

Le Projet MARTEAU

Conseil scientifique

Emma BOISSIERE – 23/09/2024

Chef de projets

Institut de la Filtration et des Techniques Séparatives

Rue Marcel Pagnol, 47510 FOULAYRONNES

Tel. 05 35 37 03 93 – www.ifts-sls.com

Le Projet MARTEAU

Mobilisation Alternative de Ressources Territoriales en EAux Urbaine

Objectif : Rafraîchir l'air urbain grâce aux plantes qui sont irriguées par de l'eau usée traitée

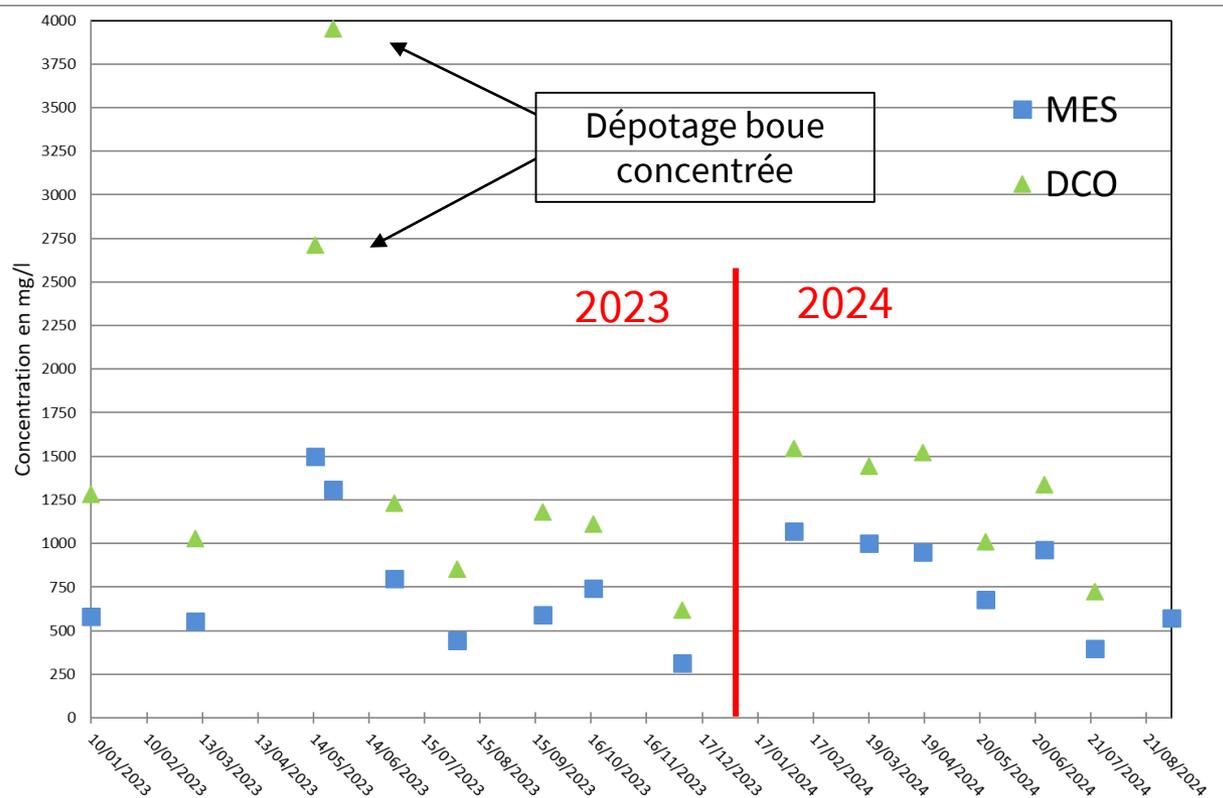
Caractéristiques de la toiture et Instrumentation

- 2 parcelles
 - zone 1 = 10 cm de substrat, 53 m²
 - zone 2 = 20 cm de substrat, 146 m²
- Irrigation
 - Goutte-à-goutte enterré piloté par une supervision
- Station météorologique
 - Pluviométrie, hygrométrie air, température air/sol, direction du vent, vitesse du vent, ensoleillement
- Sondes au niveau du sol
 - 1 sonde d'hygrométrie/température/salinité par parcelle composée de 3 mesures sur la hauteur (sonde mise en biais)
- Sondes autour des parcelles
 - 8 sondes de température réparties spatialement
 - 2*3 sondes réparties verticalement (à partir de 2023)
- Suivi avec Agralis



La ressource en eau : L'eau usée STEP ROUQUET

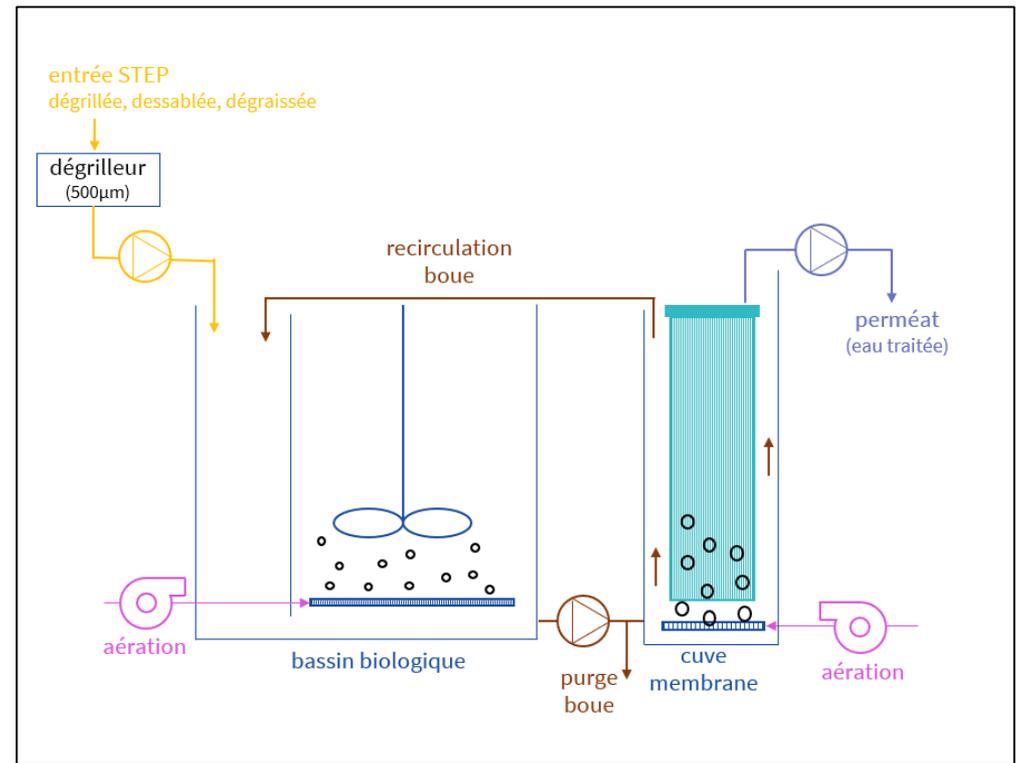
- Données de la qualité de l'eau en entrée de pilote Sebico et Polymem



Concentration moyenne 2023
(hors pics)
 $[DCO]_{\text{moy}} = 1115 \text{ mg/L}$
 $[MES]_{\text{moy}} = 574 \text{ mg/L}$

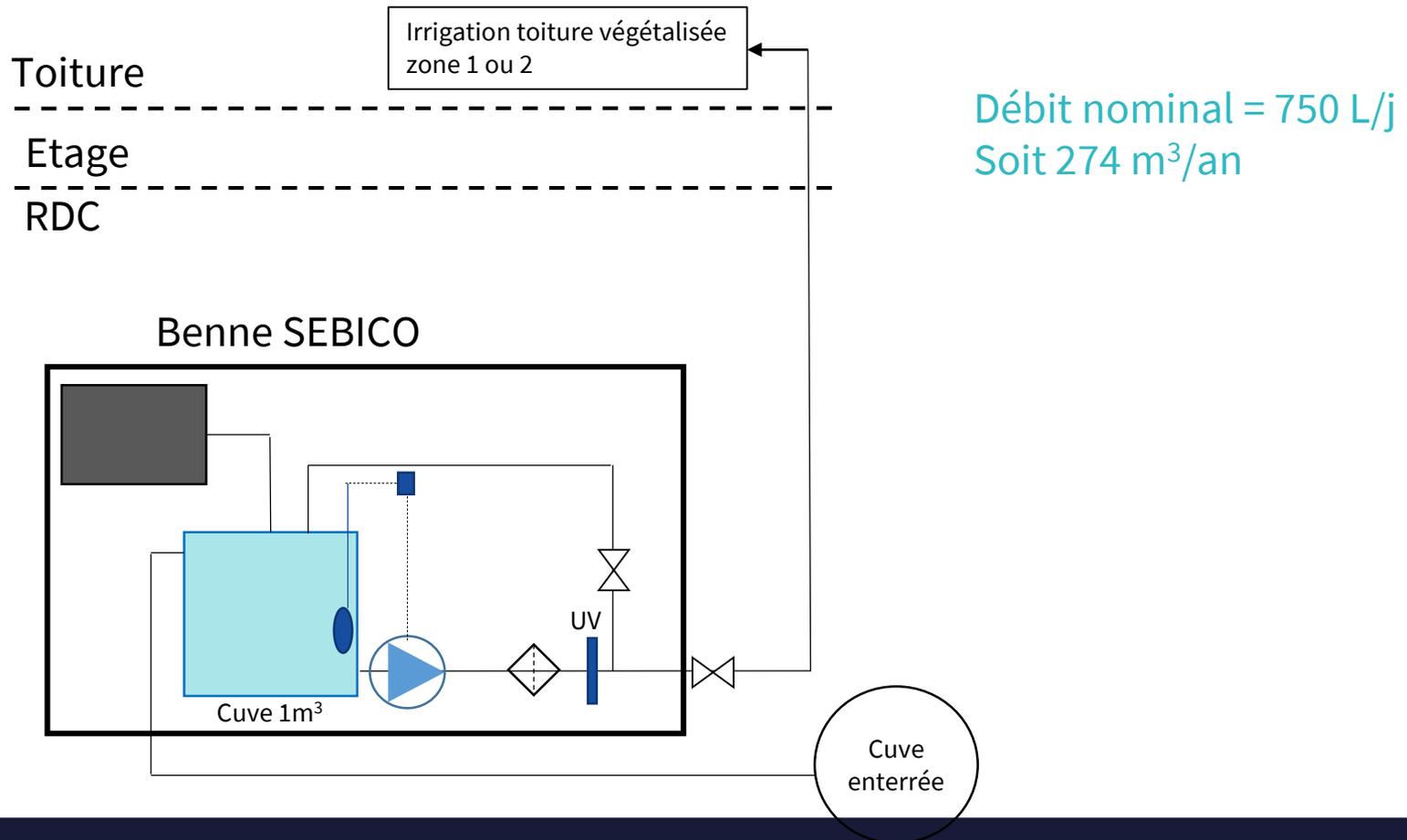
Pilotes utilisés pour l'irrigation

- Pilote POLYMEM : Bio réacteur à membrane immergé cuve externe, fibre creuse Néophil, taille pore 15 nm



Pilotes utilisés pour l'irrigation

- Pilote SEBICO : traitement par assainissement non collectif avec désinfection UV



Règlementation

Paramètres	Arrêté du 25 juin 2014		Arrêté du 14 Décembre 2023	
	A	B	A	B
MES (mg/L)	< 15		≤ 10	≤ 35
DCO (mg/L)	< 60			
DBO ₅ (mg/L)			≤ 10	≤ 25
E. Coli	≤ 250 UFC/100mL	≤ 10 000 UFC/100mL	≤ 10 UFC/100mL ≥ 5 log	≤ 100 UFC/100mL ≥ 3 log
Turbidité (NTU)			≤ 5	
Entérocoques fécaux (abatt. log)	≥ 4	≥ 3		
Phages ARN F-spécifiques (abatt. log)	≥ 4	≥ 3		
Spoires bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abatt. log)	≥ 4	≥ 3		
Coliphages (Phages ARN F-spécifiques ou phages somatiques)			≤ 10 UFC/100mL ≥ 6 log	≤ 100 UFC/100mL ≥ 3 log
Clostridium perfringens ou SBSR			≤ 10 UFC/100mL ≥ 4 log (Clostridium perfringens) ≥ 5 log (SBSR)	≤ 100 UFC/100mL ≥ 3 log

Réglementation française :

- Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts
- Arrêté du 14 Décembre 2024 relatif aux conditions de production et d'utilisation des eaux traitées pour l'arrosage d'espaces verts

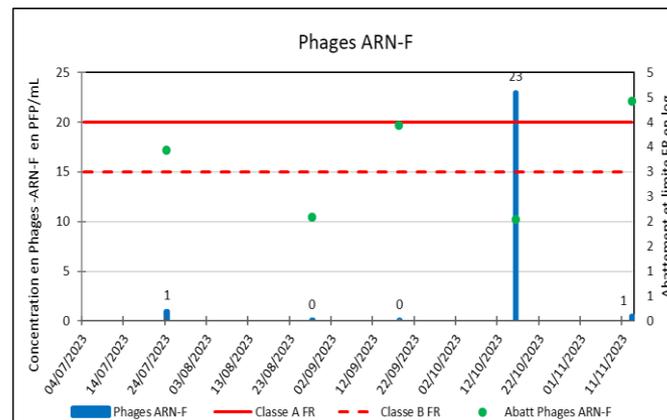
L'eau usée traitée : pilote SEBICO (ANC+UV)

- Physico-chimie

- [MES] et [DCO] < limites françaises de la classe A et B à l'exception d'une valeur pour la DCO

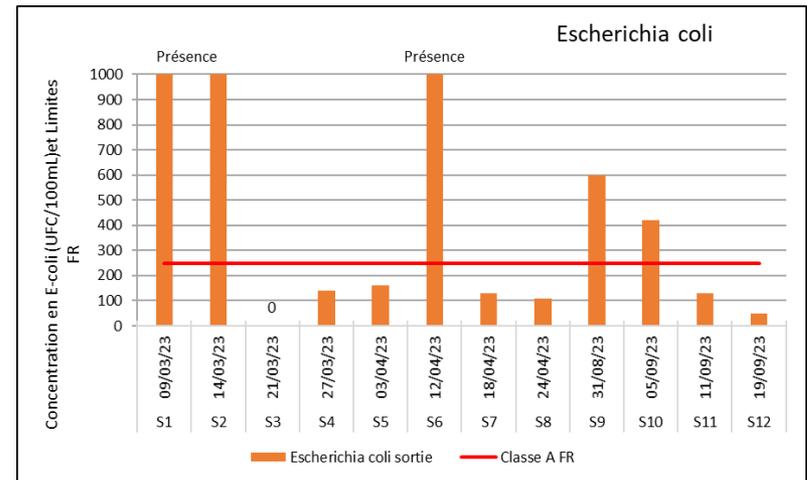
- Bactériologie

- E-coli → conforme selon classe A et B sauf contamination (incident polymère STEP)
- Entérocoques → conforme selon classe B, conformité variable selon classe A
- SBSR → non conforme selon classe A et B
- Phages ARN-F → peu en entrée → faible abattement → conformité variable



L'eau usée traitée : pilote Polymem (BRM)

- Physico-chimie
 - [MES] et [DCO] < limites françaises de la classe A et B
- Bactériologie
 - E-coli → contamination
 - Entérocoques , SBSR → conforme selon classe A et B
 - Phages ARN-F → peu en entrée → faible abattement → conformité variable classe B, classe A non conforme



Effet de l'eau sur la qualité du sol

- Analyses chimiques sur l'eau traitée du pilote Polymem (pour zone 2)

Paramètres	05/09/2023
Conductivité (µS/cm)	1076
Sodium Na ⁺ (mg/L)	72,5
Chlorure Cl ⁻ (mg/L)	110
Sulfate SO ₄ ²⁻ (mg/L)	40,7
Calcium Ca ²⁺ (mg/L)	53,6
Potassium K ⁺ (mg/L)	17,6
Magnésium Mg ²⁺ (mg/L)	6,43



Salinisation des sols à surveiller
Analyses des sols à faire pour voir l'évolution des concentrations
Lessivage des sols ?

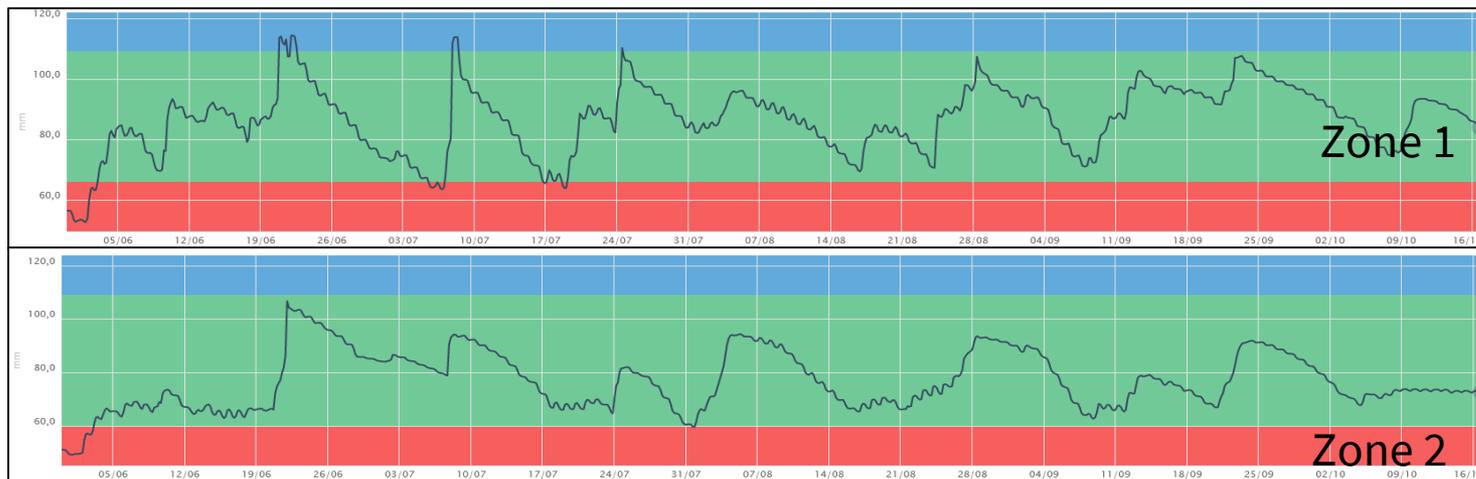
- Impact sur le sol : analyse du substrat 2023/2024

Paramètres	unité	Zone 1		zone 2	
		31/10/2023	06/06/2024	31/10/2023	06/06/2024
Azote nitrique	mg/L d'extrait	0,29	0,37	0,73	0,09
Phosphore		1,79	1,32	3,88	1,59
Sulfates		9,7	9,6	14,3	5,9
Chlorures		38,9	6,1	19,1	< 6
Azote ammoniacal		1,94	1,26	0,96	1,58
Potassium		21,6	7,4	30	12,9
Magnésium		4,7	4,5	4,7	5,9
Calcium		18,5	19,6	18,4	24,7
Sodium		27,18	6,66	18,57	5,91

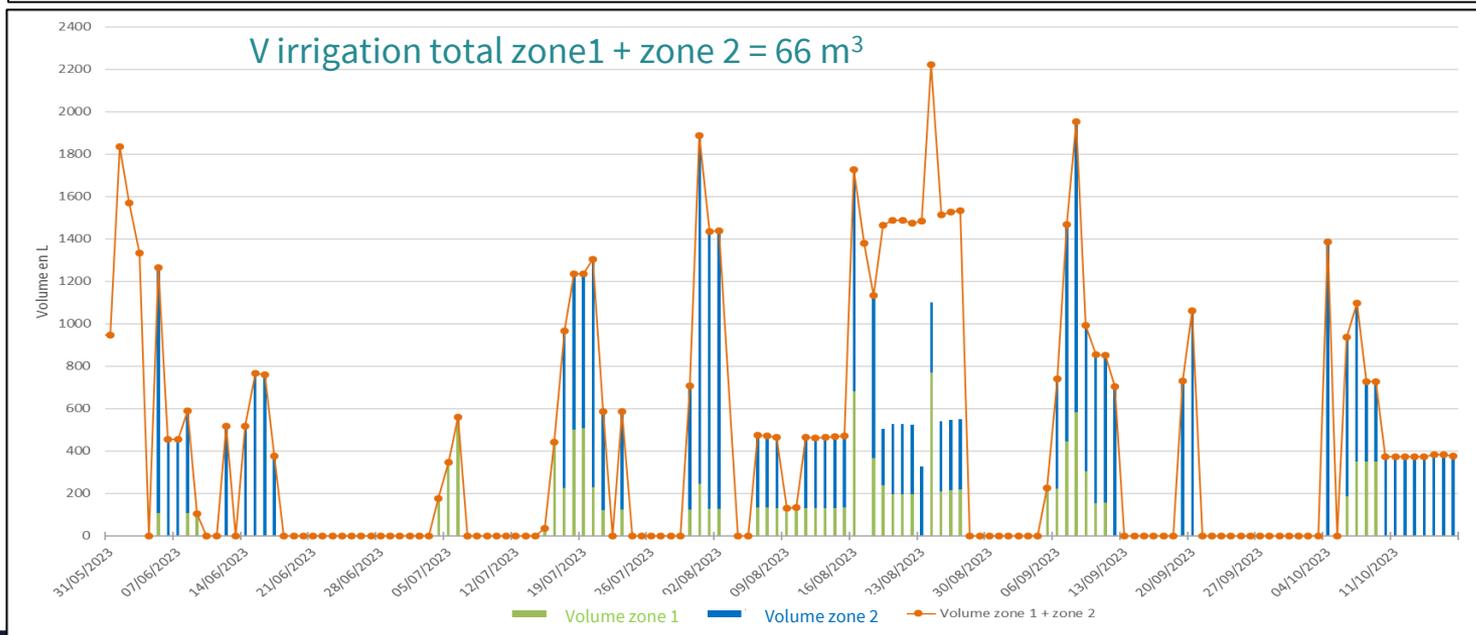


Lessivage des sols pendant la période hivernale → bénéfique

L'irrigation



- Conditions
 - Du 31 Mai au 17 Octobre
 - La nuit uniquement entre 23h et 7h
 - 1 à 3 arrosages de 5 à 30 minutes
 - Zone 1 : eau Sebico + eau Garonne
 - Zone 2 : eau Polymem + eau Garonne



2023

Entre le 01/07 et 31/08
quantité d'eau
moyenne sur les jours
irrigués = 969 L/jour

Le végétal



31/05/2023



27/07/2023



29/08/2022

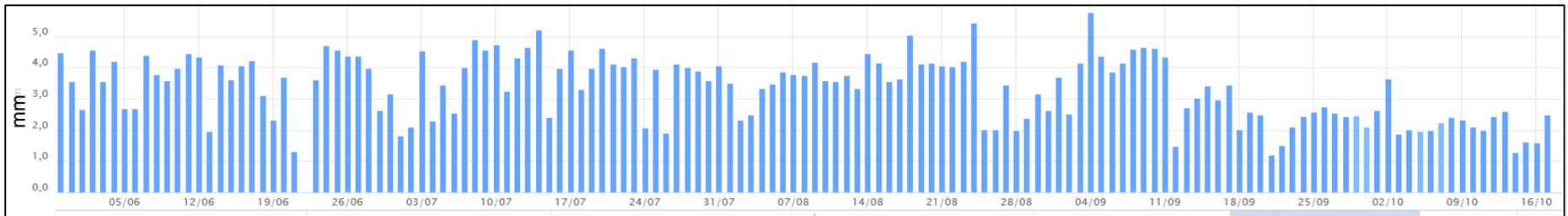
Relevé botanique → diversité élevé,
13 espèces différentes



23/11/2023

L'évapotranspiration potentielle

- ETP = évaporation des sols + transpiration de la plante
 - C'est donc la quantité d'eau qu'il faut apporter par jour au plantes
 - Dans les calculs, c'est l'ETP du gazon qui est calculé (si culture différente, un coefficient est à appliquer)
 - Dépend des paramètres : rayonnement, température, humidité, vitesse du vent, ...



• ETP calculé au niveau de la toiture

Période	31/05 au 17/10	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	18 au 28/08
ETP moyen de la toiture L/m ² /j	3,33	3,62	3,72	3,53	3,10	1,69	3,68
Apport d'eau d'irrigation L/m ² /j	2,38	1,77	1,63	4,34	1,61	2,33	7,00
Apport d'eau d'irrigation + pluie L/m ² /j	3,80	4,89	3,06	5,03	2,79	2,38	7,98

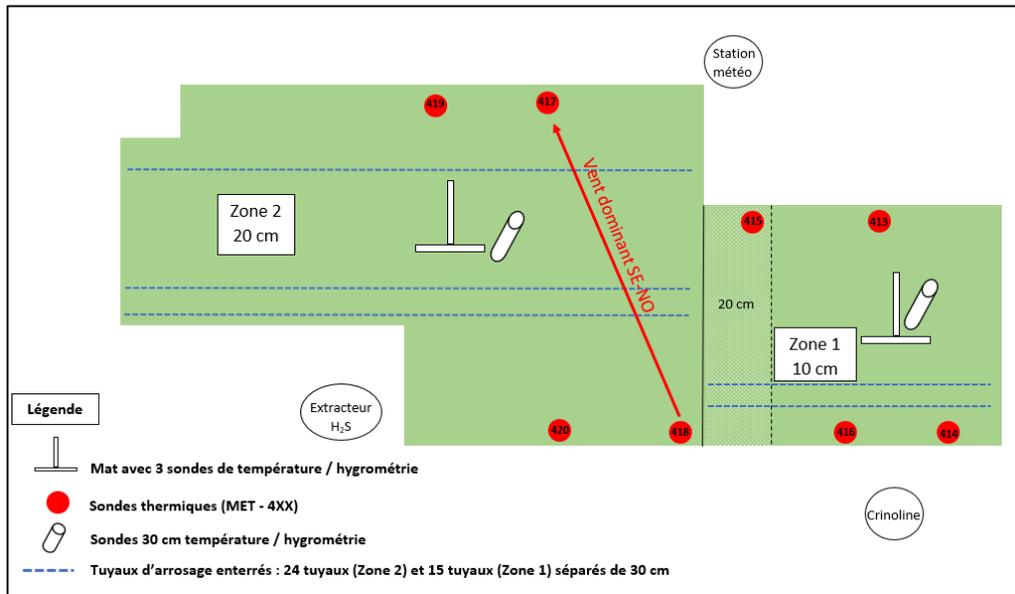
Beaucoup de pluie
Projet MARTEAU

Trop d'irrigation

Trop d'irrigation

Les capacités de rafraîchissement

- Améliorations pour les mesures réalisées en 2023
 - Réhausse des sondes de températures au sol de 20cm
 - Repositionnement de ces 8 sondes SE-NO
 - Ajout 2 mâts -> 3 sondes de température / hygrométrie (hauteur de 12, 122, 195 cm)



Les capacités de rafraîchissement : au ras du sol

- Exploitation des résultats des sondes au ras du sol
 - Vent dominant **SE-NO** : 110° - $290^{\circ} \pm 15\%$
 - Vent \geq **10 Km/h**
 - Valeurs de **jour** de 10h à 17h
 - $\Delta T^{\circ}\text{C} = T^{\circ}\text{C}$ (sonde sortie vent) – $T^{\circ}\text{C}$ (sonde entrée vent)

Période arrosage 04/06 (31/05) au 17/10	Delta T°C (413-414)	Delta T°C (415-416)	Delta T°C (417-418)	Delta T°C (419-420)
Minimum	-2,33	-2,10	-2,43	-2,23
Maximum	6,13	9,63	4,77	6,27
Moyenne	0,67	0,33	0,41	0,94

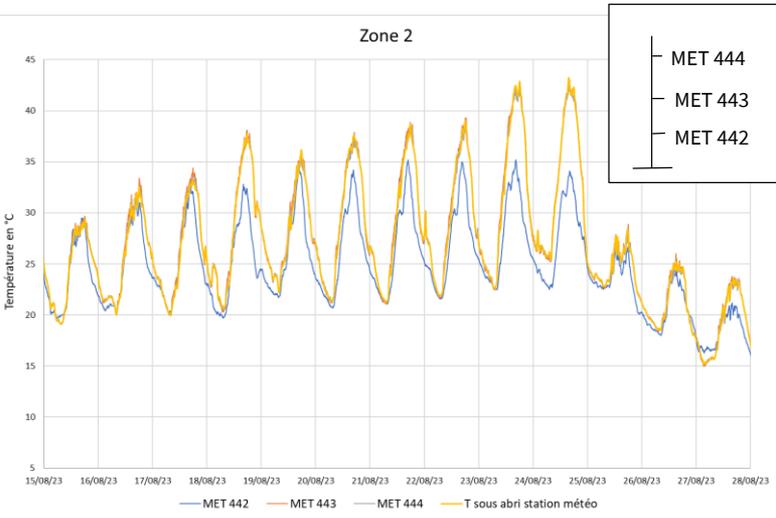
➡ Pas d'écart négatif entre les sondes sur la moyenne comme attendu

- Comparaison avec d'autres supports
 - Exploitation difficile

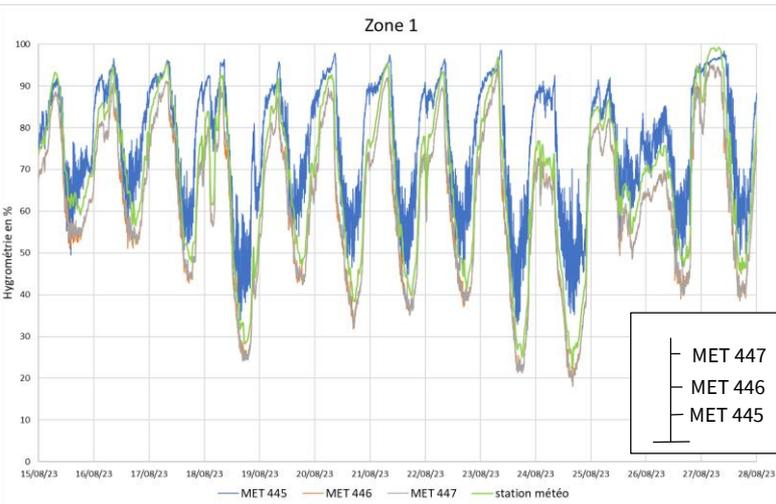
➡ Améliorations prévues pour 2024

- Zone témoin non arrosée
- Modification du placement des sondes

Les capacités de rafraichissement : gradient vertical de température et d'hygrométrie



➡ T air ambiant plus élevée qu'au sol

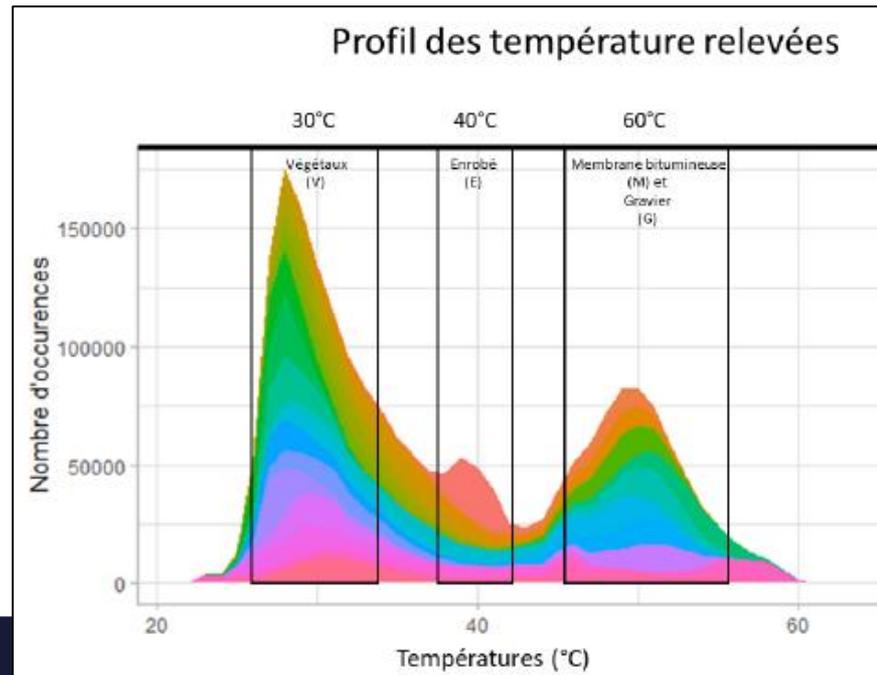


➡ Hygrométrie air ambiant plus faible qu'au sol

➡ Zone 2 saturation de l'hygrométrie → différence épaisseur substrat, plus d'irrigation, hauteur végétation différente

Température de surface : Caméra thermique (27/06/2023)

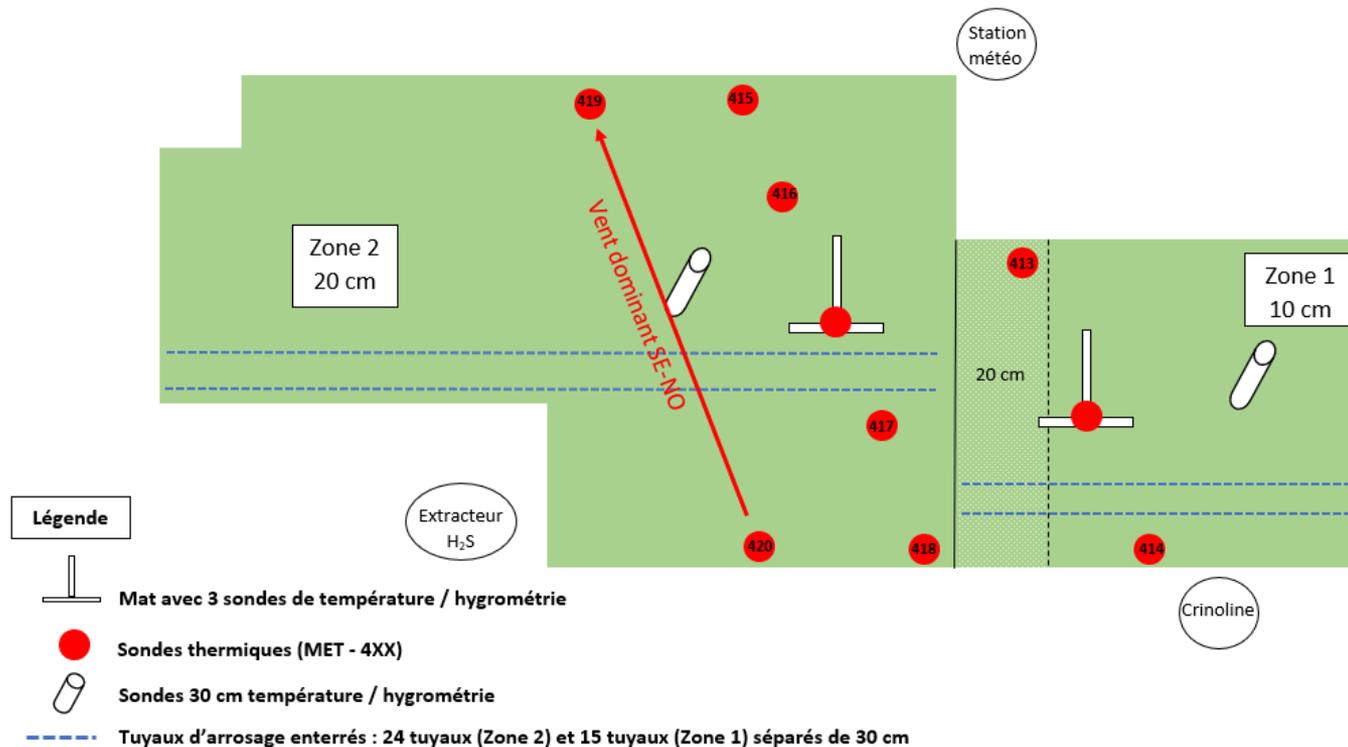
- Température végétaux de la toiture similaire végétaux du sol moyenne = 27 °C
- Pas de \neq notable entre 10 cm et 20 cm d'épaisseur
- Température gravier sur la toiture similaire parking
- Membrane bitumineuse particulièrement chaude
- Les résultats obtenus confirment l'intérêt de la végétalisation pour rafraichir



Perspectives 2024

- Instrumentation

- Modification de la répartition des sondes en 2024
- Modification hauteur des sondes sur les mâts = 8, 43, 73 cm



- Le végétal : zone témoin



18/04/24



28/05/2024



12/06/2024



30/07/2024



02/09/2024

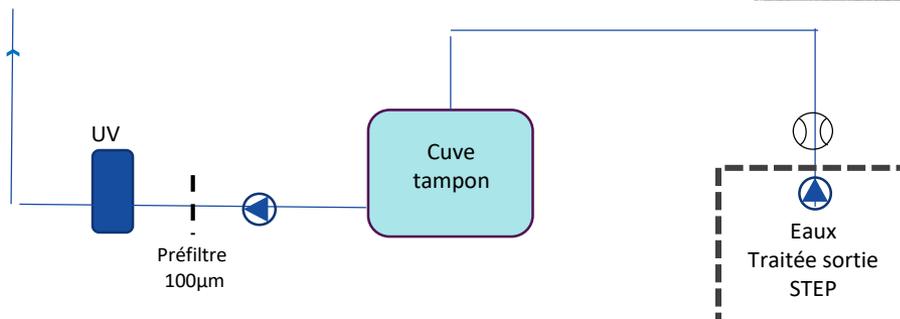


Les eaux usées traitées

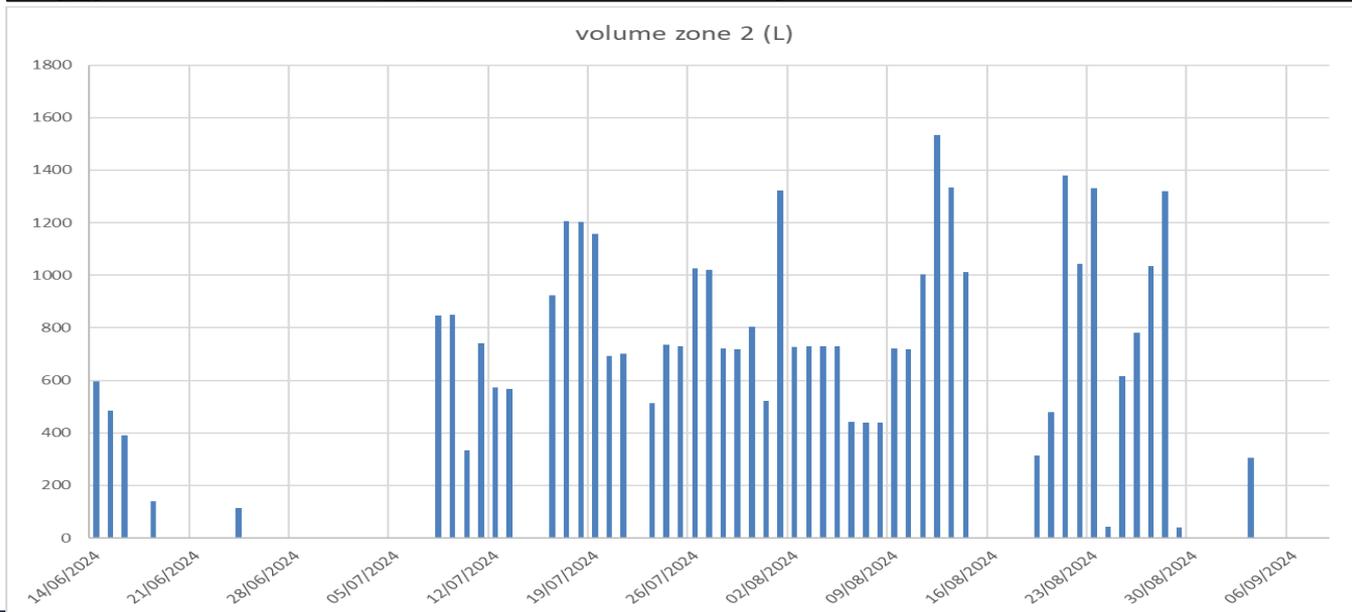
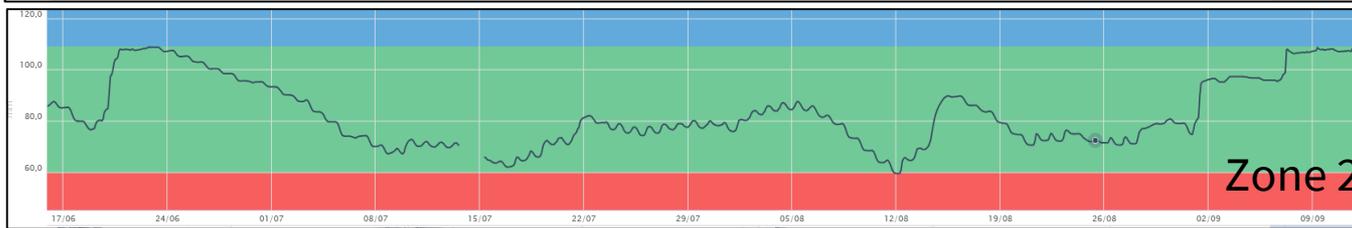
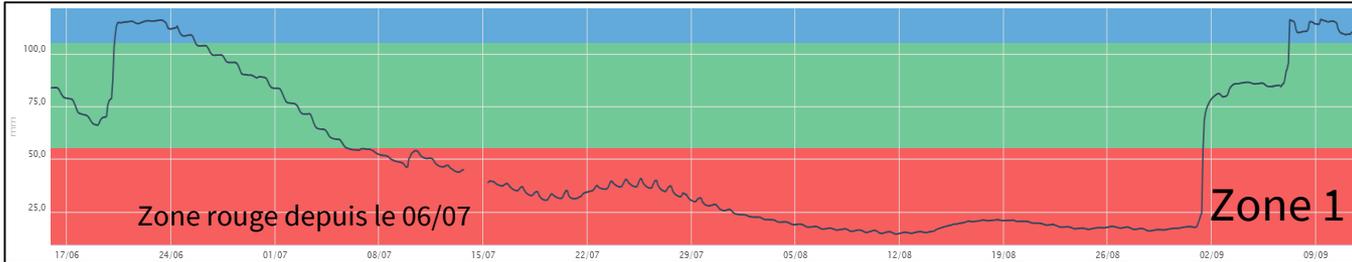
- L'UV



Alimentation toiture
végétalisée



L'irrigation 2024



• Conditions :

- Zone 1 : pas d'irrigation (témoin)
- Zone 2 : eau Sebico + eau sortie STEP avec UV

2024

Entre le 14/06 au 03/09 quantité d'eau moyenne sur les jours irrigués = 748 L/jour

V irrigation total = 38,8 m³

Merci pour votre attention!