



**HAL**  
open science

# Scénario hydrologique d'implantation de Solutions fondées sur la Nature (SFN) sur le territoire de la Brie nangissie

Hassan Fistric

► **To cite this version:**

Hassan Fistric. Scénario hydrologique d'implantation de Solutions fondées sur la Nature (SFN) sur le territoire de la Brie nangissie. Sciences de l'environnement. 2021. hal-04208922

**HAL Id: hal-04208922**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04208922v1>**

Submitted on 15 Sep 2023

**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.

# RAPPORT DE STAGE

Formation d'Ingénieur 4<sup>e</sup> année PARIS Polytech Paris - UPMC PVI

*Scénario hydrologique d'implantation de  
Solutions fondées sur la Nature (SFN) sur le  
territoire.*



*Hassan FISTRIC*

*Juin-Août*

*Sous l'encadrement de M. Julien*

## Remerciements

Je tiens à remercier les enseignants – chercheurs et plus généralement toute l'équipe ARTEMHYS de L'INRAE pour le soutien qu'ils m'ont apporté, leur ouverture d'esprit et leur bonne humeur.

Je remercie, particulièrement : Hocine HENINE pour m'avoir permis d'effectuer ce stage.

Je remercie également : Bruno LEMAIRE sans qui ce stage n'aurait pas pu se faire. Je les remercie tout autant, pour toutes les démarches qu'ils ont pu entreprendre à mon égard.

Enfin, je remercie : Julien TOURNEBIZE qui m'a encadré et soutenu. Il a toujours été présent afin de m'aider à résoudre les problèmes rencontrés tout en me laissant une très grande autonomie de travail.

## Sommaire

REMERCIEMENTS .....	1
SOMMAIRE .....	2
1- CONTEXTE DU STAGE.....	3
2- OBJECTIFS DU STAGE .....	4
3- PRESENTATION DES LOGICIELS UTILISES .....	6
3-1 Travail préliminaire sur ArcGIS.....	6
3-2 Modélisation sur HEC-HMS .....	7
4- HYPOTHESES SUR LE MODELE .....	7
5- SIMULATIONS.....	8
5-1 Validation du modèle .....	8
5-2 Résultats et discussions.....	9
5-3 Pistes pour la suite .....	12
6- ANNEXES.....	13
6-1 Guide de développement d'un modèle HMS à l'aide de HEC-GeoHMS .....	13
6-2 Autres simulations.....	15
7- REFERENCES.....	16

## 1- Contexte du stage

La protection de la nappe d'eau de Champigny située en Ile-de-France est un enjeu important, car celle-ci assure la distribution en eau potable à près d'un million de franciliens. Sa recharge s'opère à 70 % par échanges directs à l'interface entre eaux de surfaces et eaux souterraines. Sachant que plus de 40 % du territoire est drainé, la qualité des eaux rechargeant la nappe est dégradée. La gestion des eaux de drainage est donc un élément essentiel à considérer.

L'INRAE, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement, travaille sur des solutions afin de protéger la nappe de Champigny. Cet institut est né le 1er janvier 2020, de la fusion entre l'INRA, Institut national de la recherche agronomique et l'IRSTEA, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (Accueil | INRAE INSTIT, 2020). Placé sous la tutelle conjointe de nombreux ministères, l'INRAE est chargé de réaliser, à son initiative ou à la demande de l'Etat français, des travaux de recherche scientifique et technologique.

Fort d'une équipe de 11 523 chercheurs (8 413 agents titulaires et 3 110 agents contractuels) répartis en 14 départements de recherche, l'INRAE s'impose comme un établissement de référence. Les subventions obtenues annuellement (notamment par son label Institut Carnot) d'un montant d'un milliard d'euros, lui permettent la mise en place de nombreuses solutions innovantes (10 000 ha d'expérimentation, 5721 publications de rang A en 2018).

En 2005, L'IRSTEA devenu INRAE, a été sollicité par Aquil'Brie, association chargée de la protection de la nappe de Champigny, afin de travailler sur une solution innovante : les zones tampons humides artificielles (ZTHA).

Même si l'efficacité de cette solution est connue depuis les années 1990 sur l'abattement des nutriments, son efficacité vis à vis des pesticides est mal appréhendée et les règles d'ingénierie ne sont pas encore maîtrisées.

Dans le contexte du plan « Life ARTISAN », le projet ANCOEUR 2030 prévoit le déploiement de zones tampons humides artificielles dans la vallée de l'Ancoeur dans la Brie nangissienne en Seine-et-Marne. Le bassin versant de 132 km<sup>2</sup> de l'Ancoeur présente des enjeux sociétaux liés aux risques d'inondation des terres agricoles et de dégradation de la qualité des eaux souterraines, ainsi que des enjeux de protection de la biodiversité en zone agricole.

## 2- Objectifs du stage

Dans le cadre de la promotion des Solutions Fondées sur la Nature du projet « Life ARTISAN », l'objectif du stage était de dimensionner les Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA) dans le bassin versant des Effervettes, près de Nangis en Seine-et-Marne pour prévenir les inondations : estimer les volumes de rétention et prévoir la gestion de ces ouvrages, quantifier leur apport en termes de réduction des surfaces inondées. Afin de répondre à ces questions, il a été proposé d'utiliser les logiciels ArcGIS ainsi que HEC-HMS dans le but de créer un modèle couplant hydrologie et hydraulique.

Le modèle prend en compte les processus de précipitations-ruissellements du bassin versant des Effervettes. À partir de ce dernier, on peut donc réaliser différents scénarios et comparer lequel serait le plus apte à répondre aux objectifs du stage.

En résumé, voici les différentes étapes du stage :

- Établir le modèle hydrologique du bassin versant à partir de HEC-HMS et de son extension HEC-geoHMS
- Intégrer les ZTHA par une approche simplifiée
- Quantifier l'apport des ZTHA pour réduire les surfaces inondées à l'aval pour différents modes de gestion hydraulique.
- Discuter de la multifonctionnalité des ZTHA comme solutions fondées sur la nature.



Figure 1 : Vue aérienne du linéaire des Effervettes



## 3- Présentation des logiciels utilisés

### 3-1 Travail préliminaire sur ArcGIS

L'objectif était donc de mettre en œuvre le modèle sur HEC-HMS qui nous a permis de réaliser les différents scénarios déjà discutés. En effet, en amont du stage un premier travail sur SIG a permis d'identifier les emplacements possibles des ZTHA couplant les trois services écosystémiques sur une surface totale de 170 ha.

Nous avons utilisé l'outil HEC-geoHMS du logiciel ArcGIS, les deux en version 10.8 pour débiter la création du modèle.

HEC-GeoHMS est une extension qui a été développée comme une boîte à outils d'hydrologie géospatiale pour les ingénieurs et les hydrologues ayant une expérience limitée d'ArcGIS. Elle utilise ArcGIS pour créer un système de modélisation hydrologique et aide à visualiser l'information spatiale, de documenter les caractéristiques des bassins versants, d'effectuer des analyses spatiales et de délimiter les sous-bassins et les cours d'eau. En outre, l'extension permet de créer rapidement des données hydrologiques afin d'être exportées sur HEC-HMS.

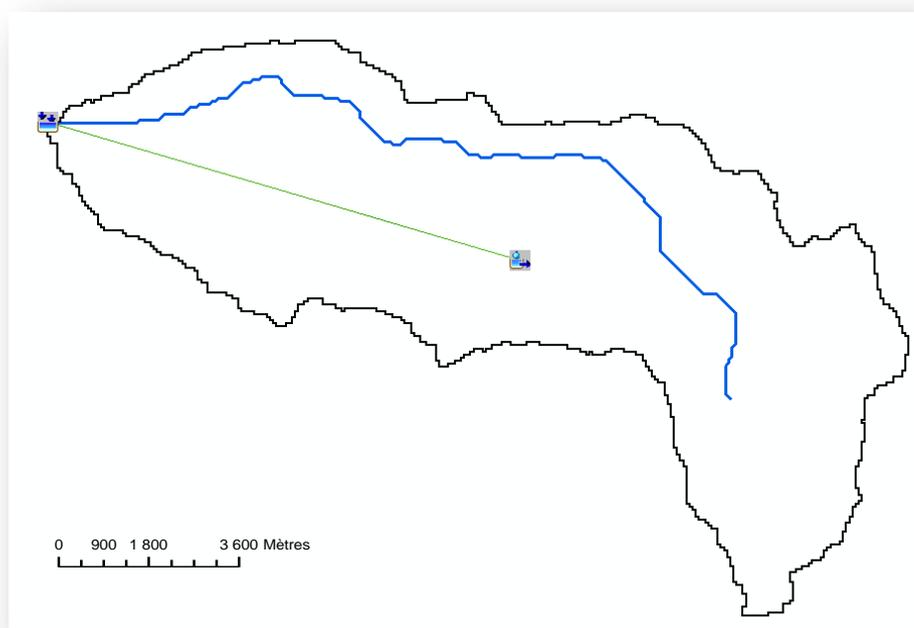


Figure 2 : Bassin versant obtenu à partir de HEC-geoHMS

Le travail fait à partir de HEC-geoHMS est en fait du preprocessing : on a extrait les données hydrologiques du linéaire (voir guide annexe).

### 3-2 Modélisation sur HEC-HMS

HEC-HMS est conçu pour simuler les processus hydrologiques complets des systèmes de bassins versants dendritiques. À partir des données exportées depuis HEC-geoHMS, on peut créer un projet où on pourra réaliser les simulations à partir des hypothèses établies qui sont détaillées ci-dessous. Le logiciel est en version 4.9.

## 4- Hypothèses sur le modèle

- Hypothèses sur le fonctionnement hydrologique du bassin :

**Loss Method** -> Afin de modéliser la redistribution de la pluie sur le bassin versant, on a choisi la méthode du SCS Curve Number. Ce modèle estime l'excès de précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture des sols et de l'humidité initiale du sol. On estime que le Curve Number se rapprochant le plus du type de sol présent à Rampillon, en se basant sur la littérature est de 70 avec une imperméabilité de 5%.

- Hypothèses sur les précipitations du modèle :

On considère que la pluie est homogène. On a obtenu les données pluviométriques venant de Safran sur une période allant du 01 août 1958 au 31 juillet 2020 au pas de temps journalier. Cependant, on regarde ici que l'année hydrologique d'octobre 2015 à septembre 2016 car elle fait part d'une crue importante au mois de mai 2016, qui nous aide à mieux visualiser si le modèle est cohérent. De plus, l'évapotranspiration est aussi prise en compte, les données venant aussi de Safran.

- Hypothèses sur les bassins de rétention :

Au niveau de leur fonctionnement hydraulique, les bassins de rétention sont placés en parallèles, pour une question de réglementation liée à la loi sur l'eau. Dans le modèle, tous ces bassins comportent un système de surverse.

Au niveau du dimensionnement, on opte pour un bassin d'une hauteur de 2 mètres et d'une section rectangulaire de 5 mètres. On choisit ces dimensions afin de travailler sur un modèle simple dans un premier temps, qui pourrait être amené à être amélioré par la suite.

Concernant le débit de sortie  $Q_{max}$  de ces bassins, on se base sur la période de retour décennale où l'on prend un débit de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

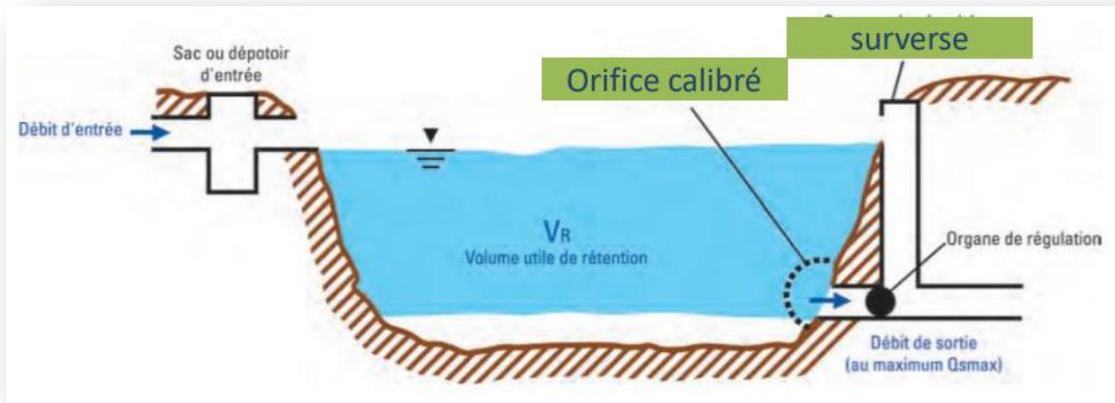


Figure 3 : Schéma du bassin de rétention

## 5- Simulations

### 5-1 Validation du modèle

La validation du modèle s'est faite à partir des données d'HydroPortail. On compare les données de débits moyens journaliers obtenus par simulation et celles de la station « Le rue d'Ancoeur » à Blandy. Cette station a été choisie car elle recouvre le bassin versant des Effervettes, avec une surface de 181km<sup>2</sup>, comparé au 13km<sup>2</sup> du modèle. On compare sur l'année hydrologique 2016 car on a la présence d'une crue importante, qui aide à mieux visualiser les différences.

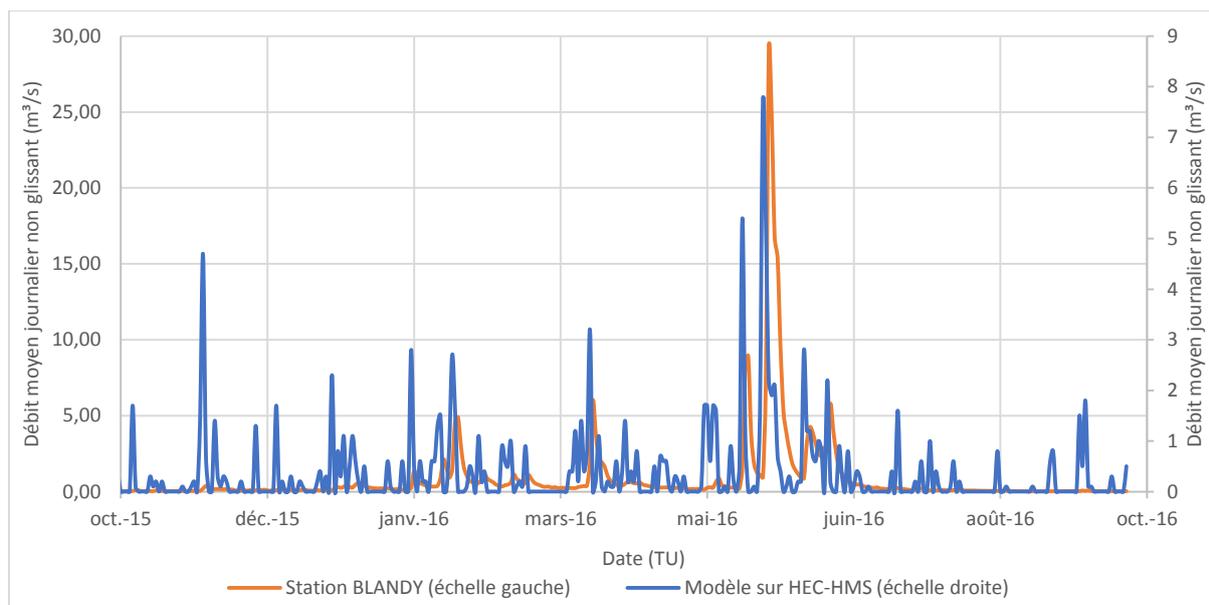


Figure 4 : Comparaison des chroniques sur l'année hydrologique de 2016

On remarque tout d'abord que le modèle sur HEC-HMS est plus réceptif que les mesures de la station de BLANDY. En effet, en dehors de la période de crue importante en mai 2016, on obtient des chroniques plus importantes. On imagine que cela est dû à une mauvaise capacité d'infiltration du sol décrite dans le modèle, notamment à travers le Curve Number. Mais même en modifiant significativement ce nombre, on obtient les mêmes résultats. Ainsi, le modèle reste tout de même valide car pour la crue de mai 2016, on retrouve la forme de l'hydrogramme de la station de BLANDY. On retient donc la valeur du débit  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$

## 5-2 Résultats et discussions

On a pu lancer deux simulations : dans la première, on place un unique bassin de rétention en parallèle à une centaine de mètres en amont de l'exutoire. Dans la seconde, on place plusieurs bassins en parallèle tous les 1 km. Pour chaque graphique, on compare le débit moyen journalier non glissant à l'exutoire. Pour rappel, le bassin a une surface de  $13 \text{ km}^2$

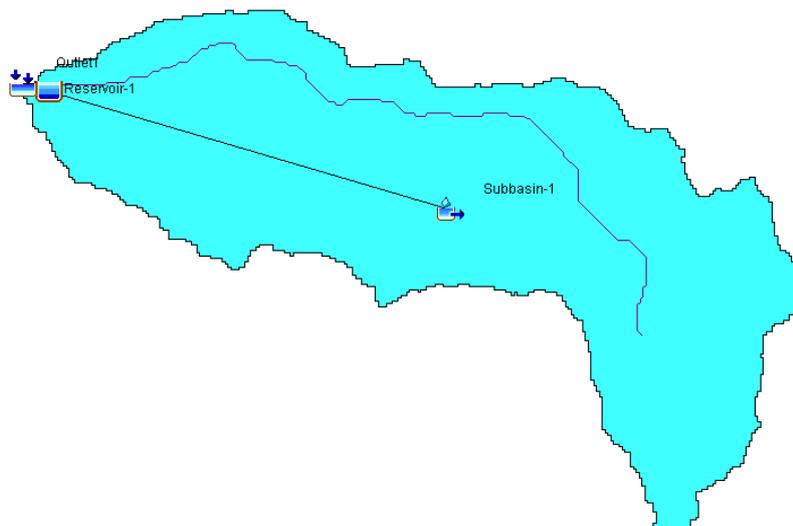


Figure 5 : Représentation de la première simulation sur HEC-HMS

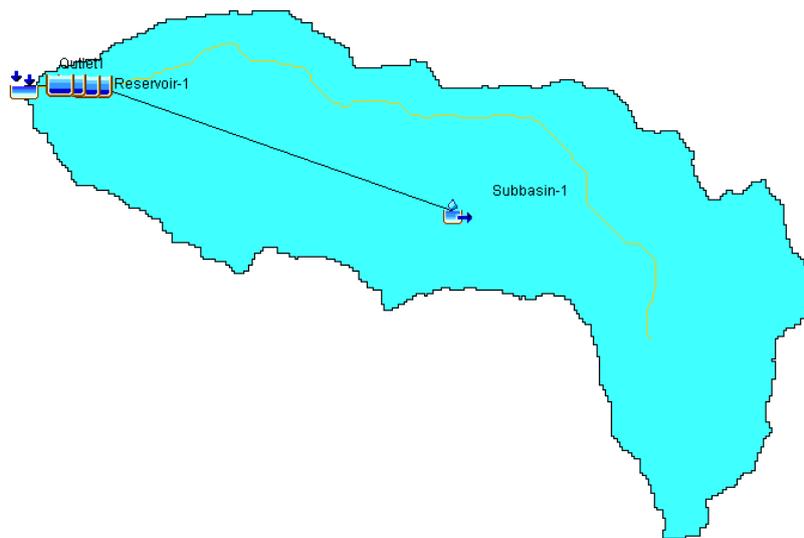


Figure 6 : Représentation de la seconde simulation sur HEC-HMS

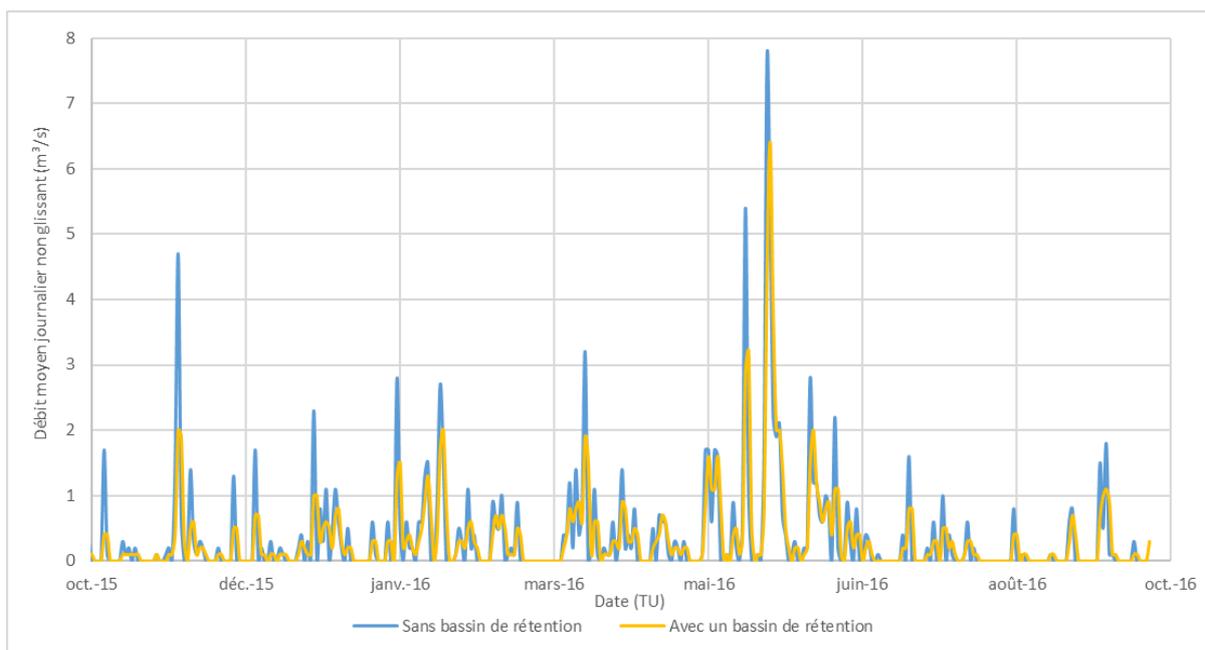


Figure 7 : Comparaison des chroniques avec et sans bassin de rétention

On voit bien que le débit diminue de manière significative sur toute la période. On remarque que de manière général, il baisse de 1 m<sup>3</sup>/s pour les périodes de crue importantes et de 0.5 m<sup>3</sup>/s pour le reste, qu'on ne tient pas en compte car le modèle décrit mal ces périodes. En plus de l'écrêtement de l'hydrogramme à l'exutoire, on observe un léger laminage des crues.

Ensuite, avec la seconde simulation, on a cherché à voir si le débit moyen diminuait en plaçant plusieurs bassins de rétention en parallèle. On a choisi d'en placer 4 en amont de l'exutoire à chaque kilomètre, afin de pouvoir observer une réelle différence dans l'hydrogramme de sortie :

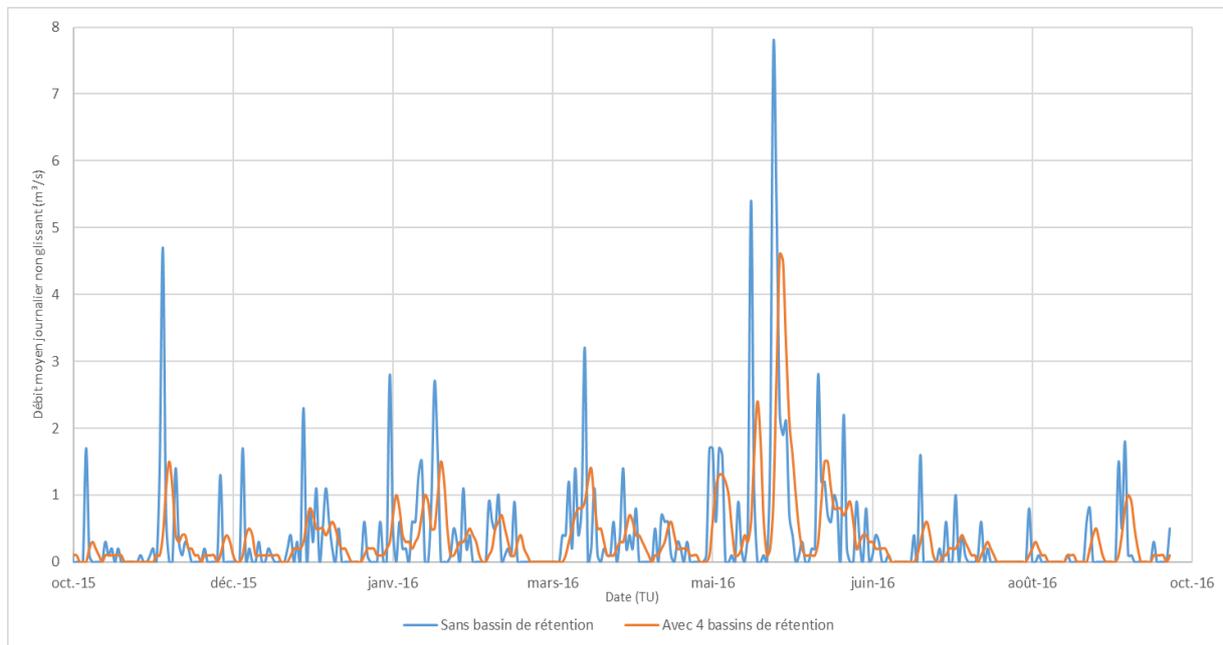


Figure 8 : Comparaison des chroniques avec 4 et sans bassins de rétention

De la même manière que pour la simulation avec un unique de bassin de rétention, les débits journaliers sont plus faibles mais ici, on remarque qu'ils sont deux fois moins importants. De plus, le laminage des crues est beaucoup visible et durable.

Maintenant, il faut voir s'il y a une différence majeure entre placer un seul bassin de rétention ou plusieurs et aussi discuter de la réalité du foncier.

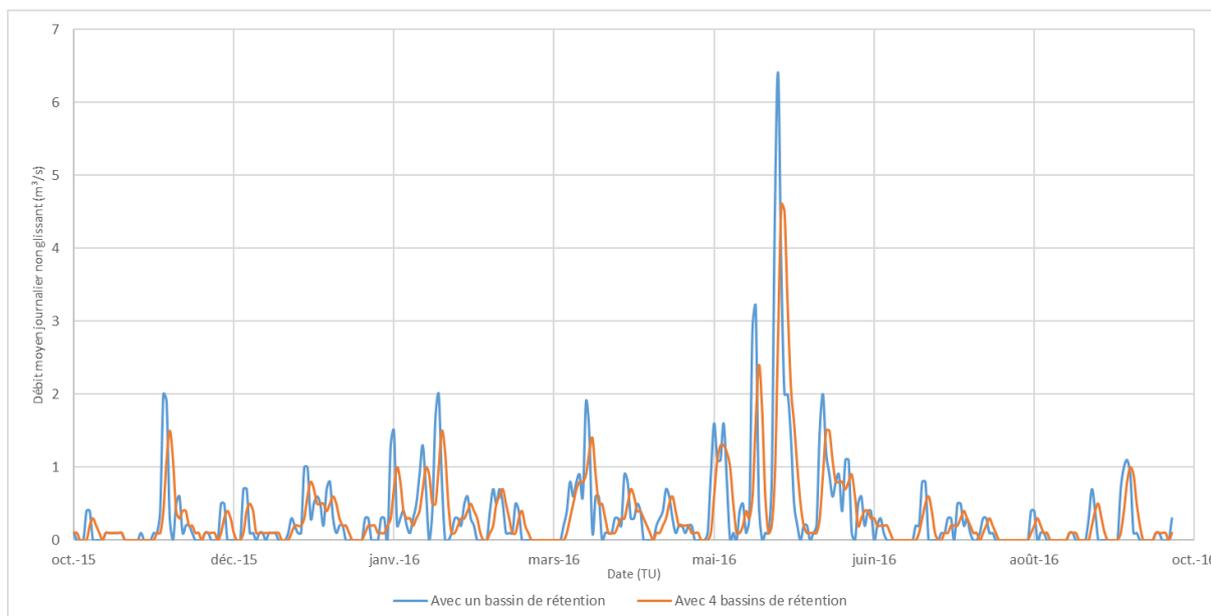


Figure 9 : Comparaison des chroniques avec 4 et 1 bassins de rétention

On peut voir que les débits moyens journaliers ne semblent pas diminuer grandement en dehors de la crue de mai 2016. Cependant, on observe bien une différence dans le laminage des crues. On peut donc se poser la question si rajouter plus de bassins de rétention aurait vraiment un impact sur la limitation des zones inondables à l'aval. On voit déjà que mettre en place un seul bassin de rétention en parallèle permet déjà d'atteindre l'objectif de réduire le risque d'inondation.

### 5-3 Pistes pour la suite

L'utilisation de l'extension HEC-GeoHMS et du logiciel HEC-HMS pour modéliser la mise en place de ZTHA dans le bassin versant des Effrevettes s'est avérée plutôt efficace même si le modèle n'est pas validé en totalité.

Une des pistes de réflexion envisageable serait l'étude de la fonction de traitement des eaux des ZTHA. En effet, il serait intéressant de dimensionner et intégrer ces zones en vue d'augmenter le temps de séjour de l'eau stockée afin qu'elle soit traitée, avec en complément des études portant sur la dissipation de pesticides et des nitrates dans les ZTHA. Il s'agissait d'un des objectifs du stage, mais durant le stage il y eu des problèmes avec les outils utilisés notamment leur installation, leur comptabilité entre eux et l'exportation des données ce qui a ralenti l'étude.

## 6- Annexes

### 6-1 Guide de développement d'un modèle HMS à l'aide de HEC-GeoHMS

Dans ce guide, il est expliqué précisément comment développer le même modèle décrit dans ce rapport, de la pré-modélisation à partir de l'extension HEC-GeoHMS jusqu'au lancement des simulations sur HEC-HMS.

- Ajouter l'extension HEC-GeoHMS et Arc HydroTools à la barre des tâches :

Sélectionner l'onglet Customize -> Toolbars -> Hec-GeoHMS et Arc HydroTools

- Terrain Preprocessing :

Dans le menu de l'extension HEC-GeoHMS, sélectionner dans l'ordre les outils suivants : DEM Reconditioning, Fill Sinks et le reste de la liste.

Au final, on doit obtenir le jeu de données décrit ci-dessous.

Données raster :

1. Raw DEM (Cedar\_dem)
2. HydroDEM (Fil)
3. Flow Direction Grid (Fdr)
4. Flow Accumulation Grid (Fac)
5. Stream Grid (Str)
6. Stream Link Grid (StrLnk)
7. Catchment Grid (Cat)
8. Slope Grid (WshSlope)

Données vectorielles :

1. Catchment Polygons (Catchment)
2. Drainage Line Polygons (DrainageLine)
3. Adjoint Catchment Polygons (AdjointCatchment)

- Création du projet HMS

Avant de créer le projet HMS, on vérifie le jeu de données. Pour cela, dans le menu HMS sélectionner Project Setup -> Data Management.

Pour créer le projet, sélectionner Project Setup -> Start New Project. Ensuite, il faut définir un point projet à partir de l'outil Add Project Points, qui correspond à l'exutoire. Après cela, on peut générer le projet avec Project Setup -> Generate Project.

- [Extraction des caractéristiques du bassin versant](#)

On extrait les caractéristiques du bassin versant délimité au préalable à partir du menu Characteristics puis en sélectionnant toutes les caractéristiques du menu.

- [Paramétrage HMS](#)

On peut choisir dès maintenant les paramètres de ruissellement du bassin versant, même si on peut les modifier par la suite directement sur HEC-HMS. Pour ce faire, sélectionner Parameters -> Select HMS Processes. On détaillera par la suite les méthodes et les paramètres choisis dans notre cas.

Pour faciliter notre travail, on utilise les fonctions River Auto Name et Basin Auto Name qui permettent d'assigner des noms aux segments de rivière et aux sous-bassins. Sélectionner Parameters -> River Auto Name et Parameters -> Basin Auto Name.

- [Exportation des données pour le modèle HEC-HMS](#)

Tout d'abord, on convertit les unités. Sélectionner l'onglet HMS -> Map to HMS Units. Puis, il faut vérifier les données avec HMS -> Check Data. Pour être sûr qu'il n'y ait pas d'erreurs, on peut ouvrir le fichier log créé.

Pour préparer les données à être exportées vers HEC-HMS, sélectionner HMS -> Prepare Data for Model Export. Afin d'obtenir les .shp de fond de carte, sélectionner HMS -> Background Shape File. Grâce à cette fonction, on a les fichiers River1584.shp et Subbasin1584 qui seront utilisés dans HEC-HMS.

Finalement, pour exporter le modèle hydrologique sélectionner HMS -> Basin Model File, créant ainsi le fichier .basin, qu'on importera dans HEC-HMS.

- [Ouvrir le modèle HEC-HMS](#)

Pour ouvrir le modèle sur HEC-HMS, sélectionner File -> New, créer un projet. Puis, pour importer le modèle que nous avons réalisé, sélectionner File -> Import -> Basin Model et chercher le fichier .basin créé. Pour obtenir le fond de carte, sélectionner l'onglet View -> Background Map et ajouter les fichiers River1584.shp et Subbasin1584.

- [Simulation sur HEC-HMS](#)

Maintenant, il faut rentrer les paramètres hydrologiques afin de pouvoir obtenir une simulation. Pour cela, il est nécessaire de créer 4 composantes :

- Le modèle du bassin (déjà obtenu en important le fichier .basin)
- Le modèle météorologique
- Les données de suite temporelle (données pluviométriques)
- Une composante de contrôle

## 6-2 Autres simulations

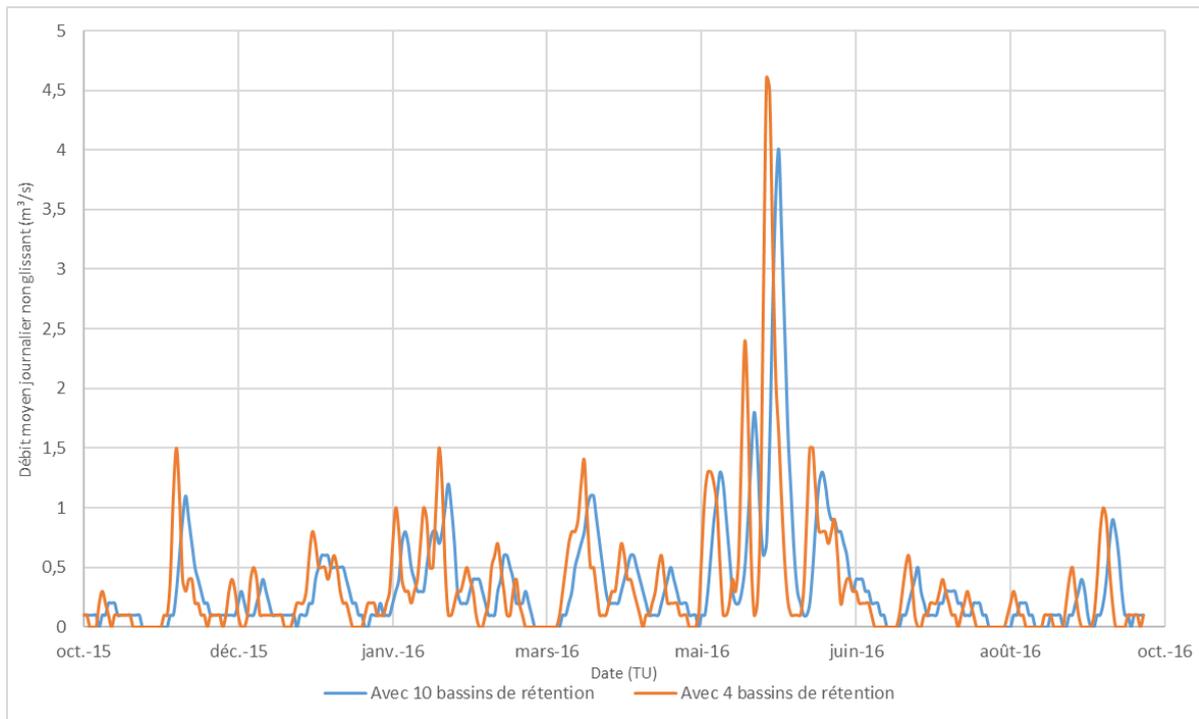


Figure 10 : Comparaison des chroniques entre 10 et 4 bassins de rétention

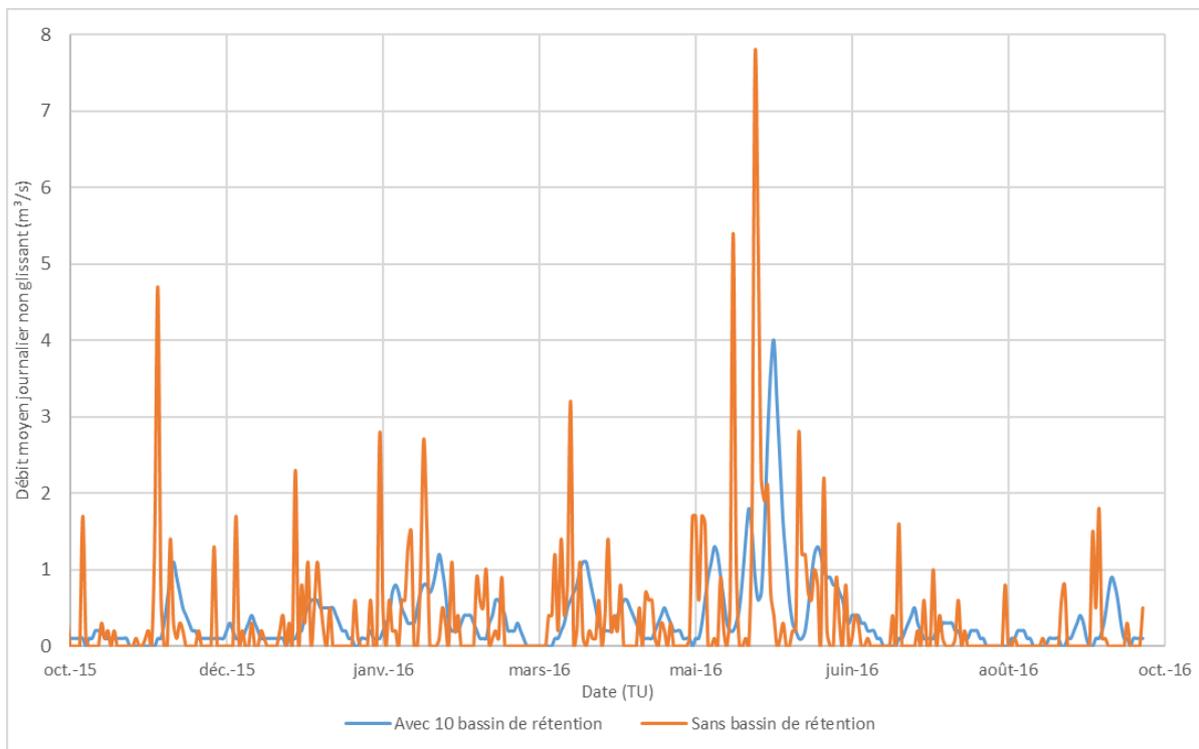


Figure 11 : Comparaison des chroniques entre 10 et sans bassins de rétention

## 7- Références

ACCUEIL | INRAE INSTIT. (2020, 1 JANVIER). INRAE. <https://www.inrae.fr/>

Mutua, B., Klik, A. (2007). Predicting daily streamflow in ungauged rural catchments: The case of Masinga catchment, Kenya VL - 52 DO - 10.1623/hysj.52.2.292 JO - Hydrological Sciences Journal ER

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hech-hms/>

<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>

<https://www.hydro.eaufrance.fr/sitehydro/F4450001/fiche>

[http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rakotonirinaMioraH\\_ESPA\\_MAST\\_14.pdf](http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rakotonirinaMioraH_ESPA_MAST_14.pdf)

<https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Bouchagour-Imene-Sedra-Abir.pdf>

[http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rakotonirinaMioraH\\_ESPA\\_MAST\\_14.pdf](http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/rakotonirinaMioraH_ESPA_MAST_14.pdf)

[https://euromediterranee.fr/sites/default/files/2020-](https://euromediterranee.fr/sites/default/files/2020-02/Pr%C3%A9sentation%20r%C3%A9tention%20F-REG.pdf)

[02/Pr%C3%A9sentation%20r%C3%A9tention%20F-REG.pdf](https://euromediterranee.fr/sites/default/files/2020-02/Pr%C3%A9sentation%20r%C3%A9tention%20F-REG.pdf)

[https://www.researchgate.net/figure/SCS-curve-numbers-in-relation-to-land-cover-classes-and-hydrological-soil-groups\\_tbl2\\_233478776](https://www.researchgate.net/figure/SCS-curve-numbers-in-relation-to-land-cover-classes-and-hydrological-soil-groups_tbl2_233478776)