

# Projet Life Adsorb

## Note sur l'analyse du fonctionnement du filtre

Payet, Cédric; Ramier, David et Branchu, Philippe

June 3, 2022



# 1 Introduction

L'objectif de cette note est d'appréhender le fonctionnement hydraulique réel du filtre, d'observer les éventuelles différences par rapport au fonctionnement théorique des ouvrages, d'identifier les éventuels dysfonctionnements et de proposer des corrections/optimisations afin de se rapprocher du fonctionnement attendu.

Le système étudié est décomposé en trois ouvrages :

- le réseau amont P115 (1);
- le déversoir d'orage (DO) Bugeaud et la station de pompage (2);
- le filtre planté (3).

La figure suivante précise la localisation de ces ouvrages.



**Figure 1:** *localisation des trois ouvrages du système étudié.*

Pour rappel, les eaux de ruissellement du boulevard périphérique sont récupérées par le réseau d'eaux pluviales de la Ville de Paris. Elles transitent par l'ouvrage P115 (ouvrage n°1), puis sont stockées à la station de pompage Bugeaud (ouvrage n°2). Elles sont ensuite pompées vers le filtre planté (ouvrage n°3) afin d'être traitées avant rejet dans la mare Saint-James.

Les données de suivi du filtre sont disponibles depuis le 01 mai 2021. Celles-ci sont télétransmises automatiquement à la supervision de la Ville de Paris puis récupérées mensuellement à la Ville de Paris par le Cerema et font l'objet d'un pré-traitement avant d'être analysées.

L'analyse des données ci-dessous a été réalisée dans un premier temps :

- pluviométrie;
- niveau d'eau stocké dans la bache de pompage;
- volume d'eau total pompé vers le filtre.

L'analyse du débit au P115 et de la répartition des volumes d'eaux pompés vers chaque compartiment et les volumes vidangés par chacun des compartiments se fera dans un second temps.

## 2 Rappel du fonctionnement de la station de pompage

La bache est équipée de trois pompes :

- une pompe P1 dédiée à la vidange de la bache vers le compartiment F1;
- une pompe P2 dédiée à la vidange de la bache vers le compartiment F2;
- une pompe P3 utilisée en complément des pompes P1 ou P2 afin de saturer respectivement les compartiments F1 et F2 ou en remplacement respectivement de P1 ou P2 en cas de panne.

Par temps sec, la bache de pompage se remplit avec les eaux claires parasites puis se vidange par l'intermédiaire de la pompe (P1 ou P2) vers le compartiment prioritaire lorsque le seuil « maxi bache temps sec » correspondant à un volume d'environ 60 m<sup>3</sup> d'eau est stocké.

Par temps de pluie, la bache se remplit essentiellement avec les eaux de ruissellement jusqu'au seuil « stockage bache pluie normale » correspondant à un volume de 300 m<sup>3</sup> puis se vidange par l'intermédiaire des pompes (P1 ou P2) et P3 afin de saturer le filtre prioritaire. La pompe (P1 ou P2) assure par la suite le flaquage de ce compartiment prioritaire jusqu'à la vidange complète du filtre. En cas d'évènement pluvieux important, la bache continue de se remplir jusqu'au seuil « activation second filtre » correspondant à un volume de 1000 m<sup>3</sup> puis se vidange par l'intermédiaire de la pompe (P1 ou P2) et P3 si celle-ci n'est pas utilisée pour la vidange vers le compartiment prioritaire, afin de saturer le second compartiment. La pompe (P1 ou P2) assure par la suite le flaquage de ce second compartiment jusqu'à la vidange complète du filtre.

Le passage du mode temps sec au mode temps de pluie est basé sur deux temporisations :

- une temporisation « temps sec » qui permet de déclencher le mode temps de pluie si la durée de remplissage jusqu'au seuil « maxi temps sec » est inférieure à cette temporisation;
- une temporisation « vidange bache temps sec » qui permet de déclencher le mode temps de pluie si la durée de vidange est supérieure à cette temporisation.

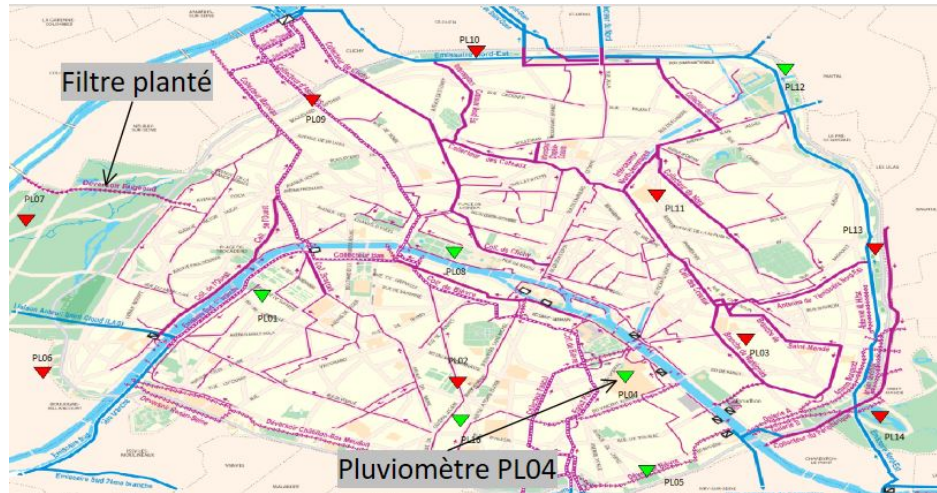
## 3 Synthèse du fonctionnement du filtre entre le 01 mai 2021 et le 29 mars 2022

Depuis la mise en service de la station de pompage :

- 184 111 m<sup>3</sup> ont été mesurés à P115 (données manquantes entre le 28-05-2021 08:11:00 et le 08-06-2021 00:58:00);
- 144 920 m<sup>3</sup> ont été pompés vers le filtre dont :
  - 72 425 m<sup>3</sup> vers le compartiment F1;
  - 72 495 m<sup>3</sup> vers le compartiment F2.

Le compartiment F1 a été sollicité pendant 157 jours et le compartiment F2 176 jours (les moments où les deux filtres ont fonctionné en même temps ne sont pas pris en compte).

À partir des données du pluviomètre PL04 (chronique la plus complète dans le réseau de pluviomètres de la ville de Paris), les évènements pluvieux ont été identifiés. La figure suivante précise la localisation du pluviomètre par rapport au filtre.

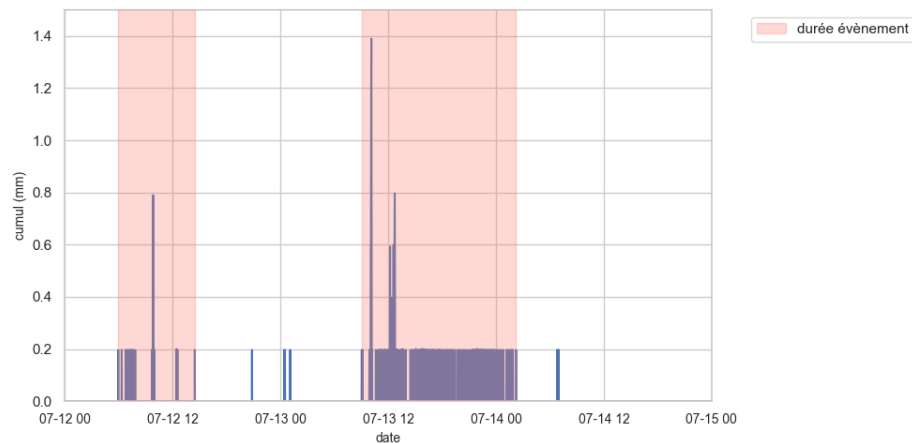


**Figure 2:** *localisation du pluviomètre PL04 par rapport au filtre planté.*

La méthodologie simplifiée d'identification d'un évènement pluvieux a été la suivante :

- une période de pluie commence dès qu'un basculement est enregistré;
- une période de pluie se termine lorsque qu'aucun basculement n'est enregistré pendant 150 minutes. La fin de la pluie correspond alors au dernier basculement avant cette période de 150 minutes.

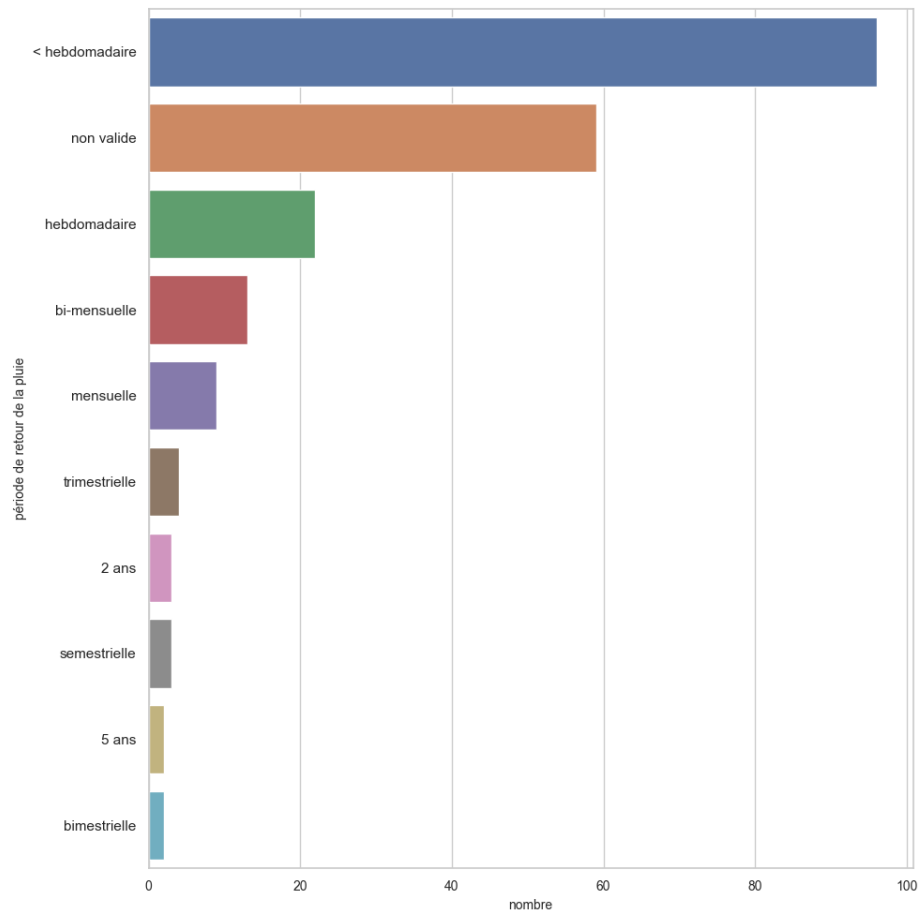
La figure suivante montre un exemple d'évènements pluvieux.



**Figure 3:** *identification des évènements de pluie.*

Le cumul total mesuré par le pluviomètre a été de 601 mm.

107 évènements supérieurs à 1 mm ont été enregistrés.



**Figure 4:** *distribution des périodes de retour des 107 évènements pluvieux.*

## 4 Analyse fonctionnelle

Afin de comprendre de quelle manière le filtre a été sollicité pendant ces premiers mois, de vérifier la pertinence des paramètres de fonctionnement du filtre (seuils de temps sec et de temps de pluie, durée des temporisations), les modes de temps sec et de temps pluie ont été analysés.



## 4.1 Analyse fonctionnement de temps sec

### 4.1.1 Fonctionnement théorique

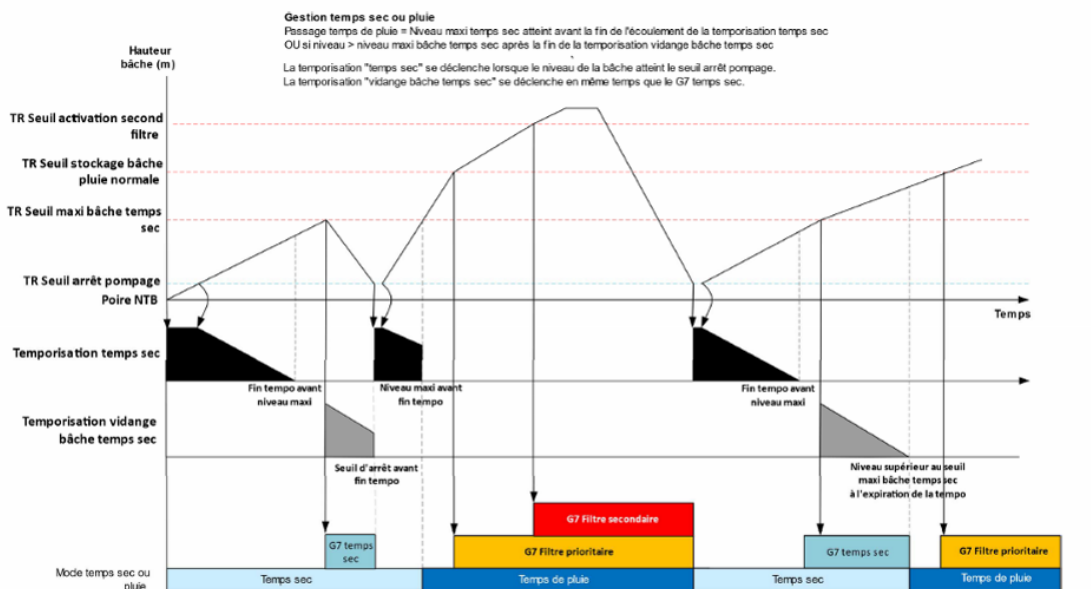


Figure 5: *fonctionnement théorique de la station par temps sec*

La figure ci-dessus décrit le fonctionnement théorique de la station de pompage (extrait de la note d'automatisme).

Pour rappel, l'eau arrivant du P115 est stockée dans la bache jusqu'au seuil « maxi bache temps sec » fixé à 28,60 mNGF. Quand ce niveau est atteint, la pompe se déclenche et vidange la bache jusqu'au seuil « arrêt de pompage » situé à 27,95 mNGF. Quand ce seuil est atteint, la pompe s'arrête et un nouveau cycle de remplissage / pompage est lancé. Il est à noter qu'au départ d'un nouveau cycle, une temporisation « temps sec » fixée à 150 minutes est déclenchée. Si le seuil 28,60 mNGF est atteint avant la fin de cette temporisation, le mode de fonctionnement passe en mode temps de pluie. Cela signifie que le débit dans le réseau a augmenté suite à un événement pluvieux (ou un apport d'eau autre dans le filtre). Dans le cas contraire, la pompe se met en route pour vidanger la bache. Lorsque le seuil 28,60 mNGF est atteint et que le mode temps sec est toujours actif, une autre temporisation « vidange bache temps sec » est déclenchée. Si la bache n'est pas vidangée à la fin de cette temporisation, le mode temps de pluie est activé.

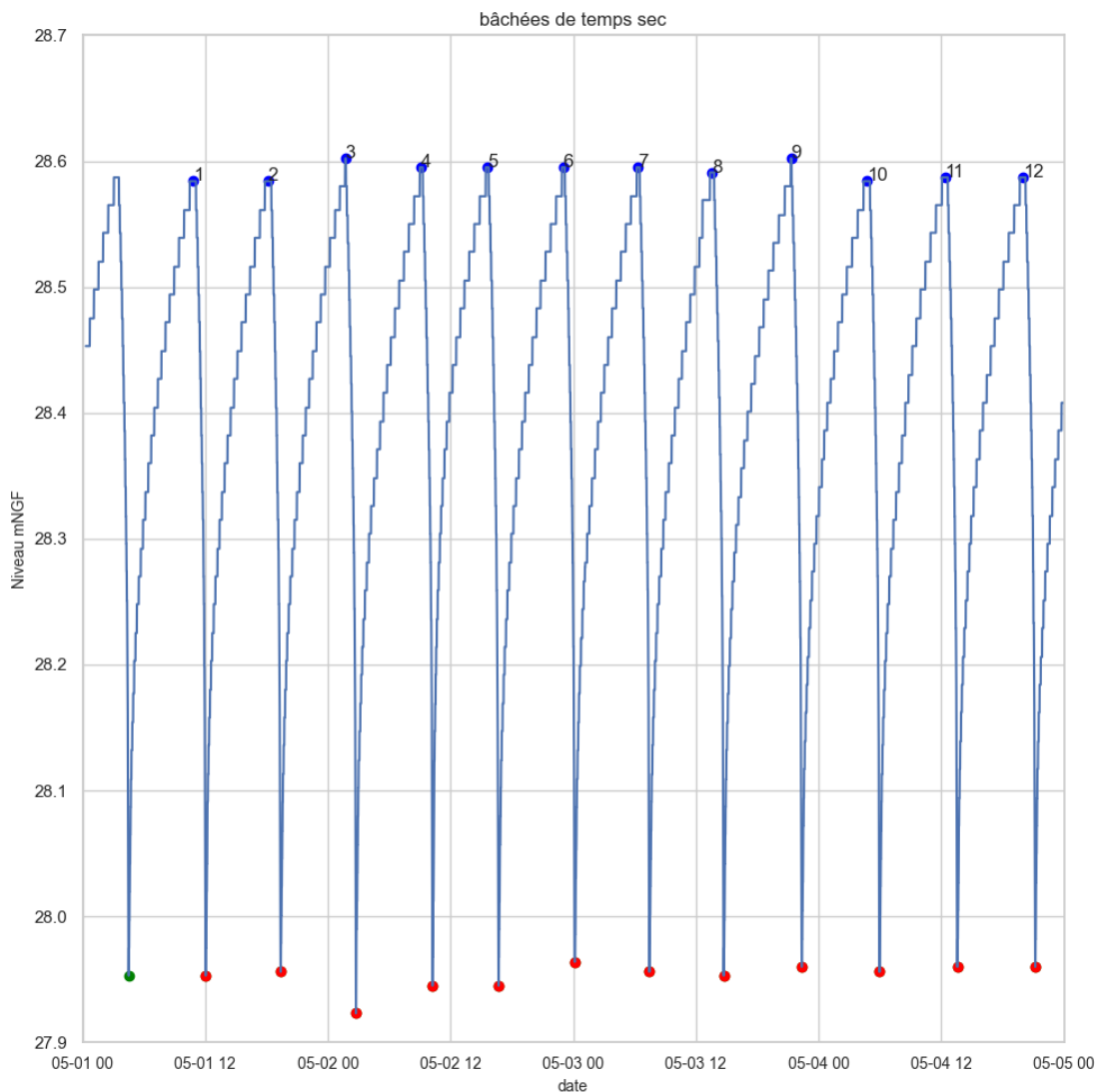
### 4.1.2 Observations réelles

Afin d'analyser le fonctionnement par temps sec, la première phase a été d'identifier les bachees de temps sec à partir des données de niveau dans la bache. À partir de la loi hauteur/volume, les

volumes stockés dans la bache ont été calculés.

Une bachee est identifiée par la date de début de remplissage (qui correspond également dans la plupart des cas à une fin de vidange), la date de fin de remplissage lorsque le niveau atteint 28,60 mNGF (qui correspond également au début de la vidange) et la fin de la vidange lorsque le niveau atteint 27,95 mNGF.

La figure suivante permet de visualiser les bachees de temps sec.



**Figure 6:** *identification des bachees de temps sec.*

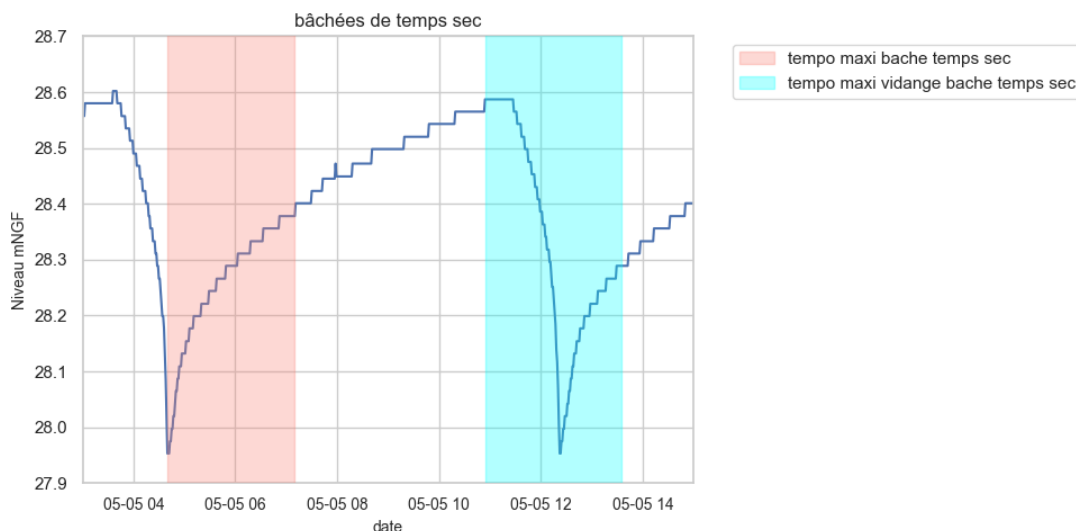
334 bachees de temps sec ont eu lieu pour le compartiment F1 et 420 pour le compartiment F2.

L'analyse des données des bâchées a montré deux périodes de fonctionnement.

Une première période constatée entre le 01/05/2021 et le 02/03/2022 où la temporisation « temps sec » semble très courte par rapport à la durée de remplissage de la bache et la temporisation « vidange bache temps sec » semble très longue par rapport à la durée de vidange.

L'exemple ci-dessous montre :

- une durée de remplissage de 373 minutes largement supérieure aux 150 minutes de la temporisation « temps sec » ;
- une durée de vidange de 88 minutes inférieure aux 160 minutes de la temporisation « vidange bache temps sec ».



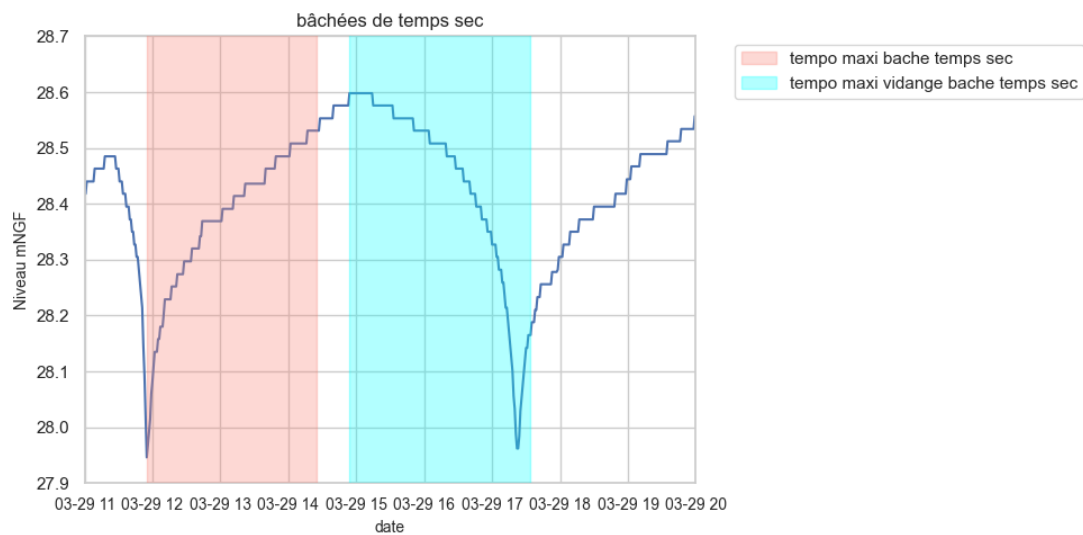
**Figure 7:** temporisations pour une bâchée de temps sec dans la période avant le 02 mars.

Une seconde période, à partir du 02 mars où le débit de temps sec a augmenté pour une raison non connue à ce jour. Les temporisations semblent mieux ajustées au fonctionnement par rapport au fonctionnement.

L'exemple ci-dessous montre :

- une durée de remplissage de 118 minutes plus proche des 150 minutes de la temporisation « temps sec » ;
- une durée de vidange de 149 minutes également proche des 160 minutes de la temporisation « vidange bache temps sec ».

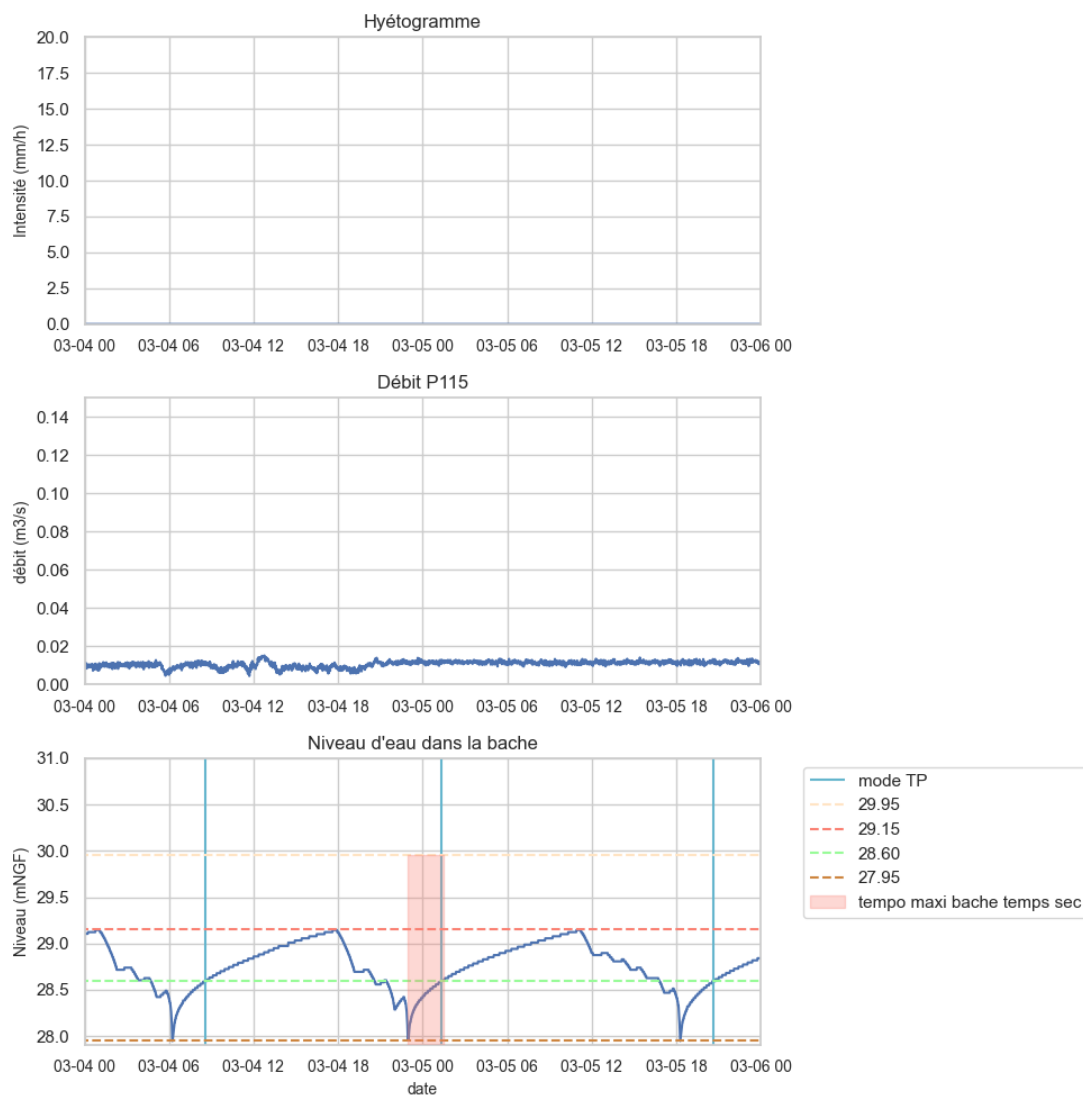




**Figure 8:** *temporisations pour une bâchée de temps sec dans la période après le 02 mars.*

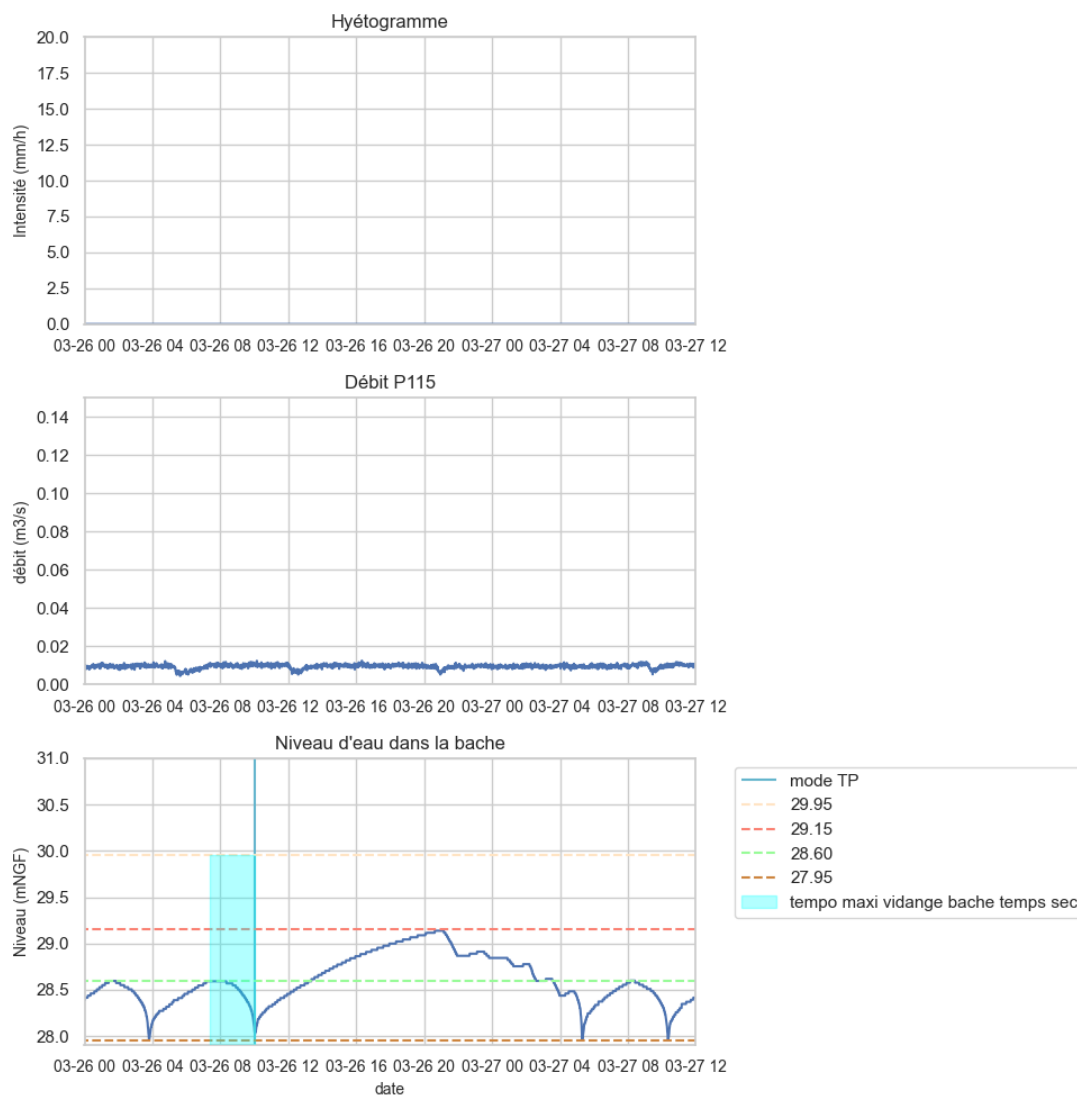
#### 4.1.3 Dysfonctionnements constatés

Cependant, à l'intérieur de ces deux périodes, des dysfonctionnements ont été relevés.



**Figure 9:** *exemple de dysfonctionnement lié à la temporisation « temps sec ».*

La figure ci-dessus montre une série de bâchées qui fonctionnent en mode temps de pluie en l'absence de pluie et de pic de débit à P115. Le pompage ne s'est pas lancé quand le niveau a atteint le seuil de 28,60 mNGF mais quand il a atteint le seuil de 29,15 mNGF car le mode temps de pluie s'est déclenché au franchissement de ce seuil. La raison est que l'augmentation du débit de temps sec a entraîné une durée de remplissage inférieure à la temporisation « temps sec ».



**Figure 10:** *exemple de dysfonctionnement lié à la temporisation « vidange bache temps sec » .*

Cette figure montre un passage en mode de temps pluie avant la fin de la vidange de la bâchée en l'absence de pluie et de débit à P115. La raison est que la durée de vidange a dépassé la durée de la temporisation « vidange bache temps sec » à cause de l'augmentation du débit de temps sec.

26 dysfonctionnements liés aux temporisations ont été relevés sur la période étudiée.

Les exemples décrit ci-avant montrent que le fonctionnement est sensible aux variations de débits de temps sec. Selon les situations, les durées de temporisations peuvent être adaptées ou au contraire entraînent des dysfonctionnements.

La valeur de la consigne **temporisation « temps sec »** est importante car si elle trop longue, le

temps de pluie peut être déclenché à cause d'une légère augmentation du débit ne correspondant pas forcément à un événement de pluie. La consigne **temporisation « vidange bache temps sec »** est également importante car si elle trop proche du temps de vidange de la bache, en cas de débit légèrement plus important dans le réseau, le temps de vidange de la bache dépassera cette temporisation et déclenchera le mode de temps de pluie en l'absence d'évènement pluvieux.

## 4.2 Analyse fonctionnement de temps de pluie

### 4.2.1 Fonctionnement théorique

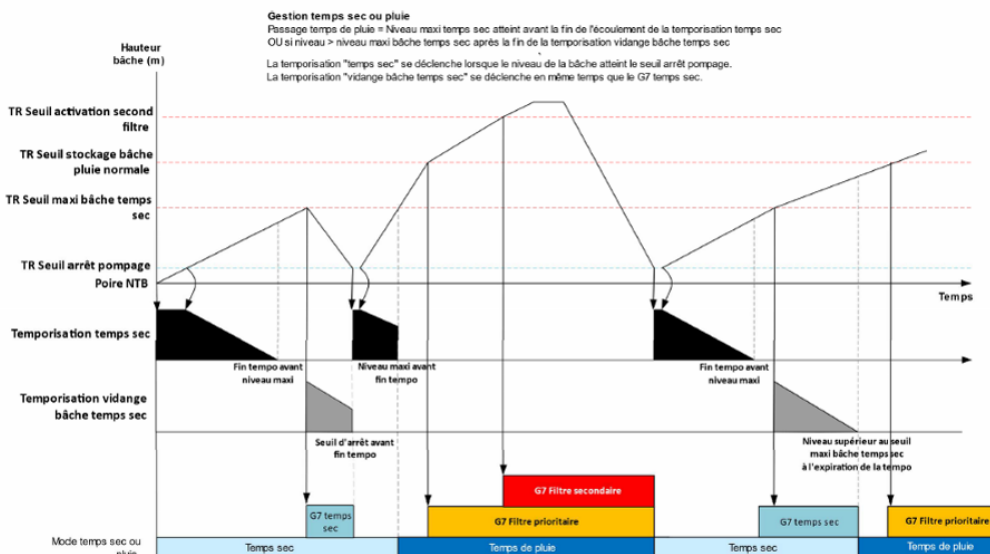


Figure 11: *fonctionnement théorique de la station par temps de pluie.*

La figure ci-dessus décrit le fonctionnement théorique de la station de pompage (extrait de la note d'automatisme).

Lors d'un évènement pluvieux, le fonctionnement passe du mode temps sec au mode de temps de pluie. Ce changement de mode intervient donc :

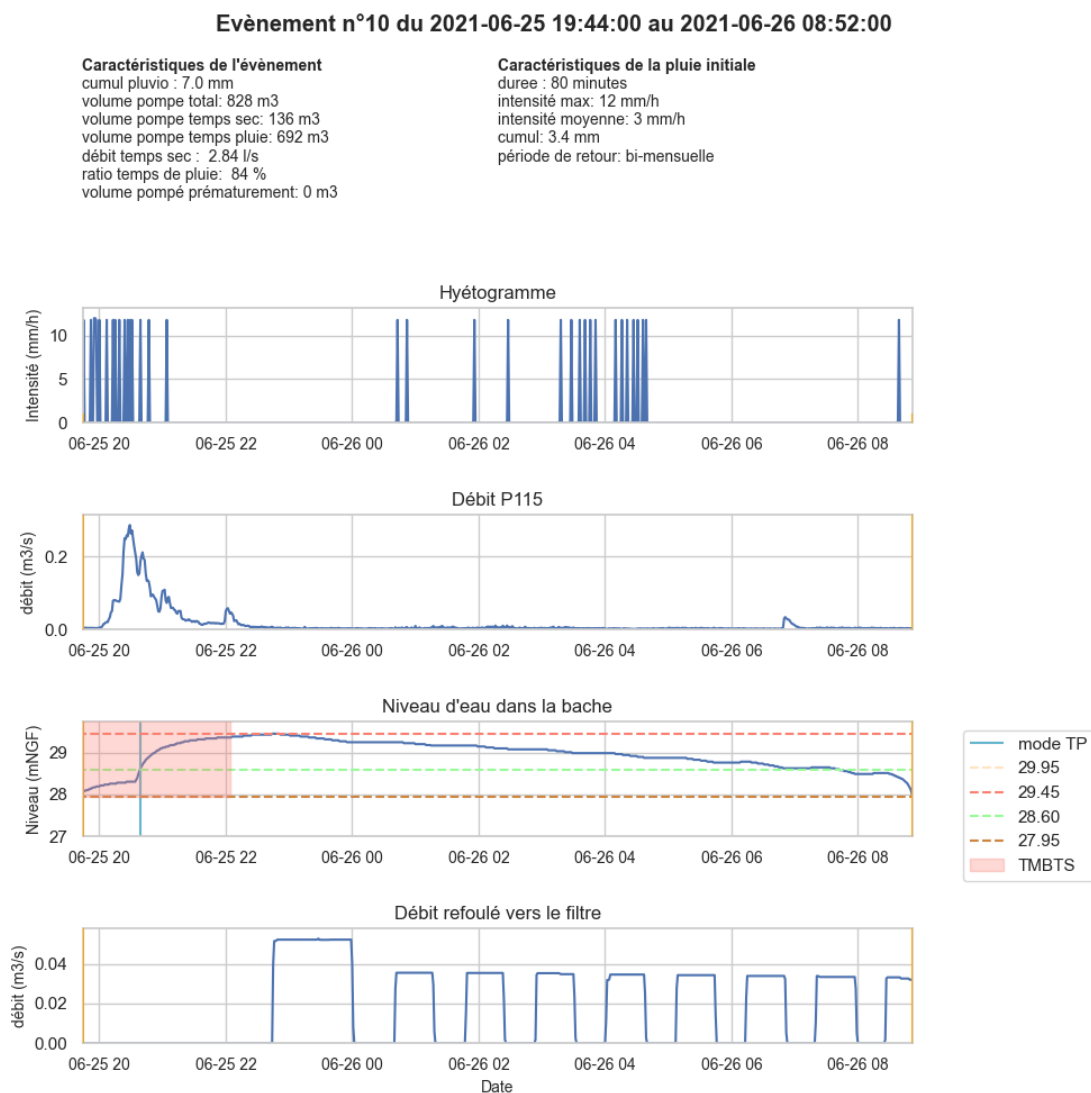
- si le seuil « maxi bache temps sec » 28,60mNGF est atteint avant la fin de la temporisation « temps sec » (soit 2h30 depuis le début de remplissage de la bache);
- si la bache n'est pas vidangée à la fin de la temporisation « vidange bache temps sec » (soit 2h40 après le début de vidange de la bache).

Les valeurs de ces durées de temporisation et le moment où intervient l'arrivée du débit généré par la pluie dans la bache et notamment sa position dans le cycle remplissage / vidange influence donc le fonctionnement du filtre.

## 4.2.2 Observations réelles

71 événements de pluie ont eu lieu depuis le début de l'étude.

L'exemple ci-dessous, montre le fonctionnement attendu du temps de pluie. Le débit de temps de pluie arrive lors d'un cycle de remplissage et le fonctionnement passe en mode temps de pluie quand le niveau atteint 28,60 mNGF et que la temporisation « bache temps sec » n'est pas terminée (remplissage jusqu'au seuil 28,60 mNGF en moins de 150 minutes). l'ensemble du volume de temps de pluie est stocké dans la bache et le pompage commence quand le niveau atteint le seuil « stockage bache pluie normale » fixé dans cet exemple à 29,45 mNGF.



**Figure 12:** *exemple mode normal.*

#### 4.2.2.1 Dysfonctionnements constatés

L'étude de ces évènements a montré que si la majorité des événements de temps de pluie se déclenche comme prévu, certains peuvent apparaître à des moments non attendus. Ces dysfonctionnements sont semblent-ils principalement dus à un mauvais ajustement des temporisations, « temps sec » et « vidange bache temps sec ». Le mode temps de pluie ne s'est pas déclenché au moment attendu (franchissement du seuil « maxi bache temps sec ») mais soit à la fin de la temporisation « vidange bache temps sec », soit au franchissement du seuil « stockage bache pluie normale ».

#### 4.2.3 Déclenchement du mode temps de pluie à la fin de la temporisation « vidange bache temps sec » (mode « dégradé tempo »)

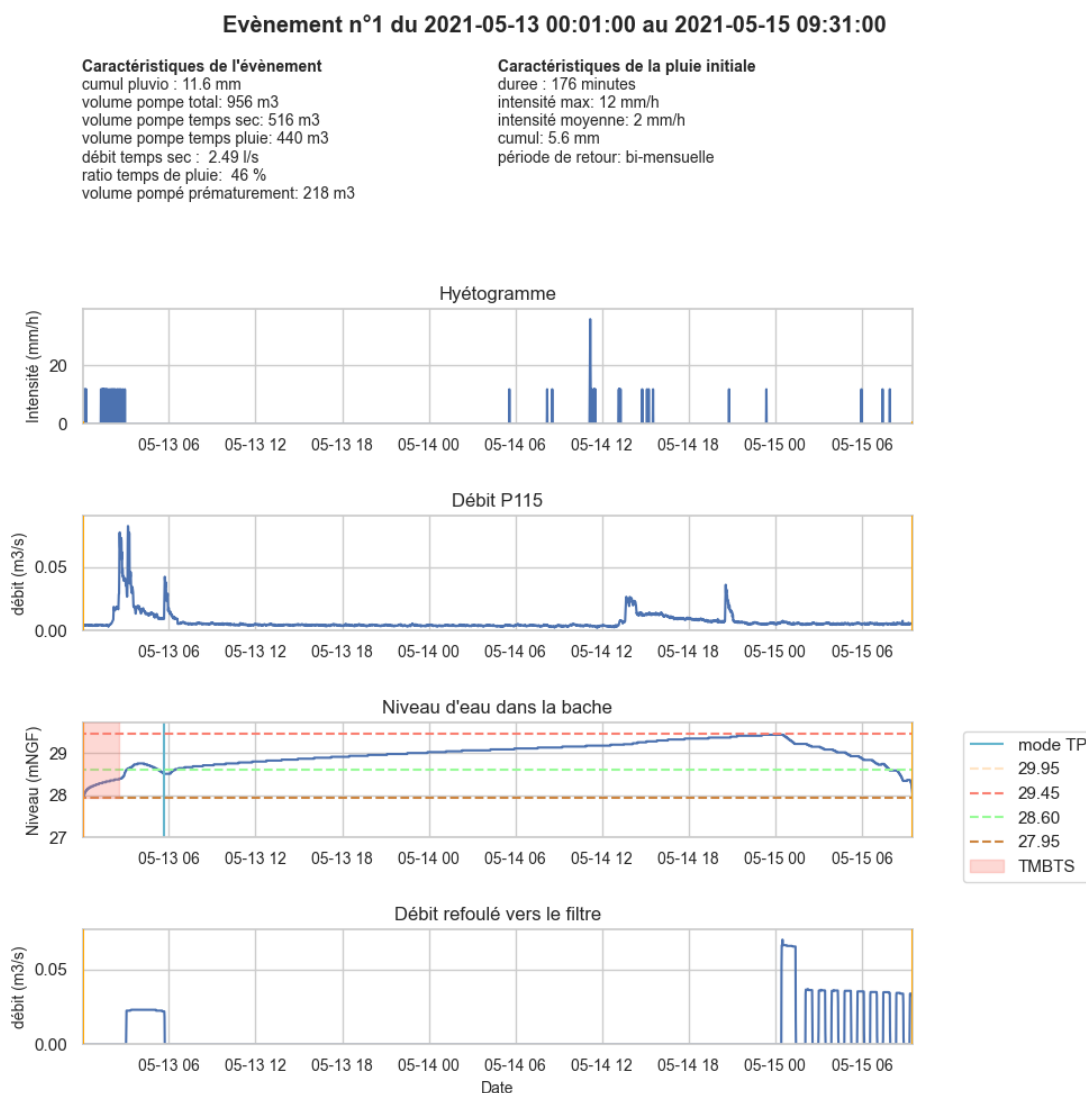


Figure 13: *exemple mode dégradé tempo.*

---

Ce type d'évènement s'est produit 10 fois depuis le début de l'étude.

Dans cette configuration, un événement pluvieux se produit alors que la bache a commencé à se remplir en mode temps sec. La vitesse de remplissage augmente bien sous l'effet de la pluie, cependant la temporisation « temps sec » est terminée, le temps de pluie ne se déclenche donc pas. La bache commence alors à se vider quand le seuil « maxi bache temps sec » est atteint et le temps pluie se déclenche alors car la vidange ne peut se faire avant la fin de la temporisation « vidange bache temps sec ». La vidange s'arrête alors et la bache recommence à se remplir jusqu'à atteindre 29,45 mNGF. La bache se vidange alors en saturant le filtre.

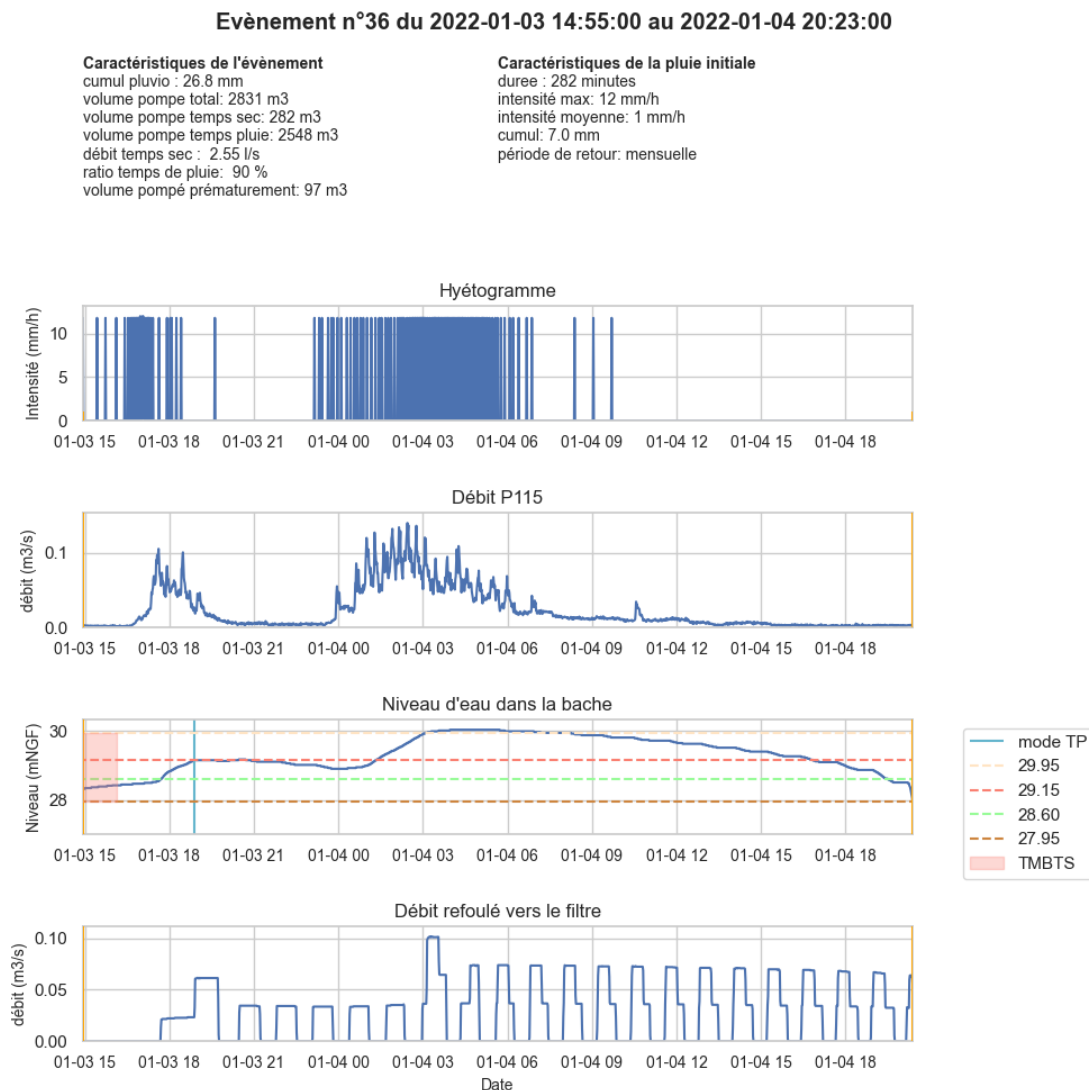
Dans ce mode de fonctionnement une partie de la pluie (volume pompé entre le moment où le niveau franchit 28,60 mNGF et le passage en mode de temps de pluie) est vidangée prématurément avec trois impacts :

- le délai de remplissage de la bache jusqu'au niveau 29,45 mNGF est augmenté;
- le volume principalement de temps de pluie vidangé prématurément ne sera pas pris en compte dans les prélèvements d'eaux à analyser;
- le volume vidangé en début de remplissage sera dans la plupart des cas remplacé par du volume de temps sec en fin de remplissage.

La cause de ce dysfonctionnement est une durée de temporisation « temps sec » trop courte (150 min) par rapport à la durée de remplissage de la bache (en moyenne de 345 min). Cet écart laisse le temps à l'apparition d'évènement de pluie qui ne sont pas pris en compte au moment de leur apparition.



#### 4.2.3.1 Déclenchement du mode de temps de pluie quand le « seuil stockage bâche pluie normale » est atteint (mode « dégradé seuil »)



**Figure 14:** *exemple mode dégradé seuil.*

Ce type d'évènement s'est produit 4 fois depuis le début de l'étude.

Dans cette configuration, un évènement pluvieux apparaît alors que le seuil « maxi bâche temps sec » n'est pas encore atteint mais après la fin de la temporisation « temps sec ». Ainsi malgré l'augmentation du débit lié à la pluie, le filtre est alimenté en mode temps sec lorsque le niveau atteint 28,60 mNGF. Cependant suite, à l'arrivée de la pluie, le débit de vidange n'est pas suffisant et le niveau continue à augmenter dans la bâche jusqu'à atteindre le seuil pluie normale de 29,15

mNGF et déclencher le mode temps de pluie.

La seconde pompe se met alors en route au moment du passage en mode temps de pluie afin de saturer le filtre.

Dans ce mode de fonctionnement une partie de la pluie (volume pompé entre le moment où le niveau franchit 28,60 mNGF et le passage en mode de temps de pluie) est vidangée prématurément avec deux impacts :

- le délai de remplissage est augmenté car le débit de remplissage du filtre est réduit pendant cette période;
- le volume principalement de temps de pluie vidangé prématurément ne sera pas pris en compte dans les prélèvements d'eaux à analyser.

#### 4.2.3.2 Autres dysfonctionnements

Il a également été observé des dysfonctionnements sur les dernières semaines de fonctionnement du filtre. En effet suite à une augmentation du débit :

- la temporisation « temps sec » est devenue trop longue (remplissage plus rapide de la bache, cf. figure 9) car la hauteur d'eau a atteint 28,60 mNGF avant la fin de cette temporisation;
- la temporisation « vidange bache temps sec » est devenue trop courte (cf. figure 10). Le temps de pluie s'est alors déclenché en l'absence d'événements pluvieux.

Enfin, d'autres cas de déclenchement de temps de pluie ont été recensés mais les données ne permettent pas une analyse pertinente soit par manque de données de pluie et de débit P115.

#### 4.2.4 Conclusion sur le fonctionnement de la bache

Les exemples décrit ci-avant montrent que le fonctionnement est sensible aux variations de débits de temps sec et selon les situations, les durées de temporisations peuvent être adaptées ou au contraire entraînent des dysfonctionnements.

La valeur de la consigne **temporisation « temps sec »** est importante car si elle est trop longue, le temps de pluie peut être déclenché à cause d'une légère augmentation du débit ne correspondant pas forcément à un événement de pluie cependant si elle est trop courte par rapport au temps de remplissage de la bache en mode temps sec des événements de pluies peuvent se produire sans déclencher le mode de temps de pluie.

La consigne **temporisation « vidange bache temps sec »** est également importante car si elle est trop proche du temps de vidange de la bache, en cas de débit légèrement plus important dans le réseau, le temps de vidange de la bache dépassera cette temporisation et déclenchera le mode de temps de pluie en l'absence d'évènement pluvieux.

Un premier sentiment, est qu'il faudrait réduire la temporisation « temps sec » et augmenter la temporisation « vidange bache temps sec » afin d'éviter ces passages inopinés en mode temps de pluie. Cependant, il faut regarder l'impact des temporisations sur le fonctionnement en mode temps de pluie.

Il paraît donc important d'ajuster au mieux les durées de temporisations en fonction du débit de temps sec.

Cependant, ce débit étant susceptible de fluctuer, les différents paramètres nécessiteront peut-être d'être de nouveau ajustés.

## 5 Analyse statistiques sur les évènements

### 5.1 Evènements de temps sec

---

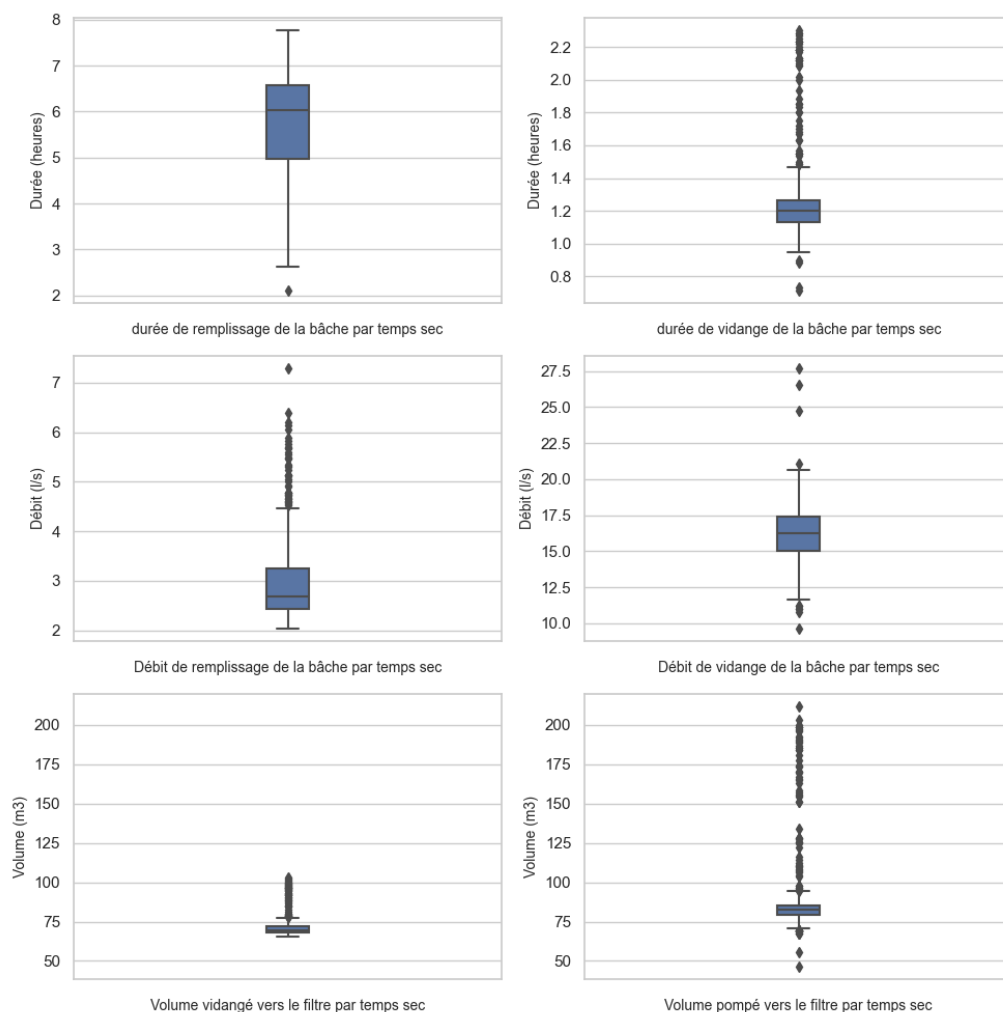
Pour chaque bâchée, les caractéristiques suivantes ont pu être précisées:

- durée de remplissage calculée comme la différence entre l'horodatage du sommet de la bâchée et celui du niveau bas de la bâchée en début de remplissage);
- durée de vidange calculée comme la différence entre l'horodatage du niveau bas de la bâchée en fin de vidange et celui du sommet de la bâchée;
- débit moyen de remplissage, obtenu à partir de la variation de volume dans la bache et de la durée de remplissage;
- débit moyen de vidange, obtenu à partir de la variation de volume dans la bache auquel a été ajouté le volume arrivant dans la bache pendant la vidange (calculé sur la base du débit de remplissage) et de la durée de la phase de vidange;
- volume vidangé, calculé comme la somme entre la variation de volume lors de la phase de vidange (i.e volume dans la bache au début de la vidange - volume dans la bache à la fin de la vidange) et le volume entrant dans la bache pendant la durée de la vidange (ce volume entrant est calé sur la base du temps de remplissage et du débit moyen de remplissage);
- volume pompé, calculé sur la base des mesures des débitmètres placés sur les conduites d'alimentation des filtres.

Dans un premier temps, l'analyse s'est portée sur les caractéristiques des bâchées de temps sec dans la station de pompage. Le nombre de bâchées entre le 01/05/2021 et le 29/03/2022 est de 754.

Les figures suivantes présentent respectivement les caractéristiques de remplissage et de vidange de ces bâches.

- le trait à l'intérieur de la boîte représente la médiane;
- la limite basse de la boîte, le premier quartile;
- la limite haute de la boîte, le troisième quartile;
- les losanges, les valeurs atypiques situés au-delà de 1,5 fois l'écart interquartile;
- les moustaches, la plus petite et la plus grande valeurs qui ne sont pas des valeurs atypiques.



**Figure 15:** *caractéristiques de remplissage et de vidange des filtres entre le 01/05/2021 et le 29/03/2022.*

La valeur médiane du temps de remplissage de la bache est d'environ 6h02 avec un maximum de 07h46 et un minimum de 02h07. Dans 75 % des cas, la durée de remplissage a été supérieure à 5h et donc la temporisation « temps sec » fixée à 2h30 n'a pas permis le passage du filtre directement en mode temps de pluie lors d'un événement pluvieux intervenant dans la plage séparant la fin de la temporisation et la fin du remplissage de la bache. La valeur médiane du temps de vidange de la bache est d'environ 1h12 avec un maximum de 02h18 et un minimum de 43 minutes. La durée de la temporisation « vidange bache temps sec » est fixée 2h40.

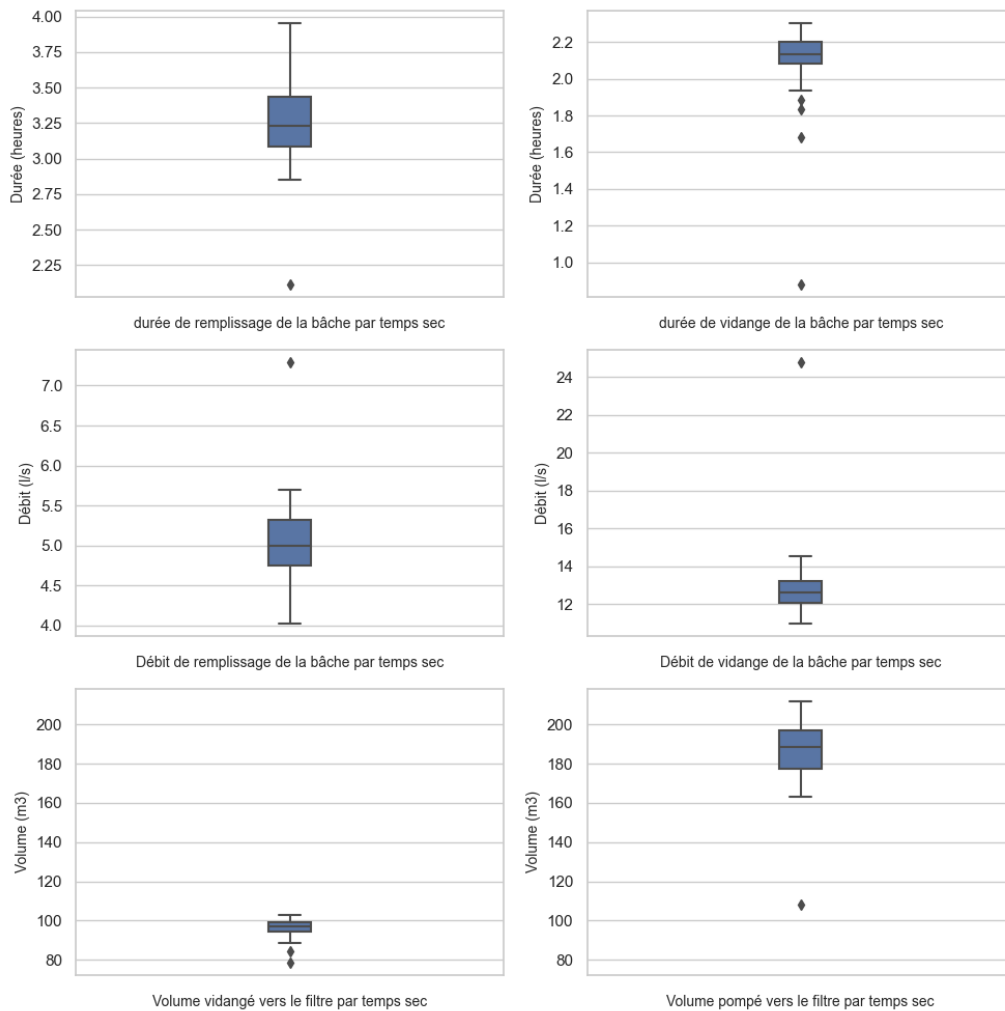
La valeur médiane des débits de remplissage de 2,7 l/s montre un débit plus faible que celui observé à P115 qui est plutôt en moyenne autour de 5l/s soit 85 % du débit médian calculé. Une hypothèse possible pour l'explication de cet écart serait une surestimation du débit mesuré à P115 pour les faibles débits.

Les deux derniers graphes permettent d'évaluer les écarts entre les manières de calculer le volume envoyé vers les filtres (soit à partir du volume dans la bache soit à partir du débit des débitmètres, plus précis).

Les résultats montrent un volume médian supérieur d'environ 18 % du volume pompé par rapport à l'estimation du volume vidangé (83 m<sup>3</sup> contre 70 m<sup>3</sup>).

Il est important également de noter que le débit de vidange des baches est largement inférieur au 40 l/s prévu initialement.

Il est à noter également que depuis le 02/03/2022, le débit de temps sec a augmenté (pour une raison inconnue) ce qui a pour conséquence de modifier les caractéristiques des bachees de temps sec (voir figure ci-après).



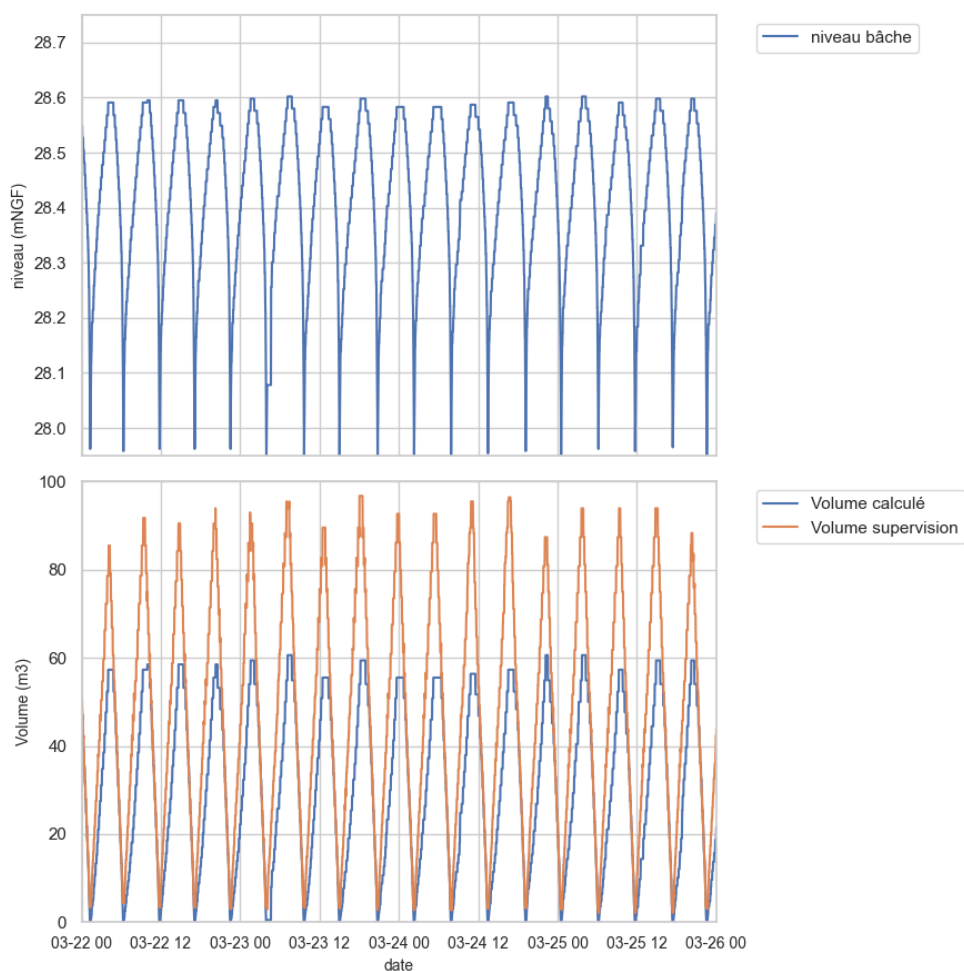
**Figure 16:** caractéristiques de remplissage et de vidange des filtres entre le 02/03/2022 et le 29/03/2022

Ces graphes montrent que la durée de remplissage se rapproche de la durée de temporisation « temps sec ». De même pour la durée de vidange qui se rapproche de la durée de temporisation « vidange bache temps sec ». La conséquence de ce changement de débit de temps sec est que des passages inopinés en mode temps de pluie ont été observés :

- soit car la durée de remplissage a été plus courte que la temporisation « temps sec »;
- soit car la durée de vidange a été supérieure à la temporisation « vidange bache temps sec ».

Il est à noter que l'écart volume pompé médian (189 m<sup>3</sup>)/volume vidangé médian (97 m<sup>3</sup>) est beaucoup plus important (95 %).

Afin de comprendre cet écart, les données du niveau d'eau dans la bache, du volume dans la bache calculé via la loi niveau/volume et le volume dans la bache enregistré par la supervision ont été analysés.



**Figure 17:** hauteur dans la bache et comparaison volume calculé vial la loi niveau/volume et volum enregistré par la supervision

La première figure montre que le seuil de déclenchement du pompage par temps sec situé à 28,6 mNGF est bien respecté par la mesure de niveau dans la bache.

Par contre sur la seconde figure, un écart de volume de 30-35 m<sup>3</sup> est constaté entre le volume calculé à partir du niveau dans la bache et le volume enregistré par la supervision. La variation de volume nécessaire au calcul du volume vidangé est donc peut-être sous-estimée par rapport au volume réellement pompé et explique au moins en partie l'écart important constaté.

Il est possible que le niveau réel dans la bache soit supérieur au niveau enregistré par le capteur. Une vérification des mesures devra être effectuée.

## 5.2 Evènements de temps de pluie

Pour chaque banchée de temps de pluie ont pu être déterminées :

- Les caractéristiques principales de pluie :
  - le cumul des pluies pendant la totalité de la banchée (du début du remplissage à la fin de la vidange);
  - le cumul de la pluie initiale. La pluie initiale est le premier événement de pluie identifié, qui entraîne le déclenchement du mode temps de pluie. Ensuite plusieurs événements de pluie, selon la définition que nous en avons fait peuvent se produire pendant la durée totale de la banchée;
  - la durée de la pluie initiale;
  - l'intensité max sur 1 minute de la pluie initiale;
  - l'intensité moyenne de la pluie initiale;
  - la période de retour (sur la base des statistiques de Paris-Montsouris) de la pluie initiale.

Les caractéristiques liées au pompage vers le filtre :

- - le volume pompé total vers le filtre;
  - le volume pompé de temps sec;
  - le volume pompé de pluie;
  - le ratio volume pompé de pluie/volume total;
  - le débit de temps sec préalable à la banchée;
  - le volume pompé avant le lancement du mode temps de pluie.

Ces éléments sont rappelés sur un graphe tracé entre le début de la pluie et la fin de la vidange de la banchée. La figure suivante présente un exemple de graphe sur lequel sont affichés :

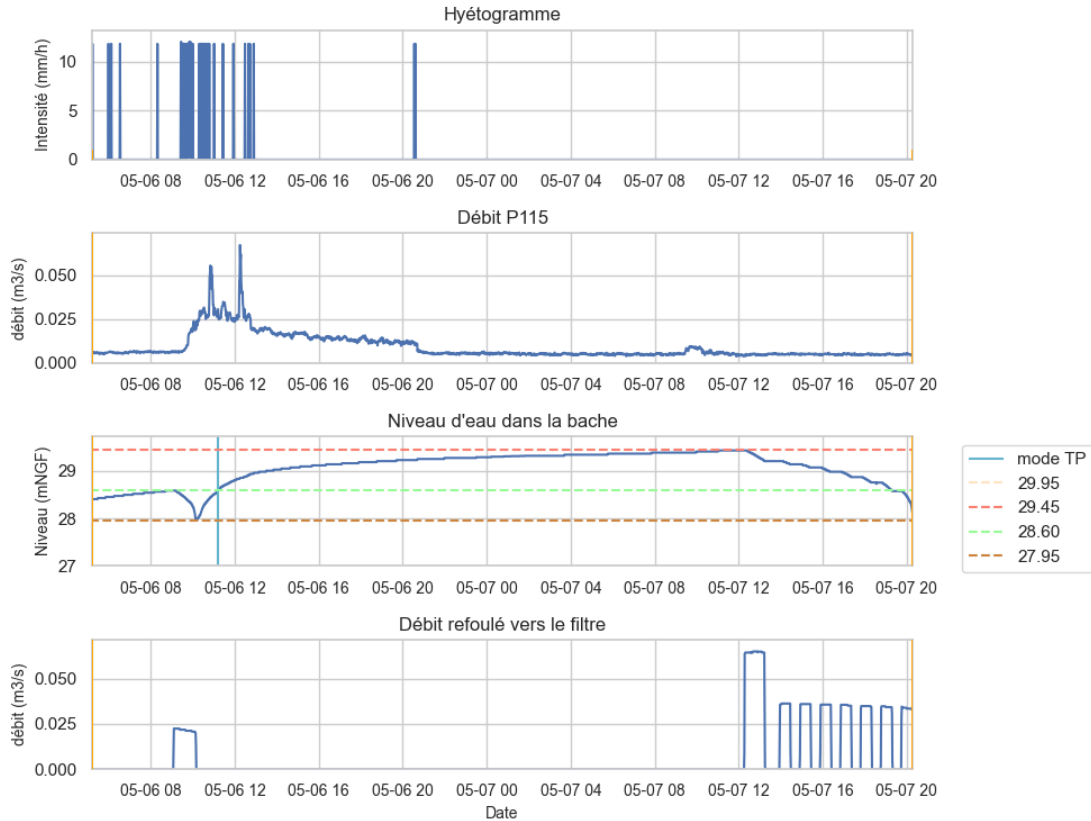
- le hyétogramme;
- le débit à P115;
- le niveau d'eau dans la bache et les différents seuils de déclenchement du pompage en fonction du mode de fonctionnement:
  - en marron, le seuil d'arrêt du pompage à la fin de la vidange ;
  - en vert, le seuil de pompage en mode temps sec;
  - en rouge, le seuil de pompage en mode temps de pluie pour une pluie normale;
  - en rose, le seuil de pompage en mode temps de pluie pour une grande pluie.
- le débit pompé vers le filtre.



### Evènement n°0 du 2021-05-06 05:12:00 au 2021-05-07 20:17:00

**Caractéristiques de l'évènement**  
 cumul pluvio : 8.0 mm  
 volume pompe total: 685 m3  
 volume pompe temps sec: 317 m3  
 volume pompe temps pluie: 368 m3  
 débit temps sec : 2.58 l/s  
 ratio temps de pluie: 54 %  
 volume pompé prématurément: 0 m3

**Caractéristiques de la pluie initiale**  
 durée : 462 minutes  
 intensité max: 12 mm/h  
 intensité moyenne: 1 mm/h  
 cumul: 7.6 mm  
 période de retour: bi-mensuelle



**Figure 18:** *exemple d'évènement de temps de pluie.*

L'analyse fonctionnelle a montré trois modes de fonctionnement distincts :

- le mode « normal »;
- le mode « dégradé tempo »;
- le mode « dégradé seuil ».

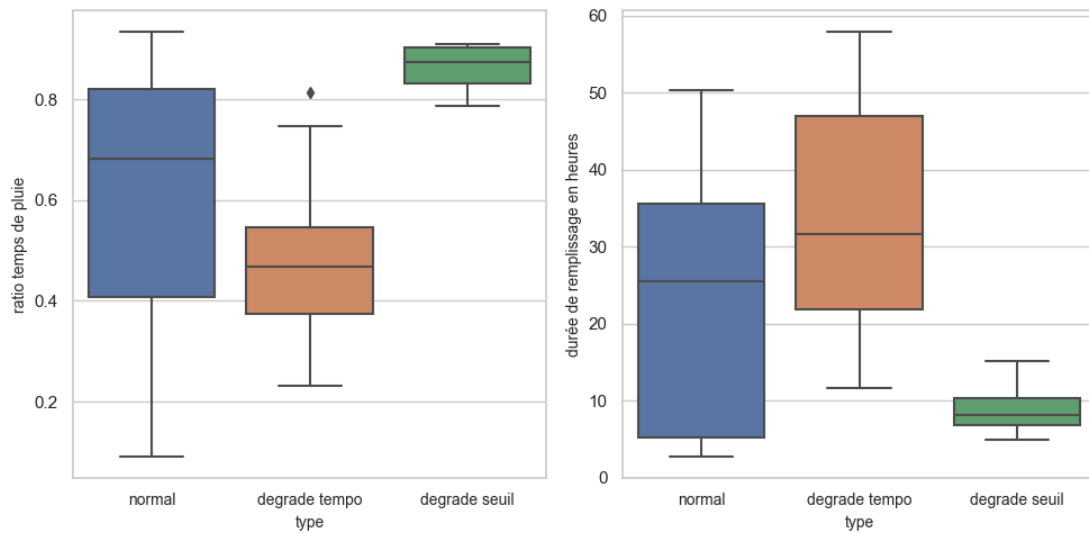
Afin de mieux comprendre l'impact de ces trois modes sur le fonctionnement de la bache, une estimation du ratio volume de temps de pluie par rapport au volume total pompé vers le filtre pour chacun des évènements étudiés a été faite.

La méthodologie pour obtenir ces ratios a été la suivante :

- calcul du volume total pompé (calculé à partir des mesures des débitmètres) sur la durée de l'évènement (le volume considéré est uniquement celui de la bache de temps de pluie même si sur certain évènement, une bache de temps sec peut intervenir entre le début de la pluie et le moment où l'eau issue de cette pluie arrive à la station);
- estimation du volume de temps sec, sur la base du débit de temps sec moyen de remplissage les 4 dernières baches de temps sec;
- déduction du volume de temps de pluie déduit de la différence entre le volume total pompé et le volume temps sec;
- calcul du ratio temps de pluie correspondant au rapport volume de pluie / volume total.

A noter que les résultats de ratios de temps de pluie, sont soumis aux incertitudes liées au calcul de volume dans la bache présenté au §5.1 à partir duquel le débit de temps sec est estimé.

La figure suivante montre les résultats obtenus ainsi que les statistiques de durée de remplissage par type de fonctionnement.



**Figure 19:** *ratio volume temps de pluie et durée de remplissage par type d'évènement.*

Cette figure montre que les évènements issus du mode « dégradé tempo » induisent des ratios de temps de pluie plus faibles que les deux autres modes. Ceci s'explique en partie par le fait que le volume de pluie vidangé prématurément même s'il est comptabilisé dans le volume temps de pluie est remplacé dans la plupart des cas par un volume de temps sec avant d'atteindre le seuil de pluie normale.

Le fonctionnement normal ne permet pas toujours d'avoir un ratio temps de pluie élevé notamment pour les faibles évènements pluvieux ce qui n'est pas l'idéal pour les analyses d'eaux par temps de pluie.

Le mode dégradé seuil affiche des ratios de pluie élevés qui s'explique par le fait que ce mode de

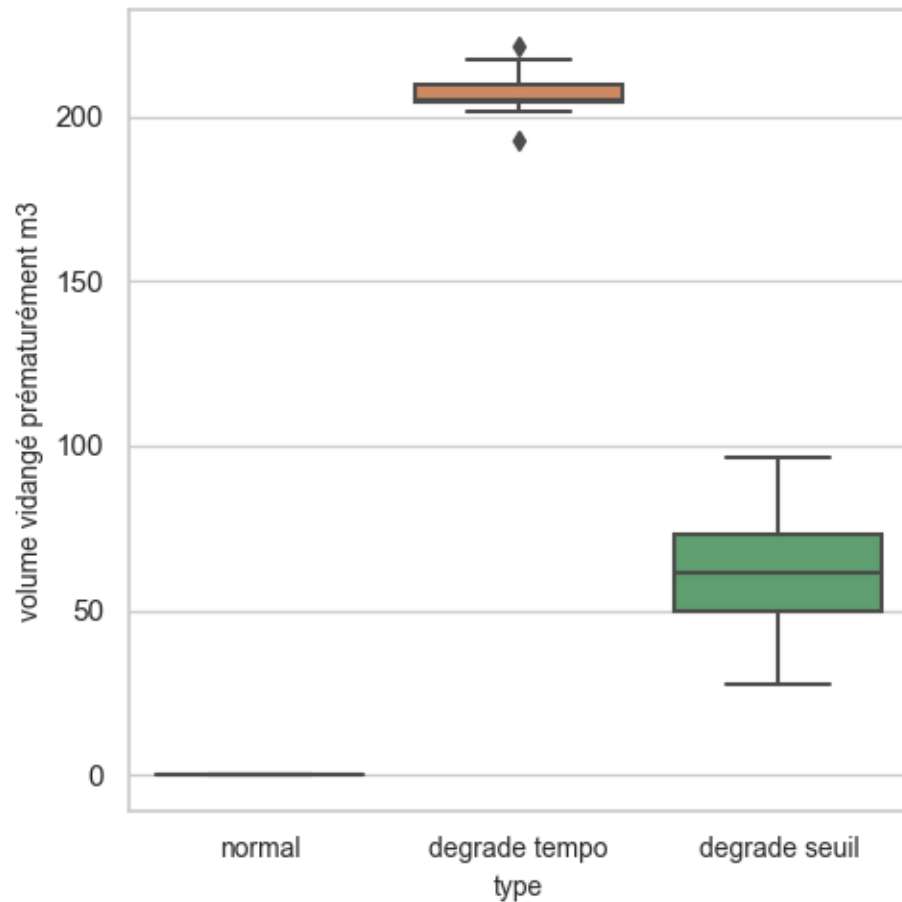
fonctionnement nécessite un débit de remplissage largement supérieur au débit de pompage et donc un événement pluvieux plus important.

L'analyse des durées de remplissage montre que la durée de remplissage de la bache pour un fonctionnement de type dégradé tempo est plus importante que les autres modes.

Par ailleurs, l'analyse fonctionnelle a montré que des volumes vidangés avant le passage en mode temps de pluie pouvaient avoir lieu selon le mode de fonctionnement.

Pour rappel, ce volume vidangé prématurément coorespond au volume pompé entre le moment où le niveau franchit 28,60 mNGF et le passage en mode de temps de pluie.

La figure suivante montre ces volumes vidangés prématurément par type de fonctionnement.



**Figure 20:** *volumes vidangés prématurément par type de fonctionnement.*

Cette figure montre que dans le mode dégradé tempo, 220 m3 de temps de pluie sont pompés vers le filtre avant que celui-ci ne passe en mode temps de pluie et permet les prélèvements.

## 6 Solutions envisagées

L'analyse du fonctionnement du filtre montre qu'il est nécessaire de limiter le fonctionnement dans les deux modes dégradés.

Pour rappel, ces modes de fonctionnement interviennent quand le débit issu d'un évènement pluvieux arrive aux alentours ou après de la fin de la temporisation « temps sec » ou lors de la phase de vidange de la bache de temps sec.

L'idée est donc de minimiser ces deux intervalles. Deux solutions sont possibles :

- augmenter la durée de la temporisation « vidange bache temps sec » ;
- augmenter le débit de pompage de vidange du filtre.

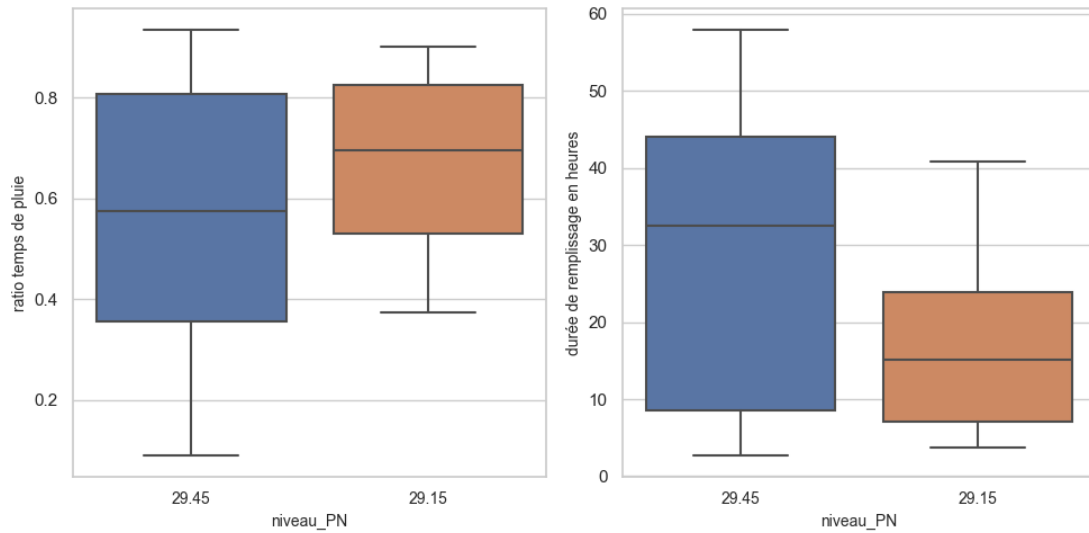
Pour le premier intervalle, l'augmentation du débit P115 observé depuis début mars a pour conséquence de réduire cet intervalle (le temps de remplissage maintenant situé aux alentours de 3h30 est proche de la temporisation fixée à 2h30). L'augmentation de la temporisation « temps sec » à 3h peut-être envisagée mais pourrait entraîner des passages en mode temps de pluie inopinés si le débit de temps sec augmente. Si le débit revient à son niveau de base, l'augmentation de cette durée à 5 heures pourra être envisagée au vu des statistiques du paragraphe sur le fonctionnement de temps sec. Il faudra cependant être vigilant en cas d'évolution du débit de temps sec.

Pour le second intervalle, l'augmentation du débit de vidange de la bache à 40 l /s comme prévu initialement permet de réduire celui-ci. En complément, il faudrait également réduire la temporisation « vidange bache temps sec » car si un évènement survient quand même dans cette période, le volume vidangé prématurément serait plus important, conséquence de l'augmentation du débit de vidange. L'augmentation de débit est effective depuis le 05/04/2022. L'observation des premières données permettra d'optimiser cette temporisation.

Ces deux solutions permettent de réduire les fonctionnements en mode dégradé. Cependant, le ratio de temps de pluie en mode normal peut également être faible pour les faibles évènements pluvieux.

Afin de limiter ces faibles ratios, une solution envisagée par les partenaires serait de mettre une temporisation au-delà de laquelle le filtre repasserait en mode temps sec si le pompage n'a pas commencé. Cette solution permettrait de ne pas faire flaque le filtre avec du temps sec mais le volume stocké pendant cette période devra quand même être vidangé vers le filtre au débit de temps sec.

La réduction du seuil « stockage bache pluie normale » a déjà permis de réduire les durées de remplissage et améliorer le ratio de temps de pluie.



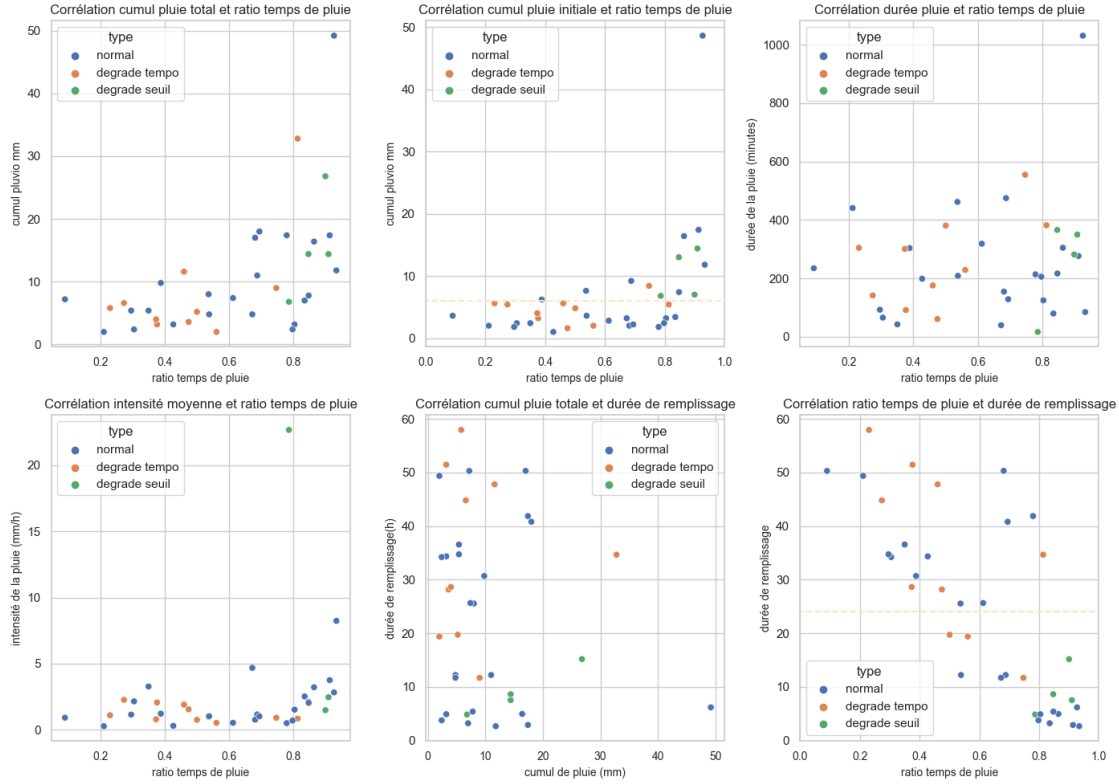
**Figure 21:** *impact du changement du seuil de pluie normale de 29.45 mNGF à 29.15 mNGF.*

---

Une contrainte est la nécessité de modifier l'automatisme.

Une autre solution afin d'avoir un ratio de temps de pluie élevé est de cibler les évènements pluvieux.

La figure suivante permet d'analyser les éventuelles corrélations entre les caractéristiques de la pluie, le ratio de temps de pluie et la durée de remplissage afin de voir les possibilités de caler les paramètres temporisation et évènement pluvieux envisagés ci-avant.



**Figure 22:** *corrélation pluie, ratio temps de pluie et durée de remplissage.*

Les différentes corrélations ne montrent pas de tendances claires entre les différentes variables. Le second graphe montre peut-être qu'un cumul de la pluie initial de 6 mm permet d'avoir un ratio de temps de pluie supérieur à 50 %. Ce critère pourrait être retenu pour la définition de l'évènement pluvieux ciblé. Un temps de remplissage maximum de 24 h peut être proposé et permettrait d'obtenir des ratios temps de pluie supérieur à 50 %.

## 7 Conclusion

Les analyses fonctionnelle et statistique des données ont montré que des réglages sont nécessaires afin d'optimiser le fonctionnement de la station.

Des modifications ont été déjà été apportées :

- le « seuil stockage bache pluie normale » a été abaissée de 29,45 mNGF (correspondant à un volume de 500 m<sup>3</sup>) à 29,15 mNGF (correspondant à un volume de 300 m<sup>3</sup>) afin de réduire la durée du remplissage de la bache et aussi de limiter l'apport d'eau de temps sec;
- le débit de vidange a été augmenté de 20 l/s à 40 l/s afin de respecter la recommandation de l'étude initiale et d'empêcher les passages inopinés en mode temps de pluie suite à l'augmentation du débit;

- pour la même raison de passages inopinés en mode temps de pluie, la temporisation temps sec a été réduite à 130 minutes.

Pour la suite de l'étude, les modifications suivantes sont proposées:

- asservissement des temporisations « temps sec » et « vidange bache temps sec » au débit à P115 afin d'un part de réduire les passages inopinés en mode temps de pluie et d'autre part de limiter les fonctionnements en mode dégradé. Le Cerema pourrait par exemple en fonction des données récupérées fournir à la supervision les modifications nécessaires en cas de variation importante du débit de temps sec au P115;
- mise en place d'une temporisation maximale de remplissage de 24 h pour atteindre le niveau 29,15 mNGF afin de limiter le flaquage du filtre avec de l'eau de temps sec et assurer un ratio de temps de pluie de 50 %;
- cumul prévisionnel de 6 mm minimum pour le lancement d'une campagne de prélèvement par temps de pluie permettrait également d'obtenir a minima un ratio de 50 % de temps de pluie.