un gazon peut s'enraciner en profondeur, jusqu'à 3m pour certaines espèces, plus il est résistant au manque d'eau. L'arrosage peut alors être fortement diminué voir supprimé [21].

Plusieurs villes de France ont choisi ce procédé afin de garantir une économie d'eau et une meilleure préservation de leur gazon. On peut citer notamment les nouvelles lignes du tramway d'Angers [7] et de Tours (Syndicat des mobilités de Touraine, 2021) qui sont en construction, ou encore le tramway de Besançon, qui de plus, ne dispose d'aucun système d'arrosage (Vrielynck, 2021).

### b) Le choix des espèces végétales à mettre en place

Le choix des espèces à gazons utilisées sur les plateformes de tramway est un facteur qui va influencer l'aspect du gazon, son entretien et également sur sa consommation en eau. Les différentes espèces présentent des caractéristiques spécifiques : aspect esthétique différent, plus au moins bonne résistance à certains stress (piétinement, hydrique thermique), besoins en eau, etc. Il est alors important de bien choisir les espèces pour correspondre aux exigences que l'on souhaite et répondre aux contraintes spécifiques qu'il peut y avoir. Sur le tramway d'Angers, le gazon doit être esthétique et garder sa couleur verte toute l'année tout en consommant le moins d'eau possible. Le gazon doit également avoir une bonne résistance aux stress thermique, hydrique et à un entretien fréquent.

On peut distinguer deux types d'espèces à gazon, les espèces en C3 et en C4. Ces espèces se distinguent par la façon dont elles effectuent la photosynthèse. Le mécanisme en C3 est le mécanisme de base, utilisé par la majorité des végétaux. La plante utilise en journée l'eau et l'énergie lumineuse afin de fixer le CO<sub>2</sub> atmosphérique pour produire des sucres (énergie) utilisables par la plante. La fixation du CO<sub>2</sub> se fait grâce à l'ouverture des stomates de la feuille, permettant ainsi les échanges gazeux et aqueux mais entraînant également des pertes en eau par transpiration. Ce procédé entraîne également des pertes de rentabilité car une partie du CO<sub>2</sub> fixé est ensuite relâché par la plante, c'est le phénomène de photorespiration. Grâce à une anatomie particulière de leurs feuilles, les plantes C4 sont capables de concentrer le CO<sub>2</sub> pour leur photosynthèse. Elles évitent ainsi la photorespiration avec les pertes en eau que cela engendre et augmentent leur rendement en biomasse par rapport aux plantes C3.

Théoriquement, les plantes en C4 semblent alors plus intéressantes sur les plateformes de tramway car plus résistantes au manque d'eau. Cependant, l'utilisation de plantes en C3 ou C4 est à remettre dans un contexte climatique. En effet, les plantes en C3 sont sensibles à la chaleur. Au-dessus de 30°C, leur photosynthèse sera altérée, ce qui les rend plus sensibles aux climats chauds. Les plantes en C3 sont également plus plastiques car leur température minimale d'activité se situe autour des 7°C. Au contraire, les plantes en C4 sont peu sensibles à la chaleur et auront une photosynthèse plus efficace au-dessus des 30°C, les rendant ainsi très intéressantes en période estivale ou sous un climat chaud et sec. En revanche, en dessous des 20°C leur photosynthèse est diminuée et les plantes auront tendance à rentrer en dormance l'hiver et à jaunir [22] (Figure 13).



Figure 13: Aspect visuel durant l'hiver d'un gazon constitué d'espèces en C4, Cherokee Country Club, Knoxville, Tennessee (Sanderson, 2020).

Ainsi, les plantes en C3 sont majoritairement utilisées en France car plus adaptées au climat. On utilise surtout les plantes en C4 dans le sud de la France, dans le bassin méditerranéen par exemple, où le climat est plus chaud, notamment en hiver, et sec. Toutefois, dans le contexte de réchauffement climatique dans lequel nous nous trouvons, nous pouvons être amenés à nous demander si l'utilisation de plantes en C4 davantage dans le nord de la France n'est pas préférable, afin d'avoir des aménagements paysagers les plus pérennes possibles surtout en été.

Au sein des plantes en C3, il est également important de choisir les espèces les plus adaptées. Sur le tramway d'Angers, la mise en place d'espèces plus résistantes aux sécheresses et moins consommatrices en eau que celles présentes actuellement, pourrait permettre de diminuer l'arrosage. On peut citer comme exemples d'espèces en C3 les plus résistantes au manque d'eau et aux fortes chaleurs la Fétuque élevée, la Fétuque ovine ou le Ray gras anglais (Cochard, 1991). Le choix des végétaux peut également être poussé jusqu'à l'échelle variétale, où l'on peut encore constater des différences importantes.

Ainsi, il est important de bien déterminer les caractéristiques souhaitées sur le végétal pour choisir les végétaux, espèces et variétés les plus adaptés. Ce choix a un impact direct sur l'aspect esthétique de la plateforme de tramway face à différentes contraintes mais également sur sa consommation en eau. Nous pouvons citer la ville de Tours, qui réalise actuellement des planches d'expérimentations pour choisir la palette végétale de sa nouvelle ligne de tramway. Plusieurs mélanges sont testés avec des espèces à gazon classiques tel que le raygrass, mais également d'autres espèces comme du sédum, des plantes vivaces, des graminées avec autres herbacés sauvages, etc. L'objectif est de tester la réaction de ces différents mélanges face au manque d'eau et aux fortes chaleurs afin de déterminer le mélange qui sera le moins consommateur en eau tout en gardant un fort aspect esthétique. De telles expériences sont alors un bon moyen d'avoir une palette végétale la plus adaptée possible. A noter tout de même que la mise en place de planches d'essais implique un surcoût.

### c) L'étude du système d'arrosage

#### Le choix du matériel

Pour les plateformes de tramway il existe actuellement deux techniques d'arrosage : par aspersion ou subirrigation. L'aspersion est la technique qui est en place sur la ligne A du tramway d'Angers (Figure 14). L'arrosage par aspersion est le système le plus classique et répandu sur les tramways, sa mise en place est simple et son investissement faible. Cette méthode présente plusieurs inconvénients. Tout d'abord, il faut veiller à ce que l'implantation des arroseurs soit optimale afin d'éviter tout sur ou sous arrosage sur certaines zones. Ce système demande également beaucoup d'entretien. Il faut régulièrement s'assurer que les arroseurs soient bien réglés ou ne présentent aucune défaillance. De plus, les arroseurs sont en surface, ils sont alors énormément sujet au vandalisme, aux casses et sont également sensibles à des phénomènes provoquant des pertes en eau inévitables, tel que le vent ou l'évaporation de surface.



Figure 14 : Arrosage par aspersion sur la ligne A du tramway d'Angers, Bd Elisabeth Boselli (Orand, 2021)

La subirrigation est une méthode d'arrosage qui se fait par l'intermédiaire de goutteurs enterrés sous le gazon (Figure 15). Cette méthode très récente a été mise en place pour la première fois sur les tramways en 2018, sur l'extension de la plateforme du tramway T3 à Paris. Depuis cette méthode innovante se développe peu à peu :

- Mise en place de la subirrigation sur les tramways T3, T9 et T10 à Paris.
- Expérimentations en cours de l'arrosage en subirrigation sur les futures lignes d'Angers et de Tours.

Disposer d'un système totalement enterré apporte de nombreux avantages. Le système est caché, il n'est donc plus sujet au vandalisme, ce qui permet de réduire les coûts d'entretien. La ville de Toulouse a estimé pour l'un de ses aménagements que l'arrosage en subirrigation permettrait de réduire par 7 les coûts annuels d'entretien (Plante et Cité, 2013). Arroser directement dans le sol, au plus près des racines, permet également d'avoir un arrosage le plus efficace possible avec le moins de déperditions. De plus, ce système est composé d'un nombre important de goutteurs, séparés les uns des autres par un faible espacement (environ 30cm). L'uniformité d'arrosage est alors plus précise que sur un système avec arroseurs. L'arrosage en subirrigation permettrait ainsi de réduire la consommation d'eau de 15 à 70% en fonction des sources [23] (Espace public et paysage, 2019). Le réseau de subirrigation peut également être dans une nappe, qui s'imbibe d'eau durant les arrosages ou la pluie, formant ainsi une réserve en eau de 5 l/m<sup>2</sup>. Un autre des avantages majeurs est que l'arrosage peut également se faire à n'importe quel moment, contrairement à l'aspersion qui se réalise la nuit pour éviter tout vandalisme ou gêne auprès de la population. Pouvoir arroser tout au long de la journée est un énorme bénéfice, notamment sur les plateformes de tramway où le substrat sèche facilement en journée par sa faible épaisseur et la température des rails. La subirrigation permet ainsi d'apporter régulièrement de l'eau, pour garder une humidité constante du substrat.



Figure 15: Mise en place de la subirrigation sur le tramway T10 à Paris (Meyer, 2021)

Malgré tous ces avantages, la subirrigation présente tout de même certains bémols. Tout d'abord le coût. Le système d'arrosage en subirrigation est plus technique à mettre en place, avec notamment des étapes supplémentaires comme la mise en place du substrat en 2 fois. Cela entraîne alors des coûts d'installation plus élevés. A Toulouse, la mise en place d'un arrosage en subirrigation pour un espace engazonné a entraîné un surcoût à l'installation de 35% par rapport à l'aspersion (Plante et Cité, 2013). Le projet doit également être étudié minutieusement sur de nombreux points techniques afin de tirer au maximum les profits de la subirrigation :

- Etude spécifique sur le substrat à mettre en place, il doit permettre une bonne diffusion de l'eau par capillarité sans engendrer trop de drainage
- Programmation fine de l'arrosage pour éviter toute perte en drainage
- Filtration minutieuse de l'eau pour éviter tout colmatage du réseau
- Bonne gestion de la pression du réseau pour ne pas faire éclater le goutte à goutte qui est très sensible

Enfin, même si cette méthode semble présenter des coûts d'entretien inférieurs à l'aspersion, elle est encore très récente. On ne dispose alors pas de suffisamment de recul sur le vieillissement du matériel à long terme.

Par ailleurs, du fait que le système soit entièrement enterré, toute casse entraîne nécessairement le déplacement du gazon et des terrassements importants. Entraînant alors des surcoûts et des réparations à effectuer obligatoirement de nuit, lorsque le tramway n'est pas en fonctionnement. La subirrigation semble alors être une nouvelle méthode d'irrigation prometteuse, de plus en plus favorisée pour les nouvelles lignes de tramway. Cependant, davantage de recul sur ce procédé semble nécessaire afin d'en connaître plus sur les bénéfices et inconvénients de cette méthode.

### L'implantation et le choix des arroseurs

Dans le cas d'un système d'arrosage par aspersion, l'implantation, les portées et débits des arroseurs jouent un rôle crucial pour gérer au mieux sa consommation d'eau. Sur le tramway d'Angers, l'implantation des arroseurs suit une implantation en carré. Ce type d'implantation entraîne une pluviométrie hétérogène de la zone (Figure 16). En effet, avec une implantation en carré, tous les arroseurs ne sont pas à la même distance les uns des autres, notamment dans les diagonales où les distances sont plus importantes. Or, plus on s'éloigne du pied de l'arroseur, plus la pluviométrie chute. L'hétérogénéité de distance dans cette implantation entraîne alors une hétérogénéité des pluviométries. (Figure 16). Les zones avec une pluviométrie plus faible auront alors tendance à sécher et jaunir plus rapidement, car moins d'eau leur sera apportée. Cependant, cela n'est pas acceptable sur la plateforme du tramway d'Angers, où le rendu esthétique de la plateforme doit être homogène. Pour compenser cela, l'arrosage doit être augmenté pour assurer suffisamment d'eau sur l'ensemble de la plateforme, entraînant obligatoirement un sur arrosage sur certaines parties.

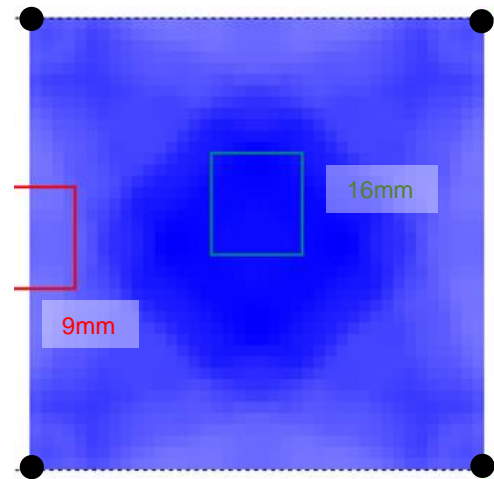


Figure 16 : Modélisation de la pluviométrie lors d'une implantation en carré. En rouge la zone avec la pluviométrie la plus forte, en vert la zone avec la pluviométrie la plus faible (Logiciel Space Pro, 2021).

Une implantation en triangle pourrait être envisagée (Figure 17). Cette implantation offre une pluviométrie plus homogène, du fait que la distance entre chaque arroseur est identique (Figure 18). Cependant, pour que ce recouvrement soit optimal, la portée des arroseurs doit déborder de la plateforme, provoquant un arrosage sur la chaussée, ce qui est difficilement acceptable en milieu urbain. De plus, une implantation en triangle est privilégiée sur des espaces avec des formes non géométriques, car la gestion des angles est délicate avec cette implantation.

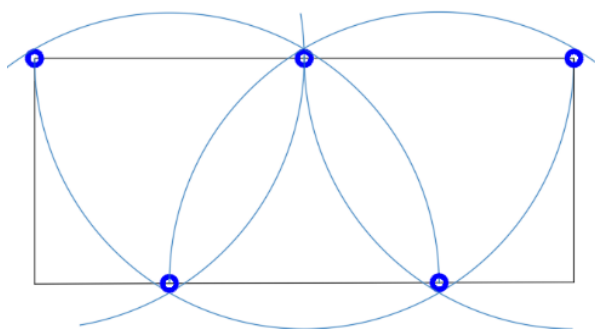


Figure 18 : Schéma d'implantation en triangle des arroseurs (Orand, 2021)

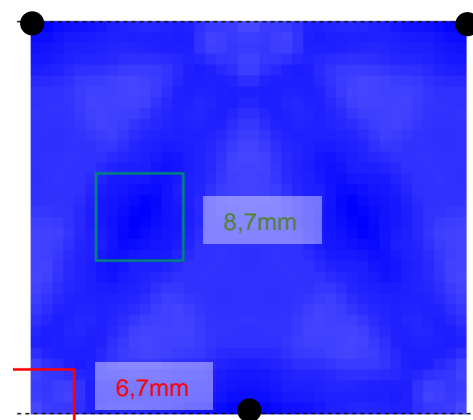
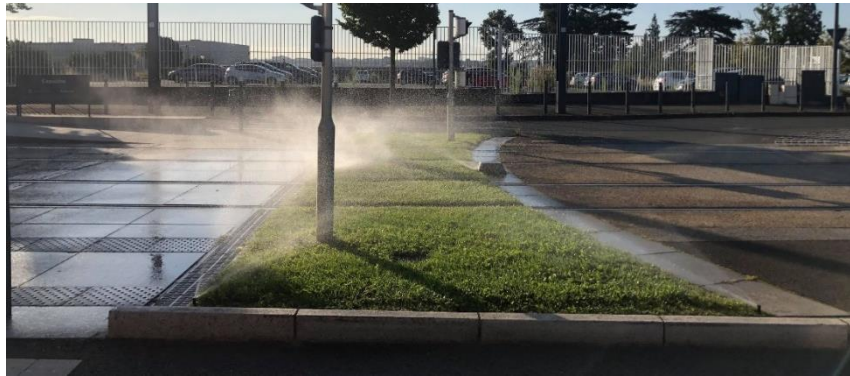


Figure 17 : Modélisation de la pluviométrie lors d'une implantation en triangle. En rouge la zone avec la pluviométrie la plus forte, en vert la zone avec la pluviométrie la plus faible (Logiciel Space Pro, 2021).

La portée des arroseurs doit également être correctement déterminée afin que la zone arrosée soit recouverte de façon optimale, en évitant au maximum de déborder. En revanche, sur les plateformes de tramway, certaines zones engazonnées sont très étroites, avec des dimensions inférieures aux portées minimales des arroseurs. Une partie de l'eau est alors directement perdue au niveau de la route, des trottoirs, etc. D'autant plus que sur ces petites zones, l'arrosage se fait par des tuyères : des arroseurs avec un jet d'eau fixe. Le jet produit par les tuyères est très sensible au vent, l'eau déborde donc facilement. (Figure 19).



*Figure 19 : Arrosage d'une petite bande engazonnée avec des tuyères sur la ligne A du tramway d'Angers, Rue des Capucins (Orand, 2021)*

Enfin, le débit des arroseurs devrait être adapté en fonction de l'angle de rotation des arroseurs. Sur le tramway, on retrouve majoritairement des arroseurs en quarts de cercle et demi-cercle. Sur un temps donné, un arroseur en quarts de cercle effectue le double d'allers-retours qu'un arroseur en demi-cercle. Pour un même débit d'arroseurs, les arroseurs en quarts de cercle arroseront donc davantage leur zone. Pour pallier ce problème, une des solutions serait d'adapter le débit des arroseurs. Les arroseurs en quarts de cercle effectuent 2 fois plus d'allers-retours, ils devraient alors débiter 2 fois moins, afin d'avoir une pluviométrie équivalente aux demi-cercles. Néanmoins, cela n'est pas possible sur le tramway car les arroseurs sont déjà au débit le plus bas existant sur le marché. On ne peut donc pas réduire le débit des quarts de cercle. On pourrait augmenter le débit des demi-cercles, mais cela implique également une augmentation des portées, l'arrosage déborderait ainsi de trop sur la chaussée ce qui n'est pas acceptable. De plus, une augmentation des débits entraînerait des coûts supplémentaires pour adapter les réseaux. L'autre solution serait de faire fonctionner indépendamment les arroseurs en quarts de cercle, pour avoir un temps d'arrosage réduit. Cependant, cela nécessiterait de rajouter des électrovannes, engendrant un surcoût conséquent pour assurer une uniformité d'arrosage quasi parfaite. Il faut alors accepter que les zones avec des arroseurs en quarts de cercle soient plus arrosées.

Finalement, la forme géométrique des zones engazonnées de la plateforme de tramway laisse peu de choix sur l'implantation et les caractéristiques des arroseurs. Ce qui entraîne un sur arrosage inévitable sur certaines zones.

## **2) La conduite et la maintenance de l'arrosage, l'élément majeur pour agir sur la consommation d'eau**

L'élément pouvant influencer directement la consommation en eau est évidemment l'arrosage. Des actions peuvent être menées à plusieurs niveaux :

- La quantité d'eau apportée
- Quand et comment est apportée cette quantité d'eau
- La maintenance du système

## a) La quantité d'eau à apporter

### Les effets d'une quantité d'eau non adaptée

Dans le cas des plateformes de tramway, la consommation d'eau est directement liée à la quantité d'eau apportée durant les cycles d'arrosage. Bien maîtriser la quantité d'eau durant les arrosages permet alors une meilleure gestion de l'eau, afin de diminuer sa consommation. De plus, la quantité d'eau apportée à la plante impacte directement son aspect visuel.

Comme vu précédemment, un apport en eau insuffisant met la plante en état de stress hydrique, ce qui provoque un jaunissement voire la mort totale du gazon. Un apport en eau trop important est également défavorable pour les végétaux. L'excès d'eau participe à la dégradation de la structure des sols, il entraîne le lessivage des nutriments et minéraux présents, nécessaires au bon développement des végétaux. Il y a également un phénomène d'asphyxie racinaire : l'excès d'eau entraîne un manque d'air dans le sol, il y a alors un déficit en oxygène et une concentration en CO<sub>2</sub> plus importante. Ceci entraîne alors un flétrissement, pourrissement et jaunissement des feuilles, jusqu'à atteinte de la senescence de la plante dans les cas les plus extrêmes (Cochard, 1991). En plus d'être défavorable à la plante, l'excès d'eau entraîne également un gaspillage. En effet, l'eau apportée en excès sera directement lessivée et drainée. L'eau est alors perdue. Il est donc essentiel d'éviter au maximum un sur-arrosage, afin de raisonner sa consommation en eau et ne pas surconsommer. Pour éviter tout phénomène de sous ou sur arrosage, il est alors important de connaître la quantité d'eau à apporter, et cela passe par une connaissance approfondie du sol en place.

### Apporter une quantité d'eau adaptée passe par une connaissance du sol

Le sol peut contenir et restituer à la plante une certaine quantité d'eau, c'est ce qu'on appelle la réserve utile (RU) du sol. La RU varie en fonction de la structure du sol et de son épaisseur. La RU est comprise entre deux seuils :

- La capacité au champ (CC) : cela correspond à la quantité d'eau dans le sol après saturation et ressuyage de 48 h et est le seuil maximal de rétention d'eau du sol. Si la quantité d'eau présente dans le sol dépasse ce seuil, l'excédent d'eau est alors directement perdu par lessivage (Figure 20).
- Le point de flétrissement permanent (PFP) : cela correspond au seuil en dessous duquel la plante ne peut plus prélever de l'eau dans le sol, la RU a été entièrement consommée. Ce seuil correspond au seuil létal pour la plante (Figure 20).

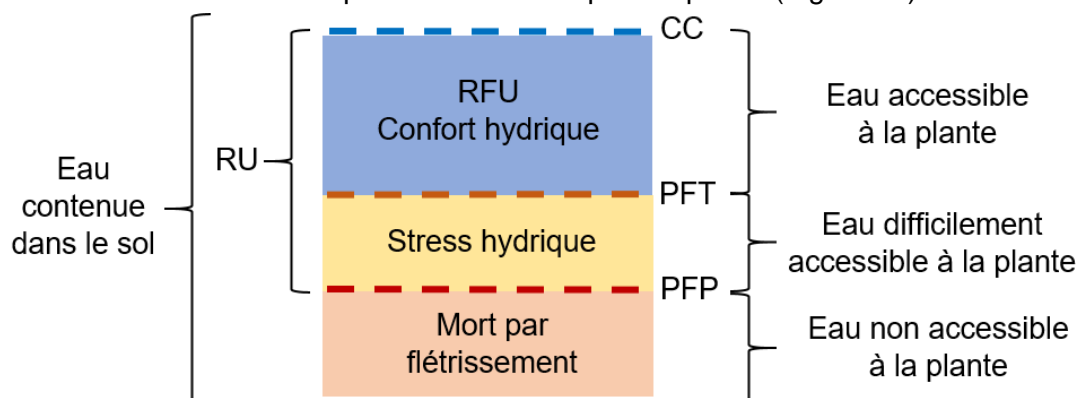


Figure 20 : Schéma de la réserve hydrique du sol (Orand, 2021)

La RU peut également être divisée en deux parties :

- La réserve facilement utilisable (RFU) : Cela correspond à la quantité d'eau dans le sol que la plante peut prélever sans effort, La plante est en situation de confort hydrique (Figure 20).



- La réserve difficilement utilisable (RDU) : Cela correspond à la réserve de survie de la plante, elle engendre alors un stress hydrique. C'est à ce moment que la plante rentre en dormance et commence alors à subir un flétrissement et jaunissement réversible (Figure 20).

Un troisième seuil intervient alors pour séparer ces deux parties : le point de flétrissement temporaire (PFT). C'est le seuil à partir duquel la plante rentre en stress hydrique, dans la RDU (Figure 20)

#### La consommation d'eau de la plante se traduit par son évapotranspiration

Au cours d'une journée, l'eau présente dans le sol va remonter dans l'atmosphère : c'est l'évapotranspiration. L'évapotranspiration est provoquée par deux phénomènes : l'évaporation de l'eau du sol et la transpiration des plantes.

On distingue l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR). L'ETP est une valeur théorique de référence qui correspond à la quantité maximale d'eau qui peut être évaporée par une surface engazonnée. L'ETP dépend de plusieurs facteurs météorologiques tels que la température, le rayonnement solaire, le vent, etc. On peut le calculer de façon journalière à l'aide de la formule de Penman-Monteith (Annexe II). L'ETR correspond à la quantité exacte d'eau transpirée par un couvert végétal.

#### Répondre à ces différents facteurs pour un arrosage optimal

L'entreprise en charge de l'arrosage sur la plateforme de tramway a pour mission de maintenir la vigueur du gazon de la plateforme et sa couleur verte toute l'année. Une bonne connaissance du sol permet ainsi de faire un arrosage de précision, on maintient une certaine quantité d'eau pour toujours se situer dans la RFU du sol où la plante est en confort hydrique. On évite ainsi toute perte en eau et stress hydrique en dépassant les seuils de CC et PFT, des conditions optimales pour le bon développement de la plante, son aspect visuel et la gestion de la consommation en eau.

En théorie, les apports en eau de l'arrosage doivent alors correspondre à l'évapotranspiration de la plante. Cependant, évaluer l'évapotranspiration et se baser dessus afin d'estimer les apports en arrosage est un processus compliqué. En effet, déterminer l'ETP par calcul ou récupérer les données via des stations météo est simple, mais non fiable dans notre cas. L'ETR quant à elle, est une donnée réelle de terrain à un instant précis, il est alors très difficile de l'estimer.

#### b) La méthode d'arrosage

La méthode d'arrosage correspond à la manière dont l'arrosage va être effectué : de jour ou de nuit, apport de la quantité d'eau nécessaire en une seule fois ou en fractionné, etc. L'arrosage sur le tramway d'Angers suit une méthode classique. Un seul cycle d'arrosage est effectué, apportant ainsi la quantité d'eau nécessaire en une seule fois. L'arrosage est effectué en pleine nuit afin d'engendrer un minimum de gêne à la population, d'éviter du vandalisme sur les équipements et de limiter au maximum les pertes dues à l'évaporation. Même si le tramway d'Angers n'est pas sujet aux maladies, un arrosage de nuit permet également d'éviter une humidité trop importante du gazon pendant de fortes chaleurs. Ce qui favorise de nombreuses maladies comme la Pyriculariose [24] (Figure 21).



Figure 21 : Pyriculariose du gazon (LSU AG Center, 2021)

Une autre méthode d'arrosage semble être intéressante pour les plateformes de tramway : le syringe. Cette méthode est très utilisée sur les golfs durant les périodes estivales ou de fortes chaleurs. Le syringe consiste à effectuer un léger arrosage en fin de journée plutôt qu'un cycle d'arrosage complet la nuit. Ceci permettrait de réduire la température du gazon pour limiter ainsi le stress thermique que subit le gazon en journée, tout en réduisant également la consommation en eau.

Comme nous l'avons vu précédemment, du fait du climat urbain et des matériaux de la plateforme, le gazon des lignes de tramway subit un stress thermique important, notamment en période estivale. Cette méthode d'arrosage semble alors être intéressante pour le gazon des plateformes de tramway. Cependant, d'après la littérature, les effets de cette méthode semblent limités. D'après les études, le syringe permettrait de réduire la température foliaire de plusieurs degrés (jusqu'à 6°C). Toutefois, cet effet serait très limité dans le temps : maximum 20 min. L'impact du syringe ne serait réellement efficace que sur des gazons en stress hydrique, où on a pu constater des diminutions de températures foliaires pouvant presque atteindre les 14°C. Finalement, les études tendent alors à dire que la méthode du syringe n'est pas efficace pour une réduction de la température foliaire du gazon [25].

Nous pouvons tout de même questionner ces études. Tout d'abord, seule la température foliaire est mesurée, or mesurer la température du sol au niveau du collet de la plante pourrait également être un indicateur important. C'est à ce niveau-là que le système racinaire est le plus présent et le plus dense. De plus, des relevés de températures seuls pour déterminer la diminution du stress thermique subit par la plante ne semble pas un indicateur suffisant. Le stress thermique a un impact visuel chez la plante. Nous avons pu le constater plusieurs fois sur le tramway d'Angers. Des jaunissements ont été constatés à proximité des rails alors que le gazon de la plateforme était vert, ce jaunissement ne serait alors pas dû à un réel manque d'eau. L'hypothèse serait que les rails qui chauffent beaucoup, assèchent localement la zone, provoquent un stress thermique et brûlent le gazon. Enfin, d'après les études, l'impact du syringe semble accru en cas de stress hydrique [25], ce qui arrive fréquemment sur le gazon des plateformes de tramway, notamment en période de fortes chaleurs et restriction d'eau.

Réaliser de nouvelles expériences en intégrant la température du sol et des comparaisons d'aspects visuels semble alors une nécessité afin de pouvoir se faire un avis sur le syringe. Cette méthode pourrait alors certainement être une solution afin de limiter la consommation d'eau lors des périodes de restriction ou de fortes chaleurs tout en garantissant la survie et l'aspect visuel du gazon.

#### c) Une maintenance rigoureuse du système d'arrosage pour éviter toute perte en eau

La maintenance du système et du réseau d'arrosage est un élément à ne pas négliger pour gérer au mieux sa consommation d'eau. En effet, il est important de s'assurer régulièrement de l'efficacité du système d'arrosage. Dans un premier temps, parce qu'un système totalement opérationnel permet un apport en eau optimal lors de l'arrosage, ainsi nous ne sommes pas obligés de forcer les temps d'arrosage pour compenser un dysfonctionnement.

Dans un second temps, une maintenance régulière permet d'éviter toute perte en eau liée à des casses ou des dysfonctionnements. En France, le taux de fuite sur les réseaux d'eau potable est de l'ordre de 20% [26]. Cette maintenance doit être d'autant plus rigoureuse sur une ligne de tramway. En effet, en pleine saison le système est en marche presque quotidiennement, il est alors important de veiller à l'usure des équipements comme des fuites sur le réseau ou au niveau des arroseurs.

Le tramway, du fait du milieu urbain, est également très fréquenté. Cette fréquentation augmente ainsi le nombre de casses, notamment sur les arroseurs qui sont à découvert (Figure 22). Ces casses peuvent être de simples accidents (lors des tontes, de véhicules qui roulent sur les plateformes, etc.) mais également à cause du vandalisme. Effectivement, d'après une étude de Plante et Cité, 87% des communes françaises sont sujettes au vandalisme sur leur réseau d'arrosage (Plante et Cité, 2013).



Figure 22 : Fuite sur le tramway d'Angers à la suite d'un arroseur cassé, Avenue Mendès France (Orand, 2021)

Ces aléas pouvant arriver d'un jour à l'autre, l'entreprise en charge de la maintenance se doit d'être réactive pour éviter toute perte en eau. Pour cela, sur le tramway d'Angers, un tour de contrôle de la ligne est effectué au minimum une fois par semaine. Un numéro d'astreinte a également été mis en place afin d'agir rapidement sur des dysfonctionnements importants tels que des grosses fuites par exemple. Dans l'idéal, des contrôles quotidiens seraient nécessaires. Cependant, un contrôle aussi régulier est impossible car très chronophage, cela demanderait trop de temps et un investissement financier trop conséquent en main d'œuvre. Malheureusement, il est alors indéniable d'avoir des pertes en eau, d'autant plus que les casses se produisent souvent en pleine nuit quand l'arrosage est en fonctionnement.

La maintenance passe également par une bonne connaissance du matériel en place. Effectivement, connaître les arroseurs présents sur site, avec leurs débits, portée, etc. permet de connaître la quantité d'eau apportée par arroseur et ainsi d'adapter au mieux le temps d'arrosage pour éviter tout sur ou sous arrosage. Connaître ces éléments semble anodin, mais en réalité ce n'est pas toujours simple. En effet, la maintenance des tramways est souvent sous-traitée avec des contrats à durée déterminée. Les entreprises qui réalisent la maintenance peuvent alors changer régulièrement. Ce qui rend délicat le suivi des équipements en place.

C'est ce qui s'est passé sur le tramway d'Angers avec l'entreprise Terideal-Sirev. Il y a dix ans, l'entreprise a réalisé les travaux de la ligne A du tramway mais l'entretien a par la suite été réalisé par une autre entreprise. Quand Terideal-Sirev a récupéré le contrat d'entretien en 2021, le matériel mis en place avait alors changé durant ces 10 dernières années.

Cette méconnaissance de la ligne et de ses équipements a alors rendu la programmation de l'arrosage délicate dans les premiers temps. Ce qui a probablement induit du sur ou sous arrosage sur des zones. En théorie, régler ce problème est simple. Il suffit d'effectuer un tour de la ligne et de répertorier tous les équipements en place pour ainsi disposer de données fiables. Cependant, c'est un travail qui demande beaucoup d'investissements, dont les entreprises ne disposent pas toujours.

### 3) Le tramway d'Angers, une vitrine politique qui impacte la consommation d'eau

Au sein des villes, de nombreuses actions sont menées afin de répondre à des engagements politiques. Ainsi, ce sont les acteurs politiques qui établissent leurs objectifs et sont les décisionnaires finaux sur les actions à mener. Ces choix politiques ont alors des répercussions directes sur les villes. Dans notre cas, les choix politiques de la ville d'Angers ont un impact sur la consommation en eau des plateformes du tramway.

L'image de la ville d'Angers est fortement axée sur son aspect « nature ». On le voit avec les nombreux titres et labels dont la ville dispose : ville la plus verte de France en 2020, label « 4 Fleurs » des villes et villages fleuris en 2020, ville la plus écolo de France en 2018 (Angers pour vous, 2020)

Une partie des engagements politiques de la ville est alors de suivre ce « fil vert », afin de conforter son image « de pôle d'excellence du végétal » (Angers pour vous, 2020). Il est possible de se rendre compte de ceci par le biais de nombreux projets urbains que la ville met en avant, tels que « la rénovation verte » de Belle Beille (Figure 23) ou « Arborescence » (Figure 24).



Figure 24 : Panneaux de communication de la ville sur la « Rénovation verte » du quartier de Belle Beille (Orand, 2021)



Figure 23 : : Photomontage du projet « Arborescence » (Imagineangers.fr, 2018)

Cet engagement politique sur le végétal permet également de répondre à des attentes sociétales. En effet, la population recherche de plus en plus un modèle de « ville nature », avec des villes plus végétalisées, plus « verdoyantes » [13]. Les lignes de tramway permettent également de répondre à ces enjeux politiques. Le tramway est un mode de transport doux, il renvoie ainsi une image plus écologique de la ville et ses plateformes engazonnées créent une « coulée verte » au cœur de la ville. Les élus de la ville veulent que cette « coulée verte » soit encore plus présente dans Angers, c'est pour cela que près de 80% des nouvelles lignes B et C seront végétalisées [7]. L'image que le tramway renvoie, notamment la couleur verte du gazon des plateformes est alors très importante.

La ville s'est également engagée à réduire sa consommation d'eau pour l'arrosage des espaces végétalisés. Cependant, sur le tramway, les enjeux d'une ville « verdoyante » et d'une diminution de la consommation d'eau s'opposent. En effet, il est exigé du gazon des plateformes de tramway de « maintenir sa vigueur et sa couleur verte toute l'année » et sur l'intégralité de la plateforme (RD Angers, 2020).

Toutefois, on se rend compte sur le terrain qu'il est difficile d'assurer cette exigence tout en diminuant la consommation en eau. Du fait des contraintes de la plateforme, le gazon jaunit rapidement et de façon hétérogène. Le gazon peut être jaune aux abords des rails mais verdoyant quelques centimètres plus loin (Figure 25). Maintenir le gazon de couleur verte de façon homogène entraîne alors nécessairement un sur arrosage à des endroits et donc une consommation plus importante en eau. Une baisse de ces exigences pourrait permettre une réduction de la consommation en eau.



Figure 25 : : Gradient de « verdure » sur la plateforme du tramway d'Angers, descente du CHU (Orand, 2021)

L'exigence esthétique portée sur le gazon a ainsi un impact direct sur la consommation d'eau. Les volontés et enjeux politiques qui engendrent cette exigence semblent alors être un levier d'action majeur dans la gestion de la consommation de l'eau.

Toutefois, des questionnements subsistent :

- Quels sont les acteurs politiques impliqués ?
- Quels sont réellement les enjeux auxquels répond le gazon des plateformes de tramway, notamment en ce qui concerne leur aspect esthétique ?
- L'aspect sociétal a-t-il réellement un rôle à jouer ?

Il semble nécessaire de mieux comprendre cet aspect politique en y distinguant clairement les acteurs et les enjeux. Afin de comprendre les éléments qui impactent directement la consommation, pour par la suite pouvoir mettre des actions en place.

#### 4) Une consommation d'eau pouvant être influencée à plusieurs niveaux

Nous avons vu que plusieurs paramètres peuvent avoir une influence positive sur la consommation en eau. Certains paramètres sont à réfléchir en amont, au moment de la conception du projet. C'est le cas du type de plateforme, des espèces végétales et du matériel d'arrosage mis en place. Sur la ligne A du tramway d'Angers, ces éléments ne sont pas optimaux pour une meilleure gestion de la consommation d'eau. Néanmoins, il est important de remettre la ligne A du tramway dans son contexte. Les études pour la ligne A ont débuté dans les années 2000, soit il y a presque 20 ans. Les avancées technologiques n'étaient alors pas les mêmes qu'aujourd'hui, notamment pour les plateformes perméables ou la subirrigation qui est un procédé apparu sur les tramways il y a seulement quelques années. De plus, ces procédés étant très récents, il y a un manque de recul sur l'efficacité réelle de ces procédés sur la consommation d'eau, notamment pour la subirrigation. Certains paramètres laissent également peu de choix, car l'environnement et la structure du tramway sont contraignants. C'est le cas ici, pour l'implantation des arroseurs qui suivent nécessairement une implantation en carré, et les arroseurs qui ne peuvent fonctionner indépendamment ou avoir un débit adapté en fonction de l'angle de leur rotation (quart de cercle, demi-cercle, etc.). La structure du système d'arrosage par aspersion ne peut alors pas être différente, même sur des nouvelles lignes. Tous ces éléments de conception ne sont alors plus ou très difficilement modifiables actuellement. Pour la ligne A, ces paramètres ne sont alors pas des leviers d'action possibles pour jouer sur la consommation d'eau.

L'agglomération est tout de même consciente des améliorations possibles, et les prend en compte pour les futures ligne B et C. En effet, ces nouvelles lignes seront sur l'intégralité de leurs tracés sur des plateformes perméables, et des planches d'expérimentations sont en cours afin d'évaluer les bienfaits de l'arrosage par subirrigation.

Dans le cas de la ligne A, les leviers d'action restants sont alors la conduite de l'arrosage et l'aspect politique. Afin de réaliser un arrosage le plus précis et économe possible, nous avons vu qu'une bonne connaissance du sol est indispensable. La méthode du syringe semble également une alternative intéressante au cycle d'arrosage complet lors des périodes de fortes chaleurs. Ces deux éléments doivent être approfondis, pour en prouver leur efficacité. Concernant l'aspect politique, nous avons vu que ce sont les élus politiques qui sont décisionnaires au sein d'une ville. Ici, les choix politiques de la ville d'Angers sur les fortes exigences esthétiques du gazon des plateformes de tramway impactent directement la consommation en eau. Un changement de ces choix politiques serait alors un levier permettant de consommer moins d'eau. Il est alors nécessaire d'approfondir cet aspect pour comprendre les acteurs impliqués, les raisons et enjeux qui justifient ces choix. Les choix politiques étant mis en œuvre la plupart du temps pour répondre à des enjeux sociétaux, connaître les attentes de la société sur ce sujet est important pour avoir une action sur les choix politiques.

### III) Les leviers d'action pour une gestion raisonnée de l'eau sur la ligne A du tramway d'Angers

#### 1) Un arrosage plus précis pour une diminution de la consommation en eau

Le premier levier d'action à approfondir est la conduite de l'arrosage, cela se décline en deux points : la connaissance du sol et la méthode du syringe.

Comme nous l'avons vu, une connaissance du sol plus approfondie permet un arrosage de précision, plus économe en eau. Le premier objectif sera alors de déterminer les caractéristiques du sol : les seuils de CC et du début de jaunissement du gazon. Une fois ces seuils déterminés, il sera plus aisé d'étudier la conduite de l'arrosage pour adapter les temps d'arrosage, les fréquences, etc. Le deuxième objectif sera de répondre à cette question :

- Connaître les caractéristiques du sol permet-il vraiment de diminuer la consommation en eau ?

La méthode d'arrosage du syringe semble également une alternative intéressante lors des périodes de fortes chaleurs. Ici, l'objectif sera alors d'évaluer l'efficacité du syringe sur le gazon des plateformes de tramway en répondant à deux questions :

- Cette méthode permet-elle un vrai rafraîchissement du sol et du gazon ?
- Un syringe peut-il se substituer à un cycle d'arrosage complet en période de fortes chaleurs ?

#### a) Des sondes d'humidité et de température pour un meilleur suivi de l'arrosage

Deux zones de la ligne A, situées dans la descente du CHU (Annexe I), ont été sélectionnées afin d'y mettre en place des expérimentations permettant de répondre aux objectifs cités (Figure 26). Ces tronçons ont été sélectionnés pour répondre aux critères suivants :

- Tronçons côte à côte
- Tronçons de formes semblables
- Arrosage indépendant sur les deux tronçons
- Même exposition au vent et au soleil
- Lieu avec une faible fréquentation



Figure 26 : Vue aérienne de la descente du CHU avec la localisation des tronçons d'expérimentations de la ligne A (Google Earth, 2021)

Afin de répondre aux différents objectifs, il était nécessaire d'avoir un suivi sur deux éléments :

- La quantité d'eau présente dans le sol pour établir les différents seuils et adapter l'arrosage
- La température du sol, afin d'évaluer le stress thermique que peut subir le gazon et l'efficacité du syringe sur le rafraîchissement du sol

Des sondes d'humidité et de température ont ainsi été installées sur les deux tronçons dédiés aux expérimentations. Les sondes d'humidité sont des sondes capacitatives (Figure 27). Elles mesurent la permittivité diélectrique du sol, c'est-à-dire la réponse du sol à un champ électromagnétique. En pratique, une sonde déploie par ses capteurs un champ électromagnétique. Ce champ électromagnétique peut être perturbé par de nombreux éléments, dans notre cas l'eau présente dans le sol. La mesure des perturbations du champ électromagnétique permet alors d'en déduire la teneur en eau volumique du sol et donc un pourcentage d'humidité. Les sondes de température sont des sondes classiques (Figure 27).



Figure 27 : Sonde de température (1) et sonde capacitive (2) (Orand, 2021)

Les sondes d'humidité s'installent dans le sol de manière horizontale afin de déterminer l'humidité du sol sur un horizon précis. On peut ainsi les installer à différentes profondeurs : -5 cm, -10 cm, -15 cm, etc. (Figure 28). Les sondes de température se placent à l'horizontale à la surface du sol entre 0 et -5 cm (Figure 28), afin d'avoir la température du sol au niveau du collet de la plante où le système racinaire est le plus dense. Ces sondes sont reliées à un boîtier connecté (Figure 29). Toutes les heures, le boîtier récolte et envoie les valeurs des sondes sur une plateforme internet. La plateforme permet ainsi de visualiser et d'analyser en temps réel les données récoltées sous forme de graphique, tableau, etc.



Figure 28 : Sondes d'humidité disposées dans le sol à -5 et -10 cm avec une sonde de température entre 0 et -5 cm (Orand, 2021)



Figure 29 : Sondes d'humidité et de température reliées à un boîtier connecté disposé dans un regard (Orand, 2021)

Il a ainsi été mis en place sur les deux zones d'expérimentations, une sonde de température et deux sondes d'humidité positionnées respectivement à -5 et -10 cm. L'épaisseur de substrat ne dépassant pas les 15 cm sur ces zones, il n'est pas nécessaire de s'intéresser aux horizons inférieurs à 10 cm. Pour évaluer au mieux les stress subis par le gazon, les sondes ont été placées sur la partie la plus contraignante des tronçons, soit entre deux rails.

## b) Déterminer des seuils pour un arrosage plus précis

### Méthode pour déterminer ces seuils :

Grâce aux sondes d'humidité, il est facile de suivre l'évolution de la quantité d'eau présente dans le sol. Les seuils de la RFU peuvent alors être déterminés de manière expérimentale.

La CC est le seuil de saturation du sol, il s'obtient en prenant le taux d'humidité après 48 à 72 h de ressuyage d'un sol gorgé d'eau. On choisit d'établir la CC par rapport à l'horizon à -10 cm, pour établir le stock d'eau disponible en profondeur et non en surface. Si nous prenons l'exemple du golf de Mont de Marsan où des sondes ont été mises en place, on peut constater un pic d'humidité dû à la pluie, qui chute très rapidement et se stabilise environ 48h après. La CC correspond alors à l'humidité 48h après le pic, où la courbe commence à se stabiliser (Figure 30).

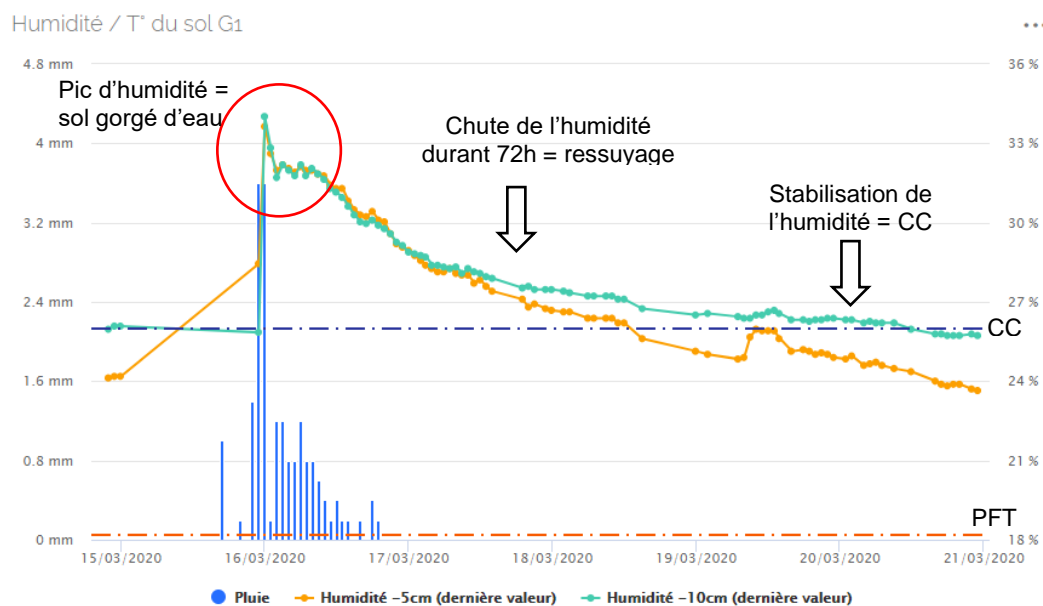


Figure 30 : Détermination du seuil de la capacité au champ grâce au taux d'humidité de l'horizon à -10cm (Viséo Web, 2020)

Le second seuil est le PFT, par définition il correspond à 70% de la CC (Figure 30). Cependant, dans le cas du tramway, le gazon ne doit pas présenter de jaunissement. Il faut donc établir le seuil à partir duquel le gazon commence à jaunir, seuil qui peut être différent du PFT. Pour déterminer cela, il suffit de laisser sécher le sol en coupant l'arrosage et de réaliser tous les jours un constat visuel du gazon. Dès que des signes de jaunissement apparaissent le seuil limite a été atteint. Ce seuil s'établit sur la courbe d'humidité à -5 cm, car c'est logiquement celle qui décroche en premier.



## Résultats sur les zones d'expérimentations :

Le seuil de la CC a été assez compliqué à déterminer. Effectivement, normalement ce seuil se détermine en période hivernale, quand on peut observer de fortes pluies qui saturent le sol. Dans notre cas les sondes ont été installées en juin, et aucun réel pic d'humidité n'a pu être observé. La CC a d'abord été évaluée une première fois en prenant le taux d'humidité 48 h après des épisodes de pluie (Annexe III). Même si de réels pics n'ont pas été constatés, il a été supposé que les épisodes de pluie successifs ont permis de correctement réhumidifier le sol, ce qui peut servir de première base pour établir la CC.

Par la suite, il a été décidé d'essayer de saturer le sol en eau « manuellement » au niveau de l'emplacement des sondes afin de déterminer plus précisément la CC. Pour cela des seaux d'eau ont été versés à l'emplacement des sondes. Sur la zone n°1, un pic d'humidité a bien pu être constaté sur les courbes à -5 cm et -10 cm. Après un ressuyage de 48 h on constate que le taux d'humidité est au niveau de la CC établie précédemment, le seuil n'a alors pas été rectifié (Annexe IV). Pour la zone n°2, un pic a pu être constaté seulement sur la courbe à -5 cm, l'eau apportée n'a alors pas été suffisante pour saturer le sol à -10 cm. La CC établie précédemment a alors été conservée (Annexe IV).

Concernant le seuil du jaunissement du gazon, il a fallu attendre plusieurs semaines avant de constater des signes de jaunissement. Dès la mise en place des sondes mi-juin, l'arrosage a été coupé pour laisser sécher le sol. Au vu de la météo qui était très peu ensoleillée, avec des températures excédant rarement les 25°C, il a fallu attendre mi-juillet pour voir des effets sur le gazon. Dès que la température du sol a dépassé les 25°C, l'humidité a chuté drastiquement (Annexe V) et le gazon a commencé à jaunir 5 jours après (Figure 31 et 32).



*Figure 32 : Zone d'expérimentation n°1 avant la période de fortes chaleurs (16/07/21), température du sol 25°C (Orand, 2021)*



*Figure 31 : Zone d'expérimentation n°1 4j après le début des fortes chaleurs (21/07/21), température du sol 35°C (Orand, 2021)*

L'arrosage a été remis la nuit même où le gazon a commencé à subir des dégâts esthétiques, afin de stopper le jaunissement et d'augmenter l'humidité du sol. Toutefois, le jaunissement du gazon s'est aggravé malgré la reprise de l'arrosage et l'augmentation de l'humidité du sol (Annexe V) (Figure 33). Il a fallu attendre plus de 10 jours après la reprise de l'arrosage pour que le gazon reverdisse et revienne à son état d'origine (Figure 34).



*Figure 34 : Zone d'expérimentation n°1 5j après la reprise de l'arrosage (27/07/21) (Orand, 2021)*



*Figure 33 : Zone d'expérimentation n°1 10j après la reprise de l'arrosage (02/08/21) (Orand, 2021)*

## Conclusion :

Les sondes sont alors de vrais outils d'aide à la décision permettant un arrosage plus raisonné. Avoir un suivi de l'humidité du sol en temps réel et la détermination de seuils à ne pas dépasser permettent d'aller outre les appréhensions, les peurs sur l'aspect visuel du gazon et de se rendre compte des moments où l'arrosage est vraiment nécessaire.

Malgré la météo assez maussade entre la mi-juin et la mi-juillet, l'arrosage sur la ligne A n'a pas été totalement coupé afin de ne prendre aucun risque sur l'aspect visuel du gazon. Or grâce aux sondes mises en place sur les zones d'expérimentations, il a pu être constaté qu'un arrosage n'était pas nécessaire durant cette période, car le taux d'humidité dans le sol restait assez élevé et constant (Annexe V).

C'est à partir du moment où les températures du sol ont nettement augmenté (températures supérieures à 26°C) que le gazon a commencé à jaunir. Malgré ces conditions stressantes, le gazon a pu rester esthétiquement intact près de 4 jours sans arrosage, alors que sur l'intégralité de la ligne l'arrosage a systématiquement été augmenté pour éviter tout dégât esthétique sur le gazon. Durant ces 4 jours l'aspect esthétique du gazon des zones d'expérimentations et du restant de la ligne était semblable.

Cependant, le jaunissement du gazon s'est aggravé malgré une reprise de l'arrosage, contrairement au restant de la ligne où le gazon est resté vert durant toute la période de fortes chaleurs. Le couvert végétal a tout de même fini par reverdir au bout de plusieurs jours, ce qui montre que la pérennité du gazon n'a pas été mise en danger. En période de fortes chaleurs, arroser au minimum pour garder un gazon légèrement jauni constamment et diminuer sa consommation d'eau semble délicat. Les conditions de la plateforme du tramway sont telles que la marge de manœuvre est faible voire inexistante. Un choix est alors à faire :

- On accepte de s'approcher du seuil de jaunissement du gazon et de le voir jaunir sur une certaine période afin de consommer le moins d'eau possible
- Il n'est pas acceptable de laisser le gazon jaunir, l'arrosage doit alors être remis avant toute dégradation visuelle sur le gazon

C'est dans ce cas de figure que les acteurs politiques et sociaux ont un rôle à jouer sur la consommation en eau. Ce sont les exigences politiques et sociales sur l'aspect esthétique du gazon qui vont déterminer les diminutions possibles de consommation d'eau.

## Discussion sur les résultats :

Le travail avec les sondes est loin d'être terminé. Afin de connaître au mieux la ligne, l'arrosage ne peut reposer sur les données des sondes disposées à un seul endroit. Pour cela, il est prévu que l'entreprise Terideal-Sirev dispose des sondes à plusieurs lieux stratégiques sur l'intégralité de la ligne A.

Le travail réalisé sur les zones d'expérimentations pourra ainsi être effectué sur plusieurs parties de la ligne. Ces sondes seront installées en période « creuse » en hiver, permettant de mieux déterminer la CC, contrairement à ce qui a pu être réalisé sur les zones d'expérimentations. En effet, la météorologie en hiver et les pluies fréquentes permettent de s'assurer que le sol est bien saturé d'eau et cela évite de le faire « manuellement » comme il a pu être fait. De plus, la période de ressuyage est censée être un simple écoulement de l'eau pour que le sol évacue l'eau en excès. Or en période estivale, quand les températures sont plus clémentes, les phénomènes d'évapotranspiration peuvent faire chuter davantage l'humidité du sol, impactant ainsi l'établissement de la CC. Concernant le seuil de jaunissement du gazon, afin d'avoir le seuil le plus précis possible il est nécessaire de laisser jaunir le gazon comme effectué sur les zones d'expérimentations.

Cependant, laisser jaunir le gazon sur l'intégralité de la ligne semble délicat à réaliser. Le gestionnaire du tramway Irigo ainsi que les élus de la ville doivent accepter de voir la plateforme de tramway en moins bon état durant plusieurs jours. Des discussions sur ce sujet seront alors surement nécessaires.

Une fois les seuils déterminés, la conduite de l'arrosage peut être réévaluée. Les quantités d'eau apportées et les fréquences d'arrosage peuvent être étudiées afin de déterminer les meilleures options pour concilier consommation d'eau et le respect des exigences et contraintes. Par exemple, un arrosage tous les jours n'est peut-être pas nécessaire, tous les 2 jours cela pourrait suffire. Par manque de temps ce travail n'a pu être réalisé sur les zones d'expérimentations. En effet, adapter au mieux la conduite de l'arrosage est un travail qui doit se faire sur plusieurs mois en fonction des saisons et conditions météorologiques, ce qui n'était pas possible sur la durée des expérimentations.

Ce travail sera alors à poursuivre après la mise en place des sondes sur l'intégralité de la ligne, afin de pouvoir constater des bénéfices sur la consommation d'eau.

### c) La méthode d'arrosage du syringe : une alternative éventuelle en période de fortes chaleurs ?

#### La méthode pour évaluer l'efficacité du syringe :

Afin d'évaluer l'efficacité du syringe, les deux zones d'expérimentations ont été comparées. La zone n°1 était le témoin, aucun syringe en journée n'y a été réalisé mais un arrosage de 4 mm chaque nuit durant la durée de l'expérience. La zone n°2 est la zone test où un ou plusieurs syringes ont été effectués. L'efficacité de la méthode a été évaluée par une comparaison des courbes de températures des deux zones ainsi qu'une comparaison visuelle du gazon à l'aide de photographies.

Deux paramètres sont à déterminer pour le syringe : l'heure du syringe et la quantité d'eau appliquée. Concernant la quantité, il a été choisi d'appliquer un syringe à la quantité maximum soit 1 mm (d'après la définition du syringe). Pour l'heure d'application, différentes heures ont été testées sur plusieurs jours au fur et à mesure des résultats (Tableau 4).

*Tableau 4 : Dates et heures des différents syringes réalisés durant l'expérimentation (Orand, 2021)*

Jour de syringe	Heure de syringe	Quantité d'eau appliquée (mm)
11/08/21	12h00	1
12/08/21	13h00	1
13/08/21	12h30 et 13h30	1
14/08/21	13h30, 14h30 et 15h30	1

#### Résultats sur les zones d'expérimentations :

Les premiers syringes ont été réalisés à 12h et 13h, en début de journée avant que les températures ne montent de trop, afin de « casser » la courbe de température et de réduire le pic de chaleur. On constate bien sur ces deux jours, que le syringe a permis de « casser » la courbe de température et de retarder le pic de chaleur. Cependant, même si retardé, le pic de température entre les zones n°1 et 2 est le même, le syringe sur la zone n°2 n'a pas permis de réduire ce pic. Ce décalage du pic de température induit également un rafraîchissement plus tardif du sol (Figure 35).



Figure 36 : Courbes de températures des zones 1 et 2 pour les deux premiers jours de l'expérimentation du syringe (Viséo Web, 2021)

Les jours suivants, plusieurs syringes ont été effectués au cours des journées afin d'évaluer si cela pouvait avoir plus d'effet. Les résultats constatés sont similaires aux précédents (Figure 36). Finalement, seul le premier syringe réalisé en début de journée semble avoir un effet sur la courbe de température.

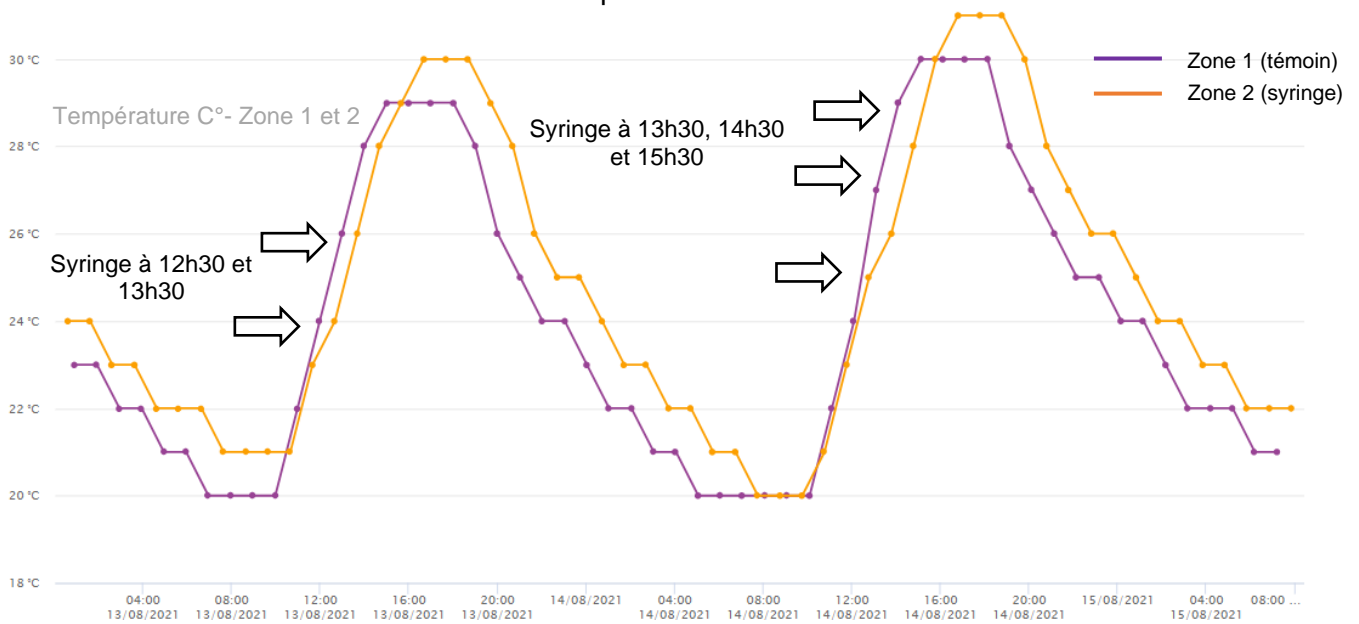


Figure 35 : Courbes de températures des zones 1 et 2 pour les deux derniers jours de l'expérimentation du syringe (Viséo Web, 2021)

Durant la durée de l'expérience, on a aussi pu constater une chute progressive de l'humidité du sol de la zone en syringe, contrairement à la zone témoin dont l'humidité est restée stable (Annexe VI). Ceci s'explique du fait que la quantité d'eau apportée durant les syringes était inférieure à celle apportée durant un cycle d'arrosage complet. Toutefois, cette chute d'humidité observée était plus lente que ce qui a pu être observé lorsque l'arrosage avait été coupé volontairement afin de laisser jaunir le gazon (Annexe V). De plus, le gazon de la zone uniquement en syringe n'a subi aucun dégât, les gazons des deux zones avaient un aspect visuel semblable à la fin de l'expérience (Figure 37 et 38).



Figure 38 : Aspect visuel du gazon de la zone n°1 (témoin) 4 jours après le début de l'expérience (Orand, 2021)



Figure 37 : Aspect visuel du gazon de la zone n°2 (syringe) 4 jours après le début de l'expérience (Orand, 2021)

### Analyse des résultats :

Au vu des premiers résultats, le syringe n'a pas eu l'objectif escompté qui était de réduire le pic de chaleur et donc le stress thermique que peut subir le gazon, mais seulement de décaler la venue de ce pic.

Les conditions météorologiques n'ont pas permis de réaliser cette expérience dans les meilleures conditions. En effet, normalement le syringe se réalise sur des périodes de très fortes chaleurs, quand les températures dépassent largement les 30°C, ce qui n'a pu être le cas ici. De plus, toujours du fait des conditions météorologiques, l'expérience n'a pu être réalisée que sur quelques jours. Plusieurs éléments restent encore à expérimenter afin d'approfondir cette étude :

- Effectuer des syringes en réelle période de fortes chaleurs, quand la température excède les 30°C
- Effectuer des syringes tout au long de la journée mais avec une quantité d'eau apportée plus faible, pour voir si les effets sur la température du sol sont différents
- Effectuer un ou plusieurs syringes en fin de journée, quand le pic de chaleur est déjà atteint, afin de déterminer si cela peut réduire sa durée et accélérer le rafraîchissement du sol et limiter l'évapotranspiration du gazon

Même si les résultats obtenus sur la température du sol ont été peu concluants, nous avons constaté que l'état du gazon de la zone uniquement en syringe ne s'est pas dégradé et que l'humidité du sol a faiblement chuté, malgré un arrosage plus faible que la zone témoin. Il serait nécessaire de recommencer cette expérience avec un troisième témoin sans aucun arrosage, afin de déterminer si le syringe a tout de même permis de conserver l'aspect visuel et de limiter l'assèchement du sol, ou si l'humidité dans le sol était suffisante et les températures pas assez élevées permettant au gazon de ne subir aucun dégât.

## 2) Etude des contraintes politiques sur la consommation d'eau

L'aspect politique est le second levier d'action majeur pour agir sur la consommation d'eau. Les enjeux politiques induisent une forte exigence esthétique sur le gazon des voies de tramway. Ce qui est un frein non négligeable à la diminution de la consommation en eau. Les objectifs seront alors de comprendre ces enjeux et exigences, pour cela il faut :

- Identifier les acteurs impliqués dans ces choix
- Approfondir les enjeux politiques auxquels répond le gazon des voies de tramway et la raison de ces fortes exigences esthétiques
- Déterminer par quels moyens et quelles conditions ces exigences peuvent-elles être réduites afin de diminuer la consommation d'eau

#### a) Méthode pour la mise en place du questionnaire à destination des décisionnaires

A l'heure actuelle, la communauté urbaine d'Angers Loire Métropole (ALM) délègue la gestion du tramway à l'entreprise Irigo, qui confie par la suite la maintenance de l'arrosage à une entreprise qualifiée, ici Terideal-Sirev. Les principaux décisionnaires sur la ligne de tramway semblent être ALM et le gestionnaire Irigo.

Afin de répondre à nos objectifs, un même questionnaire a été mis en place pour ces deux acteurs. Pour le gestionnaire Irigo, le questionnaire a été soumis sous la forme d'un entretien avec un employé impliqué dans la ligne A. Les réponses de cet employé ont par la suite été retranscrites. Concernant ALM, il n'a pas été possible de réaliser un entretien. Le questionnaire a directement été transmis puis complété par un employé de chez ALM, impliqué également dans la ligne A du tramway mais qui n'est pas un élu.

#### b) Résultats du questionnaire

##### Résultats du questionnaire et analyse de ces résultats :

Les réponses obtenues de ces deux questionnaires nous permettent d'avoir plusieurs éléments de réponses à nos questions (Annexe VII et VIII).

Tout d'abord, les décisionnaires sur l'aspect esthétique du gazon des voies de tramway sont bien les élus politiques de la ville d'Angers et d'ALM. Le gestionnaire Irigo respecte seulement un contrat auprès de l'agglomération, et reprend les attentes de l'agglomération pour l'entreprise Terideal-Sirev en charge de l'arrosage.

Les élus ont des exigences très fortes sur l'aspect visuel du gazon. Ces exigences sont semblables à celles des grands parcs et jardins de la ville, ou des lieux emblématiques comme la façade de l'hôtel de ville. Le gazon doit être au maximum de son esthétisme : bonne couverture de sol, tonte courte, sans déchets et verdoyant. L'aspect verdoyant est d'ailleurs un point majeur sur l'aspect esthétique du gazon, le jaunissement est considéré comme une « anomalie » qui n'est pas acceptée par l'agglomération.

Les raisons de ces exigences sont essentiellement politiques. Le gazon des voies de tramway participe à l'image de la ville. Angers est la capitale du végétal, du vert, il y a alors des attentes d'excellence sur cette culture. La ville ne peut donc pas se permettre d'avoir une plateforme de tramway non esthétique. Un gazon verdoyant montre que la plateforme est entretenue et maîtrisée, c'est une fierté des élus.

Une dimension sociale est également présente. Le gazon des plateformes de tramway rentre dans un aménagement urbain global. Les angevins se sont habitués et sont attachés à ce « grand ruban vert qui traverse la ville ». Un gazon jauni pourrait amener les habitants à se questionner sur la gestion, l'entretien de la plateforme. Un sentiment d'abandon de la plateforme pourrait survenir.

Finalement, l'aspect verdoyant du gazon permet de montrer la maîtrise de l'agglomération sur la situation : l'agglomération dispose des qualités et méthodes pour entretenir et assurer un gazon esthétique sur ses voies de tramway. Les mentalités actuelles sont telles qu'un gazon jauni a mauvaise image, cela fait négligé, non entretenu et pas joli. Cette idée est semblable à l'image des « mauvaises herbes », dont la présence revient souvent à catégoriser un espace comme non entretenu.

Concernant la consommation en eau, d'après les réponses aux questionnaires, l'arrosage du gazon reste essentiel afin d'assurer sa survie, notamment en période de fortes chaleurs. En revanche, la gestion de la ressource en eau est tout de même une préoccupation actuelle. Consommer moins d'eau est tout aussi important que l'aspect esthétique du gazon pour la personne d'Irigo, voire plus important pour celui de chez ALM. Néanmoins des contradictions surviennent.

D'un côté la consommation d'eau est en effet plus importante que l'aspect esthétique du gazon car il faut préserver la ressource en eau pour des usages prioritaires comme l'alimentation, etc. De l'autre côté, tant que la ressource en eau est disponible le gazon doit rester au maximum de son esthétisme. Le gazon peut être moins esthétique ou jaunir seulement en période de restriction d'eau. La personne d'Irigo a confié que baisser la qualité esthétique du gazon pour permettre davantage de diminuer la consommation en eau n'était pas d'actualité. En effet, au vu du prix de l'eau, le gain économique serait dérisoire et les bénéfices trop faibles pour justifier une baisse de la qualité esthétique du gazon.

D'après ces réponses, la consommation d'eau semble être un enjeu dont l'importance varie en fonction des situations. En période de restriction, diminuer sa consommation d'eau est un enjeu majeur, mais qui s'estompe une fois les restrictions levées. Cette variation de priorité, associée à la mauvaise image que peut avoir le gazon jauni, représente un réel frein pour la consommation d'eau.

#### Discussion des résultats :

Ces questionnaires ont permis d'apporter les réponses à nos questions et de répondre à nos objectifs. Toutefois, aucun élu n'a pu être interrogé, ce qui est un biais non négligeable étant donné que ce sont les élus les décisionnaires. La réponse d'un ou de plusieurs élus au questionnaire permettrait de comparer les réponses et de s'assurer de la véracité des réponses qui ont déjà pu être récoltées.

De plus, l'entretien n'a pas pu être réalisé avec l'employé de chez ALM. Ce qui a entraîné des réponses aux questions très brèves, concises, voire pas de réponse du tout pour certaines questions. Les informations récoltées sont alors limitées et plus compliquées à interpréter.

### 3) Etude des contraintes sociales sur la consommation d'eau

La dimension sociale prend une place importante concernant les décisions prises sur le gazon des voies du tramway. En effet, les décisions politiques des élus sont également prises pour répondre aux attentes et aux exigences de la population. Les attentes sociales sont alors le troisième et dernier levier d'action. L'objectif est de déterminer si l'aspect social joue un rôle aussi important sur l'esthétisme du gazon que les politiques le soulignent. Pour cela, il est important de :

- Déterminer l'importance que peut avoir le gazon des voies de tramway et son esthétisme auprès de la population. Ainsi que les exigences de la population à ce sujet.
- Déterminer par quels moyens et quelles conditions ces exigences peuvent-elles être réduites afin de diminuer la consommation d'eau

#### a) Méthode pour la mise en place du questionnaire à destination des citoyens

Pour répondre à ces objectifs, un questionnaire pour la population angevine a été mis en place. Afin d'obtenir un maximum de réponses, le questionnaire devait être assez court, soit durer entre 5 et 10 minutes à compléter. Pour cela, le questionnaire est constitué de moins de 15 questions, majoritairement à réponses fermées. La diffusion du questionnaire s'est faite par l'intermédiaire des réseaux sociaux, permettant de toucher un maximum et une grande diversité de personnes en un temps réduit.

## b) Résultats du questionnaire

Il a pu être collecté 84 réponses au questionnaire diffusé. La majorité des personnes ayant répondu sont des femmes (64,3%) et des personnes comprises dans la tranche d'âge 18-35 ans (82,2%) (Annexe IX).

Le premier constat que l'on peut établir est que la présence de gazon sur les voies de tramway est importante pour la population. 47,6% ont trouvé cela très important et 28,6% important (Figure 39). D'après les réponses, cela permet de « végétaliser la ville », de lui apporter de la « verdure » et de la « fraîcheur ». L'engazonnement permet également de « limiter l'imperméabilisation des sols » et l'omniprésence du « minéral », rendant l'environnement urbain plus agréable.

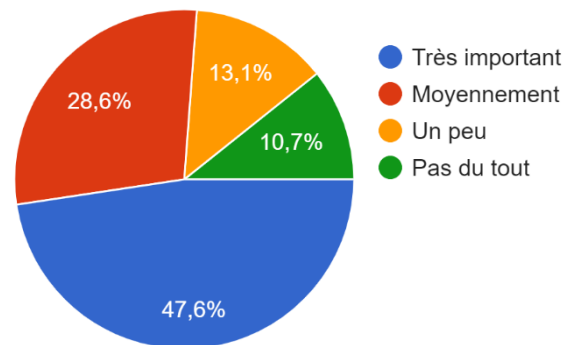


Figure 39 : Réponses sur l'importance du gazon sur les voies de tramway (Orand, 2021)

Les exigences sur l'esthétisme du gazon sont plus mitigées. 34,5% y apportent beaucoup d'importance et 36,9% moyennement (Annexe IX). D'un côté les avis sont pour un gazon esthétique, entretenu et propre, car « s'il y a du gazon il doit être correctement entretenu », « l'image de la ville est en jeu ». De l'autre côté, une partie des individus n'y « fait pas attention ». Toutefois, l'aspect vert du gazon semble être un élément important. Le terme « verdure » ressort beaucoup dans les éléments de réponses sur l'aspect du gazon. On le voit aussi sur la sélection des photos, où la photo la plus choisie (à 94%) par l'échantillon est celle du gazon le plus verdoyant (Figure 40). Les autres photos étaient moins sélectionnées car le gazon était « jaune », « moins entretenu ».



Figure 40 : Photos proposées pour la question « Accepteriez-vous ces différents aspects esthétiques ? Sélectionnez les photos correspondantes » (Orand, 2021)  
1 : 76,2% ; 2 : 94% ; 3 : 79,8% ; 4 : 73,8%

Malgré cette envie de voir du gazon verdoyant sur les voies de tramway, pour 63,1% de la population garder du gazon en vie et esthétique est synonyme d'une consommation importante en eau. Toutefois, il est compris à 76,2% que le gazon soit arrosé afin de maintenir sa survie et à 56% pour le maintenir au maximum de son esthétisme (Annexe IX). Néanmoins, en période de fortes chaleurs ou de restriction d'eau, une majorité de l'échantillon ne comprend pas qu'on arrose le gazon, que ce soit pour le maintenir en vie ou pour conserver son esthétisme (Figure 41 et 42).



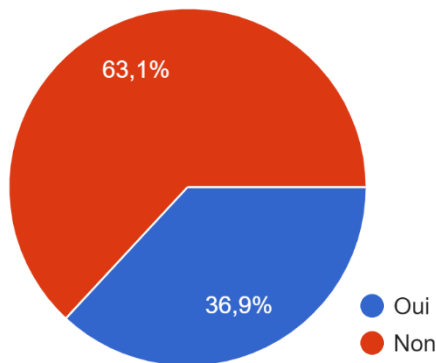


Figure 42 : Réponses sur la compréhension de l'arrosage en période de restriction d'eau afin de maintenir le gazon en vie (Orand, 2021)

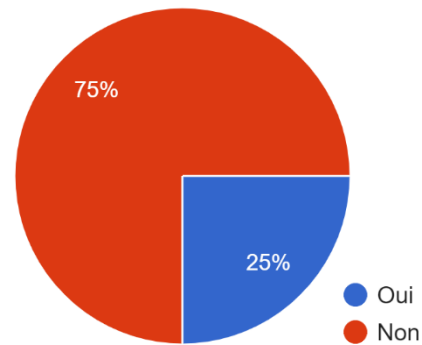


Figure 41 : Réponses sur la compréhension de l'arrosage en période de restriction d'eau afin de maintenir le gazon au maximum de son esthétique (Orand, 2021)

Enfin, bien que l'aspect visuel et esthétique du gazon soit un critère non négligeable pour la population, la consommation d'eau est un élément plus important. 95,2% de l'échantillon comprendrait que l'aspect visuel du gazon soit moins bon si cela permettait de diminuer la consommation d'eau (Annexe IX). On retrouve également cette réponse dans le choix des photos, où dans un contexte de diminution de la consommation d'eau et de restriction, la photo la plus sélectionnée était celle du gazon le plus jauni (Figure 43). Les autres photos représentant un gazon « trop vert » donc arrosé en conséquence.



Figure 43 : Photos proposées pour la question « Afin de diminuer la consommation d'eau, jusqu'à quel niveau trouveriez-vous le gazon acceptable ? Sélectionnez les photos correspondantes » et « En période de canicule et de restriction en eau, toléreriez-vous ces différents aspects du gazon ? Sélectionnez les photos correspondantes » (Orand, 2021)

1 : 75% et 77,4% ; 2 : 73,8% et 77,4% ; 3 : 73,8% et 83,3% ; 4 : 83,3% et 94%

### Analyse des résultats :

D'après ces résultats, une contradiction émerge de la population : le gazon sur les voies de tramway est très apprécié, ainsi que sa verdure et son aspect esthétique. Toutefois, ils savent que cela consomme de l'eau, et cela est moins acceptable, notamment en période de restriction ou de fortes chaleurs.

Toutefois, la vision de la population semble changer au cours du questionnaire. Leurs exigences sur l'aspect visuel du gazon baissent si cela permet une diminution de la consommation en eau.

Cette sensibilité sur la consommation d'eau est d'ailleurs plus forte en période de fortes chaleurs ou restriction d'eau. Pour eux, l'eau est une ressource rare à préserver, qu'il ne faut pas gaspiller pour le gazon.

Contrairement aux réponses que nous avons eues auprès d'irigo et ALM, la population semble prête à voir une plateforme de tramway moins esthétique, moins belle si cela est justifié. Une communication sur l'arrosage et l'aspect du gazon auprès de la population semblerait alors utile et profitable. Expliquer qu'il est essentiel de maintenir l'arrosage en période de chaleur pour préserver le gazon et tous les bienfaits qu'il apporte. Toutefois, expliquer que la consommation d'eau est tirée à son minimum, ce qui explique l'aspect plus dégradé que la plateforme peut avoir en été ou quand il fait chaud. Une politique de communication de ce type pourrait fonctionner et être acceptée par la population, ce qui permettrait de réduire la consommation d'eau. Néanmoins, une telle politique doit également être acceptée par les élus.

#### Discussion des résultats :

Ce questionnaire est un premier moyen de connaître l'avis de la population angevine sur le gazon des voies de tramway et sa consommation en eau.

Cependant, le questionnaire réalisé présente deux biais majeurs. Tout d'abord, le questionnaire a pu récolter 84 réponses, pour une population angevine d'environ 150 000 habitants, cet échantillon est trop faible et non représentatif de la population totale. Enfin, l'échantillon ayant répondu au questionnaire est majoritairement constitué de femmes et des personnes d'une tranche d'âge comprise entre 18 et 35 ans. Cette sur-représentation de catégories d'individus induit également que l'échantillon ne peut être considéré comme représentatif. Le choix d'une diffusion du questionnaire par les réseaux sociaux a sûrement induit cela. Le questionnaire peut ainsi constituer une base de travail, mais doit être plus largement diffusé afin de collecter davantage de réponses.

Enfin, afin de pousser le travail, confronter les résultats de ce questionnaire aux élus de l'agglomération permettrait d'avoir leurs retours et d'étudier ainsi si ces résultats remettent en question leurs exigences.

## Conclusion

L'accroissement constant de la population ainsi que l'activité anthropique qu'elle génère ont un effet indéniable sur le dérèglement climatique. Une des conséquences de ce dérèglement climatique est l'augmentation et l'intensification des événements climatiques extrêmes, telles que les vagues de chaleurs. La ressource en eau devient alors de plus en plus fragile, et les restrictions d'eau pour la protéger durant ces périodes de fortes chaleurs augmentent. Du fait de sa végétalisation sur ses voies et l'arrosage qui en découle, le tramway est directement impacté par cet enjeu de gestion de la ressource en eau. La ligne A du tramway d'Angers est un exemple. Les gestionnaires ont pour objectif de diminuer la consommation en eau de la ligne, tout en considérant les contraintes esthétiques, techniques, politiques et sociales. L'analyse de la ligne A du tramway d'Angers ainsi que des moyens ayant un impact sur la consommation en eau, ont permis de répondre à nos hypothèses et de déterminer dans quelles mesures il était possible d'assurer la qualité esthétique du gazon de la ligne A avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en respectant les contraintes techniques, politiques et sociales.

La première hypothèse était qu'une connaissance approfondie des caractéristiques du sol permettait de réduire la consommation en eau. Cette hypothèse a pu être partiellement validée. La détermination de seuils d'arrosage grâce aux sondes d'humidité a permis de montrer les moments où l'arrosage était nécessaire ou non. Ces outils permettent d'appréhender les réels besoins en eau du gazon pour ainsi aller au-delà des appréhensions de voir le gazon jaunir et assurer un arrosage plus précis et économe assurant la survie et l'esthétisme du gazon. Toutefois, ces études n'ont pu être réalisées seulement sur une courte période et sur une partie très réduite de la ligne, aucun résultat chiffré sur la consommation en eau a alors pu être établi. Même si les premiers résultats sont prometteurs, une étude approfondie durant un laps de temps plus long sur l'intégralité de la ligne avec plusieurs sondes à différents lieux sont nécessaires pour affirmer pleinement cette hypothèse et obtenir des résultats chiffrés concrets.

La méthode du syringe, qui semblait être une méthode alternative d'arrosage intéressante durant les périodes de fortes chaleurs n'a finalement pas eu les résultats escomptés. Les résultats obtenus lors de l'expérience ne montrent pas de rafraîchissement significatif du gazon grâce au syringe, notre hypothèse ne peut donc être validée. Des études approfondies semblent néanmoins nécessaires. Du fait des conditions météorologiques, plusieurs paramètres n'ont pu être évalués. Cette expérience serait à réitérer dans de meilleures conditions pour en tirer d'autres conclusions éventuelles sur l'efficacité du syringe sur le rafraîchissement et l'aspect esthétique du gazon.

Enfin, les réponses récoltées aux questionnaires permettent d'affirmer que le souhait des élus de la ville sur l'aspect esthétique du gazon est un frein pour la consommation d'eau. L'aspect esthétique du gazon sert d'image qui ne peut être dégradée pour les élus politiques. Toutefois, contrairement à nos hypothèses, l'échantillon de la population ayant répondu au questionnaire semble prêt à accepter une diminution de la qualité esthétique du gazon pour diminuer la consommation d'eau. Tout comme les autres études, le questionnaire destiné à la population mérite d'être rediffusé pour récolter davantage de réponses afin d'obtenir un échantillon plus représentatif de la population. Le travail doit également être approfondi : confronter directement les réponses de la population aux élus permettrait d'avoir davantage d'éléments de réponses sur le travail qui reste à effectuer.

Tous ces résultats nous permettent de répondre à la problématique générale du travail. Tout d'abord la gestion de l'eau et de l'arrosage est un élément à étudier en amont. Plusieurs facteurs influençant la consommation en eau peuvent être étudiés seulement lors de la conception de la ligne de tramway. La ligne A du tramway d'Angers étant déjà en fonctionnement, l'efficacité de ces facteurs n'a pas pu être réellement étudiée ici. Toutefois, les améliorations possibles ont été prises en compte pour les lignes B et C en cours de construction. Ces lignes disposeront d'une plateforme perméable sur son intégralité et des tests sont en cours pour l'efficacité de la subirrigation. Une comparaison de la consommation d'eau entre la ligne A et ces nouvelles lignes serait alors utile pour étudier l'impact de ces éléments sur la consommation d'eau.

Une fois une ligne de tramway construite, l'arrosage reste le levier d'action principal pour agir sur la consommation en eau. La peur de garder un gazon toujours au maximum de son esthétisme entraîne souvent un sur arrosage. La conduite de l'arrosage peut ainsi être revue et adaptée pour qu'elle soit plus précise et moins consommatrice en eau tout en préservant l'aspect esthétique du gazon. Une meilleure connaissance du sol et des outils d'aide à la décision comme, ici, les sondes d'humidité, sont des éléments qui permettent de faciliter les décisions et d'avoir un réel impact.

Cependant, les enjeux politiques sur l'aspect esthétique du gazon restent un frein pour la diminution de la consommation en eau. A cause des contraintes techniques de la plateforme de tramway, un aspect esthétique maximum limite la réduction qui peut être faite sur la consommation d'eau. Concilier ces deux éléments semble pour le moment, d'après les résultats obtenus, délicat. Un choix doit être fait, tant que l'aspect esthétique du gazon restera une priorité, la diminution de la consommation en eau en sera limitée.

Néanmoins, l'écart d'opinion entre les politiques et la population concernant l'aspect esthétique du gazon semble être une piste à creuser. Permettant peut-être de faire évoluer dans le futur les mentalités sur l'aspect esthétique du gazon, permettant un arrosage plus raisonné et une gestion de la ressource en eau repensée sur la ligne de tramway.

Les zones urbaines ont un impact conséquent non négligeable sur le plan environnemental. Les villes s'emploient donc à mettre en place des solutions afin de minimiser cet impact. C'est dans ce contexte que les termes de trames vertes et bleues, biodiversité, désimperméabilisation des sols, réduction des îlots de chaleur sont devenus courants. Le tramway comme mode de transport doux et plus spécifiquement l'engazonnement de ses plateformes s'impose alors comme un atout majeur pour ces enjeux. Parallèlement, l'eau devient une ressource qui se raréfie chaque jour soulevant la question de la gestion de l'arrosage des espaces verts. Ainsi, il y a encore des questions majeures qui subsistent : Quelles est la réelle efficacité des plateformes de tramway sur l'impact des zones urbaines d'un point de vue environnemental ? En quoi l'arrosage a-t-il un impact sur l'efficacité des plateformes de tramway pour répondre à ces enjeux ?

## Bibliographie

Angers Loire Métropole, mars 2016. Bilan LOTI de la 1<sup>ère</sup> ligne de tramway de l'agglomération d'Angers. 72p.

Angers Loire Métropole, avril 2016b. Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique – Pièce B : notice explicative.

Angers pour vous, 2020. Programme Elections municipales 2020, Christophe Béchu, Angers pour vous. 36p.

Association des producteurs de gazon du Québec, 2008. Guide implantation et entretien d'une pelouse durable. 52p.

Cochard Hervé-Eric, 1991. Stress hydrique [En ligne]. 8p. Disponible sur : <http://www.ecoumenegolf.org/baseEntGaz.htm> (Consulté le 20 juin 2021)

Commissariat général au développement durable, mars 2020. Chiffres clés du transport - Édition 2020. 92p.

Conseil de développement de la région d'Angers, mars 2015. Projet de 2<sup>nde</sup> ligne de tramway d'Angers Loire Métropole, observations du Conseil de Développement sur le projet soumis à la concertation. 5p.

Émangard, Pierre-Henri, 2012. Les tramways en Europe : une vision diachronique. *Transports urbains* N° 120 (1). 3p.

Espace public et paysage, 2019. Micro-irrigation : révolution sous les rails ». Espace public et paysage, n°102, p62-63.

Institut d'aménagement et d'urbanisme (IAU), 2010. Les îlots de chaleur urbains, répertoire de fiches connaissance. 58p.

INSEE, 2019. « Villes et communes de France – Tableau de l'économie française. 5p.

Levine Howard G., 1992. Response of Plants to Multiple Stresses. Harold A. Mooney , William E. Winner , Eva J. Pell. *The Quarterly Review of Biology*. Volume 67, Number 3, p371-372. 2p

Michel Rémy. Dans quelles mesures les projets de tramway répondent-ils aux enjeux des villes durables ? Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage : Option Paysage, Opérationnalité de Projet. Angers : Agrocampus Ouest. 2019. 73p.

Plante et Cité, 2013. Etude sur la gestion raisonnée de l'arrosage en espaces verts. Etat des lieux des pratiques et perspectives d'évolution. Stratégies d'économie de la ressource en eau. 28p.

Préfet de Maine-et-Loire, 2020. Arrêté cadre N°2020 DDT49-SEEB-MTE 01 relatif à la préservation de la ressource en eau en période d'étiage. 26p.

Recurt Pauline. Dans quelles mesures les nouvelles techniques d'aménagement urbain ont-elles un impact sur le climat urbain ? Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage : Option Paysage, Opérationnalité de Projet. Angers : Agrocampus Ouest. 2020. 62p.

Zoyo Célia. Outils d'aide au pilotage de l'arrosage et pratiques d'adaptation des golfs dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau. Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage : Option Paysage, Opérationnalité de Projet. Angers : Agrocampus Ouest. 2020. 71p

## Sitographie

- [1] Pison Gilles, 2019. Les Nations unies publient de nouvelles projections de population. Ined - Institut national d'études démographiques mondiale [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/memos-demo/focus/nations-unies-publient-nouvelles-projections-population-mondiale-2019/> (Consulté le 23 Août 2021).
- [2] Ladepeche, 2018. Population mondiale : 68% de citoyens en 2050 contre 55% aujourd'hui. Ladepeche [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ladepeche.fr/article/2018/05/16/2798958-population-mondiale-68-citadins-2050-contre-55-aujourd-hui.html> (Consulté le 23 Août 2021).
- [3] Observatoire des territoires, 2019. La voiture, premier mode de déplacement des Français. L'Observatoire des Territoires mondiale [En ligne]. Disponible sur : <https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/kiosque/2019-mobilite-07-la-voiture-premier-mode-de-deplacement-des-francais> (Consulté le 23 Août 2021).
- [4] Abitbol, Esther. 2021. Pic de pollution : circulation interdite dans le Grand Paris pour les vignettes 3,4 et 5. Turbo.fr [En ligne]. <https://www.turbo.fr/actualite-automobile/pic-de-pollution-circulation-interdite-dans-le-grand-paris-pour-les-vignettes-34-et-5-175098> (Consulté le 23 Août 2021).
- [5] Alter. Rénovation urbaine de la Roseraie. Alter Anjou Loire Territoire [En ligne]. Disponible sur : <https://www.anjouloireterritoire.fr/operation/renovation-urbaine-de-la-roseraie> (Consulté le 12 juillet 2021)
- [6] Angers Loire Métropole, La Ligne B de tramway d'Angers Loire Métropole – Le calendrier. Ligne B et C tramway [en ligne]. Disponible sur : <https://tramway.angersloiremetropole.fr/le-calendrier/> (Consulté le 5 Juillet 2021)
- [7] Angers Loire Métropole, « La Ligne B de tramway d'Angers Loire Métropole - Pourquoi des lignes B et C ? Ligne B et C tramway [En ligne]. Disponible sur : <https://tramway.angersloiremetropole.fr/ligne-b-c/>. (Consulté le 19 juin 2021)
- [8] ALDEV, 21 septembre 2018. Angers, ville la plus attractive de France. Aldev Angers Loire Développement [en ligne]. Disponible sur : <https://www.angers-developpement.com/angers-ville-la-plus-attractive-de-france/>. (Consulté le 19 juin 2021)
- [9] Pasco Anthony, 11 avril 2021. Angers sur le podium des villes où il fait bon vivre, selon le JDD. Ouest France [en ligne] Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/angers-49000/angers-sur-le-podium-des-villes-ou-il-fait-bon-vivre-selon-le-jdd-9595b62a-9a9e-11eb-b4e8-e30128406e94> (Consulté le 25 juin 2021)
- [10] Berland Aurélie, 4 janvier 2021. L'agglomération d'Angers gagne des habitants. Ouest France [en ligne] Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/angers-49000/l-agglomeration-d-angers-gagne-des-habitants-c52ea392-446d-11eb-bad0-f395f1c8cb26#:~:text=La%20croissance%20d%C3%A9mographique%20de%20la,cro%C3%AEt%20de%200%2C6%20%25.&text=Angers%20et%20son%20agglom%C3%A9ration%20gagnent,habitants%20entre%202013%20et%202018.> (Consulté le 5 juillet 2021)
- [11] Hansen Jean-Michel, 14 novembre 2009. Le gazon se déroule entre les rails du tramway. Angers maville [en ligne]. Disponible sur : [https://angers.maville.com/actu/tramway\\_detail\\_-le-gazon-se-deroule-entre-les-rails-du-tramway\\_7966-1186730\\_actu.Htm](https://angers.maville.com/actu/tramway_detail_-le-gazon-se-deroule-entre-les-rails-du-tramway_7966-1186730_actu.Htm). (Consulté le 19 juin 2021)
- [12] Caron Michel, 7 mars 2017. Le gazon peut capter le gaz carbonique. Futura Science [en ligne]. Disponible sur : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-votre-pelouse-peut-protger-environnement-867/page/2/> (Consulté le 5 juillet 2021)

- [13] Boutaud Aurélien, 12 avril 2021. La ville de demain : une aspiration de plus en plus forte pour une ville plus verte. Millenaire 3 [en ligne]. Disponible sur : <https://www.millenaire3.com/dossiers/Nature-en-ville-comment-et-pourquoi-repondre-a-cette-demande-croissante/La-ville-de-demain-une-aspiration-de-plus-en-plus-forte-pour-une-ville-plus-verte> (Consulté le 6 juillet 2021)
- [14] Paysagistes.pro, 2020. Le gazon de placage : avantages, pose et entretien. Paysagiste.pro [en ligne]. Disponible sur : <https://www.paysagistes.pro/magazine/gazon-placage-avantages-pose-entretien/> (Consulté le 23 juin 2021)
- [15] Observatoire UNEP-HORTIS des villes vertes, 2020. Les villes les plus vertes de France, palmarès 2020. Observatoire des villes vertes [en ligne]. Disponible sur : <http://www.observatoirevillesvertes.fr/> (Consulté le 23 juin 2021)
- [16] Météo France, 24 juin 2020. Changement climatique : des canicules deux fois plus fréquentes d'ici 2050. Météo France [en ligne]. Disponible sur : <https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/climat/changement-climatique-des-canicules-deux-fois-plus-frequentes> (Consulté le 6 juillet 2021)
- [17] Gouvernement, 2021. Sécheresse [En ligne]. Disponible sur : <https://www.gouvernement.fr/risques/secheresse> (Consulté le 5 juillet 2021)
- [18] EauFrance, 2020. Volume d'eau potable consommé par habitant par jour en 2016. Eau de France [En ligne]. Disponible sur : <https://www.eaufrance.fr/chiffres-cles/volume-deau-potable-consomme-par-habitant-par-jour-en-2016>. (Consulté le 8 Août 2021)
- [19] Colombet Jean-Philippe, 19 juillet 2019. Angers. Sécheresse : le gazon du tram ne peut pas se passer d'eau. Ouest France [En ligne]. Disponible sur : <https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/angers-49000/angers-secheresse-le-gazon-du-tram-ne-peut-pas-se-passer-d-eau-b8f82058-0058-498e-be81-675600520aff> (Consulté le 17 juin)
- [20] Infociments, 2018. Avignon : le béton, champion des solutions « tramway ». Info ciments [En ligne]. Disponible sur : <https://www.infociments.fr/tramways-sur-rails/avignon-le-beton-champion-des-solutions-tramway>. (Consulté le 13 juillet 2021)
- [21] DLF, 2021. Les racines, pour un gazon plus fort et plus vert. DLF [En ligne]. Disponible sur : <https://www.dlf.fr/developpement-durable/racines-des-gazons>. (Consulté le 13 juillet 2021)
- [22] Cornic Gabriel, 2021. Effets de la température sur la photosynthèse. Encyclopédie de l'Environnement [en ligne]. Disponible sur : <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/effets-temperature-sur-photosynthese/> (Consulté le 16 Juillet 2021)
- [23] Angers Villactu. 2021. Un nouveau système d'arrosage mis en place sur la nouvelle ligne de tramway à Belle-Beille. Actualité Angers Villactu [En Ligne]. Disponible sur : <https://www.angers.villactu.fr/un-nouveau-systeme-darrosage-mis-en-place-sur-la-nouvelle-ligne-de-tramway-a-belle-beille/>. (Consulté le 11 juillet 2021)
- [24] Giraud Romain, 6 février 2019. Dollar Spot et changement climatique. Clinique du gazon [En ligne]. Disponible sur : <http://cliniquedugazon.fr/index.php/2019/02/06/dollar-spot-et-changement-climatique/> (Consulté le 25 mai 2021)
- [25] Giraud Romain, 12 août 2019. Impact des seringues sur la température foliaire du gazon [En ligne]. Disponible sur : <https://cliniquedugazon.fr/index.php/2019/08/12/impact-des-syringes-sur-la-temperature-foliaire-du-gazon/> (Consulté le 15 mai 2021)
- [26] Lenormand Anne, 2019. Distribution d'eau : 20% de fuites dans les réseaux depuis 2012. Banque des Territoires [En ligne]. Disponible sur : <https://www.banquedesterritoires.fr/distribution-deau-20-de-fuites-dans-les-reseaux-depuis-2012>. (Consulté le 11 juillet 2021)

## Documents internes

RD Angers, 2020. Cahier des clauses techniques particulières, Marché d'entretien des espaces verts du réseau Irigo période 2021-2023, lot n°1 : entretien des espaces verts de la plateforme tramway et du système d'arrosage. Terideal (document interne).14p.

Syndicat des mobilités de touraine, 2021. Cahier des clauses techniques particulières, Marche d'essais de végétalisation et irrigation des plateformes de tramway de la 2<sup>nd</sup> ligne de la ville de Tours, période 2021-2023. Terideal (document interne). 25p.

## Dires d'expert

Le Liboux Franck, 2021. Responsable d'équipe Infrastructure Maintenance Tramway, Irigo Angers (Dire d'expert).

Roche Julien, 2021. Conducteur de travaux, Edelweiss paysage (Dire d'expert).

Vrielynck François, 2021. Responsable maintenance tramway, Keolis Besançon (Dire d'expert).



**AGROCAMPUS OUEST**

**CFR Angers**  **CFR Rennes**

<p>Année universitaire : <b>2020 - 2021</b></p> <p>Spécialité : <b>Paysage</b></p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) :</p> <p><b>Paysage : Opérationnalité et Projet</b></p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
---	--

**Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?**

## ANNEXES

Par : Natacha ORAND

*Soutenu à Angers le 23/09/2021*

**Devant le jury composé de :**

Président : Marie-Hélène MACHEREL

Maître de stage : David HERAU

Enseignant référent : Pierre-Emmanuel BOURNET

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

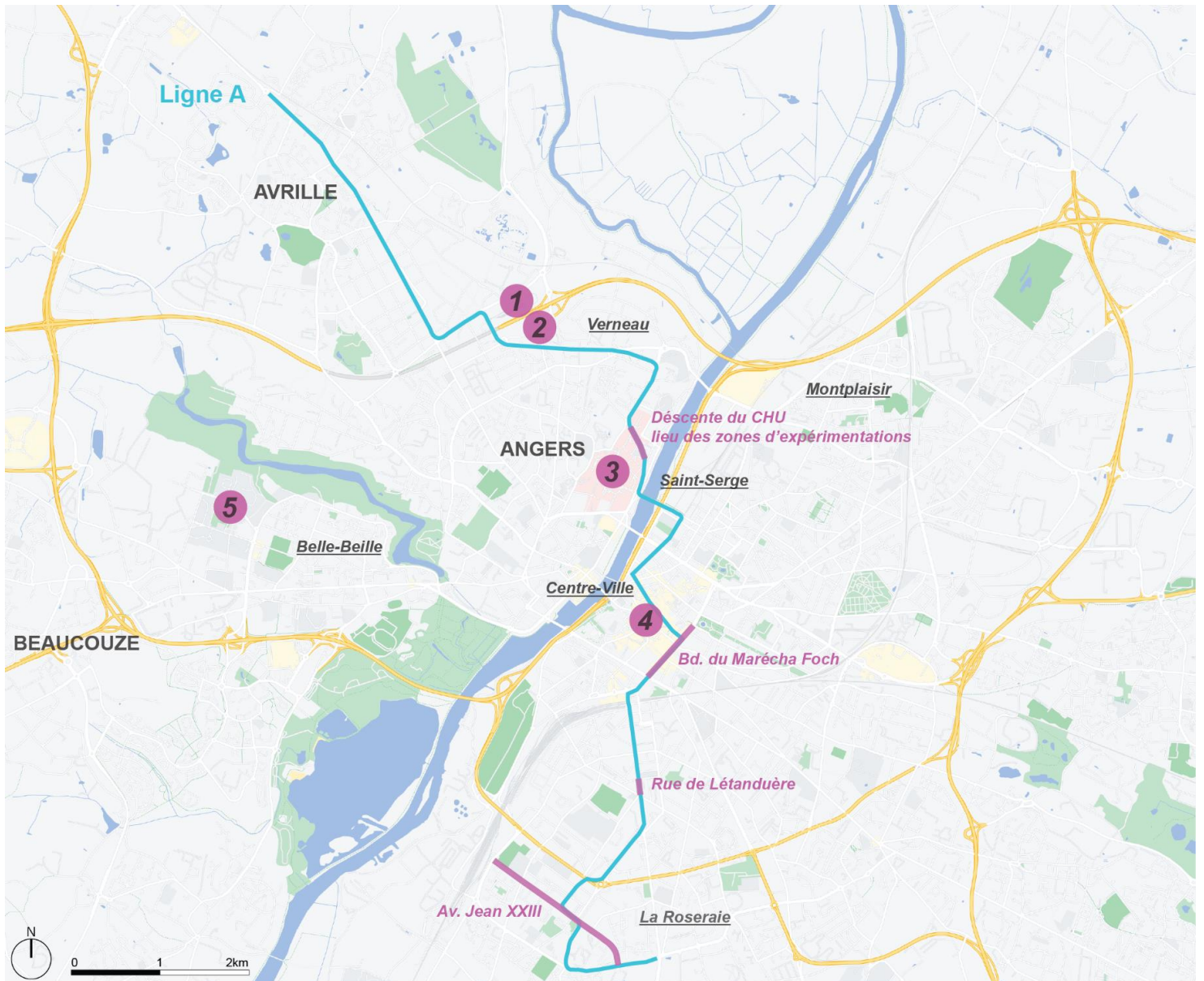
Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »



# Annexe I : Carte de la ville d'Angers et des lieux cités dans ce mémoire

Source : Orand, 2021




## Légende :

**ANGERS** : Ville


**Belle-Beille** : Quartier


 : Rue


 : Ligne A du tramway

 : Centre de maintenance du tramway

 : Piscine Aquavita

 : CHU

 : Place du Ralliement

 : Campus de Belle-Beille

## Annexe II : Formule de Penman-Monteith pour le calcul de l'ETP

Source : Irrigation and Drainage Paper, N°56, Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2006

$$ETP = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot Rn \cdot 0,0864 + 0,665 \cdot 10^{-3} P \frac{900}{T_{moy} + 273} v (ew - e)}{\Delta + 0,665 \cdot 10^{-3} P (1 + 0,34v)}$$

Avec :

$$ew = \frac{0,6108 \left( \exp\left(\frac{17,27T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right) + \exp\left(\frac{17,27T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) \right)}{2}$$

$$e = \frac{0,6108 \left( \exp\left(\frac{17,27T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) \frac{Hr_{max}}{100} + \exp\left(\frac{17,27T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right) \frac{Hr_{min}}{100} \right)}{2}$$

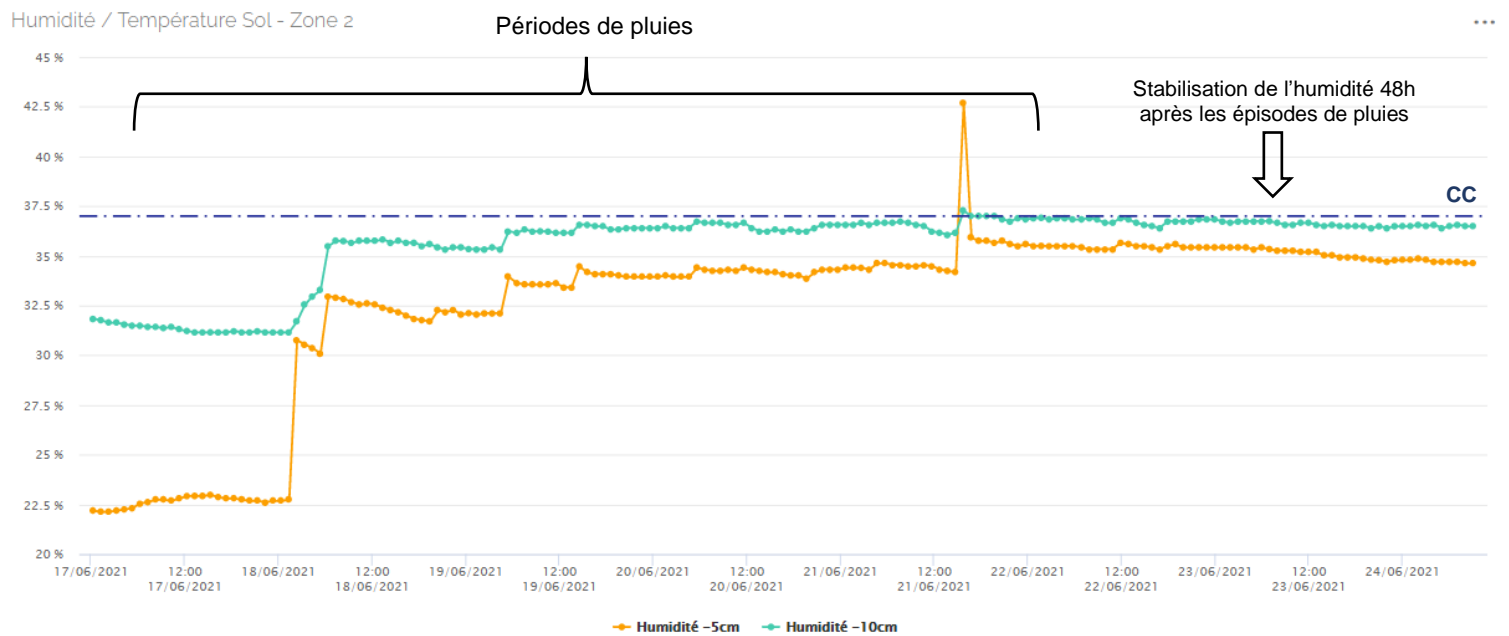
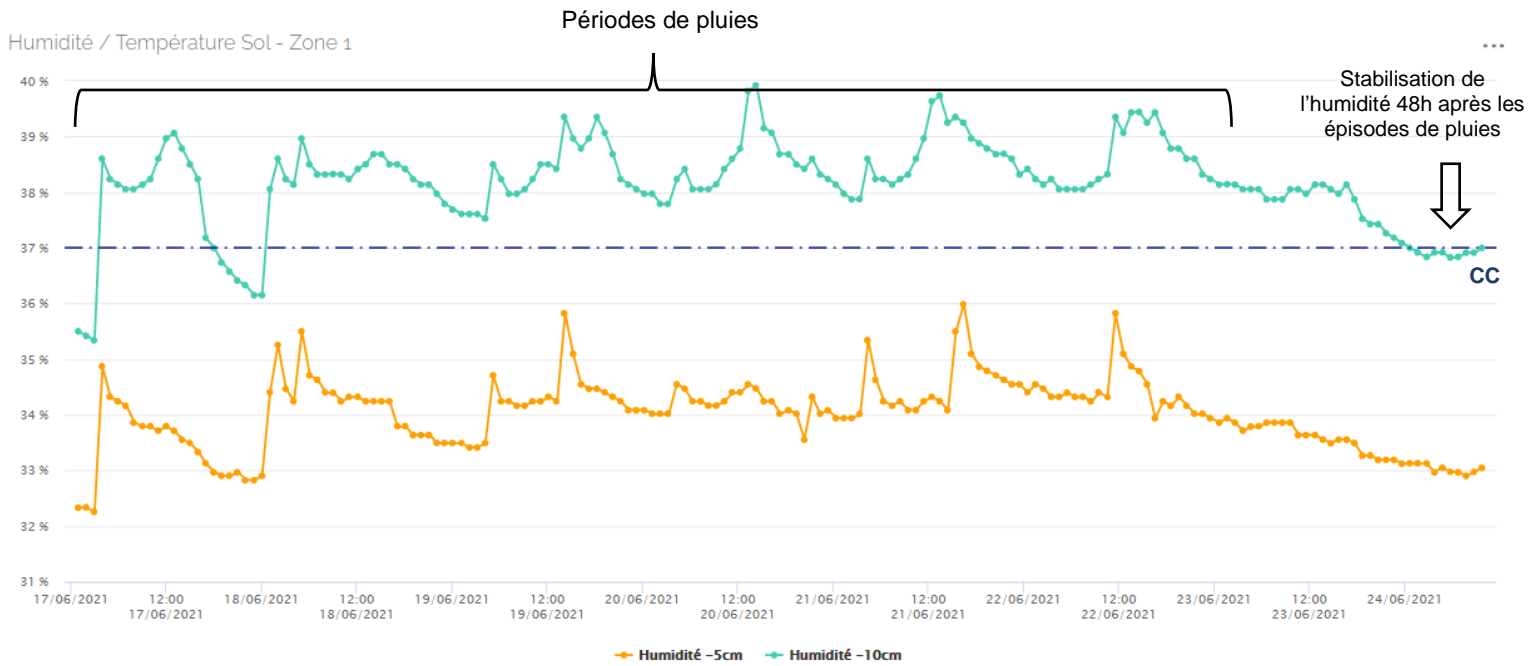
$$\Delta = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{moy}}{T_{moy} + 237,3}\right)$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm.j-1),  
 Rn : le rayonnement net (W.m-2),  
 Tmoy : la température moyenne quotidienne de l'air à 2m (°C),  
 Δ : la pente de la courbe de la tension de vapeur saturante (kPa. °C-1),  
 P : la pression atmosphérique (kPa),  
 e : la tension de vapeur (kPa),  
 ew : la tension de vapeur saturante (kPa),  
 v : la vitesse du vent à 2m (m.s-1).

Tmax : la température maximale de la journée (°C)  
 Tmin : la température minimale de la journée (°C)  
 Hrmax : l'humidité relative maximale de la journée (%)  
 Hrmin : l'humidité relative minimale de la journée (%)

# Annexe III : Détermination de la capacité au champ après des épisodes de pluies sur les zones d'expérimentations 1 et 2

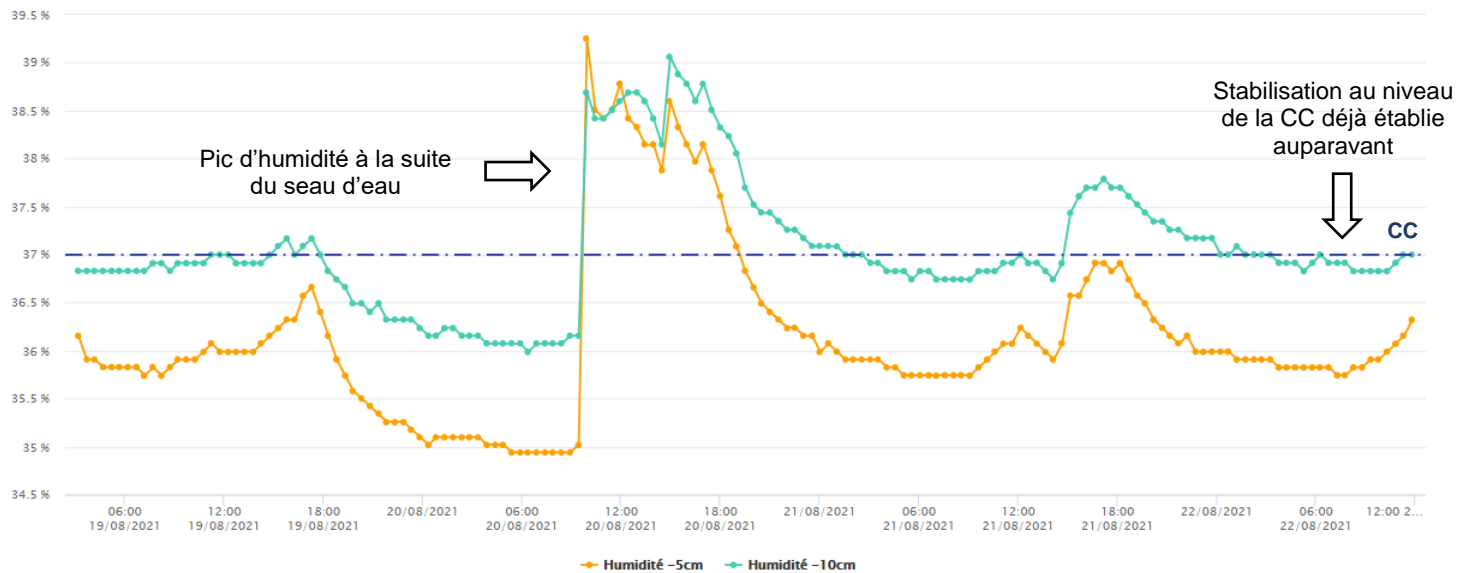
Source : Plateforme Viséo Web, 2021



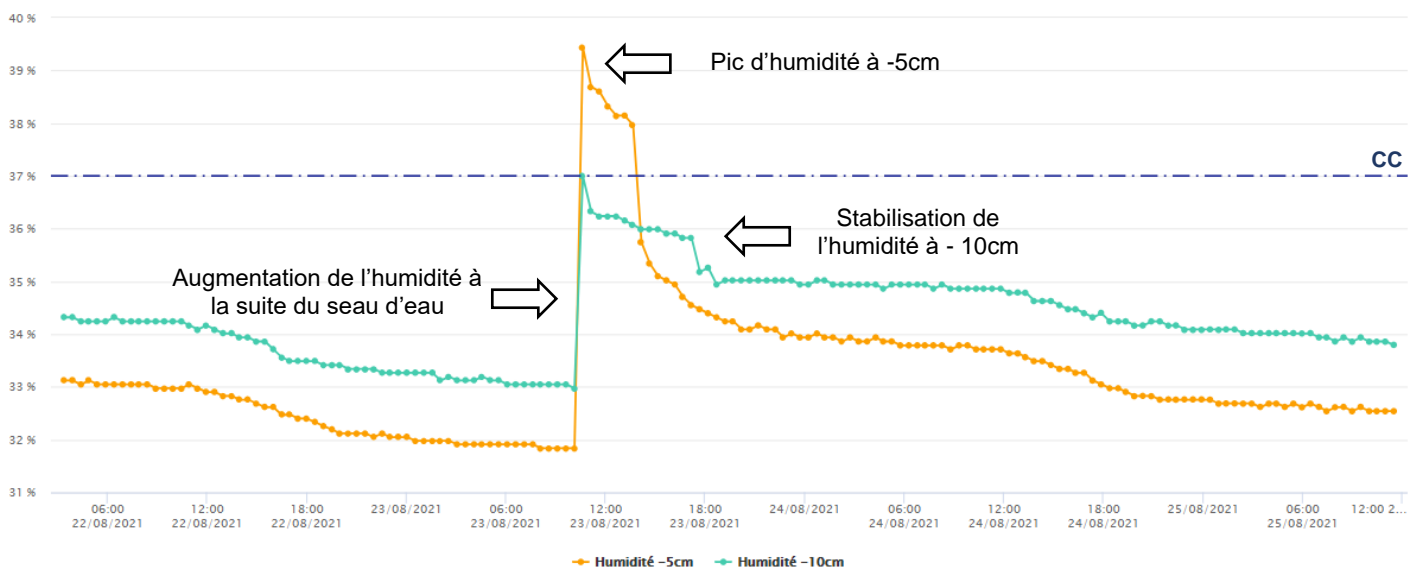
# Annexe IV : Détermination de la capacité au champ après saturation du sol avec des seaux d'eau sur les zones d'expérimentations 1 et 2

Source : Plateforme Viséo Web, 2021

Humidité / Température Sol - Zone 1

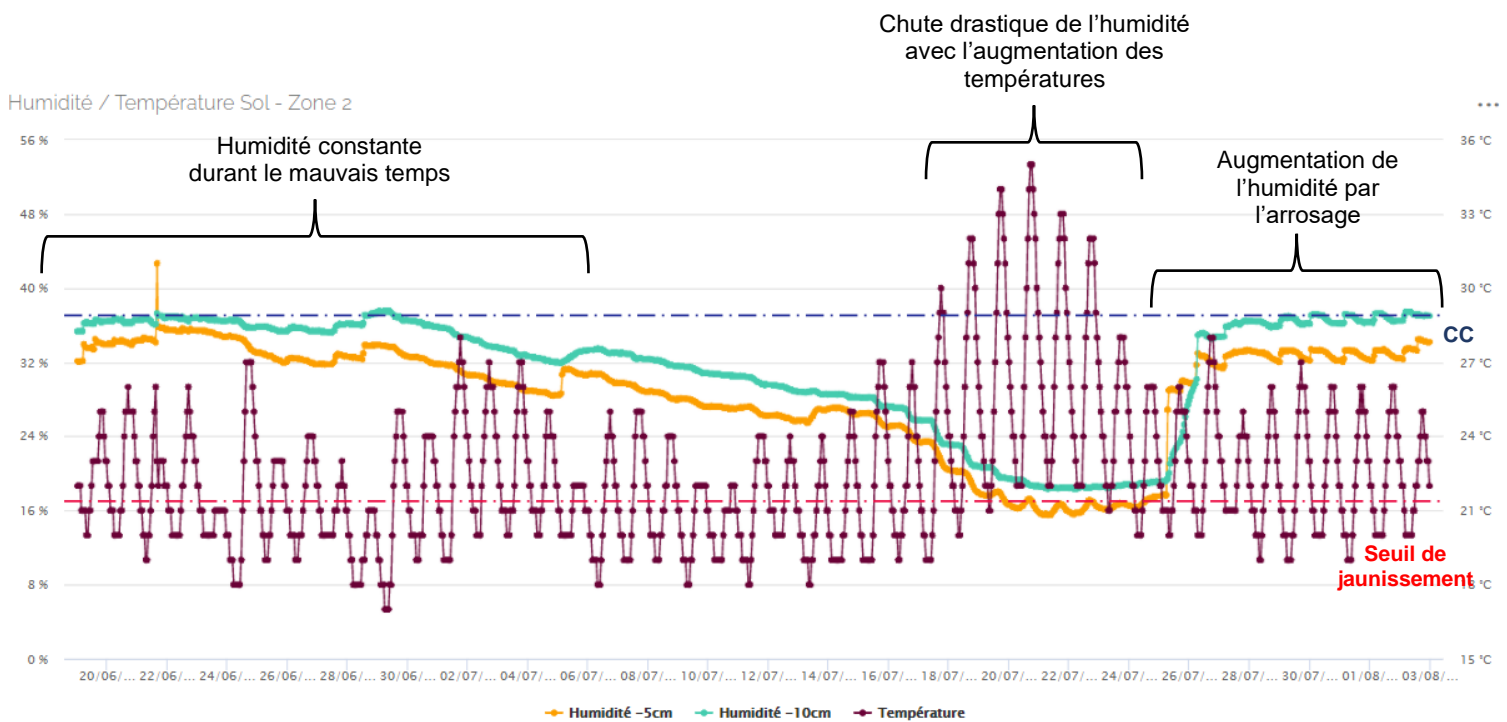
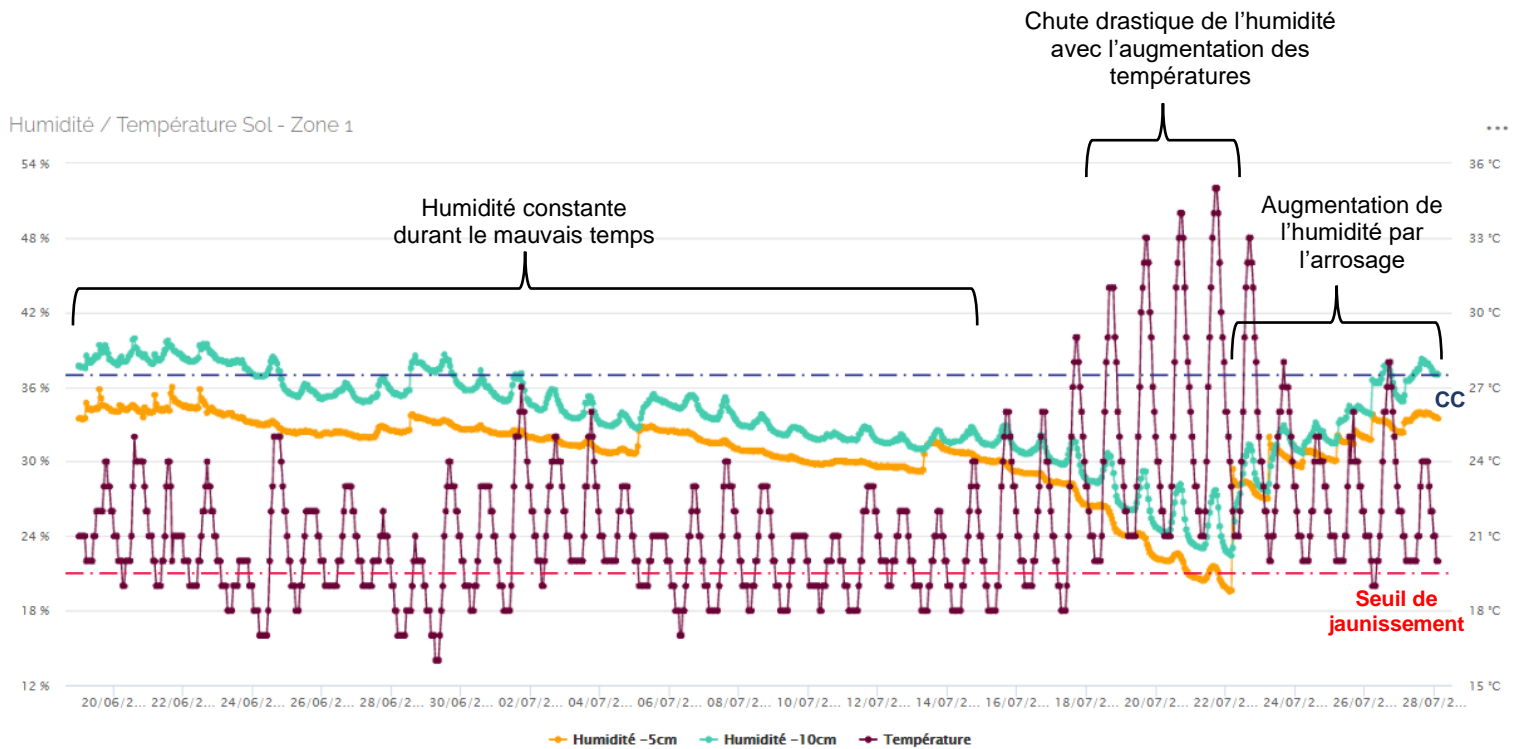


Humidité / Température Sol - Zone 2



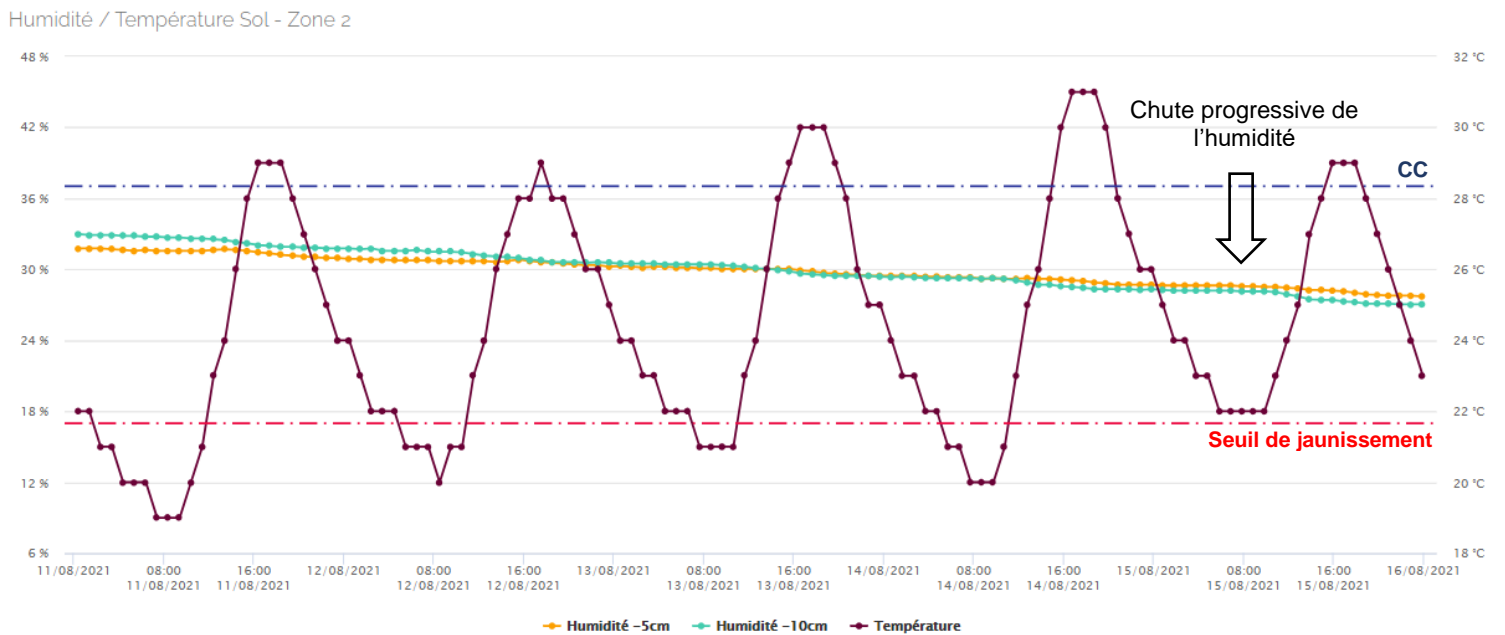
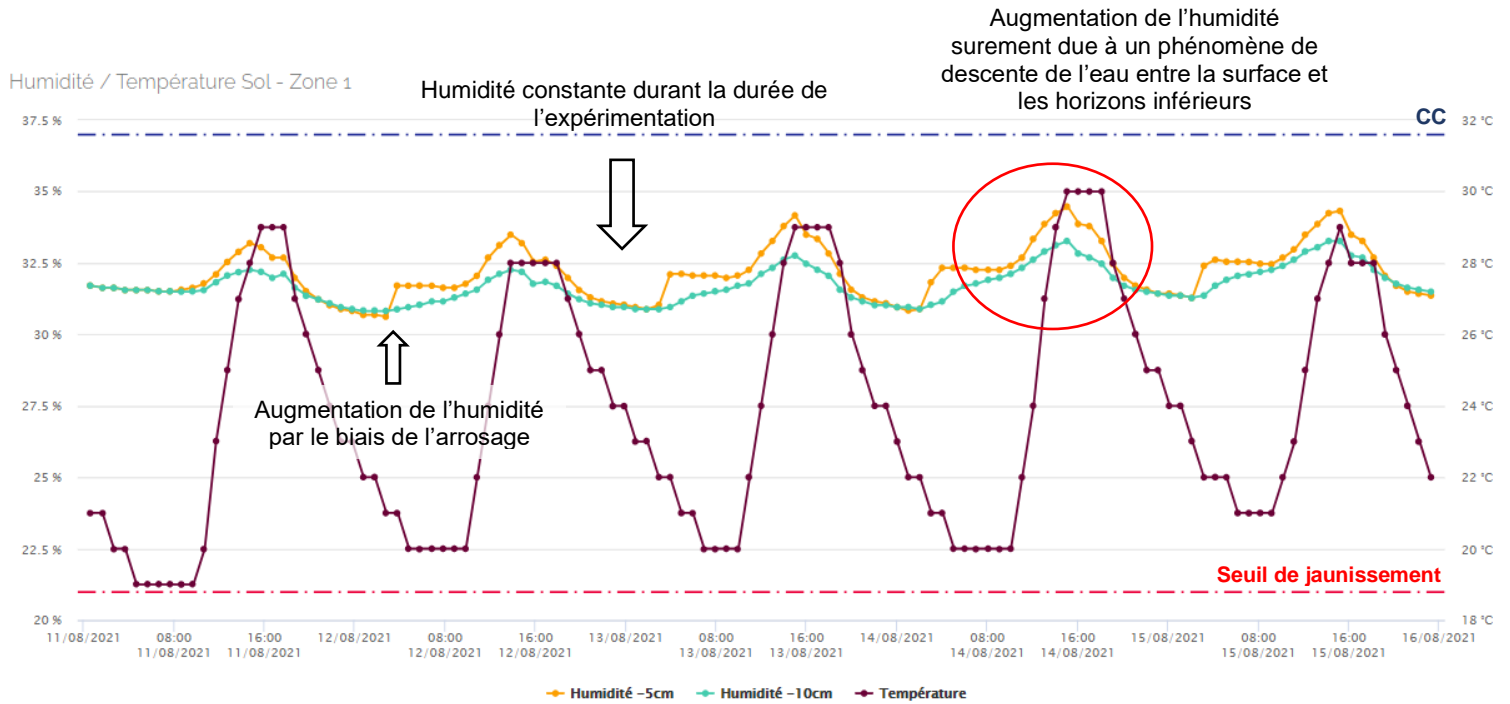
# Annexe V : Evolution de l'humidité sur les zones d'expérimentations 1 et 2 durant la période sans arrosage

Source : Plateforme Viséo Web, 2021



# Annexe VI : Evolution de l'humidité sur les zones d'expérimentations 1 et 2 durant l'expérimentation de la méthode du syringe

Source : Plateforme Viséo Web, 2021



# Annexe VII : Réponses au questionnaire destiné à l'employé de chez Irigo

Source : Orand, 2021

## **Aspect esthétique du gazon**

### 1) **Actuellement, quels sont les critères d'exigences esthétiques pour le gazon des plateformes du tramway ?**

Exemple de réponses :

- Absence de mauvaises herbes
- Absence de détritrus
- Hauteur de tonte spécifique
- Absence de maladies
- Couverture du sol
- Bel aspect esthétique
- Couleur verte
- Autres, préciser

Au niveau des mauvaises herbes, le rendu esthétique souhaité c'est très assoupli. On est passé du green de golf à une plateforme rapidement envahit d'adventices avec le 0 phyto. Aujourd'hui je dirais même qu'il est apprécié par l'agglomération et les habitants de voir des fleurs ou du trèfle sur le gazon de la plateforme. Tout le monde s'est adapté aux mauvaises herbes, tant que cela reste dans une certaine limite.

Pour les maladies, le gazon de la plateforme est très peu touché, ce n'est pas trop un sujet.

Finalement, les 3 exigences essentielles sur le gazon sont :

- Sa hauteur de tonte
- L'absence de détritrus
- Son aspect esthétique, sa couleur

La hauteur de tonte ne doit pas dépasser les 5cm, afin d'assurer une bonne visibilité aux conducteurs du tramway.

On essaye que l'esthétisme de la plateforme soit au maximum, cela passe par une absence de déchets, et un gazon verdoyant. L'exigence sur la couleur verte du gazon est indispensable, car les Angevins sont habitués à cette bande verte incroyable qui traverse la ville. Cette verdure marque la beauté et la qualité de la plateforme, ce qui apporte une touche esthétique incroyable, notamment dans des lieux phares de la ville comme le boulevard Foch.

### 2) **Ces exigences sont-elles différentes sur les plateformes de tramway que sur les autres espaces engazonnés de la ville ?**

#### **2.1) Si oui, expliquez pourquoi.**

#### **2.2) Si non, citez les espaces de la ville qui ont des exigences similaires et expliquez pourquoi.**

Le niveau d'exigence esthétique est identique à celui des espaces verts de la ville jugés prioritaires tel que les grands parcs ornementaux comme le jardin des plantes, les espaces situés sur des lieux importants ou emblématiques comme la mairie par exemple.

Les plateformes de tramway sont considérées prioritaires car elles traversent toute l'agglomération, avec des zones populaires comme l'hypercentre d'Angers, le boulevard du Maréchal Foch etc.



**À partir de maintenant, les questions porteront sur le critère esthétique du gazon (couleur)**

**3) D'après les exigences sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon voulu, ces différents aspects du gazon sont-ils acceptables ?**

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme (1)
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) (2)
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme (3)
- Jaunissement total (4)



1 : Jaunissement localisé, c'est acceptable, cela est sûrement dû à un dysfonctionnement ponctuel du matériel.

2 : Acceptable, en général cet aspect ne va choquer personne

3 : Pas acceptable, l'aspect esthétique est trop dégradé

4 : Pas acceptable, le gazon est vraiment trop dégradé, c'est prendre de trop gros risque pour sa survie.

Dans un cadre normal, des tâches de jaunissements signifient des anomalies sur le gazon, ce qui n'est pas accepté par l'agglomération.

**4) Comment réagiriez-vous face à un gazon comme sur la photo (4) ? Expliquez votre réponse.**

Cela ne serait pas normal, on ne devrait pas avoir un gazon aussi dégradé avec un arrosage régulier et opérationnel. D'autant plus que le gazon « envoie des signaux d'alertes » avant de se retrouver dans cet état. De plus, un gazon de cet aspect ne respecte pas les termes du contrat de maintenance.

Si on se détache du côté contractuel, un tel aspect est choquant, car nous avons un stéréotype de penser qui fait que l'on ne s'attend pas à voir un gazon comme cela, le gazon doit être vert.

Cela étant, nous n'avons jamais reçu d'appels d'Angevins pour se plaindre que le gazon était jaune ou dégradé. Mais un tel aspect de gazon n'arrive pas régulièrement, ou ne se produit pas sur une longue durée. Si un tel état était maintenu longtemps, les habitants pourraient se poser des questions : est-ce normal ? Est-ce que l'entretien de la plateforme a été abandonné etc...

**5) Le critère d'exigence esthétique sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon est-il :**

- Votre volonté propre
- La volonté d'un acteur extérieur, dire le/les quel /s
- Autres, expliquez

Ces critères sont demandés par Angers Loire Métropole, Irigo qui est chargé de la gestion du réseau du tramway doit alors les respecter, c'est contractuel.

Il y a des audits réguliers avec l'agglomération afin de vérifier la plateforme du tramway, l'aspect esthétique du gazon fait partie des critères à vérifier. S'il y a des taches jaunes ou des déchets, on ne respecte pas les termes du contrat et nous pouvons avoir des pénalités.

6) **Si ce critère est issu de votre volonté, quelles sont les raisons qui vous ont amené à faire ce choix, qu'est-ce que cela apporte :**

Exemple de réponses

- Choix esthétique, un gazon vert est plus joli, plus propre
- Choix politique, un gazon vert donne une meilleure image de la ville, du lieu, un gazon jaune donne une image de négligence, mauvais entretien
- Choix technique, un gazon vert signifie qu'il est en vie/en bonne santé, un gazon jaune est mort, il ne repart pas
- Choix environnemental, un gazon jaune n'a pas les mêmes bénéfices environnementaux qu'un gazon vert
- Autres, précisez et expliquez

Non concerné par la question.

**6.1) Qu'est-ce qui pourrait vous faire revoir cette exigence à la baisse ?**

Exemple de réponses :

- Restriction d'eau
- Formation et campagne d'information sur les besoins en eau du gazon, son aspect visuel, ses réactions face à différents stress etc.
- Autres, précisez et expliquez

Non concerné par la question.

7) **Si ce critère est issu de la volonté d'un ou de plusieurs acteurs extérieurs, est ce que la baisse d'exigence chez ces acteurs vous amènerait à baisser vos exigences également ?**

D'une certaine manière oui, car l'aspect visuel de la plateforme est contractuel, Irigo respectent juste les exigences de l'agglomération. Mais actuellement, ce n'est pas trop le sujet, au contraire, l'agglomération est de plus en plus exigeante sur l'aspect esthétique de la plateforme et cela avec moins d'argent.

Cela étant, je suis souvent plus exigeant que l'agglomération, car l'agglomération regarde moins la plateforme. Moi je la surveille tous les jours, et je souhaite qu'on respecte bien les demandes de l'agglomération. L'esthétisme du gazon est très important, car on travaille là-dessus pour que cela se voit. Il y a également une touche personnelle là-dedans, moi ainsi que mes supérieurs, sommes très attachés à l'aspect esthétique de la plateforme, mais peut-être que les prochains gérant seront moins attachés à la chose et seront donc moins exigeants.

**7.1) Connaissez-vous les raisons qui ont amené le/les acteurs à faire ce choix sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon, qu'est-ce que cela apporte :**

Exemple de réponses :

- Choix esthétique, un gazon vert est plus joli, plus propre
- Choix politique, un gazon vert donne une meilleure image de la ville, du lieu, un gazon jaune donne une image de négligence, mauvais entretien
- Choix technique, un gazon vert signifie qu'il est en vie/en bonne santé, un gazon jaune est mort, il ne repart pas
- Choix environnemental, un gazon jaune n'a pas les mêmes bénéfices environnementaux qu'un gazon vert
- Autres, précisez et expliquez

Ce choix est esthétique et politique. Angers et son agglomération, sont le territoire du « vert », du végétal. Il y a ainsi des attentes d'excellence sur cette culture du vert et du végétal. La ville se doit alors de présenter une plateforme la plus esthétique possible, la plateforme de tramway est une vitrine. Une plateforme verte est esthétique, belle et cela montre qu'on maîtrise la situation : on possède la qualité et les méthodes pour avoir une belle plateforme. Angers ne peut pas se permettre d'être la capitale du vert et avoir une plateforme de tramway engazonné mal entretenu ou pas esthétique. Avoir une belle plateforme de tramway est également une fierté pour les élus de la ville, beaucoup de grande et moyennes villes françaises dispose aujourd'hui d'un tramway, mais pas avec le même esthétisme. La plateforme du tramway est également une vitrine politique. Il y a une grosse attente sur ce ruban vert, les élus en veulent d'ailleurs encore plus, c'est pour cela que 80% des plateformes des nouvelles lignes B et C seront engazonnées.

Les Angevins se sont également habitués à ce grand ruban vert qui traverse la ville. La plateforme du tramway avec son gazon rentre dans un aménagement urbain global et les habitants y sont attachés. Par exemple, Rue de Létanduère la plateforme se situe devant des appartements, le gazon est ainsi un peu comme le jardin des personnes habitant dans les immeubles. Le tramway passe également devant l'université Saint Serge, le gazon du tramway fait alors écho avec les espaces engazonnés qu'il y a dans l'enceinte de la fac.

## **7.2) Qu'est-ce qui pourrait faire revoir à ce/ces acteur/s leur exigence à la baisse ?**

Exemple de réponses :

- Restriction d'eau
- Formation et campagne d'information sur les besoins en eau du gazon, son aspect visuel, ses réactions face à différents stress etc.
- Autres, précisez et expliquez

L'aspect esthétique du gazon est un choix politique, c'est une question d'image. Le rendu esthétique doit alors être en adéquation avec les attentes de la population, le contexte social, environnemental, climatique etc... En période de restriction d'eau, il serait alors normal que le gazon soit moins bon esthétiquement, cela montre aux habitants que les consignes de restriction sont respectées et que la consommation d'eau est diminuée ce qui impacte le gazon.

## **8) Trouvez-vous cela normal d'arroser le gazon des plateformes de tramway ? Expliquez votre réponse.**

Oui. La faible épaisseur de substrat de la plateforme oblige l'arrosage du gazon pour le maintenir en vie. Si on n'arrose pas, le végétal va mourir. Ce n'est pas comme dans les parcs, les jardins ou les espaces limitrophes aux plateformes, où le gazon est en pleine terre et on peut le laisser vivre naturellement.

### **8.1) D'après vous, est-il dérangeant d'arroser la nuit ? la journée ? Expliquez votre réponse.**

Arroser en journée est dérangeant pour plusieurs raisons. Tout d'abord pour des raisons techniques. L'eau apporte du calcaire sur les véhicules du tramway, ce qui enlève de l'esthétisme, qui est également contrôlé par l'agglomération. En arrosant en pleine journée on perd également une partie de l'eau par évaporation et l'eau peut brûler les feuilles si le végétal est en plein soleil. Enfin, cela est dérangeant d'un point de vue social. Quand il fait chaud, certains peuvent trouver l'arrosage agréable car cela permet de rafraîchir espaces. Mais il est tout de même souvent mal vu d'arroser la journée, d'autant plus que cela peut provoquer des gênes car l'arrosage peut déborder sur la chaussée et donc arroser des habitants. Faire des tests d'arrosage en pleine journée est acceptable, mais pas un cycle d'arrosage complet.

L'arrosage se fait donc la nuit, pas pour le cacher, mais pour éviter toutes ces contraintes.

**8.2) Est-ce qu'une campagne d'information pour expliquer l'arrosage sur le tramway vous semblerait utile ? Expliquez votre réponse.**

Communiquer sur l'arrosage est délicat. Les habitants sont contents d'avoir une belle plateforme de tramway avec un gazon verdoyant, mais ils ne veulent pas savoir combien cela consomme en eau. Du coup il ne faut pas communiquer sur les volumes d'eau par exemple.

**9) D'après vous, l'arrosage est-il le seul moyen qui permet d'avoir un gazon de couleur verte ? Si non, citez les autres moyens.**

L'épaisseur de substrat en place joue beaucoup. On voit bien qu'un espace engazonné en pleine terre supporte mieux les fortes chaleurs ou le manque d'eau. On n'est pas obligé d'arroser un gazon en pleine terre aussi régulièrement pour le garder vert, contrairement au gazon sur la plateforme du tramway qui jaunit extrêmement vite. Pour le gazon du tramway, on est obligé d'être très technique concernant l'arrosage : il faut trouver le juste milieu entre trop d'eau ou pas assez.

Sinon, l'apport d'engrais joue également, après un apport le gazon est vraiment verdoyant. Avoir matériel d'arrosage totalement opérationnels et sans dysfonctionnement permet aussi de maintenir un gazon vert, tout en arrosant moins.

**10) D'après vous, les espèces mises en place sur les plateformes engazonnées sont-elles les plus adaptées pour résister au mieux aux stress hydrique/thermique et pour garder l'aspect esthétique (couleur) voulu ?**

Je ne sais pas vraiment. En fonction du changement climatique il faudra peut-être songer à changer de mélange un moment.

Je sais qu'il y a des espèces qui supportent bien la chaleur, le manque d'eau et restent vertes l'été. Je l'ai constaté sur le tramway de Tenerife, cependant chez nous ces espèces jaunissent en hiver ce qui n'est pas esthétique.

**11) D'après vous, le système d'arrosage par aspersion actuellement en place, est-il le plus adapté pour répondre aux contraintes de stress hydrique, thermique et pour garder l'aspect esthétique (couleur) voulu ?**

Le goutte à goutte enterré pourrait être une autre méthode, des tests sont d'ailleurs en cours pour la ligne B. Cependant c'est un procédé très récent qui laisse beaucoup de questionnement, par exemple :

- Est-ce que cela ne génère pas des zones où le substrat serait trop humide, ce qui pourrait le dégrader
- En cas de casse ou de l'intrusion d'un véhicule qui pourrait arracher une partie du goutte à goutte, comment gérer les réparations car il faut tout terrasser, replaquer le gazon par la suite. Cela est beaucoup plus compliqué et coûteux que de changer un simple arroseur

**Lien entre consommation d'eau et aspect esthétique du gazon**

**12) Consommer moins d'eau est-il une préoccupation :**

- Actuelle
- À prévoir dans un court terme
- À prévoir dans un long terme
- Ce n'est pas une préoccupation

Au départ ce n'en été pas une, avoir un gazon vert suffisait. Puis par la suite nous sommes rentrés dans une période où nous avons commencé à parler du 0 phyto, de la consommation en eau et sur la perception que les Angevins pouvaient avoir sur nous.

Notamment sur l'arrosage en journée ou quand il pleut par exemple. Depuis, nous avons pris en compte qu'il fallait coller avec l'opinion publique. La consommation d'eau est aujourd'hui prise en compte, notamment en période de restriction en eau où il y a des attentes par rapport cela.

- 13) **Avez-vous déjà pensé à différencier la source d'eau utilisée pour l'arrosage ?**  
**Exemple : eaux pluviales, eaux recyclées etc.**

L'arrosage se fait avec les installations qui étaient en place, donc ici le réseau d'eau de ville. Changer pour passer en eaux pluviales ou recyclés semblent compliqué, car cela demanderait un volume en eau conséquent mais également beaucoup d'investissements en équipements et aménagements. Cela ne semble pas en adéquation.

- 14) **A l'heure actuelle consommer moins d'eau est-il :**

- Plus important que l'aspect visuel du gazon
- Moins important
- Tout aussi important

**Expliquez pourquoi.**

Tout aussi important. Il faut pouvoir mettre en avant une plateforme très esthétique, tout en ayant la maîtrise de l'arrosage techniquement et donc de la consommation en eau.

Dans les premières années après la fin des travaux, l'entreprise en charge de l'arrosage avait tendance à trop arroser pour s'assurer d'avoir un gazon vert. Cependant le sol était totalement gorgé d'eau, ce n'était pas possible. Cela a d'ailleurs entraîné une dégradation du substrat de la plateforme les premières années.

Pour autant, il n'y a pas de vraies attentes ou de restriction concernant la consommation en eau. Contrairement sur l'aspect esthétique de la plateforme, où on attend un gazon vert.

- 15) **Les exigences sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon pourraient-elles être revues à la baisse (sans pour autant entraîner la mort de la plante), si cela permettait une diminution de la consommation en eau ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?**

Aujourd'hui ce n'est pas trop un sujet. On paye 1.09 euros le m<sup>3</sup> d'eau, sur une année le budget pour la consommation d'eau est dans les 50 000 euros. Finalement, une diminution de la consommation en eau entraînerait une baisse en coût dérisoire par rapport aux investissements que l'agglomération peut effectuer. Une baisse du niveau esthétique du gazon serait alors un sacrifice trop rapport par rapport aux gains.

- 15.1) **Si oui, jusqu'à quel niveau les exigences pourraient être baissées pour diminuer la consommation en eau :**

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme **(1)**
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) **(2)**
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme **(3)**
- Jaunissement total **(4)**



Non concerné par la question.

- 16) **Pensez-vous que le gazon ait les mêmes besoins en eau tout au long de l'année ? Précisez ces besoins si possible (tous les jours, un jour sur deux, quantité de tant de mm etc.)**

Non. Il faut prendre en compte les conditions météorologiques : température, ensoleillement, pluviométrie.... Le gazon n'aura pas les mêmes besoins en eau en mai, mars ou en plein milieu de juillet.

- 17) **Est-ce que pour vous, le jaunissement du gazon est-il forcément dû à un manque d'eau ? Si non, précisez.**

Les jaunissements qu'on peut observer sur le gazon peuvent être dû à plusieurs choses, cela dépend de l'aspect général de la plateforme et avec l'expérience on arrive à identifier les divers problèmes :

- Les rails de tramway ainsi que les bordures en granite effectuent des transferts thermiques sur le gazon, ce qui fait qu'il souffre et jaunit rapidement. On ne peut rien faire, c'est normal. Cela ne sert à rien d'arroser davantage.
- On peut observer des zones sèches ponctuellement alors que le gazon est vert tout autour. Cela est alors souvent dû à un problème sur un ou plusieurs arroseurs provoquant ainsi un assèchement localisé. Sur le reste de plateforme, il ne manque pas d'eau.
- Enfin, si on observe un jaunissement du gazon à plusieurs endroits de façon anarchique ou alors sur une grande étendue, il y a un problème avec l'arrosage. Le gazon manque d'eau.

- 18) **Est-ce que pour vous, le jaunissement du gazon est-il synonyme que le gazon est mort et qu'il ne peut pas repartir ? Si non, précisez.**

Non. Un gazon jauni peut repartir. Nous l'avons constaté plusieurs fois sur la plateforme. Nous n'avons jamais dû replaquer du gazon à la suite d'un dessèchement ou jaunissement du gazon.

- 19) **D'après votre expérience, sur quelle(s) période(s) de l'année le gazon est concerné par un jaunissement ?**

Quand les températures augmentent, donc généralement au cœur de l'été où on peut constater de fortes chaleurs qui peuvent être critiquent pour le gazon.

- 19.1) **Est-ce que cette ou ces périodes sont concernées par des périodes de restrictions de l'eau ?**

Oui, c'est un peu lié. Car normalement, si l'arrosage est suffisant et qu'il n'y a aucun dysfonctionnement on peut conserver un gazon verdoyant en plein été.

**19.2) Les exigences sur l'aspect « vert » du gazon sont-elles différentes lors de périodes de restrictions d'eau et en dehors de ces périodes ? Détailler pourquoi.**

- Identiques
- Plus fortes en période de restriction d'eau
- Moins fortes en période de restriction d'eau

Le rendu de la plateforme doit être le reflet de la situation actuelle. Les exigences sont alors moins fortes en période de restriction. Un gazon trop verdoyant en restriction serait perçu comme anormal et ferait polémique.

**19.3) Durant les périodes de restrictions d'eau, est-il acceptable que le gazon jaunisse :**

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme (1)
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) (2)
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme (3)
- Jaunissement total (4)



Oui, l'aspect est acceptable jusqu'à la photo n°3. Sur la photo n°4 c'est trop dégradé.

Il faut avoir un rendu esthétique qui montre que nous sommes en restriction et que le gazon souffre, donc le gazon ne doit pas être verdoyant comme en hiver mais avoir quelques taches jaunes, tout en restant vert à des endroits.

Dans les faits, un gazon comme sur la photo n°3 n'est jamais atteint, car même en période de restriction nous pouvons arroser un minimum.

**19.4) Si oui, pourquoi cette acceptabilité n'est-elle pas similaire en cas de non-restriction d'eau ?**

Car en période classique, sans restriction d'eau il n'y a aucune raison pour que le gazon présente des taches de jaunissement, il doit être vert.

**19.5) Si non, expliquez pourquoi**

Non concerné par la question.

**20) Trouvez-vous cela normal d'arroser le gazon des plateformes de tramway en période de restriction en eau ? Expliquez votre réponse**

Cela peut paraître absurde de maintenir l'arrosage. Cependant, en suspendant l'arrosage on pourrait perdre l'intégralité du gazon de la plateforme et l'investissement pour tout refaire serait énorme. Donc oui, il est normal de maintenir l'arrosage pour garder le gazon en vie. Il faudrait vraiment une situation climatique terrible pour ne plus arroser et donc sacrifier la plateforme.

**20.1) D'après vous, en période de restriction en eau, est-il dérangeant d'arroser la nuit ? la journée ? Expliquez votre réponse**

La nuit correspond au fonctionnement classique donc non.

En restriction il est interdit d'arroser entre 8h et 20h donc en journée. Même si on dispose d'une dérogation pour arroser en période de restriction, cela est très mal vu d'arroser en journée alors que les habitants ne peuvent pas. Cela peut faire scandale, et nous avons déjà eu des articles dans le journal à cause de cela.

A Angers, il y vraiment une volonté de traiter et de répondre à toutes les remarques des habitants. Il existe une relation de proximité entre les politiques et les Angevins, comme on pourrait le retrouver dans des petits villages. Il faut alors faire très attention aux remarques et aux volontés des habitants.

**20.2) Est-ce qu'une campagne d'information pour expliquer l'arrosage sur le tramway durant les périodes de restriction vous semblerait utile ? Expliquez**

Je ne sais pas, c'est délicat. Il est préférable de communiquer sur les solutions mises en place pour diminuer la consommation d'eau et respecter les restrictions plutôt que sur l'arrosage en tant que tel. Il faut montrer le verre à moitié plein et non à moitié vide. Il ne faut pas communiquer sur des éléments factuels, ou dire des éléments qui pourraient être mal perçus et se retourner contre nous.



# Annexe VIII : Réponses au questionnaire destiné à l'employé de chez Angers Loire Métropole

Source : Orand, 2021

## Aspect esthétique du gazon

21) Actuellement, quels sont les critères d'exigences esthétiques pour le gazon des plateformes du tramway ?

Exemple de réponses :

- Absence de mauvaises herbes
- Absence de détritrus
- Hauteur de tonte spécifique
- Absence de maladies
- Couverture du sol
- Bel aspect esthétique
- Couleur verte
- Autres, préciser

22) Ces exigences sont-elles différentes sur les plateformes de tramway que sur les autres espaces engazonnés de la ville ?

Oui mais cela dépend du type d'espaces verts publics.

2.1) Si oui, expliquez pourquoi.

Certains espaces verts sont laissés plus naturels.

2.2) Si non, citez les espaces de la ville qui ont des exigences similaires et expliquez pourquoi.

Pelouses de parcs centraux ou emblématiques.

## À partir de maintenant, les questions porteront sur le critère esthétique du gazon (couleur)

23) D'après les exigences sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon voulu, ces différents aspects du gazon sont-ils acceptables ?

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme (1)
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) (2)
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme (3)
- Jaunissement total (4)



1 : oui.

2 : oui.

3 : Non si la pérennité du gazon est engagée.

4 : Non si la pérennité du gazon est engagée.

24) **Comment réagiriez-vous face à un gazon comme sur la photo (4) ? Expliquez votre réponse.**

Alerte auprès de l'exploitant Irigo pour explications.

25) **Le critère d'exigence esthétique sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon est-il :**

- Votre volonté propre
- La volonté d'un acteur extérieur, dire le/les quel /s
- Autres, expliquez

⇒ La volonté des élus d'Angers Loire Métropole et de la ville d'Angers.

26) **Si ce critère est issu de votre volonté, quelles sont les raisons qui vous ont amené à faire ce choix, qu'est-ce que cela apporte :**

Exemple de réponses

- Choix esthétique, un gazon vert est plus joli, plus propre
- Choix politique, un gazon vert donne une meilleure image de la ville, du lieu, un gazon jaune donne une image de négligence, mauvais entretien
- Choix technique, un gazon vert signifie qu'il est en vie/en bonne santé, un gazon jaune est mort, il ne repart pas
- Choix environnemental, un gazon jaune n'a pas les mêmes bénéfices environnementaux qu'un gazon vert
- Autres, précisez et expliquez

Non concerné par la question.

**6.2) Qu'est-ce qui pourrait vous faire revoir cette exigence à la baisse ?**

Exemple de réponses :

- Restriction d'eau
- Formation et campagne d'information sur les besoins en eau du gazon, son aspect visuel, ses réactions face à différents stress etc.
- Autres, précisez et expliquez

Non concerné par la question.

27) **Si ce critère est issu de la volonté d'un ou de plusieurs acteurs extérieurs, est ce que la baisse d'exigence chez ces acteurs vous amènerait à baisser vos exigences également ?**

Pas de réponses à la question.

**7.3) Connaissez-vous les raisons qui ont amené le/les acteurs à faire ce choix sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon, qu'est-ce que cela apporte :**

Exemple de réponses :

- Choix esthétique, un gazon vert est plus joli, plus propre
- Choix politique, un gazon vert donne une meilleure image de la ville, du lieu, un gazon jaune donne une image de négligence, mauvais entretien
- Choix technique, un gazon vert signifie qu'il est en vie/en bonne santé, un gazon jaune est mort, il ne repart pas
- Choix environnemental, un gazon jaune n'a pas les mêmes bénéfices environnementaux qu'un gazon vert
- Autres, précisez et expliquez

⇒ Image de la ville d'Angers comme ville du végétal.

**7.4) Qu'est-ce qui pourrait faire revoir à ce/ces acteur/s leur exigence à la baisse ?**

Exemple de réponses :

- Restriction d'eau
- Formation et campagne d'information sur les besoins en eau du gazon, son aspect visuel, ses réactions face à différents stress etc.
- Autres, précisez et expliquez

⇒ Également l'adaptation aux changements climatiques (sécheresses chroniques...).

**28) Trouvez-vous cela normal d'arroser le gazon des plateformes de tramway ? Expliquez votre réponse.**

Normal s'il n'y a pas de pénurie d'eau et si ce n'est pas en concurrence avec des usages plus prioritaires (alimentation...).

**8.1) D'après vous, est-il dérangeant d'arroser la nuit ? la journée ? Expliquez votre réponse.**

Ok la nuit mais pas en journée à cause des déperditions d'eau.

**8.2) Est-ce qu'une campagne d'information pour expliquer l'arrosage sur le tramway vous semblerait utile ? Expliquez votre réponse.**

Non.

Campagne d'informations nécessaire si on arrête l'arrosage pour expliquer pourquoi on laisse le gazon jaunir.

**29) D'après vous, l'arrosage est-il le seul moyen qui permet d'avoir un gazon de couleur verte ? Si non, citez les autres moyens.**

Changer les variétés végétales (à condition d'avoir un substrat suffisamment épais) ?

**30) D'après vous, les espèces mises en place sur les plateformes engazonnées sont-elles les plus adaptées pour résister au mieux aux stress hydrique/thermique et pour garder l'aspect esthétique (couleur) voulu ?**

Je ne sais pas mais j'en doute.

- 31) D'après vous, le système d'arrosage par aspersion actuellement en place, est-il le plus adapté pour répondre aux contraintes de stress hydrique, thermique et pour garder l'aspect esthétique (couleur) voulu ?

Cela fonctionne mais ce n'est pas le plus économe. Test en cours sur la nouvelle ligne d'un système enterré sur un tronçon sur le secteur Campus Belle-Beille.

#### Lien entre consommation d'eau et aspect esthétique du gazon

- 32) Consommer moins d'eau est-il une préoccupation :

- Actuelle
- À prévoir dans un court terme
- À prévoir dans un long terme
- Ce n'est pas une préoccupation

- 33) Avez-vous déjà pensé à différencier la source d'eau utilisée pour l'arrosage ?  
Exemple : eaux pluviales, eaux recyclées etc.

Non.

- 34) A l'heure actuelle consommer moins d'eau est-il :

- Plus important que l'aspect visuel du gazon
- Moins important
- Tout aussi important

#### 14.1) Expliquez pourquoi.

Economiser la ressource pour des usages plus prioritaires (alimentation, plantation d'arbres...).

- 35) Les exigences sur l'aspect esthétique (couleur) du gazon pourraient-elles être revues à la baisse (sans pour autant entraîner la mort de la plante), si cela permettait une diminution de la consommation en eau ? Si oui, pourquoi ? Si non, pourquoi ?

Oui si les élus et la population sont d'accord.

#### 15.2) Si oui, jusqu'à quel niveau les exigences pourraient être baissées pour diminuer la consommation en eau :

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme (1)
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) (2)
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme (3)
- Jaunissement total (4)



**15.3) Si non, expliquez pourquoi ?**

1 : oui.

2 : oui.

3 : oui.

4 : Non ? Pérennité du gazon engagée.

- 36) **Pensez-vous que le gazon ait les mêmes besoins en eau tout au long de l'année ? Précisez ces besoins si possible (tous les jours, un jour sur deux, quantité de tant de mm etc.).**

Non, cela dépend des conditions météo.

- 37) **Est-ce que pour vous, le jaunissement du gazon est-il forcément dû à un manque d'eau ? Si non, précisez.**

Je ne sais pas.

- 38) **Est-ce que pour vous, le jaunissement du gazon est-il synonyme que le gazon est mort et qu'il ne peut pas repartir ? Si non, précisez.**

Je ne sais pas.

- 39) **D'après votre expérience, sur quelle(s) période(s) de l'année le gazon est concerné par un jaunissement ?**

Période sèche ou été.

**19.1) Est-ce que cette ou ces périodes sont concernées par des périodes de restrictions de l'eau ?**

Pas toujours.

**19.2) Les exigences sur l'aspect « vert » du gazon sont-elles différentes lors de périodes de restrictions d'eau et en dehors de ces périodes ? Détailler pourquoi.**

- Identiques
- Plus fortes en période de restriction d'eau
- Moins fortes en période de restriction d'eau

**19.3) Durant les périodes de restrictions d'eau, est-il acceptable que le gazon jaunisse :**

- Jaunissement très localisé et ponctuel sur la plateforme (1)
- Jaunissement localisé et sur le long de la plateforme (exemple : gazon jauni le long des rails) (2)
- Jaunissement réparti sur toute la plateforme (3)
- Jaunissement total (4)



1 : oui.

2 : oui.

3 : oui.

4 : oui sauf si la pérennité du gazon est engagée (ou sinon changement complet de politique sur le sujet).

**19.4) Si oui, pourquoi cette acceptabilité n'est-elle pas similaire en cas de non-restriction d'eau ?**

Pas de réponses à la question.

**19.5) Si non, expliquez pourquoi**

Pas de réponses à la question.

**40) Trouvez-vous cela normal d'arroser le gazon des plateformes de tramway en période de restriction en eau ? Expliquez votre réponse**

Oui pour assurer la survie du gazon (sauf à changer de politique, notamment s'il y a une pénurie totale d'eau, le gazon n'est dans ce cas pas prioritaire).

**20.1) D'après vous, en période de restriction en eau, est-il dérangeant d'arroser la nuit ? la journée ? Expliquez votre réponse**

Ok la nuit mais pas en journée pour éviter les déperditions.

**20.2) Est-ce qu'une campagne d'information pour expliquer l'arrosage sur le tramway durant les périodes de restriction vous semblerait utile ? Expliquez**

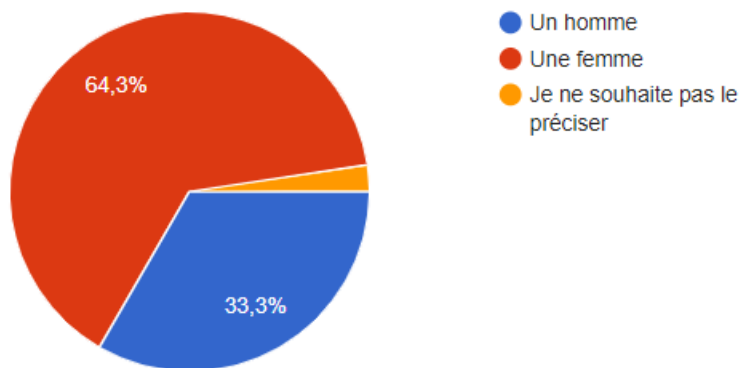
Oui si on arrête d'arroser totalement le gazon et si on laisse la pelouse mourir.

## Annexe IX : Résultats du questionnaire destiné à la population angevine

Source : Orand, 2021

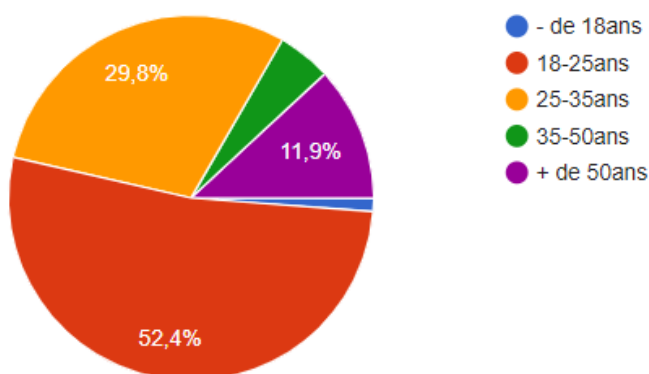
1- Vous êtes ?

84 réponses



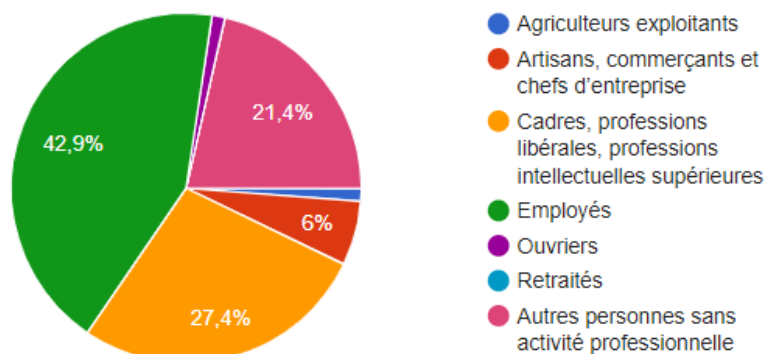
2- Dans quelle tranche d'âge vous trouvez-vous ?

84 réponses



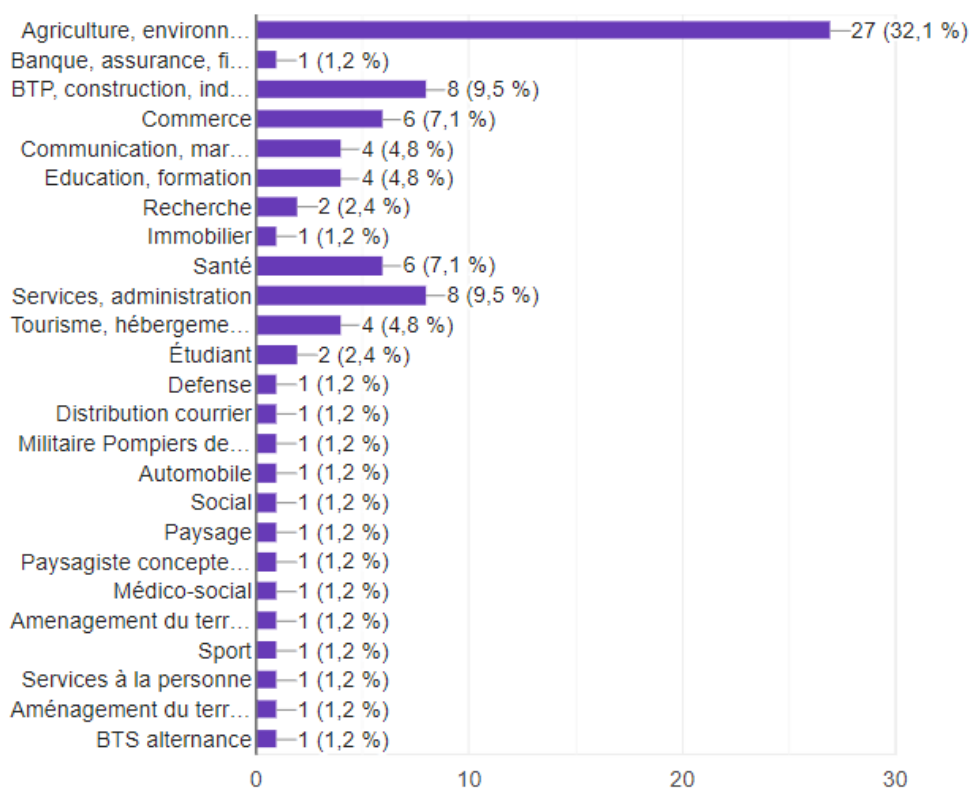
3- Dans quelle catégorie socio-professionnelle vous trouvez-vous

84 réponses



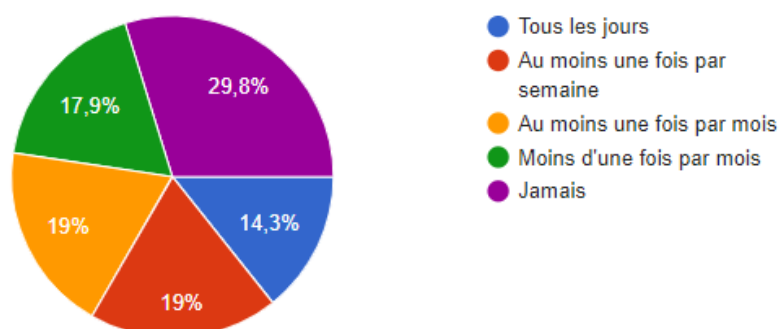
#### 4- Dans quel domaine d'activité ?

84 réponses



5- Etes-vous régulièrement amenés à fréquenter le tramway d'Angers ? Que ce soit de façon directe en empruntant ce transport en commun ou indirecte en passant à côté en voiture, pour aller au travail, se rendre chez soi, lors de balades à pied à vélo par exemple etc.

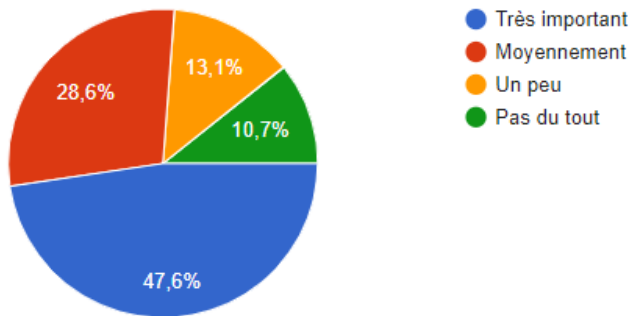
84 réponses





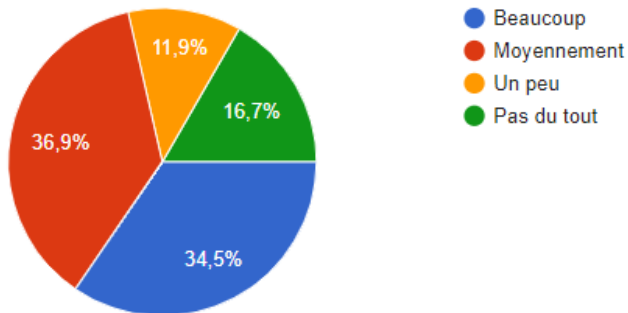
6- Pour vous, est-il important qu'il y est du gazon sur les voies de tramway ?

84 réponses



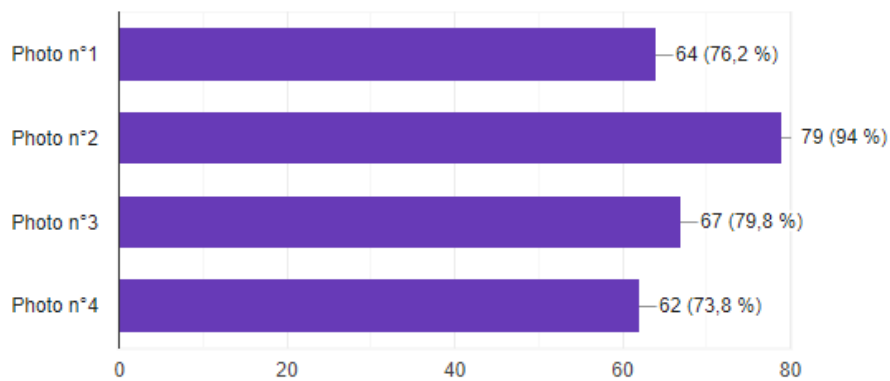
7- Portez-vous de l'importance sur l'aspect esthétique du gazon des voies de tramway ?

84 réponses



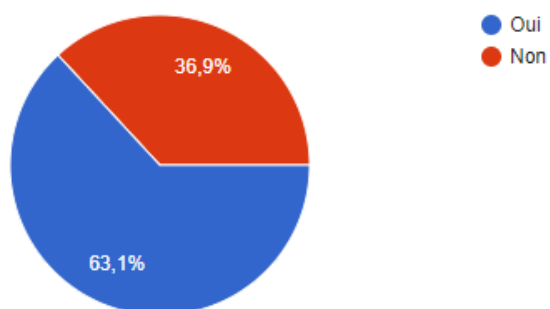
8- Accepteriez vous ces différents aspects esthétiques ?

84 réponses



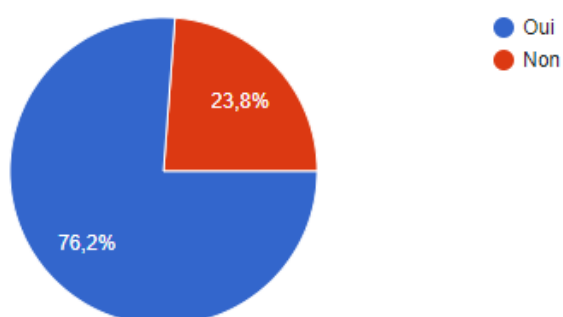
9- D'après vous, garder un gazon esthétique et en vie sur les voies de tramway est-il synonyme d'une consommation en eau importante ?

84 réponses



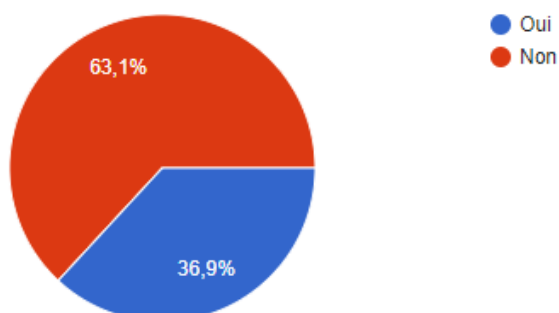
10- Comprenez-vous que le gazon soit arrosé afin de le maintenir en vie ?

84 réponses



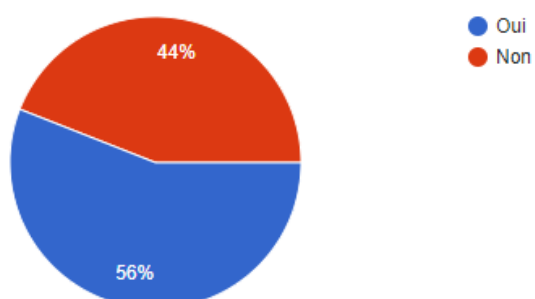
Et durant une période de fortes chaleurs ou de restriction en eau ?

84 réponses



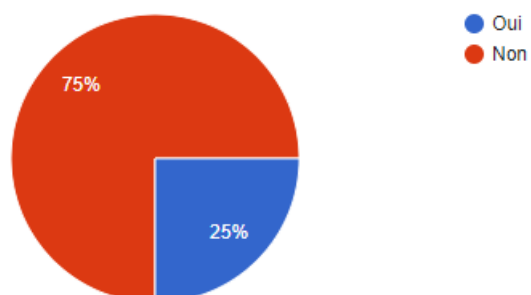
11- Comprenez-vous que le gazon soit arrosé afin de maintenir au maximum son esthétique ?

84 réponses



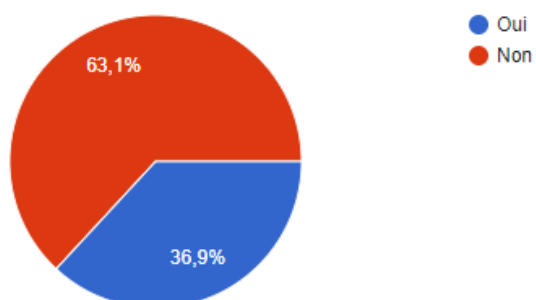
Et durant une période de fortes chaleurs ou de restriction en eau ?

84 réponses



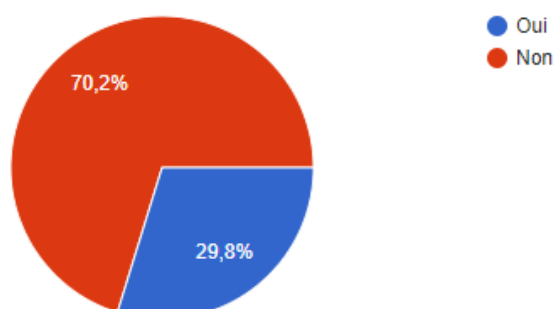
12- Comprenez-vous que l'arrosage puisse s'effectuer en journée lors de l'utilisation des voies et du passage des usagers ?

84 réponses



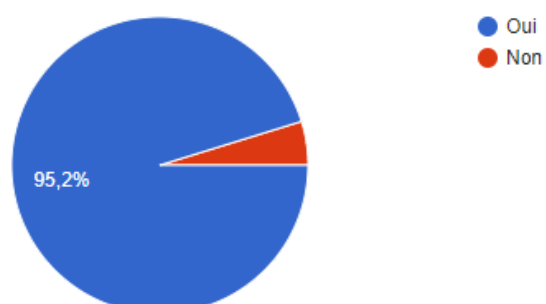
Et durant une période de fortes chaleurs ou de restriction en eau ?

84 réponses



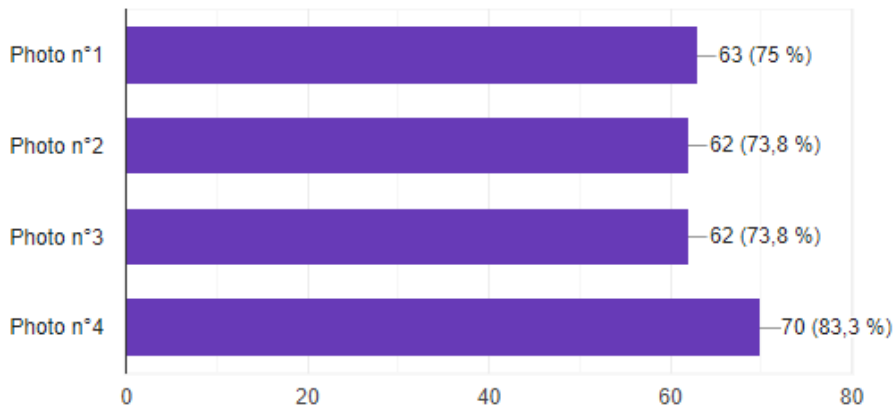
13- Comprendriez-vous que l'aspect esthétique du gazon soit moins bon si cela permettait de réduire la consommation en eau ?

84 réponses



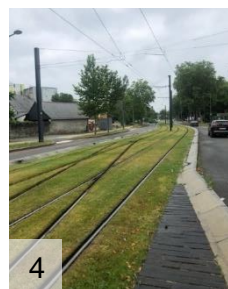
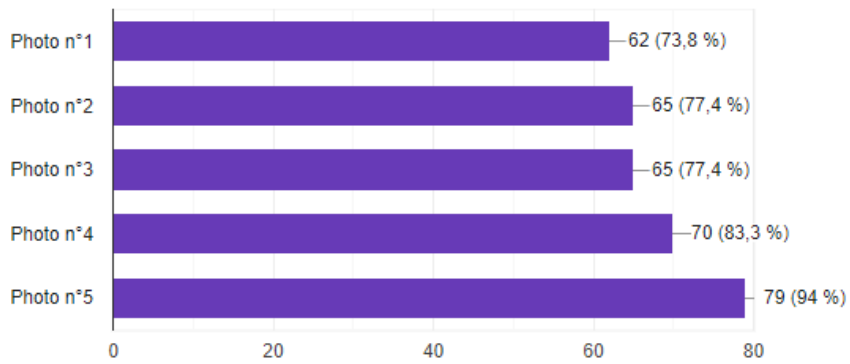
Si oui, jusqu'à quel niveau trouveriez vous cela acceptable ?


84 réponses



14- En période de canicule et de restriction en eau, tolérez-vous ces différents aspects du gazon ?

84 réponses



	Diplôme : <b>Ingénieur de l'Ecole nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage</b> Spécialité : <b>Paysage</b> Spécialisation / option : <b>Paysage : Opérationnalité et Projet</b> Enseignant référent : <b>Pierre-Emmanuel BOURNET</b>
Auteur(s) : <b>Natacha ORAND</b>  Date de naissance* : <b>21/06/1998</b>	Organisme d'accueil : <b>Terideal-Sirev</b> Adresse : <b>13 rue de la Saillerie</b> <b>49124, Saint-Barthélemy-d'Anjou</b>
Nb pages : <b>44</b> Annexe(s) : <b>9</b>	Maître de stage : <b>David HERAU</b>
Année de soutenance : <b>2021</b>	
Titre français : Dans quelles mesures pouvons-nous assurer la qualité esthétique du gazon des voies de tramway avec une gestion raisonnée de l'arrosage, tout en intégrant les contraintes techniques et enjeux politiques et sociaux ?  Titre anglais : To what extent can we ensure the aesthetic quality of the grass of the tramway tracks with a reasoned management of watering, while integrating the technical constraints and political and social issues?	
Résumé (1600 caractères maximum) :  Présent dans une trentaine de ville en France, le tramway est aujourd'hui un mode de transport populaire s'inscrivant dans un réel aménagement urbain du fait de sa végétalisation. L'engazonnement des plateformes de tramway nécessite un arrosage régulier pour répondre à des contraintes d'aspect esthétique, techniques, politiques et sociales soulevant alors la question de la consommation en eau. Ce à quoi ce mémoire tente de répondre. Pour cela, la ligne A du tramway d'Angers a servi d'exemple. Une analyse de la ligne pour en comprendre ses problématiques et contraintes, puis un inventaire de tous les moyens permettant d'influencer sa consommation en eau ont d'abord été effectués. Ensuite, trois leviers d'action majeurs ont été identifiés et étudiés : la conduite de l'arrosage, les aspects politiques et les aspects sociaux. La mise en place de sondes d'humidité et de température ont permis de connaître les caractéristiques du sol pour effectuer un arrosage qui semble plus précis et moins consommateur en eau. La technique du syringe a également pu être testée et a montré des résultats différents de ceux attendus. Concernant les aspects politiques et sociaux, des questionnaires ont été renseignés mettant en avant un écart entre les attentes politiques et sociétales. Pour tous ces leviers, des études plus approfondies sont nécessaires pour obtenir des résultats plus représentatifs.	
Abstract (1600 caractères maximum):  Established in some thirty cities in France, the tramway is today a popular means of transport that is part of a real urban planning due to its revegetation. The grassing of tramway platforms requires regular watering to meet aesthetic aspect, technical, political, and social constraints, which raises the issue of water consumption. This paper attempts to answer this issue. For this, the line A of the Angers' tramway system was used as an example. First, an analysis of the line itself to understand its problems and constraints, and an inventory of all the way influencing its water consumption were made. Then, three major levers of action were identified and studied: watering management, political and social aspects. The installation of moisture and temperature sensors made it possible to know the characteristics of the soil in order to carry out watering that seemed more precise and less water consuming. Syringe was also tested, and results were different from those expected. Concerning the political and social aspects, questionnaires were set up showing a gap between political and societal expectations. For all these levers, further studies are needed to obtain more representative results.	
Mots-clés : Tramway, arrosage, gestion de l'eau, sonde d'humidité du sol, sonde de température du sol, syringe  Key Words: Tramway, watering, water resource management, soil moisture sensor, soil temperature sensor, syringe	