

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMÉRI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

Département d'Hydraulique

*Filière : Hydraulique*

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Présenté pour Obtenir le Diplôme de Master

*Spécialité : Ouvrages Hydrauliques*

Thème

*Evaluation des débits ruisselés à un exutoire d'un bassin versant  
à partir des données pluviométriques à l'aide du logiciel HEC-  
HMS*

Réalisé par :

*Mr HAMES Djillali*

*Mlle LOUCIF Chahinez*

Encadré Par :

*Mr KHATTAOUI Mohammed*

*Mr ZAMOUM Said*

En collaboration avec :

*DAMELASH Wondimagegnehu, AWTI, Ethiopie et RAFIK Absi, ECAM-EPMI, France*

Soutenu le 04/07/2024

## **Dédicace :**

Nous dédions ce travail à nos familles, pour leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel qui ont été notre source de motivation tout au long de ce parcours académique. Leur encouragement et leur compréhension nous ont permis d'atteindre nos objectifs et de surmonter les obstacles avec confiance. Nous leur sommes reconnaissants pour leur présence constante et leur soutien inestimable. Cette réussite leur est dédiée en signe de gratitude et d'affection.

Nous dédions également ce travail à nos camarades et amis, qui ont partagés avec nous les hauts et les bas de ce parcours. Leur amitié et soutien ont rendu cette aventure encore plus enrichissante. Leur présence a apportée de la motivation à chaque étape. Cette réussite est aussi la leur.

Enfin, nous dédions ce mémoire à nos professeurs qui nous ont enseignés avec passion et dévouement. Leurs conseils avisés et leur soutien ont été essentiels et nous ont permis de grandir intellectuellement. Nous leur exprimons notre profonde gratitude pour avoir partagé leur savoir et leur expérience avec nous

Bien à vous.

Hames Djillali

Loucif Chahinez

## Citation

« Rien n'est plus doux que l'eau.

L'eau ne se bat pas. L'eau ne cherche pas à rivaliser.

L'eau accepte sa propre nature et coule avec elle »

**Margaret Atwood.**

# Remerciements :

Nous saurions réussir à en arriver là aujourd'hui sans l'aide du seigneur qui nous a guidé et soutenu avec toutes ses bénédictions.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, nous remercions chaleureusement Mr Mohamed Khattaoui directeur de mémoire pour son encadrement et sa disponibilité et ses conseils précieux tout au long de ce projet. Son expertise et ses orientations ont été déterminantes pour le succès de ce travail. ainsi que Mr Said Zamoum Co encadreur qui nous a apporté une aide considérable en terme de collecte de données ainsi que l'initiation à divers logiciel intermédiaires qui ont contribué à l'avancement spontané du travail durant cette courte période rendu riche en acquis sur tous les aspects grâce à sa dextérité .

Nous remercions également DAMELASH Wondimagegnehu, Professor, Arba Minch University water Technology institute(AWTI) en Ethiopie et ABSI Rafik, Professeur et Directeur de la Recherche chez ECAM-EPMI, CY Cergy Paris Université, pour leurs collaborations à l'élaboration de ce modeste travail.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à nos familles et amis pour leurs soutien et leurs encouragement. Leurs présence et leurs appui moral ont rendu cette la conclusion de cette recherche possible.

## **Résumé :**

Notre étude représente les résultats de simulation des données pluviométrique à fin de pouvoir évaluer les débits ruisselés à un exutoire du bassin versant « Taksabt », à l'aide de logiciel HEC-HMS.

Le modèle utilisé au pas de temps journalier, a permet de simuler le débit à l'exutoire du bassin versant en question pour lequel les données de débit observés sont disponible. Cette étude est appliquée à trois sous bassins selon les trois stations hydrométriques et sur trois épisodes.

**Mots clés :** HEC-HMS, simulation, débits, données pluviométriques, bassin versant.

## **Abstract :**

Our study presents the result of simulation of precipitation data to evaluate runoff rates at the outlet of the « Taksabt » watershed, using the HEC-HMS software.

The model, which operates on a daily time step, was used to simulate the discharge at the outlet of the watershed for which observed discharge data is available. This study is applied to three sub-basins based on three hydrometric stations and covers three distinct episodes.

**Key words :** HEC-HMS, simulation, runoff, precipitation data, watershed.

## Liste des abréviations :

**HEC-HMS:** Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System.

**SCS :** Soil Conservation Service .

**CN :** Curve Number .

# Table des matières

**Citation**

**Remerciements**

**Résumé**

**Abstract**

**Liste des abréviations**

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale : .....1

**Chapitre 01 : Modélisation hydrologique** .....2

**1) Introduction** : .....3

**1) Principes des modèles hydrologiques** : .....3

A) Production .....3

B) Transfert et routage .....4

**2) Classification des modèles hydrologiques** : .....4

A) Selon l'approche mathématique : .....5

• modèles déterministes .....5

• modèles stochastiques .....5

B) Selon le mécanisme : .....5

• Modèle empirique (boîte noire) : .....5

• Modèle conceptuels : .....5

• Modèles physiques : .....5

**4) Classification spatial** : .....6

A) Modèles globaux : .....6

B) Modèles semi-distribués et distribués : .....6

**5) Modèles HEC-HMS** : .....6

**A) Le module structural du bassin** : .....7

**B) Les modules de simulation par HEC-HMS** : .....8

• Le module de la fonction de production : .....8

➤ Le module de la fonction de transfert : .....8

➤ Le module de routage : .....9

**C) Choix des méthodes** : .....9

**D) Force et limite de HEC-HMS** : .....11

**CHAPITRE 02 : Présentation de la zone d'étude** .....12

**I) Présentation de la zone d'étude** : .....13

I -1) Localisation :	13
I -2) Relief :	13
I -3) Climat :	14
I -4) La végétation :	14
I -5) Géométries :	14
<b>II ) Données Pluies-Débits :</b>	<b>14</b>
<b>II -1) présentation des stations étudiées :</b>	<b>15</b>
<b>III) La présentation des sous bassins :</b>	<b>19</b>
<b>III-1) La station de Boubroune '021513' :</b>	<b>19</b>
<b>III-1-1) le calcul de curve Number et le lag time :</b>	<b>19</b>
<b>III-1-2) Données de Débits et pluie :</b>	<b>20</b>
<b>III-2) La station de Fréha '021605' :</b>	<b>24</b>
<b>III-2-1) le calcul de Curve Number et le lag time :</b>	<b>24</b>
<b>III-2-2) Données de Débits et pluie :</b>	<b>25</b>
<b>III-3) La Station de Belloua "021813" :</b>	<b>29</b>
<b>III-3-1) le calcul de Curve Number et le lag time :</b>	<b>29</b>
<b>III-3-2) Données Débits et pluie :</b>	<b>30</b>
Chapitre 03 : La simulation par HEC-HMS	34
<b>I ) Principales fonctionnalités du HEC-HMS:</b>	<b>35</b>
<b>II) Les données nécessaires à l'application de simulation avec HEC-HMS :</b>	<b>35</b>
<b>III) La délimitation du bassin versant via le logiciel HEC-HMS :</b>	<b>36</b>
<b>Chapitre 4 : Résultats des Simulations et Optimisations</b>	<b>57</b>
<b>I) Simulation, démonstration :</b>	<b>58</b>
Résultats des simulations :	69
<b>II) Repère de calibration :</b>	<b>71</b>
Démonstration d'une optimisation :	76
Résultats des Optimisations :	81
<b>III) Calibration :</b>	<b>86</b>
<b>Démonstration de calibration :</b>	<b>86</b>
<b>Résultats de la calibration :</b>	<b>92</b>
<b>Discussion</b>	<b>96</b>
<b>Conclusion</b>	<b>97</b>
<b>Références Bibliographiques :</b>	<b>98</b>

## Liste des tableaux :

**Tableau 01** : caractéristiques géométriques de bassin versant de Taksabt : [10]

**Tableau 02** : stations pluviométriques.

**Tableau 03** : stations hydrométriques.

**Tableau 04** : Répartition zonale des CN avec superficies occupées de la station 021513.

**Tableau 05** : Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de la station 021513.

**Tableau 06** : Données de débits prise pour la station de Boubroune.

**Tableau 07** : Données de pluies prises pour la station de Boubroune.

**Tableau 08** : Répartition zonale des CN avec superficies occupées de la station de Fréha  
'021605'

**Tableau 09** : Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de la station de Fréha  
'021605'

**Tableau 10** : Données de débits prise pour la station de Fréha.

**Tableau 11** : Données de Pluies prise pour la station de Fréha.

**Tableau 12** : Répartition zonale des CN avec superficies occupées de Belloua ''021813''

**Tableau 13** : Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de Belloua ''021813''.

**Tableau 14** : Données de débits prise pour la station de Belloua.

**Tableau 15** : Données de Pluies prise pour la station de Belloua.

**Tableau 16** : Tableau d'évaluation de calibration.

**Tableau 17** : procédure d'ajustement sur Excel.

## Liste des figures :

**Figure1** : relation entre les modèles hydrologiques pluie-débit selon (Berthier and Toutin2008)

**Figure 02** : carte réseau hydro climatique, zone N 02, Tizi-Ouzou, Taksebt.

**Figure03** : Délimitation Hec-hms du bassin de la station 021513.

**Figure 04** : Délimitation Hec-hms du bassin de la station de Fréha '021605'.

**Figure 05** : Délimitation Hec-hms du bassin de Belloua ''021813''.

**Figure 6** : Etape numéro 01.

**Figure 7** : Etape numéro 02.

**Figure 8** : Etape numéro 03.

**Figure 9** : Etape numéro 04.

**Figure 10** : Etape numéro 05.

**Figure 11** : Etape numéro 06.

**Figure 12** : Etape numéro 07.

**Figure 13** : Etape numéro 08.

**Figure 14** : Etape numéro 09.

**Figure 15** : Etape numéro 10.

**Figure 16** : Etape numéro 11.

**Figure 17** : Etape numéro 12.

**Figure 18** : Etape numéro 13

**Figure 19** : Etape numéro 14.

**Figure 20** : Etape numéro 15.

**Figure 21** : Etape numéro 16.

**Figure 22** : Etape numéro 17.

**Figure 23** : Etape numéro 18.

**Figure 24** : Etape numéro 19.

**Figure 25** : Etape numéro 20.

**Figure 26** : Etape numéro 21.

**Figure 27** : Etape numéro 22.

**Figure 28** : Etape numéro 23.

**Figure 29** : Etape numéro 24.

**Figure 30** : Etape numéro 25.

**Figure 31** : Etape numéro 26.

**Figure 32** : Etape numéro 27

**Figure 33** : Etape numéro 28.

**Figure 34** : Etape numéro 29.

**Figure 35** : Etape numéro 30.

**Figure 36** : Etape numéro 31.

**Figure 37** : Etape numéro 32.

**Figure 38** : Etape numéro 33

**Figure 39** : Etape numéro 34.

**Figure 40** : Etape numéro 35.

**Figure 41** : Etape numéro 36.

**Figure 42** : Etape numéro 37.

**Figure 43** : Etape numéro 38.

**Figure 44** : Etape numéro 39.

**Figure 45** : Etape numéro 40.

**Figure 46** : Etape numéro 41.

**Figure 47** : Etape numéro 01.

**Figure 48** : Etape numéro 02.

**Figure 49** : Etape numéro 03.

**Figure 50** : Etape numéro 04.

**Figure 51** : Etape numéro 05.

**Figure 52** : Etape numéro 06.

**Figure 53** : Etape numéro 07.

**Figure 54** : Etape numéro 08.

**Figure 55** : Etape numéro 09.

**Figure 56** : Etape numéro 10.

**Figure 57** : Etape numéro 11.

**Figure 58** : Etape numéro 12

**Figure 59** : Etape numéro 13.

**Figure 60** : Etape numéro 14

**Figure 61** : Etape numéro 15.

**Figure 62** : Etape numéro 16.

**Figure 63** : Etape numéro 17.

**Figure 64** : Etape numéro 18.

**Figure 65** : Etape numéro 19.

**Figure 66** : Etape numéro 20.

**Figure 67** : Etape numéro 21.

**Figure 68** : Etape numéro 22.

**Figure 69** : Etape numéro 23.

**Figure 70** : Résultats de la simulation n 01.

**Figure 71** : Résultats de la simulation N02.

**Figure 72** : Résultats de la simulation N03.

**Figure 73** : Résultats de la simulation N04

**Figure 74** : Résultats de la simulation N05.

**Figure 75** : Résultats de la simulation N06.

**Figure 76** : Résultats de la simulation N07.

**Figure 77** : Résultats de la simulation N08.

**Figure 78** : Résultats de la simulation N09.

**Figure 79** : Etape N01.

**Figure 80** : Etape N02.

**Figure 81** : Etape N03.

**Figure 82** : Etape N04.

**Figure 83** : Etape N05.

**Figure 84** : Etape N06.

**Figure 85** : Etape N07.

**Figure 86** : Etape N08.

**Figure 87** : Optimisation 01.

**Figure 88** : Optimisation 02.

**Figure 89** : Optimisation 03.

**Figure 90** : Optimisation 04.

**Figure 91** : Optimisation 05.

**Figure 92** : Optimisation 06.

**Figure 93** : Optimisation 07.

**Figure 94** : Optimisation 08.

**Figure 95** : Optimisation 09.

**Figure 96** : simulation Run 01.Graphe.

**Figure 97**: simulation Run 01. Summary Table.

**Figure 98** : simulation Run 01.Graphe calibré.

**Figure 99** : simulation Run 01, summary table calibré.

**Figure 100** : Optimisation .Run 01 Graphe.

**Figure 101** : Optimisation 1, summary table.

**Figure 102** : Optimisation 1, Graphe calibré.

**Figure 103** : Optimisation 1, Summary table.

## Introduction Générale :

La sécheresse, exacerbée par les changements climatiques en cours, représente l'une des manifestations les plus visibles et préoccupantes de l'impact humain sur notre planète. Avec l'augmentation des températures mondiales et l'altération des régimes de précipitations, les périodes de sécheresse deviennent plus fréquentes, plus sévères et plus étendues. Ces événements mettent en péril la sécurité alimentaire, la santé publique et l'économie, affectant particulièrement les régions déjà vulnérables.

Dans ce contexte, la gestion des ressources en eau devient cruciale. L'eau, ressource essentielle à la vie et au développement économique, doit être gérée de manière durable pour faire face aux défis posés par la sécheresse croissante. Cela implique non seulement une utilisation plus efficace et économe de l'eau disponible, mais aussi l'investissement dans des infrastructures résilientes et des politiques adaptées aux nouvelles réalités climatiques.

La sécheresse en Afrique du Nord est un problème récurrent et croissant, Cette région est particulièrement vulnérable en raison de ses conditions climatiques semi-arides à arides et de sa dépendance importante à l'égard de l'agriculture, qui est fortement influencée par la disponibilité d'eau.

En Algérie particulièrement, les périodes de sécheresse ont des répercussions sévères sur l'approvisionnement en eau pour la population, l'agriculture et l'industrie. Les études montrent que les sécheresses sont devenues plus fréquentes et plus intenses au cours des dernières décennies en raison du réchauffement climatique et des changements dans les régimes de précipitations [22]

Cette introduction souligne l'urgence de développer des stratégies intégrées et coopératives à l'échelle nationale et locale pour préserver nos réserves d'eau et garantir une parfaite gestion face à l'impact grandissant des changements climatiques et des périodes de sécheresse. [21]

Face à pareille situation, la question qui se pose est comment mobiliser et mieux gérer le potentiel hydrique du pays pour une meilleure satisfaction des besoins en eau des populations sans porter un préjudice irréversible au système global d'écoulement de maintien de la biodiversité des cours d'eau. (DGRE, 2009). [23]

Pour répondre à cette question, une étude sur le potentiel hydrique des différents bassins du pays s'impose, et c'est dans ce contexte que cette recherche sur la modélisation pluie-débit du bassin versant de Taksebt à l'aide du modèle HEC-HMS a été initiée.

# **Chapitre 01 : Modélisation hydrologique**

## 1) Introduction :

La modélisation hydrologique constitue un élément central dans la gestion et la compréhension des ressources en eau. En intégrant les fondements scientifiques de l'hydrologie avec les avancées technologiques, les modèles hydrologiques permettent de simuler d'une manière détaillée et précise le comportement complexe des bassins versant, en réponse aux conditions météorologiques, géographiques et humaines. [1]

Un modèle hydrologique ou un modèle pluie-débit est un outil numérique utilisé pour représenter la relation entre la pluie et le débit à l'échelle d'un bassin versant. Son rôle est de transformer les données climatiques d'un bassin versant donné, telles que les séries temporelles de précipitation et de températures, en séries de débit, fournissant ainsi une sortie hydrologique. [2]

### 1) Principes des modèles hydrologiques :

En intégrant des données observées et des paramètres physiques des bassins versant, les modèles hydrologiques permettent de prédire les débits d'eau à différents endroits et différents moments.

Le principe clé est de comprendre et de quantifier les différents composants du cycle hydrologique afin de mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion des ressources en eau, de prévision des crues et de conception des infrastructures hydrauliques. [3]

Les modèles hydrologiques transforment des séries, décrivant le climat d'un bassin versant, en une série de débit en deux parties suivantes :

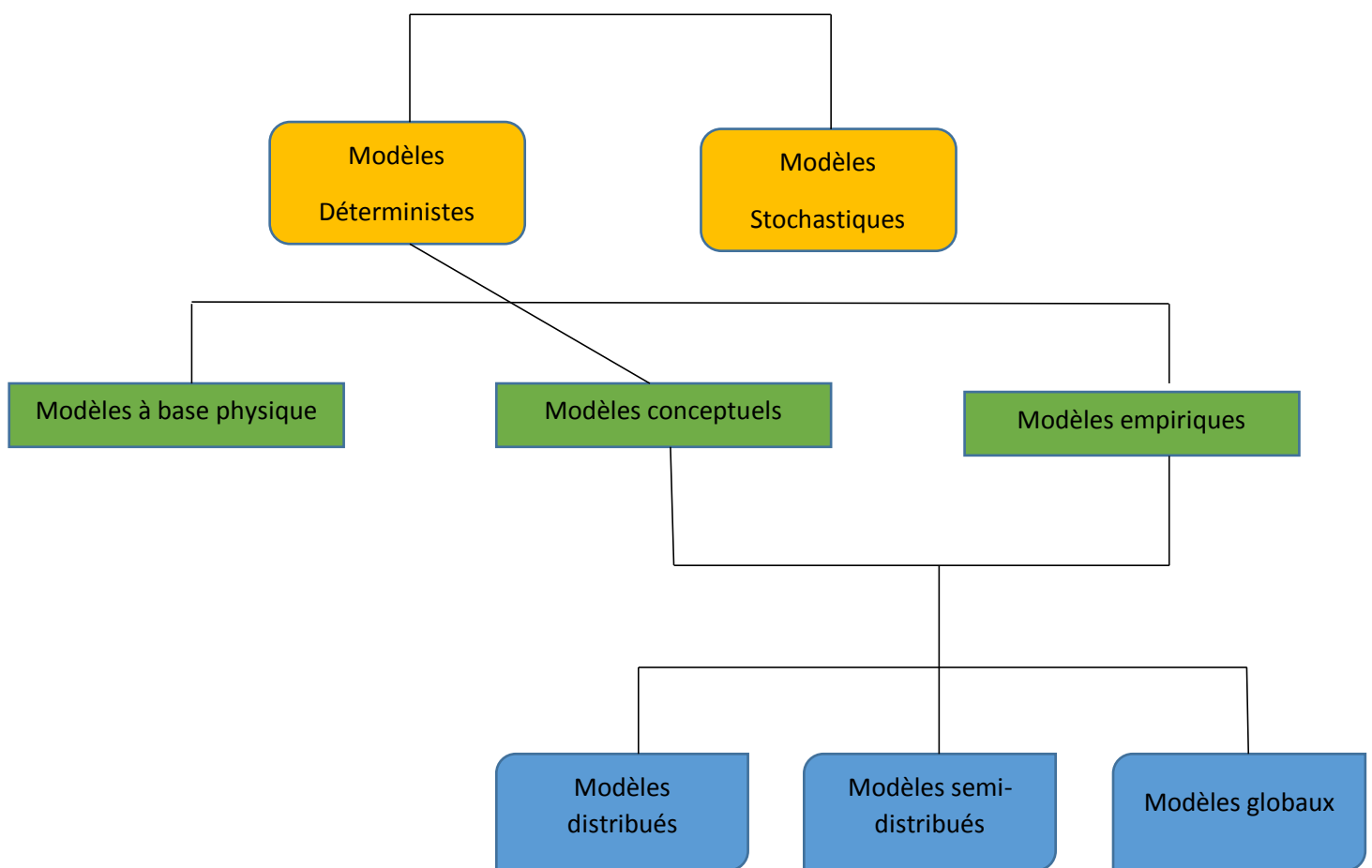
A) **Production** : la première étape, souvent appelée production, implique l'établissement des bilans d'eau à l'échelle de bassin versant.

Ce processus permet de répartir la pluie brute observée (c'est-à-dire l'ensemble des précipitations tombées sur le bassin versant, mesurées par un ou plusieurs pluviomètres) en plusieurs composantes, telle que la pluie nette (la partie de la pluie brute contribuant au débit du bassin versant étudié), l'évapotranspiration et le stockage d'eau dans le bassin versant. [2]

B) **Transfert et routage** : la deuxième étape qui consiste à distribuer dans le temps la quantité d'eau participant au débit du bassin versant étudié.

Cela implique de simuler le cheminement de l'eau à travers le réseau hydrographique, en prenant en compte les caractéristiques topographiques du bassin versant, l'occupation des sols et les propriétés hydrauliques des cours d'eau. [2]

2) Classification des modèles hydrologiques :



**Figure1** : Relation entre les modèles hydrologiques pluie-débit selon Berthier & Toutin (2008) [6].

Il existe plusieurs classifications des modèles hydrologiques, sont les suivantes :

### A) Selon l'approche mathématique :

- **modèles déterministes** : Ces modèles utilisent des équations physiques pour représenter les processus hydrologiques tels que l'équation de bilan hydrique ou l'équation de diffusion.

- **modèles stochastiques** : Ce sont des outils mathématiques utilisés pour représenter des phénomènes complexes qui comportent des éléments de probabilité. Contrairement aux modèles déterministes, les modèles stochastiques génèrent des résultats probabilistes qui capturent la variabilité inhérente aux processus modélisés. [4]

### B) Selon le mécanisme :

Cette classification se concentre sur la façon dont les processus hydrologiques sont représentés et simulés dans le modèle. On peut les classer en trois groupes :

- **Modèle empirique (boite noire)** :

Dans la modélisation hydrologique d'un bassin versant, une approche empirique se concentre sur l'utilisation de relations statistiques ou empirique entre les données observées, telles que les précipitations et les débits, sans nécessairement tenir compte des processus physiques sous-jacents. Ces modèles sont souvent simples et faciles à utiliser mais peuvent être moins précis que les modèles basés sur des processus physiques. Ce type de modèle peut être utilisé pour la prévision des crues. [5].

- **Modèle conceptuels** :

Les modèles conceptuels, ou réservoirs en hydrologie, sont des outils de modélisation qui simplifient la représentation des processus hydrologiques en utilisant des concepts et des paramètres empiriques plutôt que des équations physiques détaillées [5].

Ces modèles regroupent les processus similaires sous forme de concepts généraux tels que l'infiltration et le ruissellement de surface. Les paramètres des modèles conceptuels sont souvent calibrés de données observées pour représenter le comportement du bassin versant ; ces modèles sont largement utilisés dans la modélisation hydrologique en raison de leur simplicité et de leur adaptabilité aux différentes situations hydrologiques [5].

- **Modèles physiques** :

Les modèles physiques utilisent des équations basées sur les lois physiques pour représenter les processus hydrologiques tels que l'évaporation et la transmission des eaux souterraines. Ces

modèles visent à reproduire fidèlement les mécanismes hydrologiques réels qui se produisent dans le bassin versant. [6]

#### 4) Classification spatial :

La classification spatiale des modèles hydrologiques se réfère à la manière dont ils prennent en compte la variabilité spatiale des processus hydrologiques à l'intérieur d'un bassin versant. On peut distinguer deux catégories :

##### A) Modèles globaux :

Ce type de modèles traite le bassin versant comme une entité unique pour une représentation globale et simplifiée des processus hydrologiques à grande échelle, ce qui permet d'analyser les tendances générales et les interactions à travers les bassins versants et les régions [6].

##### B) Modèles semi-distribués et distribués :

Les modèles semi-distribués et distribués dans la modélisation des bassins versants sont des approches qui visent à prendre en compte la variabilité spatiale des processus hydrologiques l'intérieur d'un bassin versant. [7]

Les modèles semi distribués subdivisent le bassin versant en plusieurs zones ou unités spatiales, mais agrègent souvent les informations à l'échelle du bassin pour réduire la complexité et les besoins en données. En revanche les modèles distribués prennent en compte la variabilité spatiale à travers tout le bassin versant, en simulant les processus hydrologiques dans chaque unité spatiale de manière détaillée. [7].

#### 5) Modèles HEC-HMS :

Le HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) est un logiciel qui simule le comportement hydrologique d'un bassin versant suite à des événements pluvieux prédéterminés. Ce modèle est développé par hydrologic Engineering centre (HEC) du corps de l'armée américaine des ingénieurs.

❖ HEC-HMS est un modèle semi distribué qui permet de subdiviser un bassin versant en plusieurs sous-bassins, qui sont considérées comme ayant chacun des caractéristiques homogènes, ce logiciel permet de calculer des hydrogrammes de crues pour plusieurs objectifs, à savoirs les études de drainage urbain, la prévision des crues et leurs impacts, la conception des réservoirs ainsi que la réduction des effets des inondations. [8]

Le logiciel HEC-HMS permet de traiter ou simuler à la fois les différentes données suivantes :

❖ Les précipitations : ces données peuvent correspondre à des relevés pluviométriques réels d'événements pluvieux ordinaires ou exceptionnels mais aussi à des évènements pluvieux théoriques basés sur une étude statistique.

❖ Les pertes, soit par :

- Infiltration, qui est défini comme le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol lorsque celles-ci reçoivent des précipitations.

- Evapotranspiration, qui décrit le transport de l'eau depuis la surface vers l'atmosphère, soit la somme de l'évaporation direct de l'eau du sol et la transpiration par les plantes.

Ces deux derniers, infiltration et évapotranspiration, permettent d'évaluer le ruissellement à partir des précipitations et des caractéristiques du bassin versant.

❖ Les ruissellements directs qui prennent en compte les écoulements de surface, les stockages et les pertes de charge. [8]

### A) Le module structural du bassin :

• L'élément «subbasin » : matérialise le bassin si la modélisation est globale, et les sous bassins si on opte pour une modélisation semi-distribuée.

• L'élément « reach » : représente le plus souvent la rivière et il sert à faire la connexion entre les autres éléments. L'information de base attachée est la fonction de routage.

• L'élément « réservoir » : décrit les réservoirs, les retenues de barrage, ses caractéristiques attribuées permettent de définir les conditions stockage-déstockage.

• L'élément « source » : apport supplémentaire d'un cours d'eau qui permet d'ajouter des stations de mesure de débit ou de représenter les conditions aux limites.

• L'élément « jonction » : utilisé pour combiner au moins deux véhiculés par deux éléments, comme dans le cas d'une confluence entre deux rivières.

• L'élément « diversion » : représente des endroits où se produit des prélèvements d'eau, c'est le cas par exemple des canaux de diversion. C'est l'un des points de faiblesse de HEC-HMS.

• L'élément « Sink » : simule l'exutoire des sous versants [8].

## B) Les modules de simulation par HEC-HMS :

### • Le module de la fonction de production :

La fonction de production assure la transformation de la pluie brute en pluie nette en y retranchant toutes les pertes éventuelles causées par l'interception (obstacle, végétation, cuvettes...), l'infiltration et l'évapotranspiration (en cas de modélisation continue).

Il existe six méthodes pour ce module dans la simulation par HEC-HMS :

❖ « Initial and constant loss » : pertes initiales, à un taux constant. Ce formalisme considère un taux maximum de perte constante et une perte initiale à saturer avant que le ruissellement commence.

❖ « Deficit and constant loss » : à déficit et à taux constant. Une variante du premier formalisme avec une possibilité de régénération des pertes initiales durant une période sans pluie au cours de l'événement modélisé.

❖ « Green and Ampt loss » : formalisme qui s'intéresse plutôt aux pertes par infiltration, cette méthode repose sur l'équation de Darcy et la conservation de masse.

❖ « Soil Moisture Accounting Loss » : formalisme très poussé qui calcule les pertes par évapotranspiration, infiltration et percolation profonde selon le principe de couche de stockage.

❖ « SCS Curve Number loss » : formalisme qui relie les pertes en pluie à l'occupation du sol et le type de sol ainsi que l'humidité antécédente. cette méthode sera détaillée davantage dans la section de la combinaison modulaire choisie.

❖ « Gridded SCS Curve Number Loss » : format maillé du formalisme précédent. La sélection de l'un de ces formalismes est une étape délicate qui va influencer sans doute les sorties du modèle [9].

### ➤ Le module de la fonction de transfert :

Une fois la pluie participante au ruissellement calculée, c'est le rôle de la fonction de transfert qui débute. Elle permet de déterminer l'hydrogramme résultant de la pluie nette. Ce modèle aussi offre six formalismes pour y converger :

❖ « User-Specified Unit Hydrograph »

❖ « Snyder Unit Hydrograph »

❖ « Kinematic Wave »

❖ « SCS Unit Hydrograph »

❖ « Mod Clark » [9].

➤ Le module de routage :

Ce module permet de calculer un hydrogramme en aval du bassin versant connaissant l'hydrogramme en amont, pour cela on choisit l'une des formalismes suivants :

- ❖ « Lag »
- ❖ « Muskingum »
- ❖ « Modified Plus »
- ❖ « kinematic-wave »
- ❖ « Muskingum Cunge » [9].

### C) Choix des méthodes :

Aboutir à une bonne performance du modèle repose sur la nécessité de faire beaucoup de combinaisons des différents modules, ce qui rend cette tâche de plusieurs choix assez compliquée [13].

Avoir un modèle performant nécessite :

- Des données de pluie et de débit exigées par le modèle : Ces données doivent être simples et accessibles pour faire marcher le logiciel.
- L'éventuelle possibilité d'intégration des facteurs majeurs supplémentaires afin d'apporter une certaine touche de précision à notre travail ainsi que pour avoir des résultats fiables reproduisant la réalité. Ces facteurs majeurs peuvent être liés à la morphométrie du bassin versant, à l'occupation du sol, au type du sol, à l'humidité antérieure....etc [14].

Après maintes combinaisons, notre choix s'est porté sur les différents modules suivants :

\*pour le module de production :

Nous avons choisi la méthode du SCS Curve Number Loss, une méthode qui adopte la liaison entre les pertes en pluie à l'occupation et le type du sol ainsi qu'à l'humidité antécédente. Ce modèle estime l'excès de précipitations comme une fonction des précipitations cumulées, de la couverture et de l'humidité initiale du sol à partir de l'équation suivante : [13]

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \dots (1)$$

**Pe** : précipitation nette au temps t

**P** : les précipitations brutes au temps t

Ia : l'abstraction initiale

S : le potentiel maximum de rétention

$$Ia=0,2*S \dots (2)$$

Ainsi l'équation (1) devient :

$$Pe=\frac{(P-0,2*S)^2}{P+0,8S} \dots(3)$$

L'influence des deux premiers facteurs susmentionnés est par le paramètre CN qui relié S par l'équation :

$$S=\frac{25400-254CN}{cn} \dots(4)$$

\*Pour le module de transfert :

Nous avons utilisé la méthode « SCS unit hydrograph ». D'après Sherman en 1932, l'hydrogramme unitaire est l'hydrogramme de ruissèlement direct résultant d'une pluie nette uniforme et constante ainsi que d'une durée de référence suffisamment longue pour générer un écoulement sur l'ensemble de bassin. Ce module repose principalement sur l'hypothèse de linéarité entre l'excès de précipitation et le ruissèlement, on a donc l'équation de convolution suivante [15] :

$$Q_n=\sum_{m=1}^{n-1} P_m U_{n-m} - m + 1$$

Avec Q<sub>n</sub> est le débit de ruissèlement au temps n.Δt

P<sub>m</sub> est l'excès de précipitation entre m. Δt, et (m+1) Δt(en hauteur d'eau)

U<sub>n-m+1</sub> est la valeur de l'hydrogramme unité au temps (n-m+1) Δt

\*Pour le module de routage :

Nous avons choisi la méthode de « Maskingum » qui est basée sur un concept de stockage linéaire et non linéaire dans un tronçon de rivière ou de canal. Elle combine les principes de conservation de la masse et de continuité pour estimer le débit de sortie d'un tronçon de rivière en fonction du débit d'entrée et des conditions de stockage dans le tronçon. La méthode de Maskingum est appréciée pour sa simplicité et son efficacité, bien qu'elle puisse présenter des limites dans les situations de propagation complexe des ondes de crue ou des variations de pente importantes, elle est basé sur l'équation de continuité suivante : [16]

$$S=X*S_i+(1-X)*S_0=K*O+K*X(1-O)$$

K est associé au temps de déplacement de l'onde et la crue à travers les biefs

X est un coefficient de pondération entre le débit entrant et le débit sortant

### **D) Force et limite de HEC-HMS :**

#### ➤ Force :

- La diversité dans les formalismes : l'utilisation de plusieurs modèles et méthodes hydrologiques pour simuler et analyser les processus hydrologiques.

- Diversité de combinaison modulaire possible.

- Aptitude de calibration et nature des résultats : le HEC-HMS avec ses deux fonctions d'optimisation, ses sept fonctions objectives sans oublier ses graphes explicatifs et analytiques, il accorde à la calibration une précision inédite et à la modélisation une exploitation au bout des choses.

#### ➤ Limites de HEC-HMS :

- Tous les formalismes utilisent des valeurs constantes des paramètres : l'utilisation des paramètres fixes au lieu de dynamiques, ce qui ne peut pas capturer les variations temporelles et spatiales des processus hydrologiques réels.

- Tous les modules ne sont pas accouplés ; c'est-à-dire que chaque partie du modèle est calculée indépendamment de l'autre, mais l'erreur liée à ce problème est minimisée par l'utilisation de courts temps de calcul.

- La représentation de la structure de bassin : représentée dans le HEC-HMS, par un arbre ramifié qui rend son assimilation difficile.

## **CHAPITRE 02 : Présentation de la zone d'étude**

## I) Présentation de la zone d'étude :

I-1) **Localisation** : La wilaya de Tizi Ouzou s'étend sur 2 992,96 km<sup>2</sup> située au Nord de l'Algérie, dans la région de la Kabylie, elle est délimitée :

- à l'ouest par la wilaya de Boumerdès ;
- au sud par la wilaya de Bouira ;
- à l'est par la wilaya de Béjaïa ;
- au nord par la mer Méditerranée [10].



Figure 02 : carte du réseau hydro-climatique, zone N° 02, Tizi-Ouzou, Taksebt

I-2) **Relief** : La chaîne côtière comprend approximativement le territoire situé sur la rive droite du Sebaou jusqu'à la mer, s'étalant sur 21 communes au total. Le massif central est situé entre le Sebaou et les daïra de Draâ El Mizan et de Ouadhias. Il a des limites moins nettes à l'est où il bute contre le Djurdjura.

Ce relief se distingue par des formes tantôt larges et arrondies, du fait de l'érosion, et tantôt étroit et aiguë. Ses altitudes se situent en général entre 800 et 1 000 mètres. De nombreux oueds provenant du Djurdjura (Oued-Aissi, Ksari, Rabta) ont entaillé le massif, et les pentes sont presque toujours élevées (supérieures à 12 %) [10].

I-3) **Climat** : Lors de la dernière décennie, la pluviométrie annuelle moyenne de la wilaya de Tizi Ouzou a varié entre 500 et 800 mm. Les étés sont très chauds, les hivers sont doux et pluvieux et l'ensoleillement est très élevé. Le réseau hydrographique renferme deux grands bassins versants, à savoir le bassin de Sebaou et le bassin côtier [11].

I-4) **La végétation** : Le bassin versant de Taksabt présente une végétation varié influencée par son climat méditerranéen et sa topographie montagneuse. Sur les schistes du socle kabyle sont cultivés des oliviers, plus particulièrement sur les fortes pentes, et des figuiers sur les faibles pentes, avec des arbustes résistantes comme le chêne Kermès et le pistachier lentisque. Cette diversité végétale offre une riche biodiversité et joue un rôle crucial dans la prévention de l'érosion des sols et la régulation de cycle hydrologique dans le bassin versant. Ce bassin est caractérisé par un couvert végétal dense avant les incendies de 2021 [11].

I-5) **Géométries** :

Surface de bassin versant	448km <sup>2</sup>
Périmètre	99km
Longueur thalweg principale	39km
Longueur maximum de bassin	31km
Longueur rectangle équivalent	37km
Largeur rectangle équivalent	12,1km
Altitude moyenne	655m
Altitude maximum	2300m
Facteur de forme	3,3
Indice de compacité de Gravelius	1,3
Pente moyenne	0,23

**Tableau 1** : Caractéristiques géométriques de bassin versant de Taksebt : [12]

II) **Données Pluies-Débits** : Dans cette partie, on s'est référé à une vaste base de données de pluies ainsi que de débits de toutes les stations possibles, depuis 1970 jusqu'à l'année 2014, soit 44 ans de données à organiser. En tout, nous avons en notre possession 4 stations de débit et 6 stations de pluie, réparties selon le pas de temps journalier.

Code de station	Le nom de la station
02/1705	IRATHEN
02/1805	LARBAA MAKOUDA
02/1603	FREHA
02/1504	AZAZGA ECOLE
02/1902	DRAA MIZAN
02/2002	BAGHLIA VILLAGE

Tableau 02 : station pluviométriques.

Code de station	Le nom de la station
02/1513	BOUBROUNE
02/1605	FREHA
02/1803	BELLOUA
02/1715	RN30

Tableau 03 : station hydrométriques.

Nous avons fait en sorte de raccorder chaque mois, en suivant l'enchaînement annuel, afin d'obtenir chaque station en données sous forme de lignes horizontales continue sur la plateforme Excel ; afin de discerner les périodes les plus favorables et arrosées en terme de quantités de pluies et de débits pour faire des simulations adaptées avec notre logiciel.

## II-1) présentation des stations étudiées :

Il y a eu lieu de diviser notre carte par le logiciel Arc-Gis afin de nous focaliser sur nos 03 zones d'études en questions, et permettre au logiciel de simuler plus aisément en termes de surface.

Chaque station de débit dispose de sa station de pluie, grâce auxquelles la simulation ait lieu avec le logiciel HEC-HMS, les stations étudiées sont les suivantes :

- Pour la station 02/1513 « BOUBROUNE », la station pluviométrique correspond est 02/1504 « AZAZGA ECOLE ».
- Pour la station 02/1605 « FREHA », la station 02/1603 « FREHA » qui est choisi.
- Pour la station 02/1803 « BELLOUA », y'on a trois stations pluviométriques qui sont proches pour cela nous avons fait le polygone de Thiessen à l'aide de logiciel global maper .les station sont les suivantes :
  - \*Station 02/1603 d'une superficie égale à 233,4 km<sup>2</sup>
  - \*station 02/1715 d'une superficie égale à 691,6 km<sup>2</sup>
  - \*station 02/1504 d'une superficie égale à 556,6 km<sup>2</sup>

La superficie totale de sous bassin 02/1803 est de 1481,6 km<sup>2</sup>

Nous avons appliqué la loi de Thiessen suivante :

$$Theissen = \frac{(p1 \times S1) + (p2 \times S2) + (p3 \times S3)}{\sum S}$$

Cette méthode consiste à multiplier chaque pluie journalière par la superficie de la station à laquelle elle appartient puis de diviser le résultat sur la superficie totale des stations concernées ;

Avec :

**P1** : pluie station 01 (Azazga pour notre cas).

**P2** : pluie station 02 ( Fréha).

**P3** : Pluie station 03 (Irathen).

**S1** : Superficie de la station 01.

**S2** : Superficie de la station 02.

**S3** : Superficie de la station 03.

**NB** : pour chaque opération, il est impératif que les données appartiennent à la même période.

Nous avons ensuite utilisé le logiciel HEC-HMS pour la délimitation de nos 03 stations choisies en fonction des quantités importantes de pluie ainsi que de débit.

Le choix final s'est donc arrêté sur 3 périodes que nous avons jugé plus convenable au fonctionnement du logiciel vu qu'on dispose de toutes les données nécessaires. Les autres périodes non choisies soit comportent des lacunes de mesures soit comportent des données non adéquats, soit tout simplement des périodes de sécheresse. Les périodes choisies sont les suivantes :

- Période 01 : du 21 décembre 1989 jusqu'au 31 janvier 1990
- Période 02 : du 01 décembre 1996 jusqu'au 31 janvier 1997
- Période 03 : du 28 octobre 1997 jusqu'au 27 décembre 1997

Une fois les données pluies-débits introduites dans notre logiciel, il est indispensable de choisir quelques paramètres importants avant de pouvoir lancer la simulation ; Ces paramètres sont les suivants :

- **Curve Number (CN) :**

Le curve number, ou le numéro de courbe, est un concept utilisé en hydrologie pour représenter la capacité d'un sol à absorber l'eau. C'est un paramètre qui détermine la relation entre les précipitations et le ruissellement dans un bassin versant.

Le curve number est souvent utilisé dans le calcul de la quantité d'eau qui s'infiltré dans le sol et celle qui ruisselle en surface.

Le CN varie généralement de 30 à 100, les valeurs spécifiques dépendent de plusieurs paramètres tels que le type du sol, l'occupation du sol, l'humidité antérieure du sol et d'autres caractéristiques du bassin versant ; ces dernières influencent la capacité du sol à absorber l'eau et donc le comportement hydrologique du bassin versant [17].

Pour les cas de nos stations, nous avons obtenu les curve number pour chaque bassin à l'aide du logiciel Arc-gis. Interprétées sous forme d'un tableau très précis, grâce à une base de données géo-satellites. Chaque bassin dispose de ses nombre de zones de différent numéro de courbe CN, pour cela, nous avons utilisé une méthode pour attribuer à chaque bassin un CN moyen.

- **Lag time 'L' :**

Le Lag Time ou le délai de réponse, en hydrologie, fait référence à la période de temps écoulée entre le pic de précipitation et le pic de débit dans un cours d'eau ou un bassin versant.

C'est essentiellement le temps nécessaire pour que l'eau de pluie s'écoule des zones amont vers les points de surveillance ou de mesures en aval [18].

Donnée par l'équation suivante :  $Lag = 0.6 \times Tc$ , où :  $Tc$  = le temps de concentration.

- **Temps de concentration :**

Il s'agit du temps nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombée au point le plus éloigné d'un bassin versant atteigne le point de sortie du bassin. Il représente la durée totale que prend l'eau pour se déplacer à travers le réseau hydrologique du bassin versant, de la zone la plus éloignée jusqu'au point de collecte principal [19]. Il est exprimé par la relation suivante :

$$TC = \frac{l^{0,8} \times (S+1)^{0,7}}{1,140 \times Y^{0,5}}$$

Où,  $l$  : longueur du flux,  $S$  : rétention potentielle maximale et  $Y$  : Pente moyenne du bassin versant

**• Longueur du flux 'l':**

La longueur du flux, l, fait référence à la distance parcourue par l'eau depuis le point de départ jusqu'au point de sortie dans le bassin versant. Cette mesure de distance est importante pour comprendre le cheminement de l'eau à travers le réseau hydrologique du bassin versant. Généré directement par le logiciel HEC-HMS en allant dans : Paramètres, Characteristics, Subbasins. Ainsi on obtient un tableau de caractéristiques comprenant, la longueur du flux l et la pente moyenne des terres du bassin versant Y. Ces caractéristiques sont peuvent être exprimées en kilomètres ou en pied (ft) où 1km= 3280.84 Ft.

**• Pente moyenne des terres du bassin versant 'Y' :**

La Pente moyenne des terres du bassin versant 'Y' ou 'Average watershed land slope' est un paramètre qui mesure l'inclinaison générale sur laquelle l'eau s'écoule dans le bassin versant, cette pente est calculée en prenant en compte les variations d'altitudes sur la surface du bassin versant. Nous l'avons obtenu via notre logiciel HEC-HMS pour chaque sous bassin en suivant le cheminement suivant : Paramètres, Characteristics, Subbasins .

**• Rétention potentielle maximale 'S' :**

La rétention potentielle maximale 'S' ou 'Maximum potential retention' ; désigne la quantité maximale d'eau qui peut être stockée ou retenue dans un bassin versant avant que tout excès d'eau ne commence à s'écouler en tant qu'écoulement de surface.

Elle représente aussi la capacité du bassin versant à retenir temporairement l'eau avant d'atteindre son point de saturation et de provoquer un ruissèlement [20]. Elle est donnée par la relation suivante :

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

### III) La présentation des sous bassins :

#### III-1) La station de Boubroune '021513' :



**Figure 03** : Délimitation HEC-HMS du bassin de la station de Bourboune (021513).

#### III-1-1) le calcul de curve Number et le lag time :

##### A) Le Curve number :

Nous avons tiré les données de ce tableau à partir d'ARCGIS

On a calculé la moyenne pour trouver le curve number de sous bassin :

$$\text{CN moy} = \frac{\sum C N_i * S_i}{\sum S_i}$$

Zone	CN	Superficie
1	85	683
2	86	4363
3	87	1702
4	88	4877
5	89	135
6	90	297
7	91	325
8	93	5
9	95	102
10	97	12
11	98	8
CN Moy	87,21288672	12509

**Tableau 04 :** Répartition zonale des CN avec superficies occupées de la station 021513

### B) Le calcul de lag time :

L(Km)	24,4829	26,64477	20,48508	25,85837
Y (m/m)	0,20335	0,23456	0,28225	0,39666
S	1,466195394	1,466195394	1,466195394	1,466195394
L(FT)	78561,70884	85498,80377	65733,34411	82975,37199
Y %	20,335	23,456	28,225	39,666
TC	47,25878858	47,08439456	34,78143872	35,34972982
LAG (h)	28,35527315	28,25063673	20,86886323	21,20983789
LAG (min)	1701,316389	1695,038204	1252,131794	1272,590273

**Tableau 05 :** Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de la station 021513

### III-1-2) Données de Débits et pluie :

#### A) Données de débits prise pour la station de Boubroune.

épisode 1	Débit m3/s	épisode 2	Débit m3/s	épisode 3	Débit m3/s
21-déc-89	0	01-déc-96	1,3	28-oct-97	0
22-déc-89	0	02-déc-96	1,3	29-oct-97	0,66
23-déc-89	0	03-déc-96	1,14	30-oct-97	6,22
24-déc-89	0	04-déc-96	0,98	31-oct-97	6,21
25-déc-89	0	05-déc-96	0,82	01-nov-97	2,76
26-déc-89	0	06-déc-96	0,82	02-nov-97	1,3
27-déc-89	0	07-déc-96	0,43	03-nov-97	0,5
28-déc-89	0	08-déc-96	0,66	04-nov-97	0,36
29-déc-89	0	09-déc-96	0,82	05-nov-97	0,36
30-déc-89	0	10-déc-96	0,82	06-nov-97	0,29
31-déc-89	0,09	11-déc-96	0,66	07-nov-97	0,43
01-janv-90	0,22	12-déc-96	0,66	08-nov-97	0,98
02-janv-90	0,53	13-déc-96	0,5	09-nov-97	1,14

03-janv-90	0,6	14-déc-96	0,43	10-nov-97	0,66
04-janv-90	0,53	15-déc-96	0,5	11-nov-97	0,5
05-janv-90	1,45	16-déc-96	0,5	12-nov-97	0,43
06-janv-90	2,34	17-déc-96	0,5	13-nov-97	1,51
07-janv-90	1,26	18-déc-96	0,5	14-nov-97	33,97
08-janv-90	0,82	19-déc-96	0,82	15-nov-97	9,61
09-janv-90	0,71	20-déc-96	0,66	16-nov-97	3,47
10-janv-90	0,71	21-déc-96	0,66	17-nov-97	2,35
11-janv-90	0,6	22-déc-96	0,66	18-nov-97	1,72
12-janv-90	0,6	23-déc-96	0,66	19-nov-97	1,72
13-janv-90	0,6	24-déc-96	0,82	20-nov-97	1,3
14-janv-90	0,6	25-déc-96	3,83	21-nov-97	1,3
15-janv-90	0,6	26-déc-96	9,38	22-nov-97	24,24
16-janv-90	0,6	27-déc-96	12,07	23-nov-97	105,79
17-janv-90	0,6	28-déc-96	5,72	24-nov-97	13,85
18-janv-90	0,53	29-déc-96	3,82	25-nov-97	6,02
19-janv-90	0,53	30-déc-96	3,61	26-nov-97	4,2
20-janv-90	0,53	31-déc-96	4,45	27-nov-97	24,1
21-janv-90	0,46	01-janv-97	2,98	28-nov-97	73,29
22-janv-90	0,46	02-janv-97	2,35	29-nov-97	17,27
23-janv-90	2,68	03-janv-97	2,35	30-nov-97	44,54
24-janv-90	1,79	04-janv-97	2,35	01-déc-97	45,51
25-janv-90	1,15	05-janv-97	1,93	02-déc-97	18,2
26-janv-90	0,93	06-janv-97	1,72	03-déc-97	22,81
27-janv-90	0,71	07-janv-97	2,35	04-déc-97	115,05
28-janv-90	0,6	08-janv-97	3,61	05-déc-97	8,5
29-janv-90	0,6	09-janv-97	4,03	06-déc-97	25,92
30-janv-90	0,82	10-janv-97	12,03	07-déc-97	25,92
31-janv-90	0,82	11-janv-97	10,77	08-déc-97	11,75
		12-janv-97	5,05	09-déc-97	8,19
		13-janv-97	3,82	10-déc-97	10,45
		14-janv-97	3,4	11-déc-97	7,26
		15-janv-97	2,56	12-déc-97	6,95
		16-janv-97	2,35	13-déc-97	20,58
		17-janv-97	1,93	14-déc-97	13,05
		18-janv-97	2,56	15-déc-97	7,88
		19-janv-97	3,19	16-déc-97	6,95
		20-janv-97	2,35	17-déc-97	5,4
		21-janv-97	1,93	18-déc-97	4,92
		22-janv-97	1,72	19-déc-97	4,68
		23-janv-97	1,51	20-déc-97	6,02
		24-janv-97	1,51	21-déc-97	11,1
		25-janv-97	1,51	22-déc-97	6,02
		26-janv-97	1,51	23-déc-97	35,34
		27-janv-97	1,72	24-déc-97	68,77

28-janv-97	1,51	25-déc-97	13,27
29-janv-97	1,51	26-déc-97	8,5
30-janv-97	1,3	27-déc-97	25,98
31-janv-97	1,3		

Tableau 06 : Données de débits prise pour la station de Boubroune.

B) Données Pluies :

Données de pluies prises pour la station de Azazga Ecole.

épisode 1	Pluie (mm)	épisode 2	Pluie (mm)	épisode3	(Pluie mm)
21-déc-89	0	01-déc-96	0	28-oct-97	15
22-déc-89	0	02-déc-96	0	29-oct-97	48,7
23-déc-89	0	03-déc-96	0	30-oct-97	36,3
24-déc-89	0	04-déc-96	0	31-oct-97	0,6
25-déc-89	0	05-déc-96	0	01-nov-97	0
26-déc-89	0,9	06-déc-96	0	02-nov-97	0
27-déc-89	0	07-déc-96	9,4	03-nov-97	1,9
28-déc-89	0	08-déc-96	10,9	04-nov-97	1,7
29-déc-89	0	09-déc-96	0	05-nov-97	0
30-déc-89	0	10-déc-96	0	06-nov-97	7,7
31-déc-89	22,5	11-déc-96	0	07-nov-97	11,1
01-janv-90	4,6	12-déc-96	0	08-nov-97	0
02-janv-90	2,3	13-déc-96	0	09-nov-97	0
03-janv-90	0	14-déc-96	0	10-nov-97	2,7
04-janv-90	19	15-déc-96	1	11-nov-97	2,4
05-janv-90	8,1	16-déc-96	1,2	12-nov-97	9
06-janv-90	0	17-déc-96	0	13-nov-97	3,1
07-janv-90	0	18-déc-96	0	14-nov-97	26
08-janv-90	0	19-déc-96	6,8	15-nov-97	0
09-janv-90	0	20-déc-96	0	16-nov-97	0
10-janv-90	0	21-déc-96	0	17-nov-97	0
11-janv-90	1,2	22-déc-96	0	18-nov-97	0
12-janv-90	2,7	23-déc-96	2,4	19-nov-97	7,4
13-janv-90	1,3	24-déc-96	20,7	20-nov-97	0
14-janv-90	0,7	25-déc-96	18,5	21-nov-97	8,3
15-janv-90	1,4	26-déc-96	15,5	22-nov-97	79,1
16-janv-90	0	27-déc-96	0	23-nov-97	3
17-janv-90	0	28-déc-96	0,9	24-nov-97	0
18-janv-90	2,6	29-déc-96	0	25-nov-97	0
19-janv-90	3,9	30-déc-96	3,7	26-nov-97	12,1
20-janv-90	1,2	31-déc-96	0	27-nov-97	31,5
21-janv-90	0	01-janv-97	0	28-nov-97	4
22-janv-90	28,3	02-janv-97	1,2	29-nov-97	10,5

23-janv-90	0	03-janv-97	0,4	30-nov-97	24,5
24-janv-90	0	04-janv-97	0	01-déc-97	2,1
25-janv-90	0	05-janv-97	0	02-déc-97	6,5
26-janv-90	0	06-janv-97	7,5	03-déc-97	0
27-janv-90	0	07-janv-97	16,3	04-déc-97	0
28-janv-90	2,3	08-janv-97	0	05-déc-97	34,6
29-janv-90	0,7	09-janv-97	18,7	06-déc-97	12,4
30-janv-90	0	10-janv-97	7,8	07-déc-97	0
31-janv-90	3,3	11-janv-97	0	08-déc-97	0
		12-janv-97	3,3	09-déc-97	8,2
		13-janv-97	0	10-déc-97	0
		14-janv-97	0	11-déc-97	0
		15-janv-97	0	12-déc-97	13,1
		16-janv-97	0	13-déc-97	0
		17-janv-97	7,2	14-déc-97	0
		18-janv-97	0	15-déc-97	0
		19-janv-97	0	16-déc-97	0
		20-janv-97	0	17-déc-97	0
		21-janv-97	0	18-déc-97	0
		22-janv-97	0	19-déc-97	6,4
		23-janv-97	0	20-déc-97	11,2
		24-janv-97	1,9	21-déc-97	0
		25-janv-97	0	22-déc-97	0
		26-janv-97	11,3	23-déc-97	38,5
		27-janv-97	0	24-déc-97	0
		28-janv-97	0	25-déc-97	0
		29-janv-97	0	26-déc-97	11,2
		30-janv-97	0	27-déc-97	3,1
		31-janv-97	0		

**Tableau 07** : Données de pluies prises pour la station de Boubroune.

III-2) La station de Fréha '021605' :

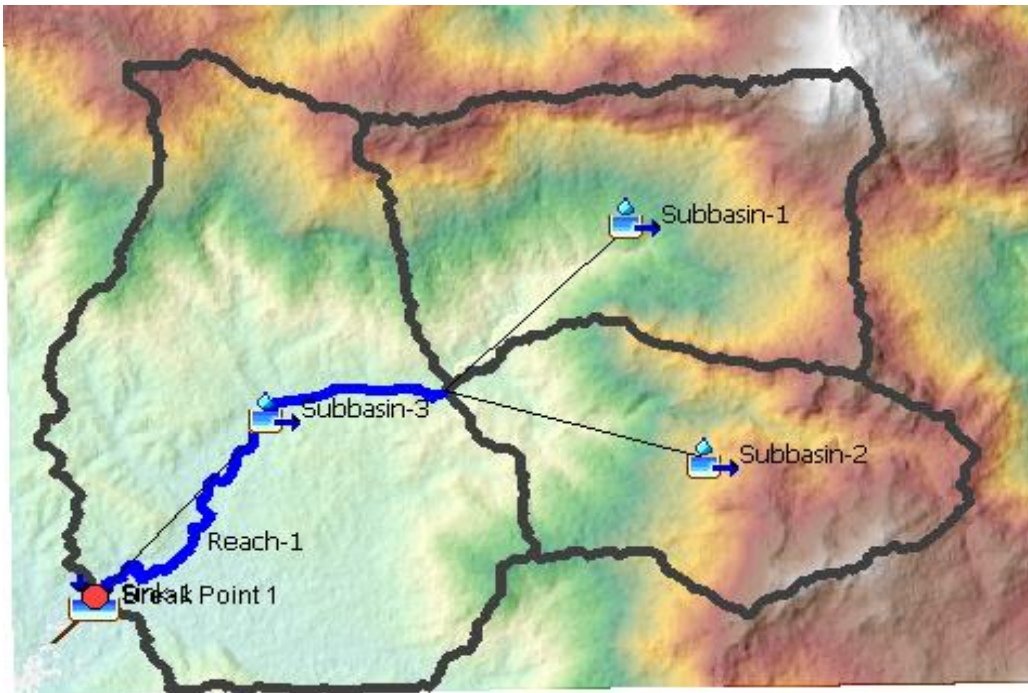


Figure 04 : Délimitation HEC-HMS du bassin de la station de Fréha '021605'.

III-2-1) le calcul de Curve Number et le lag time :

A) Le Curve Number :

Zone	CN	Superficie
1	85	130
2	86	499
3	87	305
4	88	1022
5	90	174
6	91	5
7	95	41
8	97	5
CN Moy	87,54241174	2181

Tableau 08 : Répartition zonale des CN avec superficies occupées de la station de Fréha '021605'

## B) Le lag time :

Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de la station de Fréha '021605' :

subbasin	subbasin 1	subbasin 2	subbasin3
L(Km)	11,42866	11,78369	14,17629
Y (m/m)	0,22088	0,22345	0,14587
S	1,42303462		
L(FT)	36672,74135	717,015298	468,0734908
Y %	22,088	22,345	14,587
TC	24,34809208	24,80742858	35,59704616
LAG (h)	14,60885525	14,88445715	21,3582277
LAG (min)	876,531315	893,0674289	1281,493662

**Tableau 09** : Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de la station de Fréha '021605'

## III-2-2) Données de Débits et pluie :

## A) Données de débits prise pour la station de Fréha.

épisode1	Débit m3/s	épisode 2	Débit m3/s	épisode 3	Débit m3/s
21-déc-89	0,01	01-déc-96	0,18	28-oct-97	0
22-déc-89	0,01	02-déc-96	0,15	29-oct-97	1,87
23-déc-89	0,01	03-déc-96	0,12	30-oct-97	14,78
24-déc-89	0,01	04-déc-96	0,12	31-oct-97	7,29
25-déc-89	0,02	05-déc-96	0,08	01-nov-97	0,44
26-déc-89	0,02	06-déc-96	0,06	02-nov-97	0,11
27-déc-89	0,02	07-déc-96	0,06	03-nov-97	0,06
28-déc-89	0,02	08-déc-96	0,07	04-nov-97	0,05
29-déc-89	0,02	09-déc-96	0,68	05-nov-97	0,02
30-déc-89	0,02	10-déc-96	0,27	06-nov-97	0,02
31-déc-89	0,03	11-déc-96	0,13	07-nov-97	0,08
01-janv-90	0,06	12-déc-96	0,13	08-nov-97	0,26
02-janv-90	0,06	13-déc-96	0,08	09-nov-97	0,15
03-janv-90	0,05	14-déc-96	0,07	10-nov-97	0,08
04-janv-90	0,06	15-déc-96	0,06	11-nov-97	0,05
05-janv-90	0,26	16-déc-96	0,06	12-nov-97	0,08
06-janv-90	0,26	17-déc-96	0,06	13-nov-97	0,15
07-janv-90	0,1	18-déc-96	0,06	14-nov-97	9,7
08-janv-90	0,06	19-déc-96	0,06	15-nov-97	1,62
09-janv-90	0,04	20-déc-96	0,12	16-nov-97	0,3
10-janv-90	0,06	21-déc-96	0,08	17-nov-97	0,15
11-janv-90	0,04	22-déc-96	0,08	18-nov-97	0,13
12-janv-90	0,04	23-déc-96	0,06	19-nov-97	0,08
13-janv-90	0,04	24-déc-96	0,06	20-nov-97	0,1
14-janv-90	0,04	25-déc-96	1,08	21-nov-97	0,11
15-janv-90	0,04	26-déc-96	3,52	22-nov-97	7,37

16-janv-90	0,04	27-déc-96	3,79	23-nov-97	17,06
17-janv-90	0,03	28-déc-96	0,96	24-nov-97	2,81
18-janv-90	0,03	29-déc-96	0,38	25-nov-97	1,5
19-janv-90	0,04	30-déc-96	0,24	26-nov-97	0,93
20-janv-90	0,04	31-déc-96	0,21	27-nov-97	17,72
21-janv-90	0,04	01-janv-97	0,18	28-nov-97	26,75
22-janv-90	0,05	02-janv-97	0,13	29-nov-97	3,96
23-janv-90	1,48	03-janv-97	0,13	30-nov-97	6,62
24-janv-90	0,26	04-janv-97	0,12	01-déc-97	18,43
25-janv-90	0,13	05-janv-97	0,12	02-déc-97	2,94
26-janv-90	0,09	06-janv-97	0,12	03-déc-97	2,55
27-janv-90	0,06	07-janv-97	2,57	04-déc-97	1,65
28-janv-90	0,05	08-janv-97	2,27	05-déc-97	1,5
29-janv-90	0,05	09-janv-97	1,24	06-déc-97	37,24
30-janv-90	0,04	10-janv-97	6,32	07-déc-97	3,49
31-janv-90	0,04	11-janv-97	2,9	08-déc-97	1,05
		12-janv-97	0,96	09-déc-97	0,81
		13-janv-97	1,09	10-déc-97	1,48
		14-janv-97	0,62	11-déc-97	0,68
		15-janv-97	0,3	12-déc-97	0,4
		16-janv-97	0,24	13-déc-97	7,92
		17-janv-97	0,15	14-déc-97	1,85
		18-janv-97	0,3	15-déc-97	0,81
		19-janv-97	0,24	16-déc-97	0,44
		20-janv-97	0,15	17-déc-97	0,4
		21-janv-97	0,12	18-déc-97	0,33
		22-janv-97	0,12	19-déc-97	0,3
		23-janv-97	0,1	20-déc-97	0,4
		24-janv-97	0,1	21-déc-97	1,41
		25-janv-97	0,1	22-déc-97	0,68
		26-janv-97	0,45	23-déc-97	7,68
		27-janv-97	1,11	24-déc-97	21,32
		28-janv-97	0,7	25-déc-97	1,85
		29-janv-97	0,27	26-déc-97	0,93
		30-janv-97	0,18	27-déc-97	5,79
		31-janv-97	0,13		

Tableau 10 : Données de débits prise pour la station de Fréha.

B) Données de Pluies :

Données de Pluies prise pour la station de Fréha.

épisode 1	Pluie (mm)	épisode 2	Pluie (mm)	épisode 3	Pluie (mm)
21-déc-89	0	01-déc-96	0	28-oct-97	10,6
22-déc-89	0	02-déc-96	0	29-oct-97	31,2
23-déc-89	0	03-déc-96	0	30-oct-97	26,2
24-déc-89	0	04-déc-96	0	31-oct-97	0
25-déc-89	0	05-déc-96	0	01-nov-97	0
26-déc-89	0,6	06-déc-96	0	02-nov-97	0
27-déc-89	0	07-déc-96	8	03-nov-97	0
28-déc-89	0	08-déc-96	7,4	04-nov-97	0
29-déc-89	0	09-déc-96	0	05-nov-97	0
30-déc-89	0	10-déc-96	0	06-nov-97	3,7
31-déc-89	11,8	11-déc-96	0	07-nov-97	17,5
01-janv-90	10,7	12-déc-96	0	08-nov-97	0
02-janv-90	0	13-déc-96	0	09-nov-97	0
03-janv-90	2,4	14-déc-96	0	10-nov-97	0
04-janv-90	17,7	15-déc-96	1,6	11-nov-97	3,9
05-janv-90	7,5	16-déc-96	0	12-nov-97	8
06-janv-90	0	17-déc-96	0	13-nov-97	1,4
07-janv-90	0	18-déc-96	0	14-nov-97	18,2
08-janv-90	0	19-déc-96	6,6	15-nov-97	0
09-janv-90	8,7	20-déc-96	0	16-nov-97	0
10-janv-90	0	21-déc-96	0	17-nov-97	0
11-janv-90	0	22-déc-96	0	18-nov-97	0
12-janv-90	2,9	23-déc-96	2	19-nov-97	7,2
13-janv-90	0,5	24-déc-96	10,1	20-nov-97	0
14-janv-90	0	25-déc-96	12,8	21-nov-97	7
15-janv-90	1	26-déc-96	7,3	22-nov-97	45,8
16-janv-90	0	27-déc-96	0	23-nov-97	0
17-janv-90	0	28-déc-96	2,7	24-nov-97	0
18-janv-90	0,6	29-déc-96	0	25-nov-97	0
19-janv-90	2,8	30-déc-96	2,6	26-nov-97	7,2
20-janv-90	1,5	31-déc-96	0	27-nov-97	29,7
21-janv-90	0	01-janv-97	0	28-nov-97	0
22-janv-90	18,4	02-janv-97	10	29-nov-97	9
23-janv-90	0	03-janv-97	0	30-nov-97	5
24-janv-90	0	04-janv-97	0	01-déc-97	0
25-janv-90	0	05-janv-97	0	02-déc-97	1,5
26-janv-90	0	06-janv-97	5,4	03-déc-97	0
27-janv-90	0	07-janv-97	11,1	04-déc-97	0
28-janv-90	2	08-janv-97	0	05-déc-97	26
29-janv-90	0,7	09-janv-97	8,5	06-déc-97	3,2

30-janv-90	0	10-janv-97	3,3	07-déc-97	0
31-janv-90	2,4	11-janv-97	0	08-déc-97	0
		12-janv-97	3,4	09-déc-97	5,3
		13-janv-97	0	10-déc-97	0
		14-janv-97	0	11-déc-97	0
		15-janv-97	0	12-déc-97	13,7
		16-janv-97	0	13-déc-97	5,4
		17-janv-97	10,4	14-déc-97	0
		18-janv-97	0	15-déc-97	0
		19-janv-97	0	16-déc-97	0
		20-janv-97	0	17-déc-97	0
		21-janv-97	0	18-déc-97	1
		22-janv-97	0	19-déc-97	12,2
		23-janv-97	0	20-déc-97	0
		24-janv-97	1,6	21-déc-97	0
		25-janv-97	0	22-déc-97	0
		26-janv-97	9,7	23-déc-97	14,2
		27-janv-97	0	24-déc-97	0
		28-janv-97	0	25-déc-97	0
		29-janv-97	0	26-déc-97	11
		30-janv-97	0	27-déc-97	2,1
		31-janv-97	0		

Tableau 11 : Données de Pluies prise pour la station de Fréha.

III-3) La Station de Belloua "021813"

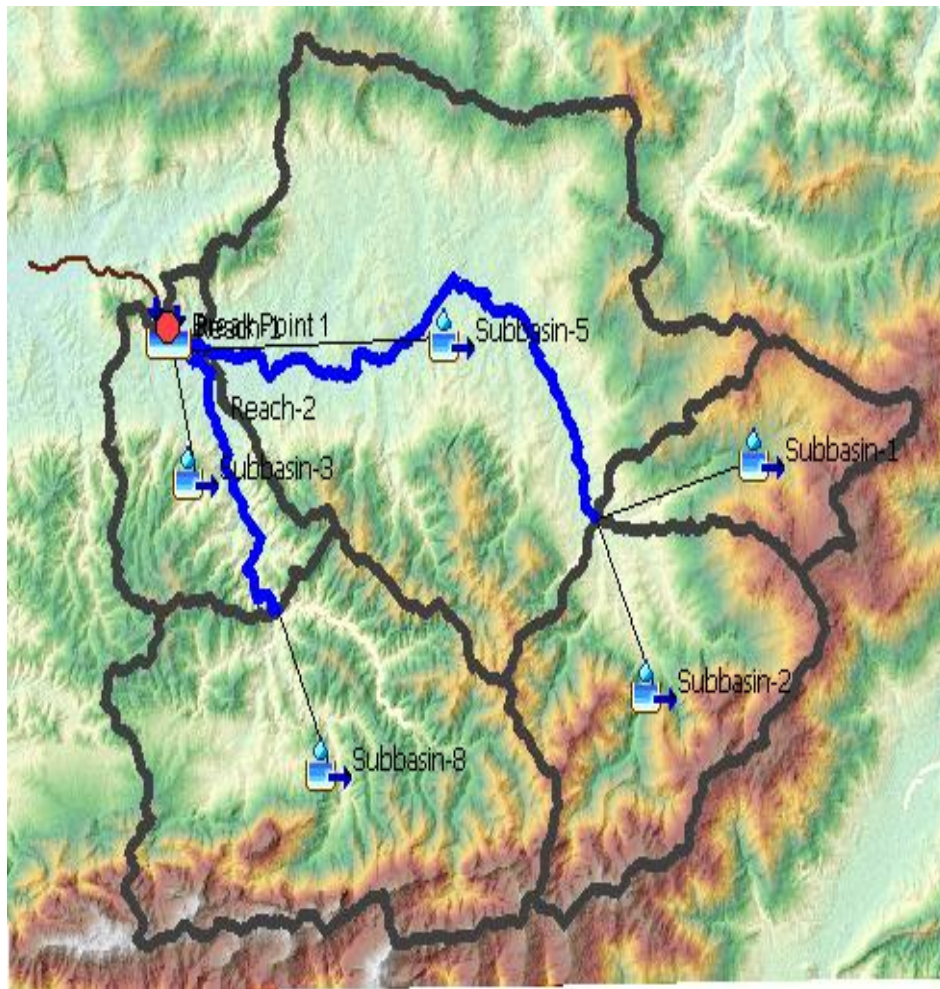


Figure 05 : Délimitation Hec-hms du bassin de Belloua "021813".

III-3-1) le calcul de Curve Number et le lag time :

A) Le Curve Number :

B) zone	CN	Superficie
1	85	894
2	86	10276
3	87	7050
4	88	12307
5	89	377
6	90	1512
7	91	749
8	93	5
9	94	2
10	95	844
11	97	202
12	98	30
CN Moy	87,51608853	34248

**Tableau 12 :** Répartition zonale des CN avec superficies occupées de Belloua ‘021813’.

B) Le lag time :

subbasins	subbasin 1	subbasin 2	subbasin 3	subbasin 4	subbasin 5
L(Km)	26,14136	26,14909	21,44563	52,7572	33,00384
Y(m/m)	0,23392	0,35313	0,31338	0,22008	0,41072
S	1,426470456				
L(FT)	83883,44162	83908,24596	68815,59537	169289,4136	105904,0419
Y %	23,392	35,313	31,338	22,008	41,072
TC	45,90991819	37,37451888	33,85423956	83,00662496	41,74998337
LAG (h)	27,54595091	22,42471133	20,31254374	49,80397498	25,04999002
LAG (min)	1652,757055	1345,48268	1218,752624	2988,238499	1502,999401

**Tableau 13:** Résultats des calculs pour chaque paramètre donné de Belloua ‘021813’

III-3-2) Données Débits et pluie :

A) Données de débits prise pour la station de Belloua.

épisode 1	Débit m3/s	épisode 2	Débit m3/s	épisode 3	Débit m3/s
21-déc-89	0,21	01-déc-96	0,64	28-oct-97	0,09
22-déc-89	0,21	02-déc-96	0,64	29-oct-97	0,11
23-déc-89	0,21	03-déc-96	0,64	30-oct-97	1,36
24-déc-89	0,21	04-déc-96	0,64	31-oct-97	6,87
25-déc-89	0,21	05-déc-96	0,64	01-nov-97	1,7
26-déc-89	0,2	06-déc-96	0,64	02-nov-97	0,42
27-déc-89	0,23	07-déc-96	1,24	03-nov-97	0,16
28-déc-89	0,21	08-déc-96	1,58	04-nov-97	0,15
29-déc-89	0,21	09-déc-96	1,49	05-nov-97	0,13
30-déc-89	0,21	10-déc-96	1,32	06-nov-97	0,13
31-déc-89	0,63	11-déc-96	1	07-nov-97	0,16
01-janv-90	0,76	12-déc-96	1	08-nov-97	0,17
02-janv-90	3,81	13-déc-96	1	09-nov-97	0,17
03-janv-90	4,75	14-déc-96	1	10-nov-97	0,17
04-janv-90	3,65	15-déc-96	1	11-nov-97	0,15
05-janv-90	5,57	16-déc-96	0,71	12-nov-97	0,24
06-janv-90	6,29	17-déc-96	0,64	13-nov-97	0,37
07-janv-90	5,1	18-déc-96	0,64	14-nov-97	3,11
08-janv-90	3,79	19-déc-96	1	15-nov-97	7,75
09-janv-90	3,5	20-déc-96	0,86	16-nov-97	1,84
10-janv-90	3,09	21-déc-96	0,86	17-nov-97	1,08
11-janv-90	2,95	22-déc-96	0,71	18-nov-97	0,64
12-janv-90	2,95	23-déc-96	1	19-nov-97	0,45
13-janv-90	2,95	24-déc-96	1	20-nov-97	0,45
14-janv-90	2,95	25-déc-96	1,64	21-nov-97	0,34
15-janv-90	2,95	26-déc-96	8,41	22-nov-97	1,15

16-janv-90	2,56	27-déc-96	26,42	23-nov-97	106,86
17-janv-90	2,44	28-déc-96	10,54	24-nov-97	13,8
18-janv-90	2,32	29-déc-96	5,56	25-nov-97	2,62
19-janv-90	2,32	30-déc-96	4,31	26-nov-97	1
20-janv-90	2,08	31-déc-96	5	27-nov-97	21,66
21-janv-90	1,97	01-janv-97	4,31	28-nov-97	87,56
22-janv-90	1,92	02-janv-97	3	29-nov-97	36,4
23-janv-90	3,42	03-janv-97	4,31	30-nov-97	37,38
24-janv-90	4,51	04-janv-97	3,51	01-déc-97	52,65
25-janv-90	5,28	05-janv-97	3,17	02-déc-97	32,74
26-janv-90	4,92	06-janv-97	2,88	03-déc-97	24,79
27-janv-90	4,25	07-janv-97	2,92	04-déc-97	22,82
28-janv-90	3,79	08-janv-97	6,85	05-déc-97	15,05
29-janv-90	5,21	09-janv-97	4,08	06-déc-97	86,47
30-janv-90	5,46	10-janv-97	18,77	07-déc-97	49,13
31-janv-90	5,1	11-janv-97	20,77	08-déc-97	28,87
		12-janv-97	9,31	09-déc-97	21,95
		13-janv-97	6,12	10-déc-97	23,93
		14-janv-97	5,28	11-déc-97	16,8
		15-janv-97	4,08	12-déc-97	14,03
		16-janv-97	3,34	13-déc-97	32,41
		17-janv-97	2,88	14-déc-97	28,04
		18-janv-97	3,68	15-déc-97	17,28
		19-janv-97	4,08	16-déc-97	15,84
		20-janv-97	3,17	17-déc-97	13,3
		21-janv-97	2,88	18-déc-97	11,46
		22-janv-97	2,64	19-déc-97	10,18
		23-janv-97	2,4	20-déc-97	11,09
		24-janv-97	2,29	21-déc-97	15,33
		25-janv-97	2,29	22-déc-97	12,19
		26-janv-97	2,18	23-déc-97	14,13
		27-janv-97	2,4	24-déc-97	92,97
		28-janv-97	2,52	25-déc-97	35,04
		29-janv-97	2,29	26-déc-97	26,4
		30-janv-97	1,95	27-déc-97	41,65
		31-janv-97	1,84		

Tableau 14 : Données de débits prise pour la station de Belloua.

B) Données Pluies :

Données de Pluies prise pour la station de Belloua :

épisode 1	Pluie (mm)	épisode 2	pluie (mm)	épisode 3	pluie (mm)
21-déc-89	2,36035367	01-déc-96	5,63512419	28-oct-97	0
22-déc-89	7,66328159	02-déc-96	18,2953699	29-oct-97	0
23-déc-89	5,71205589	03-déc-96	13,6370005	30-oct-97	0
24-déc-89	0,09441415	04-déc-96	0,22540497	31-oct-97	0
25-déc-89	0	05-déc-96	0	01-nov-97	0
26-déc-89	0	06-déc-96	0,28007559	02-nov-97	0,09441415
27-déc-89	3,83032262	07-déc-96	0,7137824	03-nov-97	3,73434125
28-déc-89	4,36236366	08-déc-96	0,63864741	04-nov-97	3,45426566
29-déc-89	0	09-déc-96	0	05-nov-97	0
30-déc-89	1,21164822	10-déc-96	2,89269708	06-nov-97	0
31-déc-89	1,74666172	11-déc-96	9,67814525	07-nov-97	1,85681156
01-janv-90	0	12-déc-96	4,99468143	08-nov-97	1,68371895
02-janv-90	0	13-déc-96	0	09-nov-97	0
03-janv-90	0,42486366	14-déc-96	2,13462473	10-nov-97	0,37765659
04-janv-90	0,75333153	15-déc-96	9,16384989	11-nov-97	3,53208558
05-janv-90	1,86702214	16-déc-96	6,88201944	12-nov-97	1,18017684
06-janv-90	0,48780643	17-déc-96	1,16459233	13-nov-97	0
07-janv-90	4,0912797	18-déc-96	9,7675486	14-nov-97	0
08-janv-90	2,55458963	19-déc-96	0	15-nov-97	3,08083153
09-janv-90	0	20-déc-96	4,06109611	16-nov-97	1,36900513
10-janv-90	0	21-déc-96	0	17-nov-97	0
11-janv-90	0	22-déc-96	0	18-nov-97	0
12-janv-90	2,06606102	23-déc-96	4,13369331	19-nov-97	1,38992036
13-janv-90	7,77647138	24-déc-96	0,23339633	20-nov-97	4,79328429
14-janv-90	8,25604887	25-déc-96	3,11810205	21-nov-97	5,974946
15-janv-90	18,2698934	26-déc-96	30,1826809	22-nov-97	3,56494331
16-janv-90	0,47207073	27-déc-96	1,12702484	23-nov-97	0
17-janv-90	0,33810745	28-déc-96	0	24-nov-97	1,26034017
18-janv-90	0	29-déc-96	0,28007559	25-nov-97	0,09441415
19-janv-90	3,29401593	30-déc-96	5,85268629	26-nov-97	1,65426026
20-janv-90	4,95674271	31-déc-96	12,5339498	27-nov-97	0,23603537
21-janv-90	0,62942765	01-janv-97	1,50269978	28-nov-97	0
22-janv-90	2,10305751	02-janv-97	12,5335718	29-nov-97	7,56329374
23-janv-90	4,00551431	03-janv-97	9,20403618	30-nov-97	0
24-janv-90	0,33044951	04-janv-97	0,78891739	01-déc-97	0
25-janv-90	1,02281992	05-janv-97	2,44188715	02-déc-97	0
26-janv-90	2,8175621	06-janv-97	0	03-déc-97	2,52068035

27-janv-90	6,12350162	07-janv-97	0	04-déc-97	5,18139849
28-janv-90	5,44454914	08-janv-97	13,9319384	05-déc-97	0,31471382
29-janv-90	8,97634719	09-janv-97	4,98512419	06-déc-97	4,07788742
30-janv-90	2,93026458	10-janv-97	0	07-déc-97	1,54041577
31-janv-90	0	11-janv-97	1,12030238	08-déc-97	0,37765659
		12-janv-97	3,08053456	09-déc-97	1,58709503
		13-janv-97	0	10-déc-97	0
		14-janv-97	0	11-déc-97	0
		15-janv-97	4,92134179	12-déc-97	0
		16-janv-97	0	13-déc-97	0
		17-janv-97	0	14-déc-97	4,85464363
		18-janv-97	0	15-déc-97	0
		19-janv-97	0	16-déc-97	0
		20-janv-97	0	17-déc-97	0
		21-janv-97	0	18-déc-97	0
		22-janv-97	2,40431965	19-déc-97	0
		23-janv-97	4,2075594	20-déc-97	0
		24-janv-97	0	21-déc-97	0,74686825
		25-janv-97	0	22-déc-97	0
		26-janv-97	14,4634854	23-déc-97	4,52788877
		27-janv-97	0	24-déc-97	0
		28-janv-97	0	25-déc-97	0
		29-janv-97	4,2075594	26-déc-97	0
		30-janv-97	1,16459233	27-déc-97	0
		31-janv-97	0		

Tableau 15 : Données de Pluies prise pour la station de Belloua.

## Chapitre 03 : **La simulation par HEC-HMS**

### I ) Principales fonctionnalités du HEC-HMS:

Le HEC-HMS dispose et offre plusieurs fonctionnalités clés pour la modélisation hydrologique ;

1. Modélisation des précipitations : Il permet de saisir et modéliser les données de précipitations pour estimer leur impact sur le bassin versant

2. Modélisation de l'évapotranspiration : Il prend en compte également l'évapotranspiration des eaux de surface et la transpiration des plantes dans le processus de modélisation

3. Modélisation de l'infiltration : ce logiciel permet de simuler l'infiltration de l'eau dans le sol en tenant compte de ses propriétés et de sa saturation

4. Modélisation de l'écoulement des eaux de surface : HEC-HMS peut simuler l'écoulement des eaux de surface dans les rivières, les ruisseaux et les canaux, en prenant en compte les caractéristiques topographiques du bassin versant.

5. Analyse des crues : Il offre des outils pour analyser les crues et estimer les débits d'eau dans les cours d'eau, ce qui est essentiel pour la gestion des risques d'inondations.

En outre, ces fonctionnalités permettent aux utilisateurs du HEC-HMS d'obtenir des informations précieuses sur les processus hydrologiques et de prendre des décisions éclairées en matière de gestion de ressources en eau[13].

### II) Les données nécessaires à l'application de simulation avec HEC-HMS :

#### 1) Caractéristiques morphométriques des bassins

- ✓ Les surfaces des sous bassins versants
- ✓ Type du sol
- ✓ Couvert végétal

#### 2) Les caractéristiques météorologiques

- ✓ Les précipitations
- ✓ L'évapotranspiration
- ✓ Les données de spécifications de contrôle
- ✓ La date initiale
- ✓ La date finale
- ✓ L'intervalle de temps de calcul [8].

### III) La délimitation du bassin versant via le logiciel HEC-HMS :

Pour délimiter un bassin versant avec HEC-HMS, il y a lieu de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Dans un premier temps, il faut avoir la version ‘ordinateur’ installée afin de pouvoir bénéficier des avantages de ce logiciel avec toutes ses fonctionnalités, en l’occurrence la version 4.11.
- ✓ On ouvre notre programme avec une double clic sur son icone se situant là où nous l’avons répertorié
- ✓ Une fois accédé dedans, cette fenêtre apparait (figure suivante)

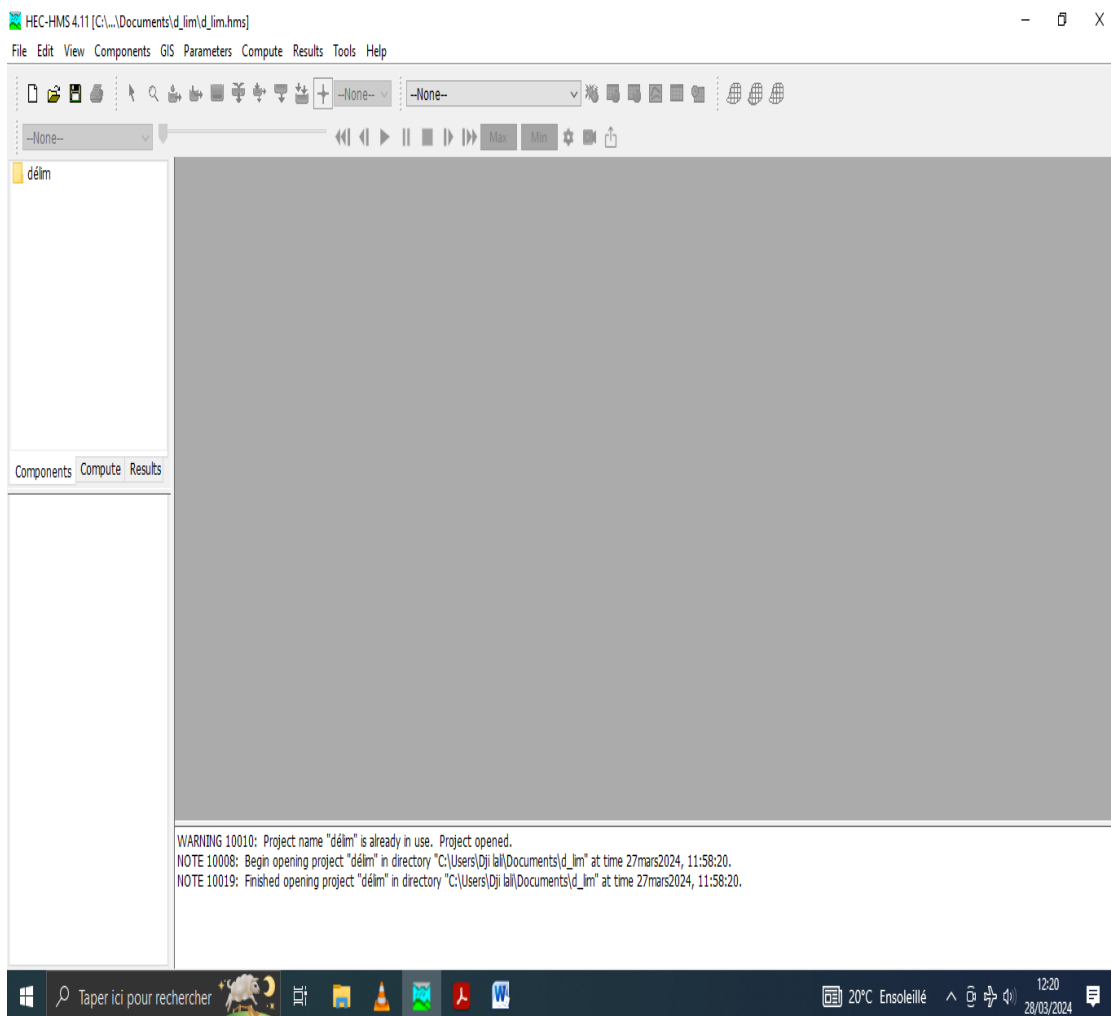


Figure 6 : Etape numéro 01.

✓ On dirige notre curseur sur create next project, on lui donne un nom puis on confirme sa création.

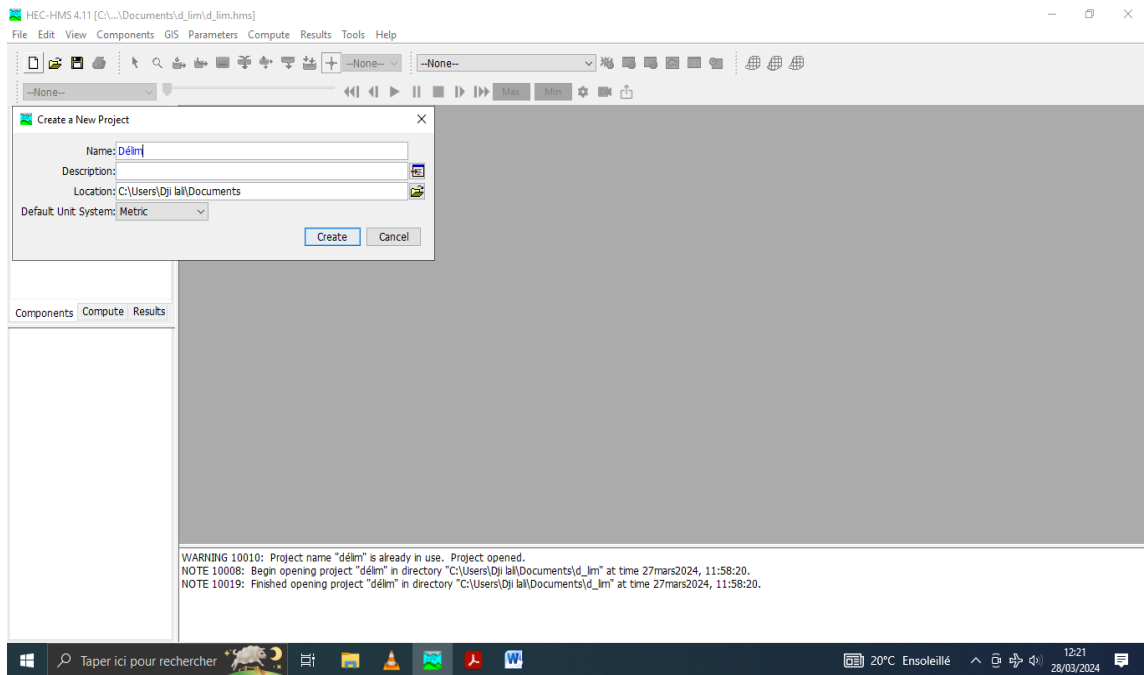


Figure 7 : Etape numéro 02.

✓ Dans la barre Component on selectionne Terrain Data Manager.

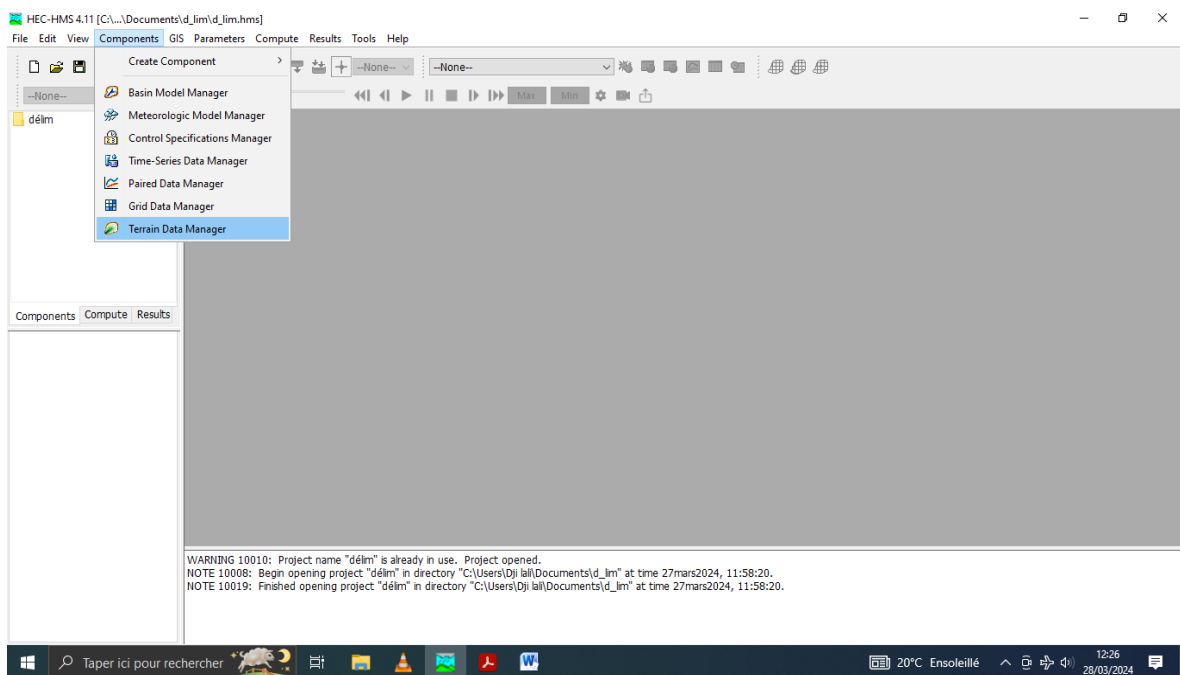


Figure 8 : Etape numéro 03.

✓ Dans la fenetre apparante on clique sur New.

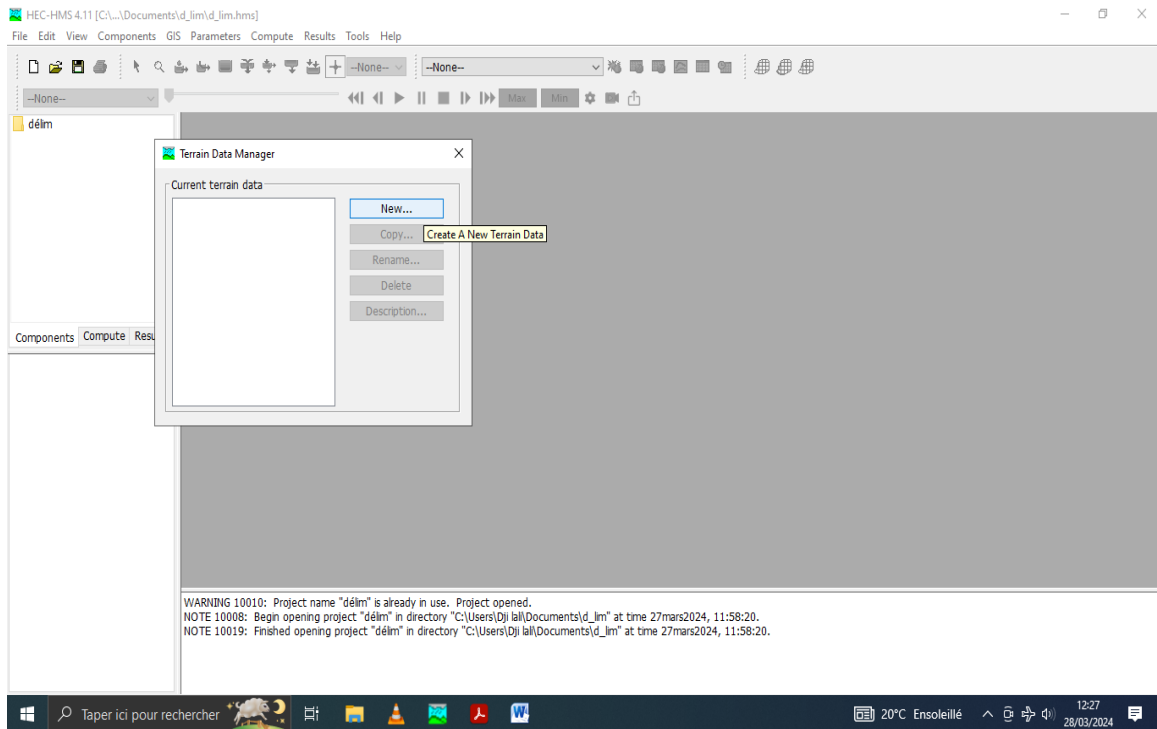


Figure 9 : Etape numéro 04.

✓ On le nomme Terrain 1 et on poursuit par Next.

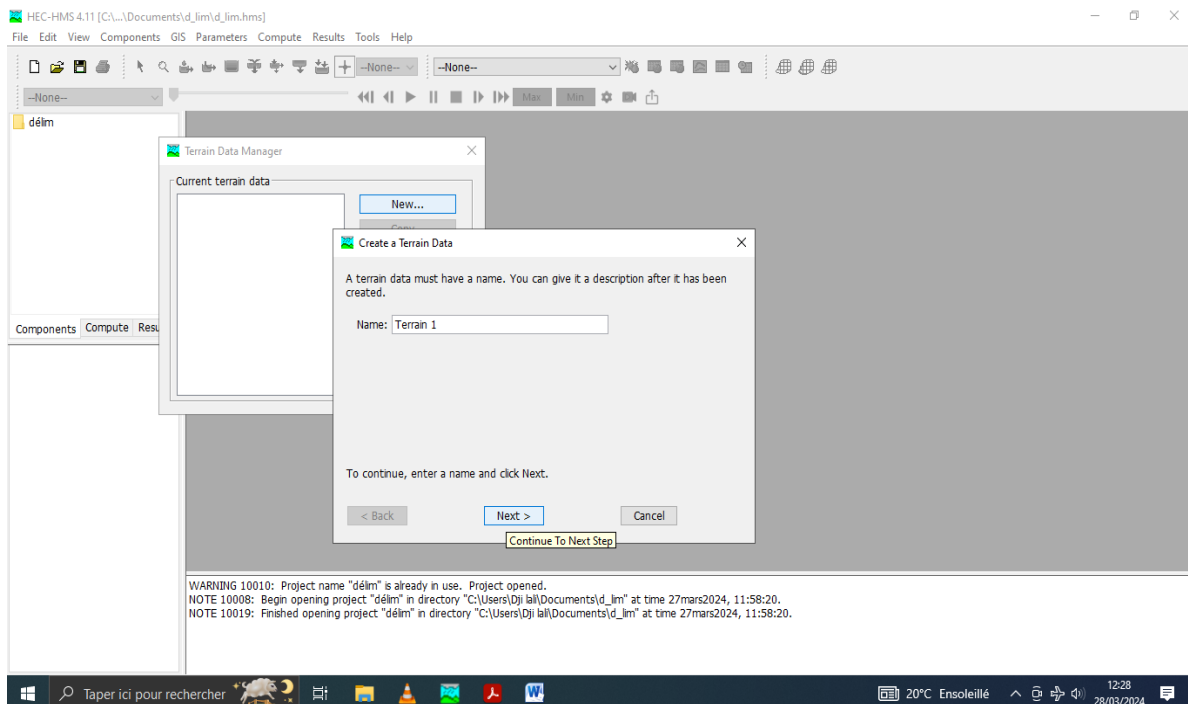


Figure 10 : Etape numéro 05.

✓ Dans File Name on va dans l'emplacement de notre carte du terrain via Browse, et on fait bien attention aux unités en 'Metric' et on clique sur Finish.

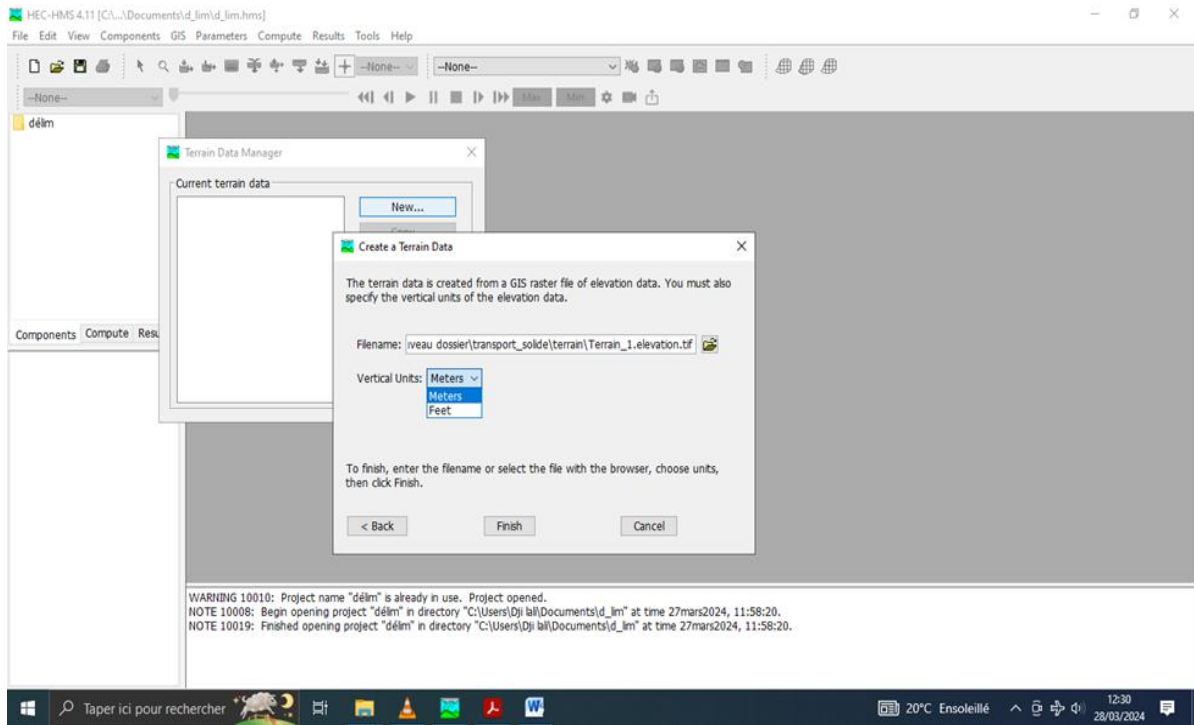


Figure 11 : Etape numéro 06.

✓ Après avoir fait ces étapes notre fichier du terrain apparaît en haut a gauche comme suit.

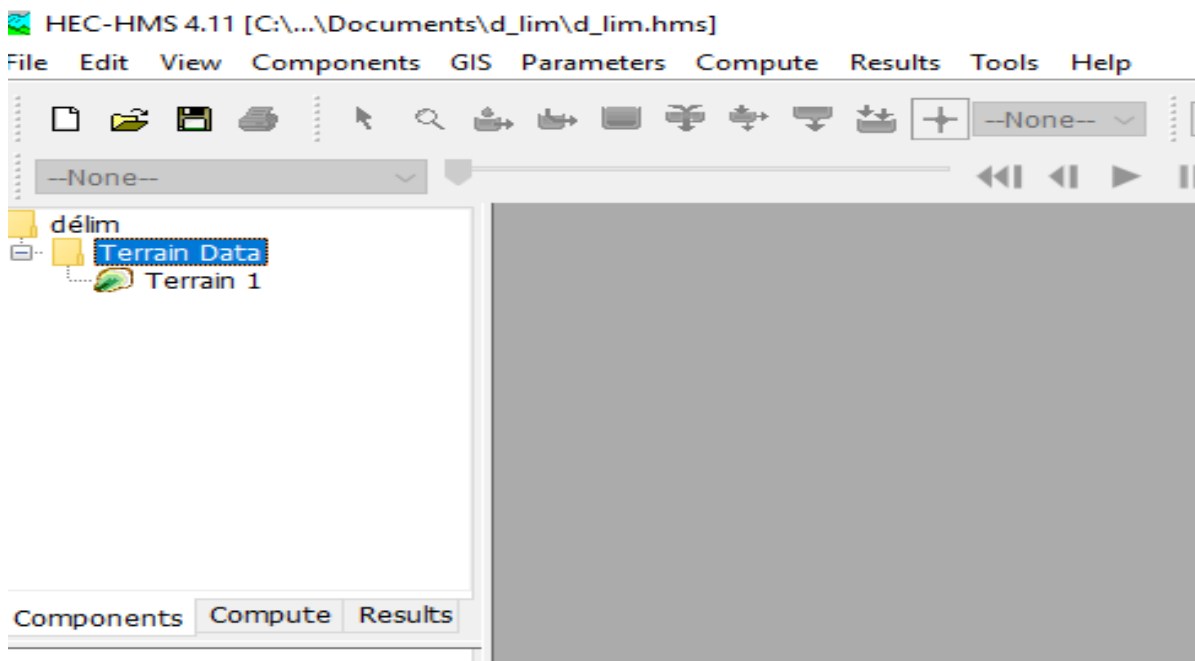


Figure 12 : Etape numéro 07.

✓ Une fois notre Terrain créé, on repart vers Component pour créer notre bassin , pour ce ; on clique sur Bassin Model Manager.

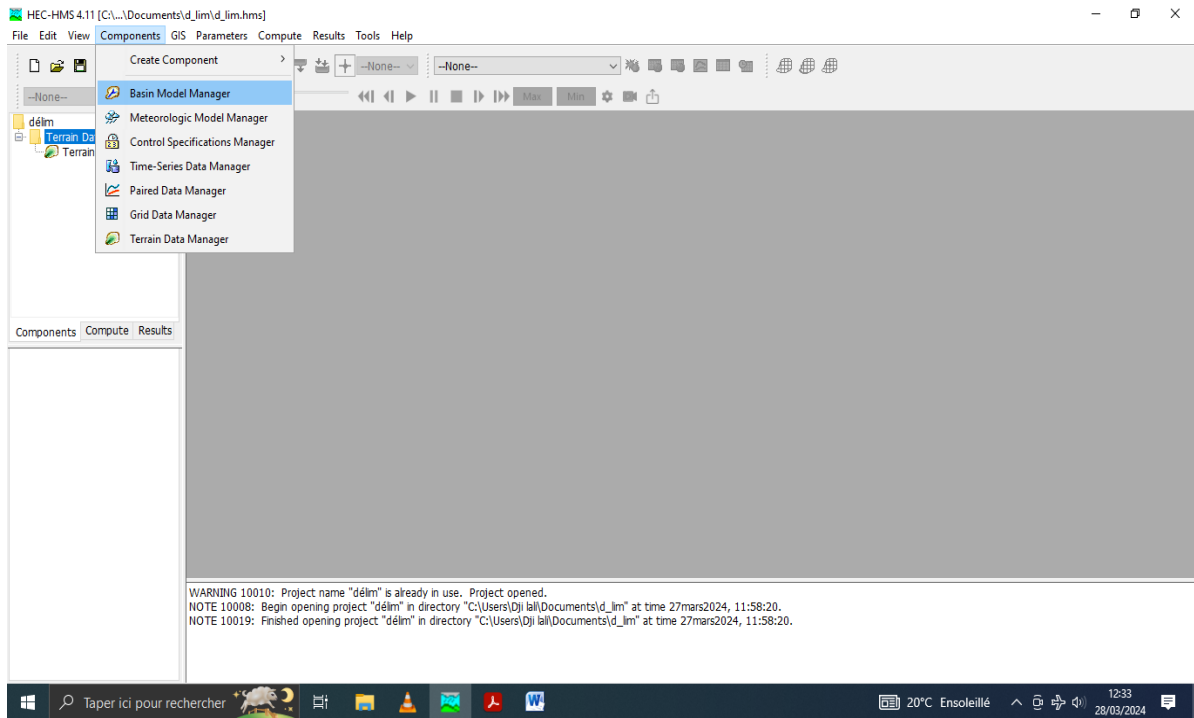


Figure 13 : Etape numéro 08.

✓ On clique sur New pour créer notre bassin.

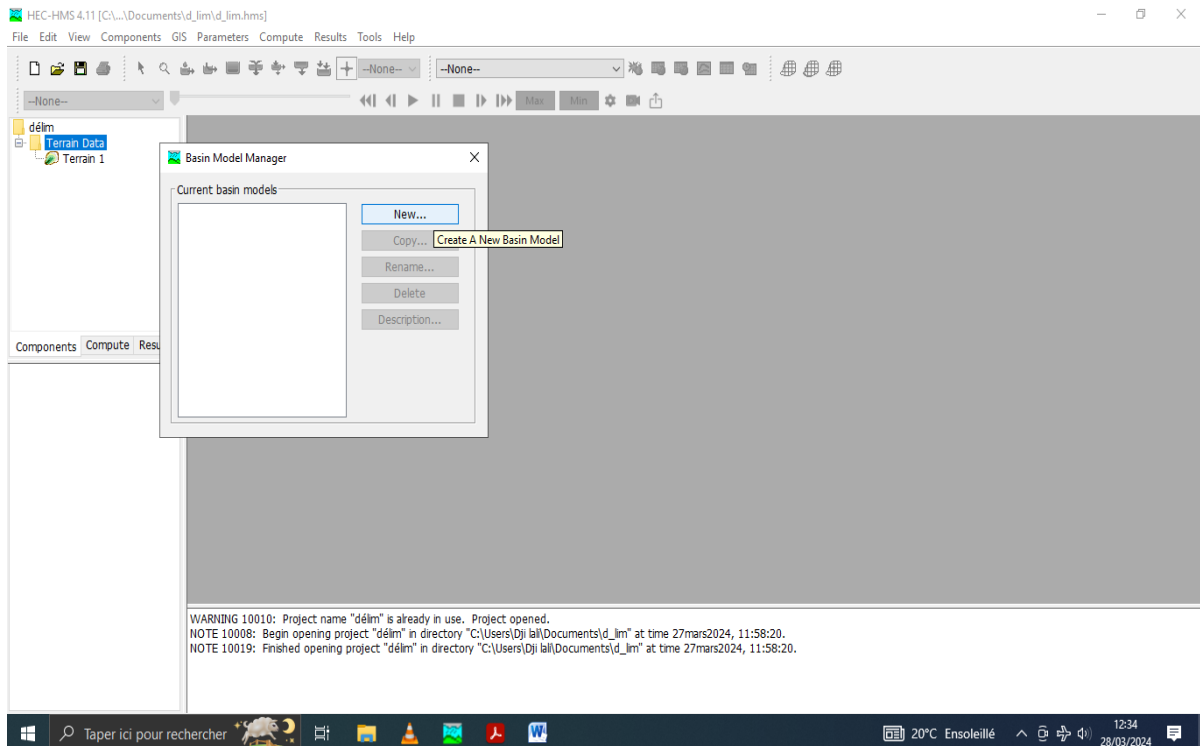


Figure 14 : Etape numéro 09.

✓ On le préname ‘Bassin 1’ et on le crée en cliquant sur Create.

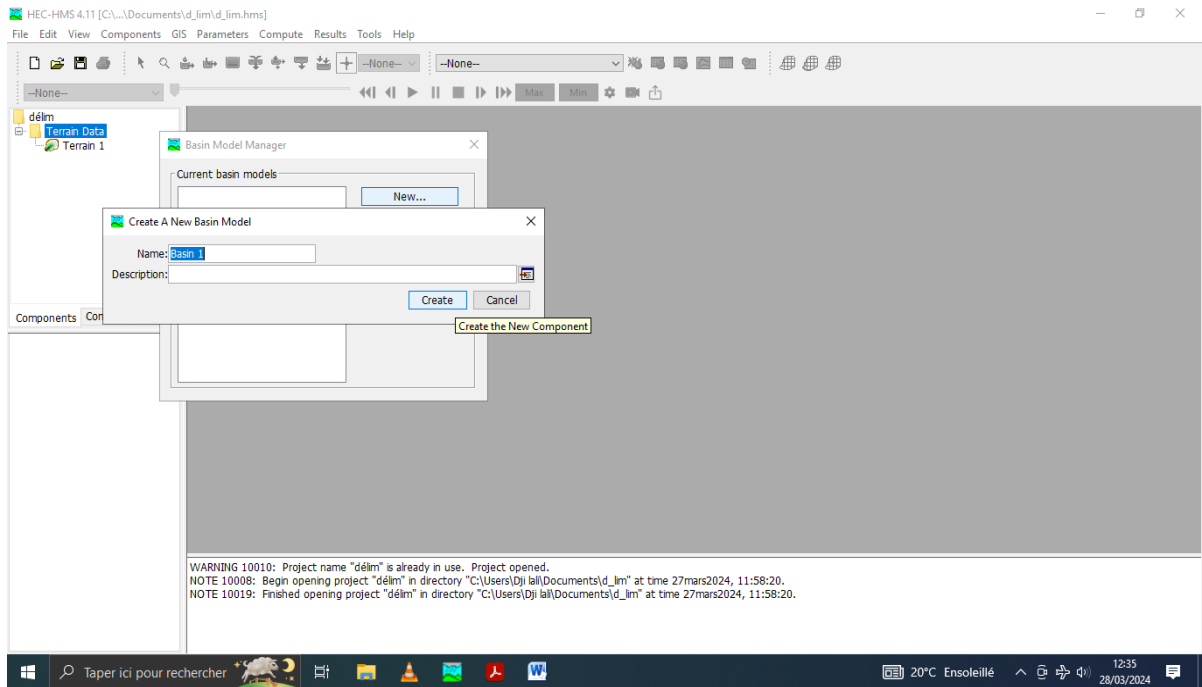


Figure 15 : Etape numéro 10.

✓ Comme pour le Terrain, notre bassin s’affiche en haut a gauche dans notre écran.

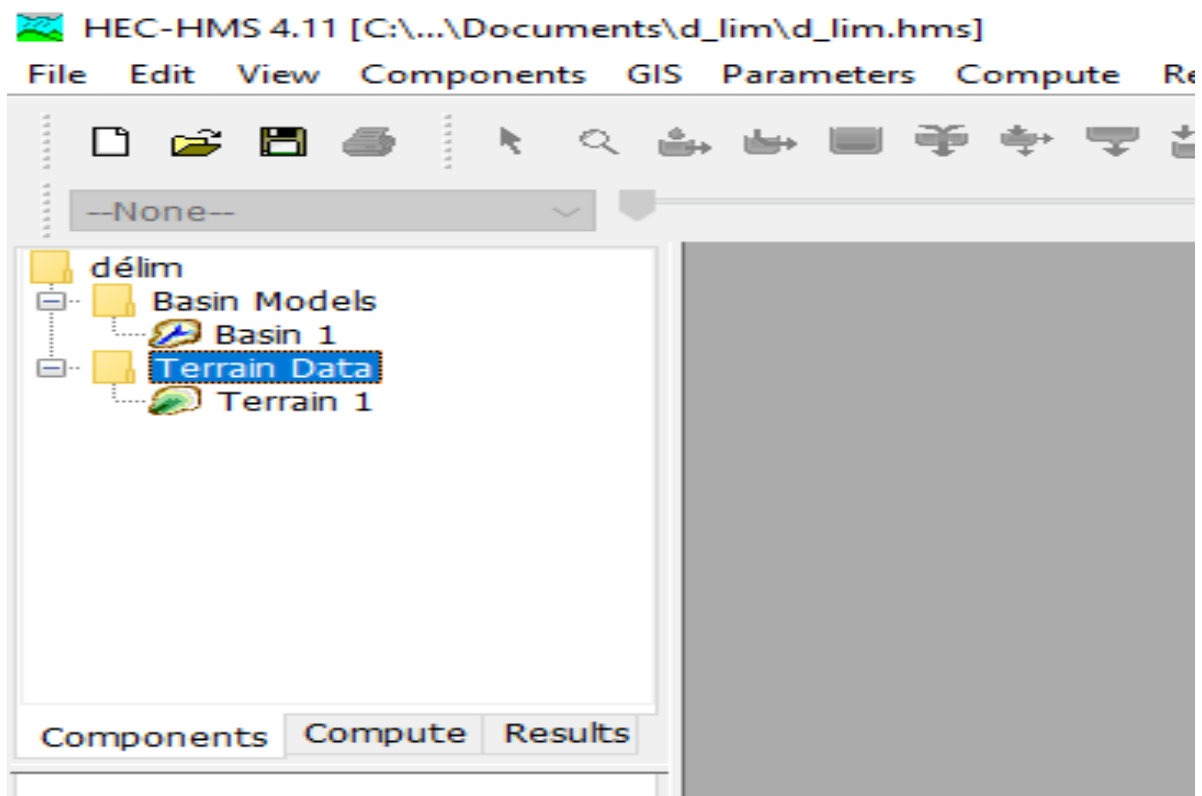


Figure 16 : Etape numéro 11.

✓ En appuyant sur le bassin que l'on vient de créer, on modifie la case de Terrain Data pour mettre Terrain 1 à la place de None.

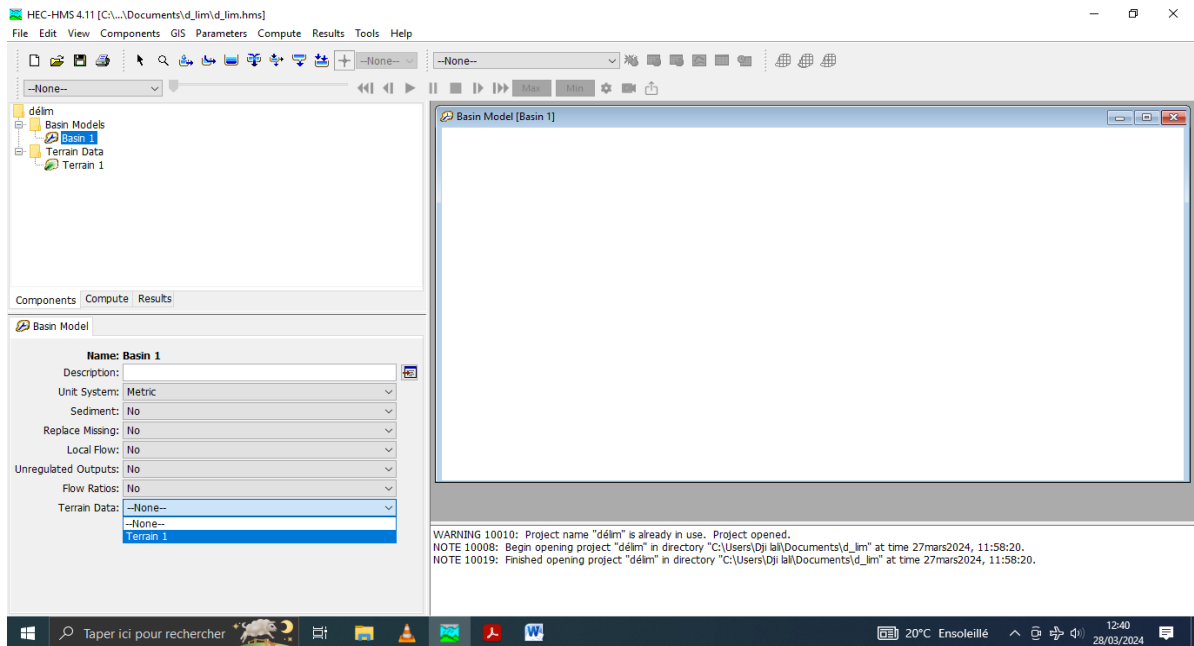


Figure 17 : Etape numéro 12.

✓ en cliquant sur Terrain en haut à gauche, le logiciel indique que nous avons oublié d'introduire et définir les coordonnées du système, et que nous devons les sélectionner ou elles seront introduites automatiquement !

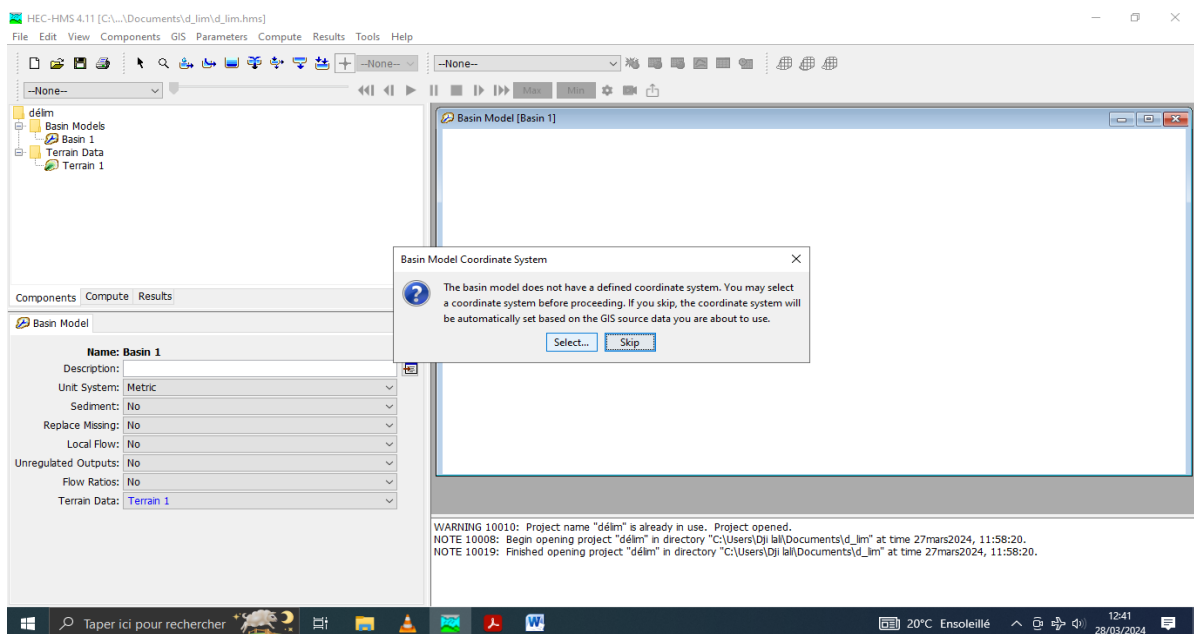


Figure 18 : Etape numéro 13.

✓ On clique sur Select puis dans la fenetre suivante on appui sur Prédefined .

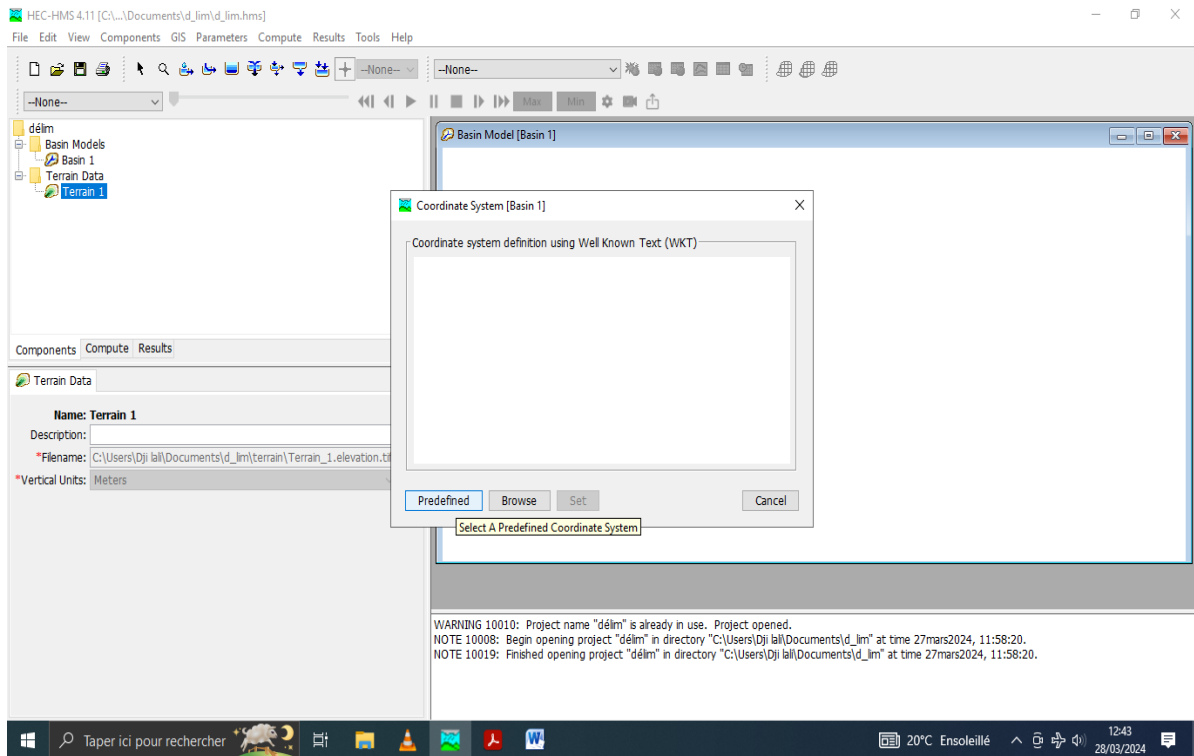


Figure 19 : Etape numéro 14.

✓ Pour notre cas nord west de l’afrique on choisit Universal Transversal Mercator ‘UTM’

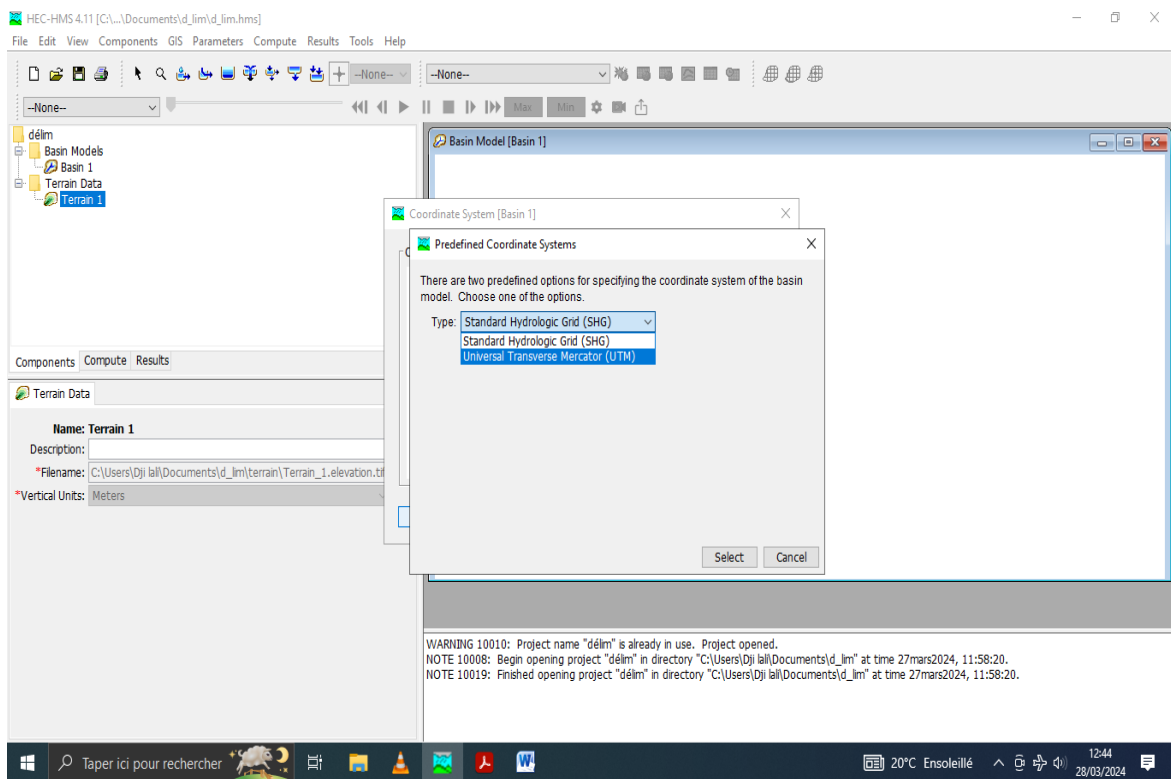


Figure 20 : Etape numéro 15.

✓ On met l'UTM Zone sur 31, ainsi que la case Hémisphère sur Northern et la case Datum sur WGS84. Puis on clique sur Select.

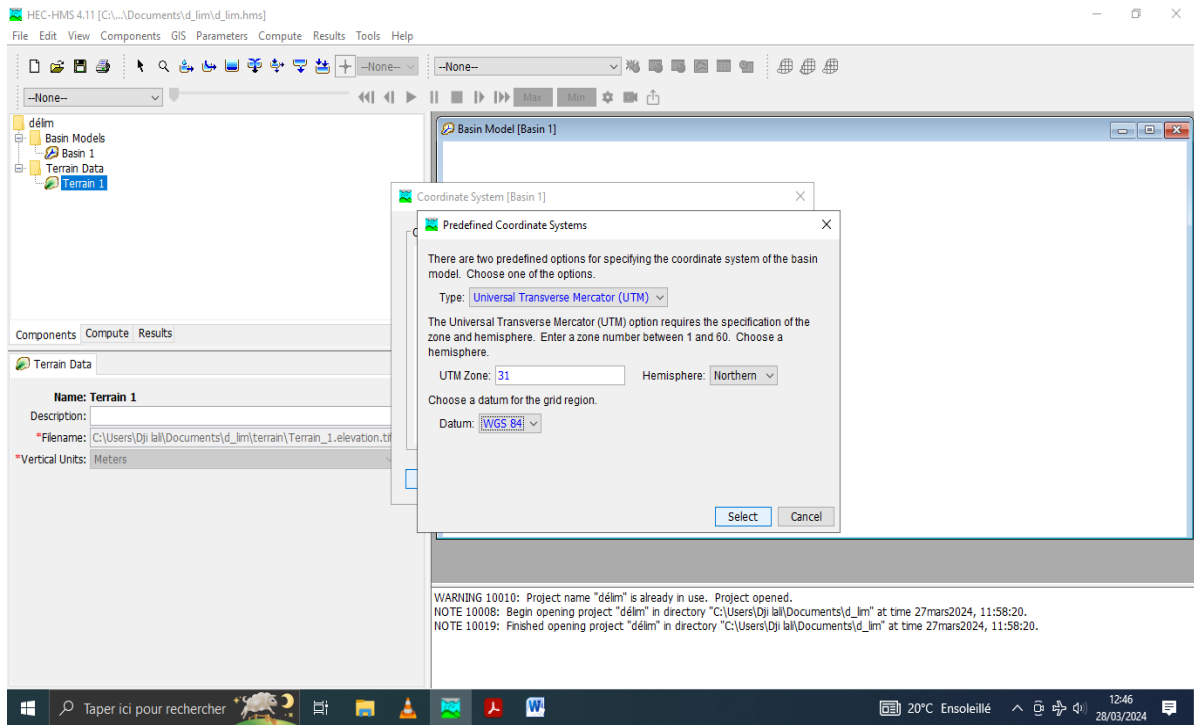


Figure 21 : Etape numéro 16.

✓ On clique sur 'Set' dans la fenetre de coordinate système qui apparait juste après.

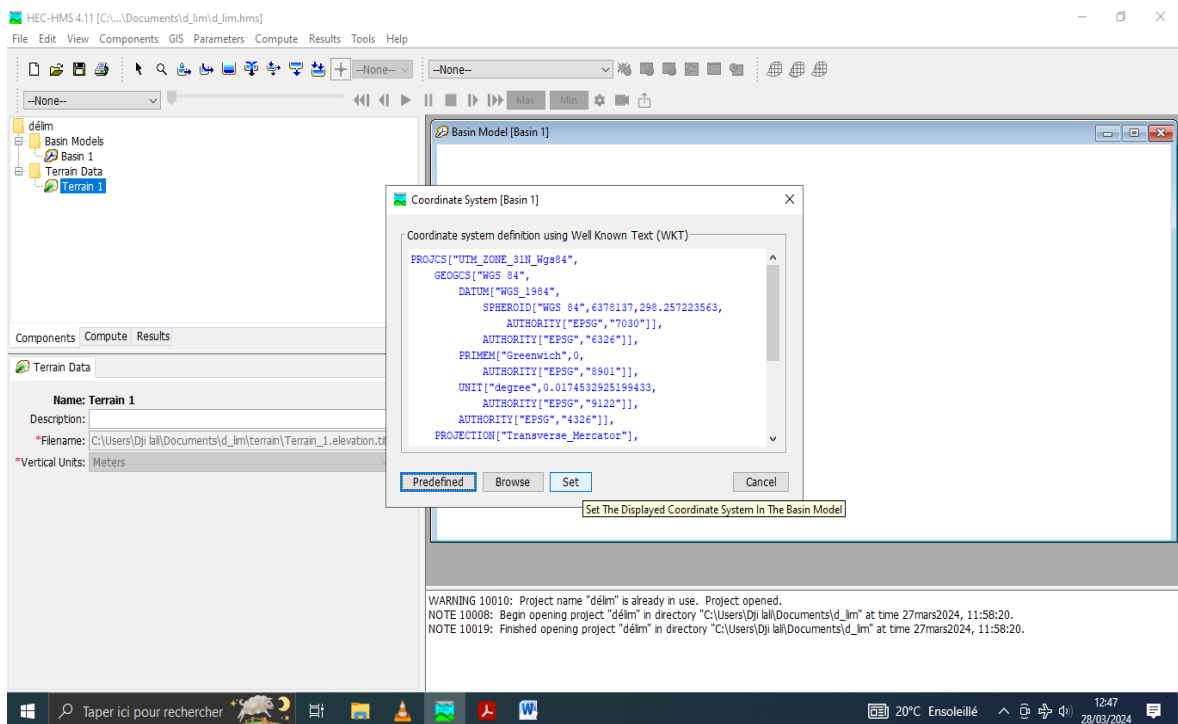
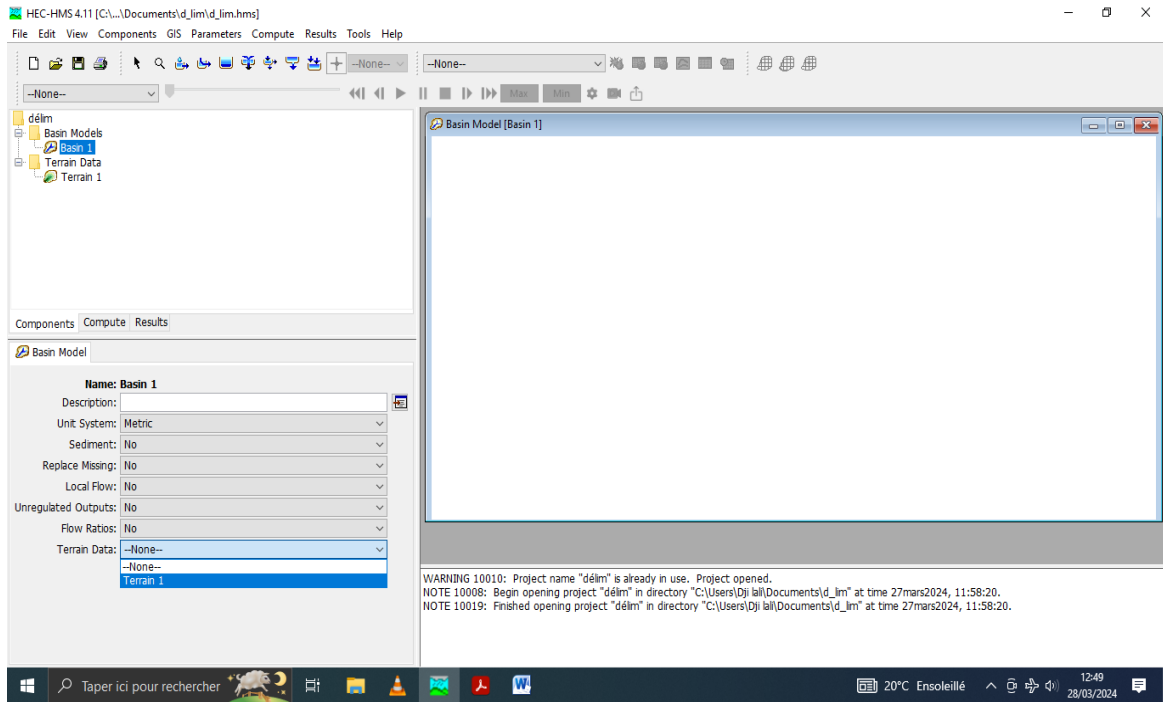


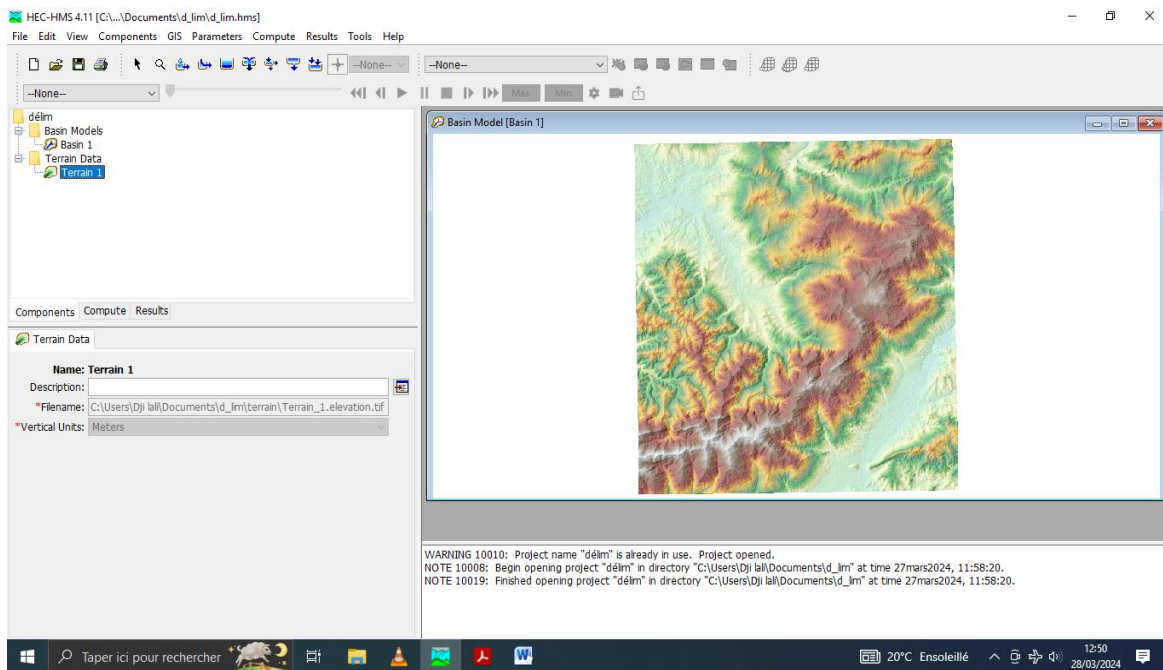
Figure 22 : Etape numéro 17.

✓ On va dans notre Bassin 1 pour modifier la donnée du bas ‘Terrain Data ‘ de None vers Terrain 1 pour sélectionner notre Terrain 1 que nous avons introduit.



**Figure 23 :** Etape numéro 18.

✓ On clique sur Terrain 1 pour voir apparaitre notre carte directement dans l’ecran.



**Figure 24 :** Etape numéro 19.

✓ Etant donné que ce logiciel traite des cartes en Pixels, on doit s'assurer d'éliminer toute erreur se trouvant sur notre carte issue de donnée géospatiale. Pour ce on vas dans GIS. Et on clique sur Process Sinks.

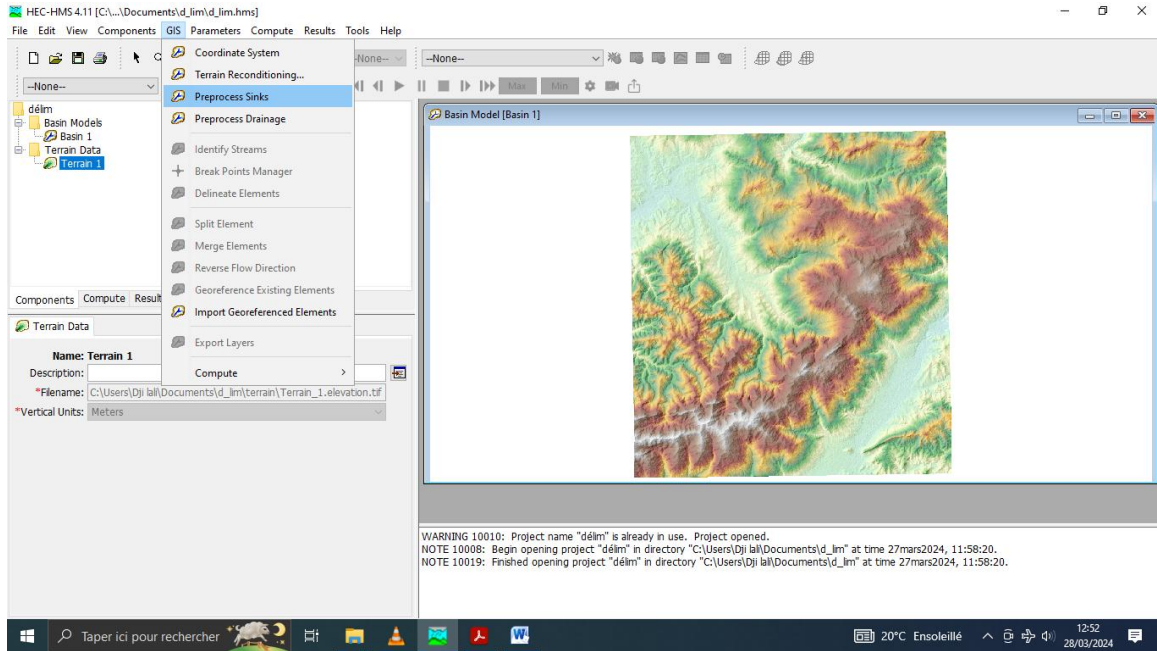


Figure 25 : Etape numéro 20.

✓ Après avoir cliqué sur Process Sinks on aperçoit des points sur notre carte qui representent des erreurs ou des discontinuités en Pixels qui risquent d'entraver au bon fonctionnement de notre logiciel dans la delimitation des Streams et Bassins.

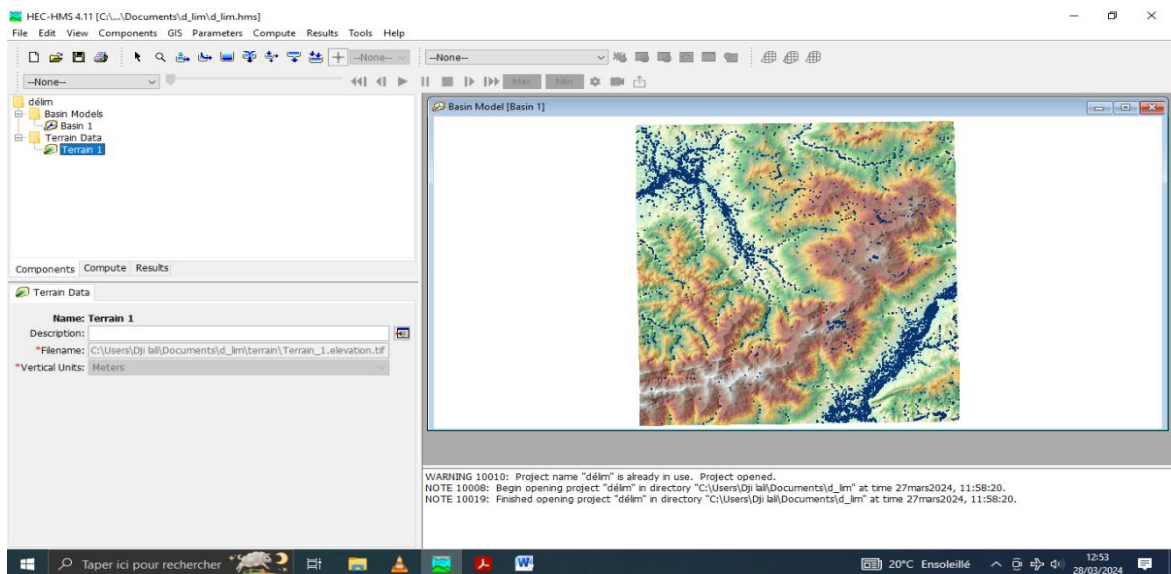


Figure 26 : Etape numéro 21.

✓ Pour éliminer ses erreurs on doit procéder au Process Drainage qui se trouve dans GIS qui se fait grâce aux elevations qui prends du temps selon la superficie de notre bassin versant.

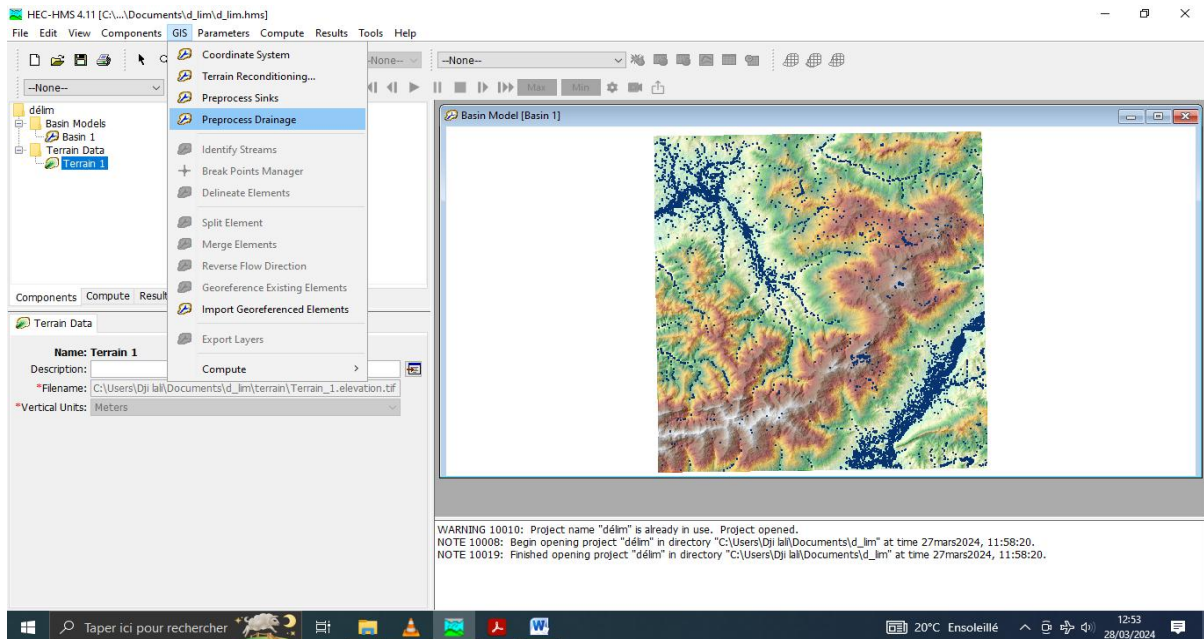


Figure 27 : Etape numéro 22.

✓ Une fois cette operation effectuée , on obtient cette carte.

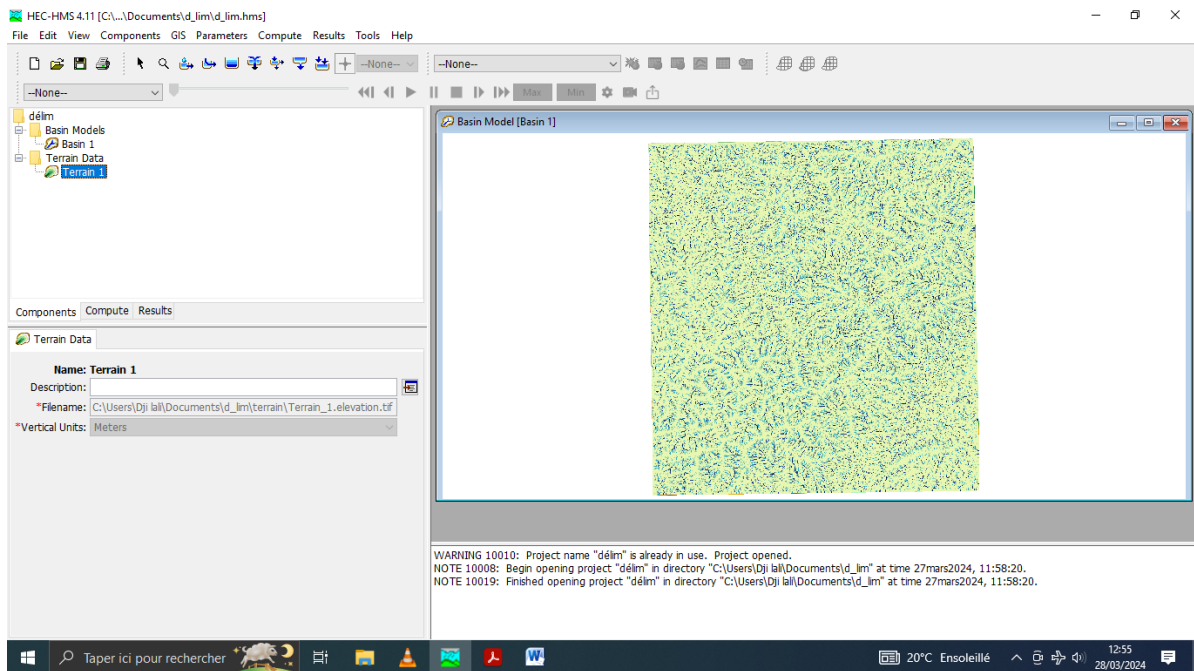


Figure 28 : Etape numéro 23.

✓ Pour alléger la carte on peut aller dans Maps Layer pour pouvoir cocher et décocher les case selon notre objectif.

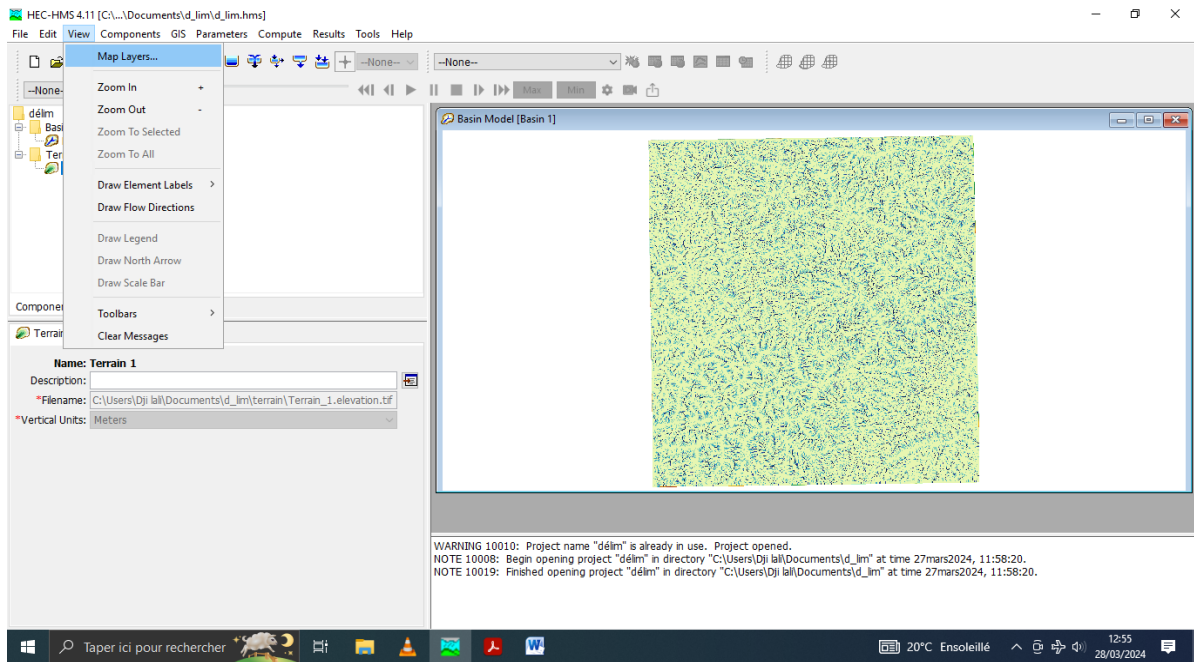


Figure 29 : Etape numéro 24.

✓ Ici on coche uniquement la case du Terrain , on a obtenu cette image.

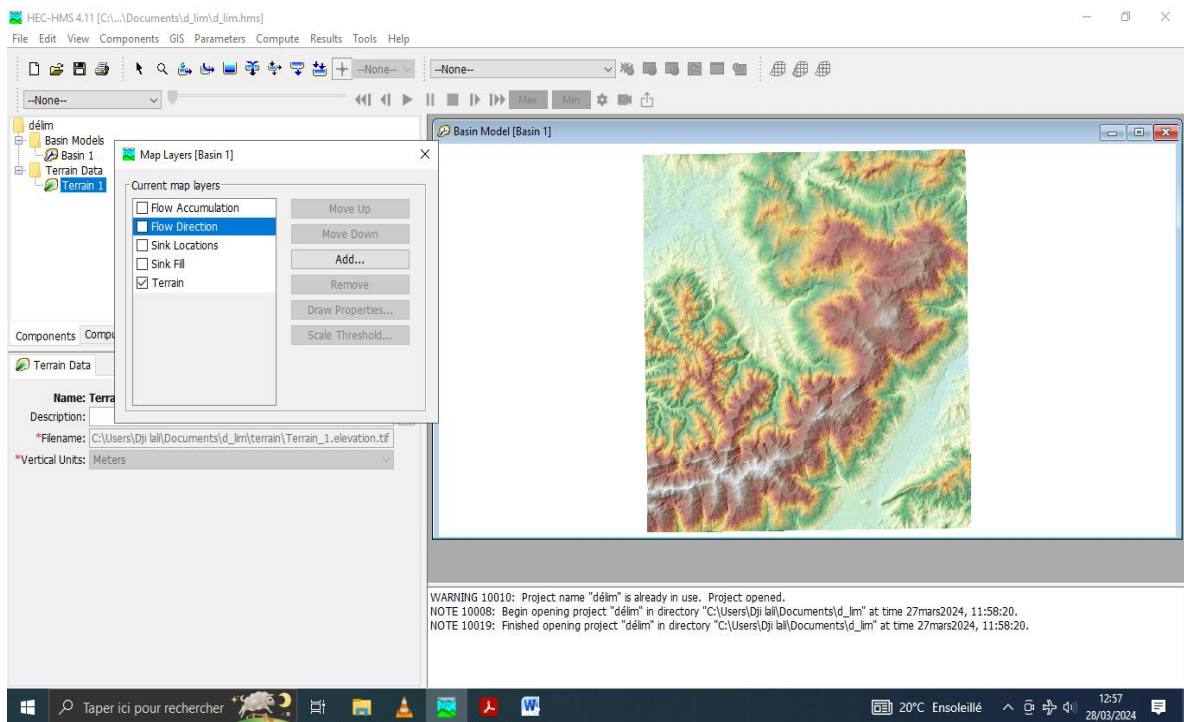


Figure 30 : Etape numéro 25.

✓ Dans cette etape, on essaye d'identifier un cours d'eau, et tant bien que nous donnons une grande longueur nous obtenons un schéma simple. Pour ce faire , on va dans GIS pour cliquer sur Identify Stream.

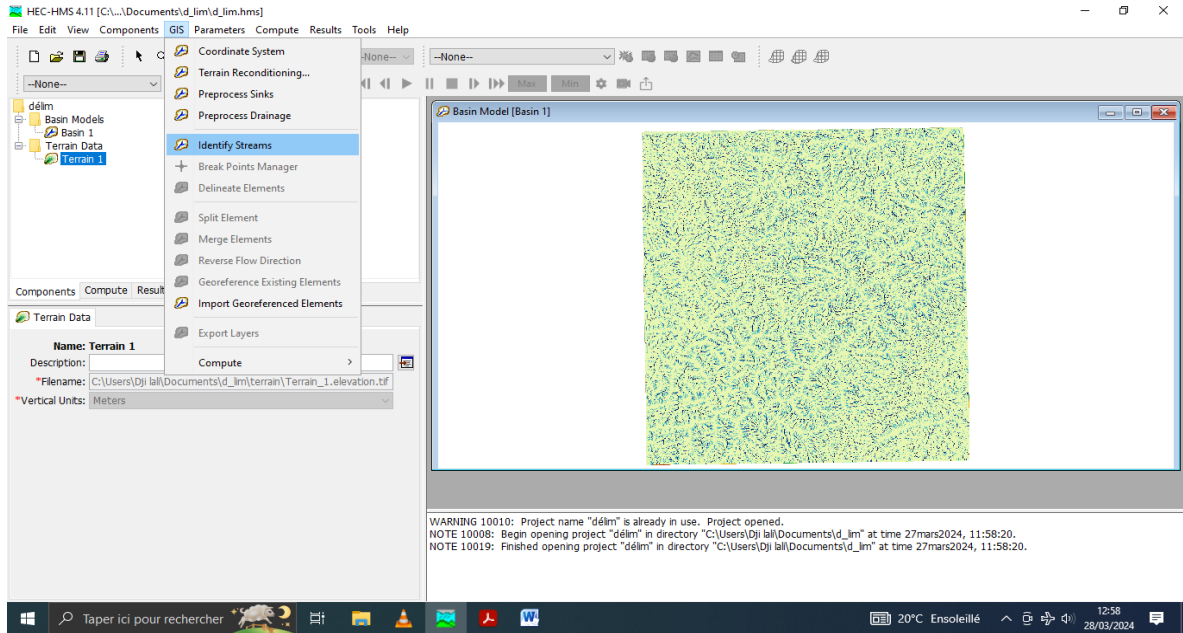


Figure 31 : Etape numéro 26.

✓ Dans cet exemple on lui accorde 30 KM<sup>2</sup> et on clique sur OK

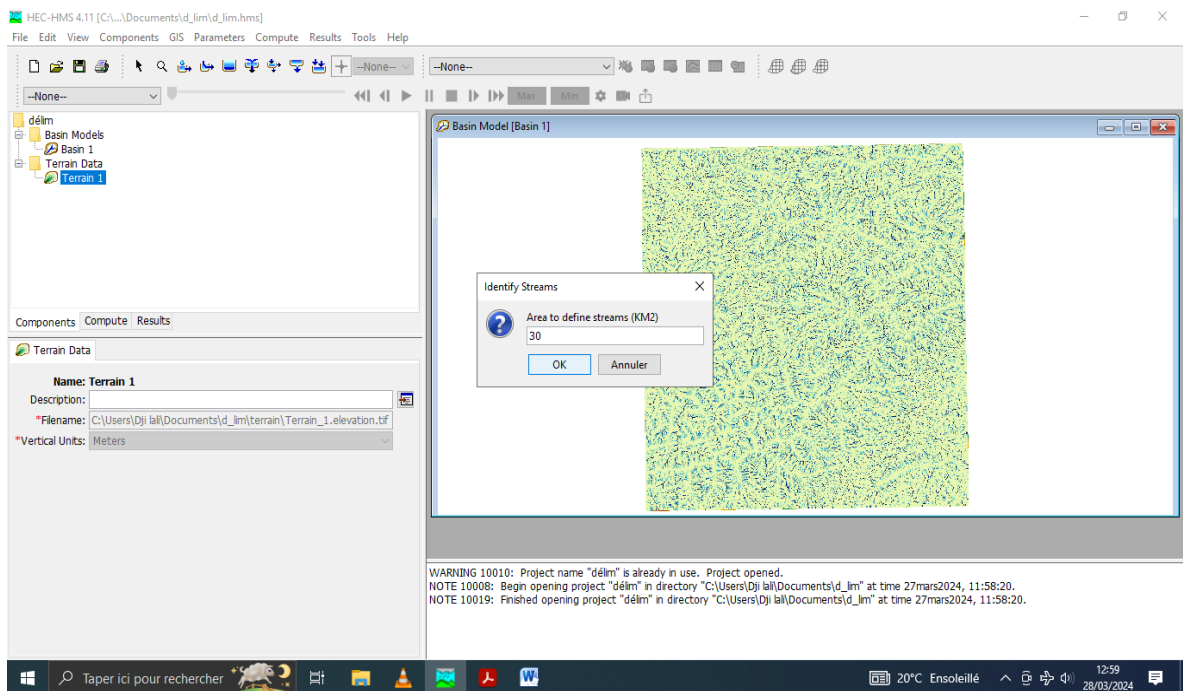


Figure 32 : Etape numéro 27

- ✓ Le logiciel identifie un fleuve qui s'étend sur 30KM<sup>2</sup> comme si dessous

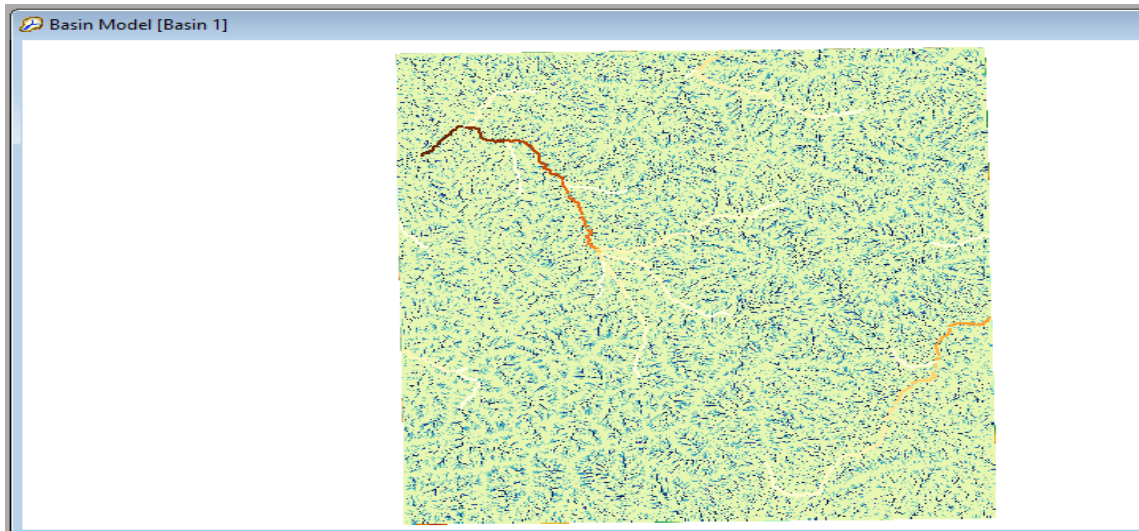


Figure 33 : Etape numéro 28.

- ✓ Dans un second temps nous devons selectionner un Break Point pour l'emplacement de notre Exutoire . on vas dans GIS puis Break Point.

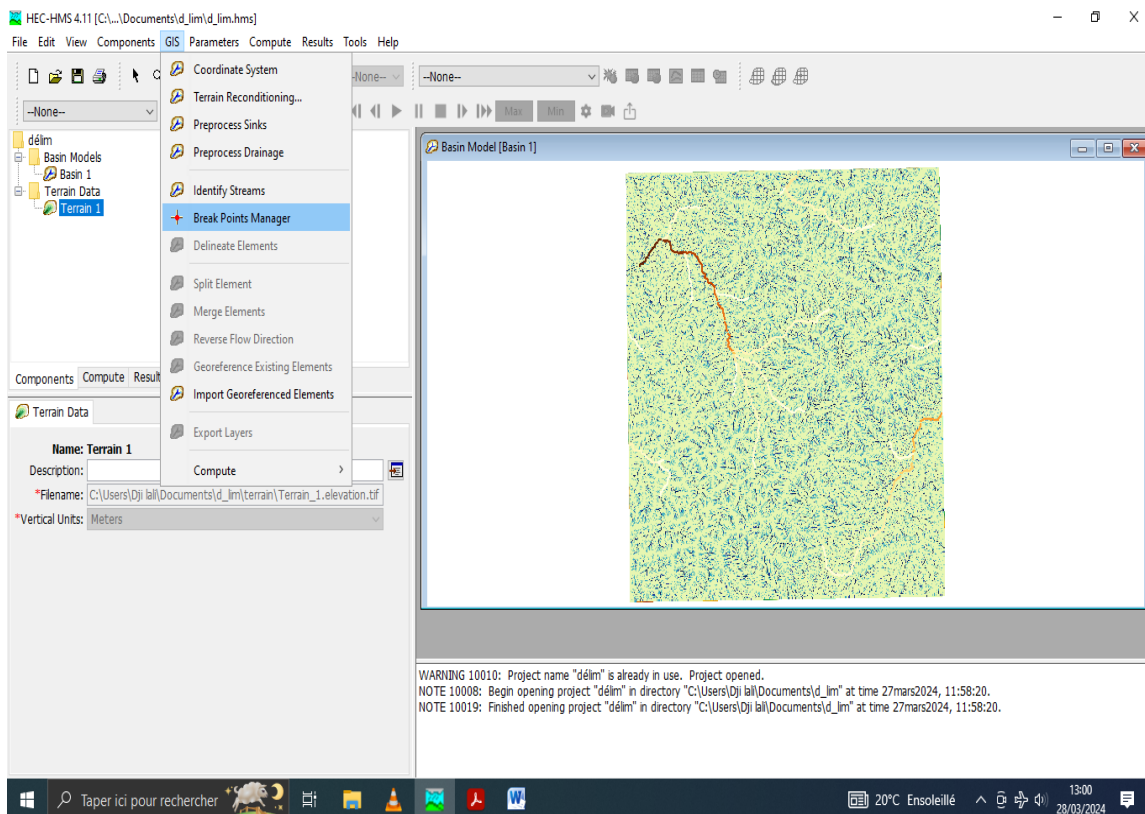


Figure 34 : Etape numéro 29.

✓ Pour ne pas rater le Stream 'Fleuve', il faudra zoomer au maximum pour l'implanter avec précision sur notre cours d'eau généré .

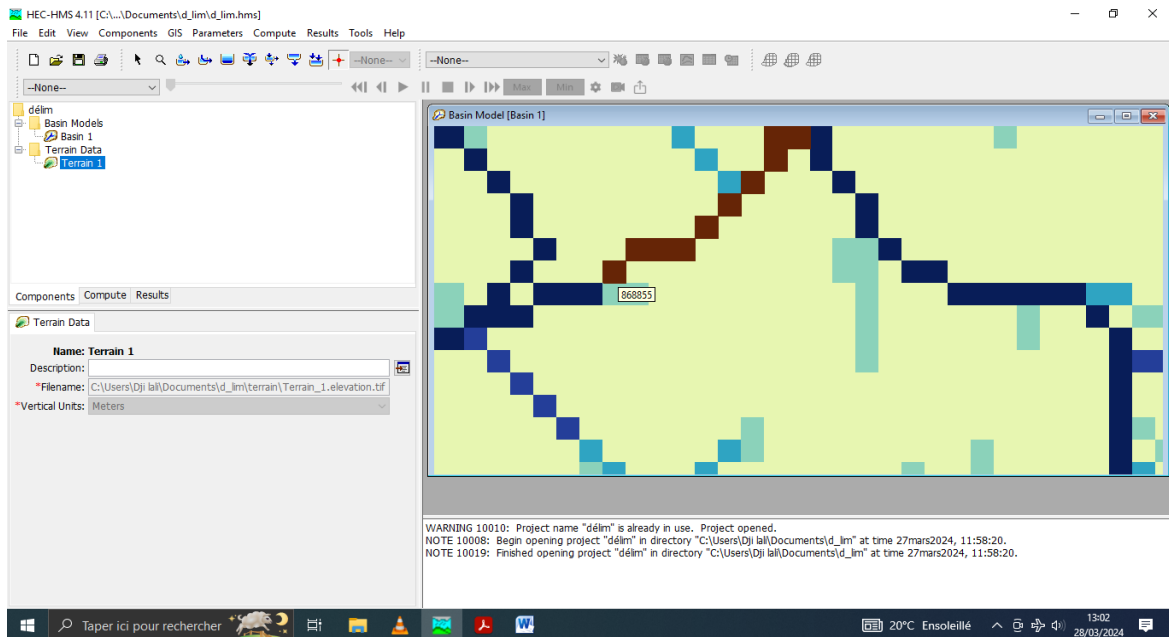


Figure 35 : Etape numéro 30.

✓ Une fois clique dans le cours d'eau en ayant bien zoomé, le logiciel nous demande si on veut implanter le Break Point. On clique sur Create.

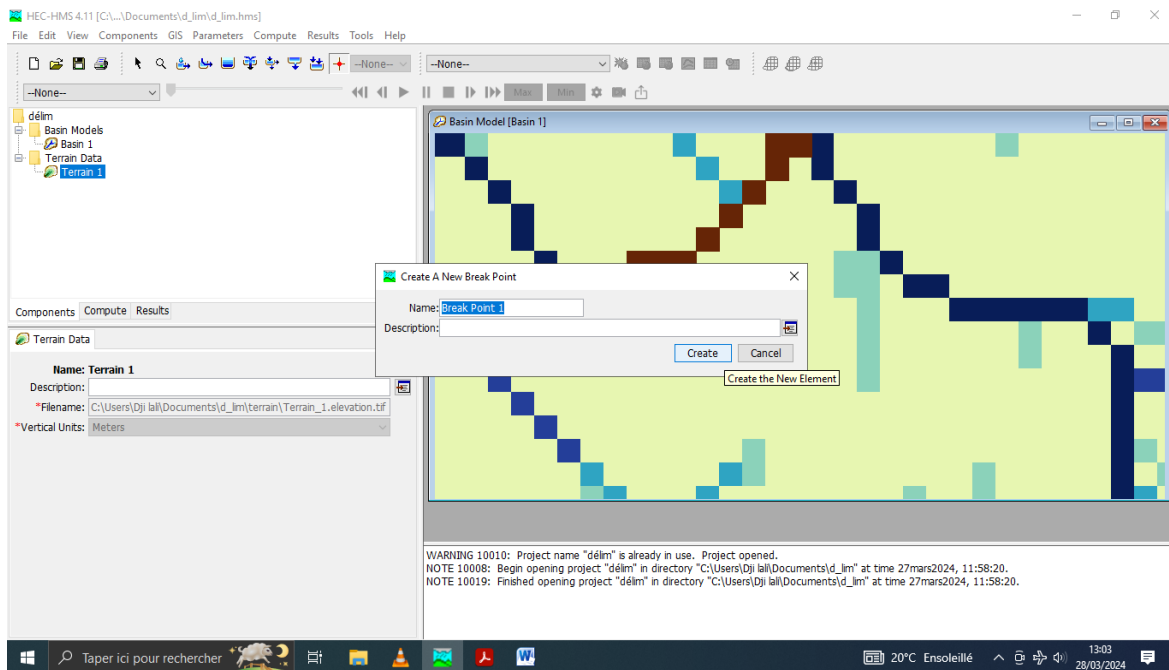


Figure 36 : Etape numéro 31.

✓ Desormais voici notre exutoir implanté sur le fleuve.

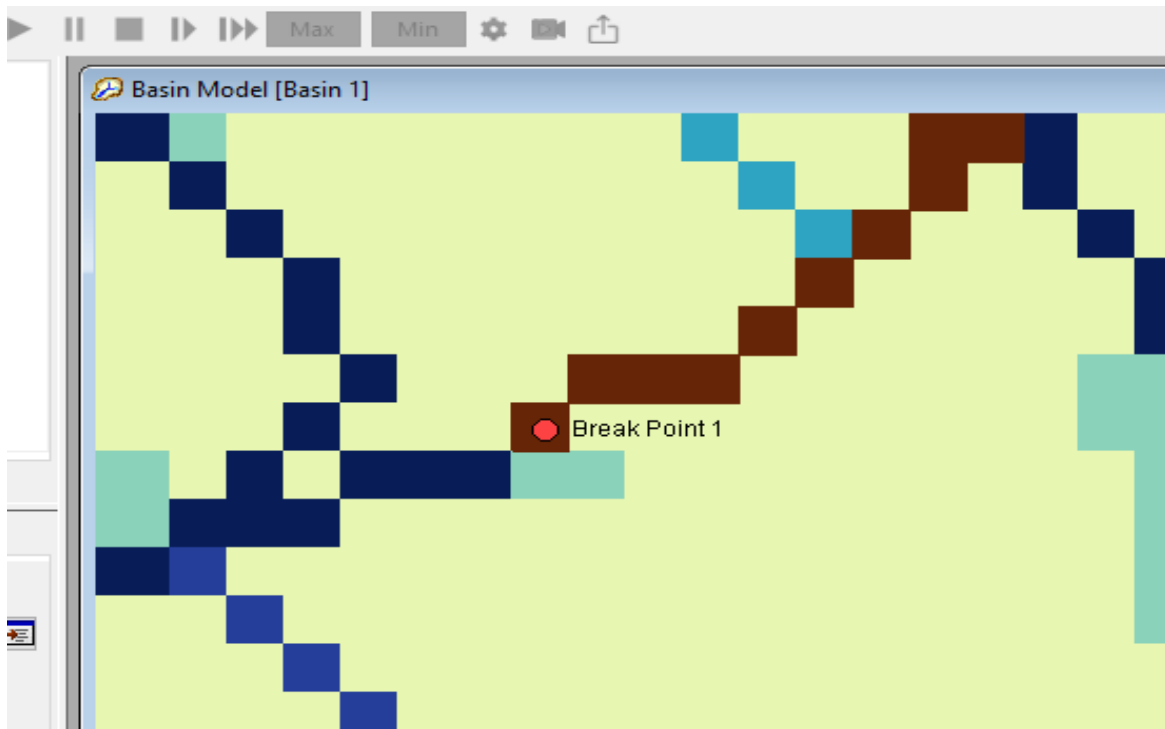


Figure 37 : Etape numéro 32.

✓ On peut à present délimiter notre Bassin Versant en ayant dans Délimite lements dans la colonne GIS.

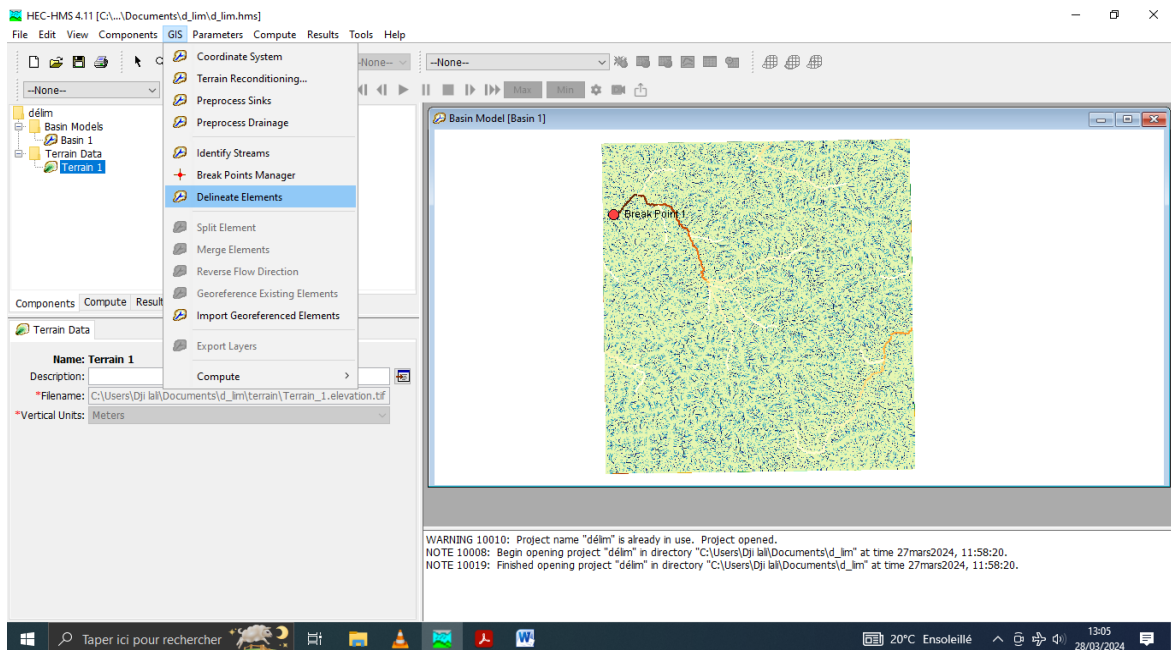


Figure 38 : Etape numéro 33

✓ Le logiciel nous demande de nommer notre sous bassin , on peut directement passer l'étape en cliquant sur Delineate.

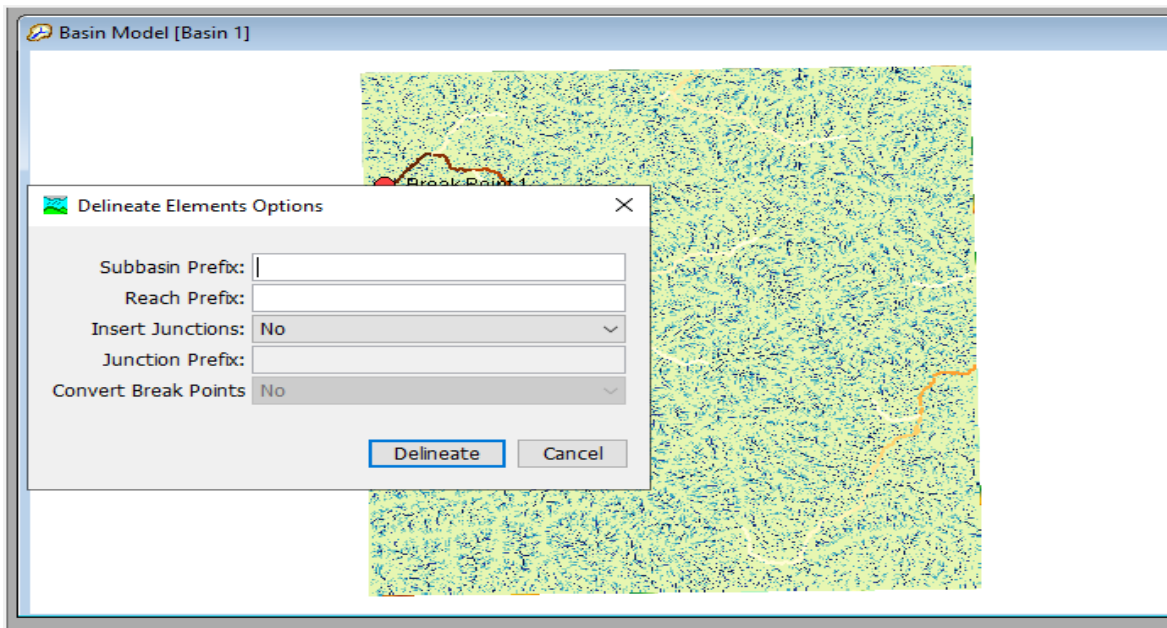


Figure 39 : Etape numéro 34.

✓ Après avoir cliqué sur Delineate, on obtient notre bassin versant généré grâce aux données de la carte ‘élévations’ comme dans la carte ci-après :

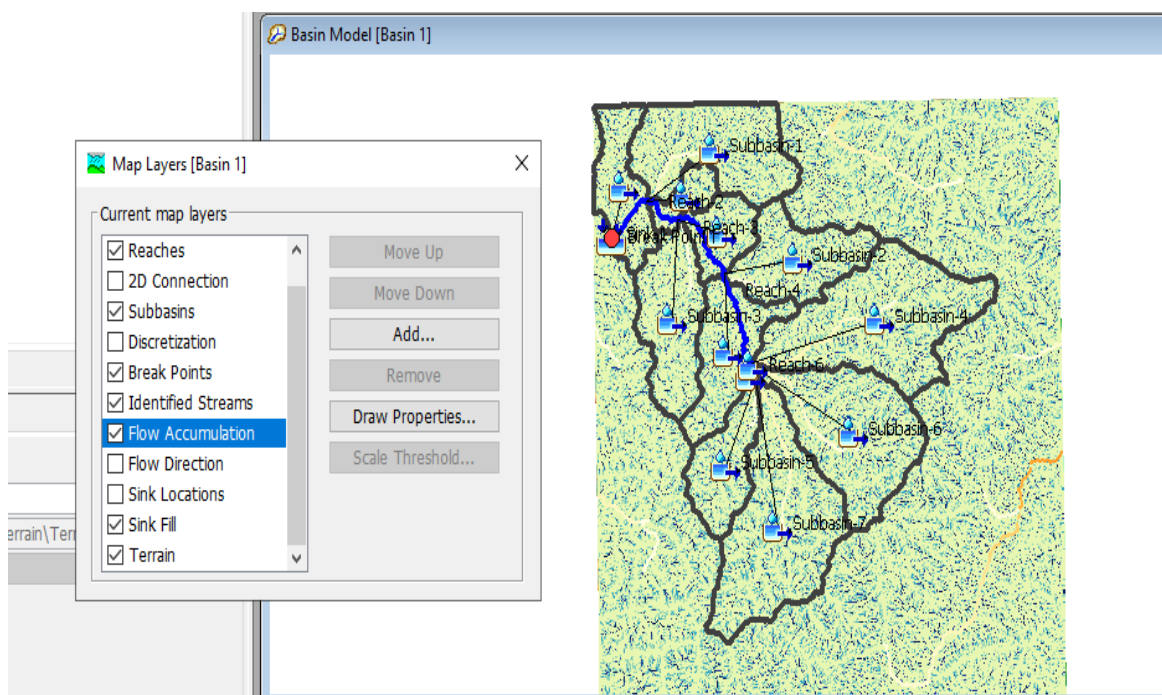


Figure 40 : Etape numéro 35.

✓ Comme d'habitude, on peut se rendre a la Map Layer dans la colonne View ainsi pouvoir alléger notre carte et obtenir une carte d'une simplicité.

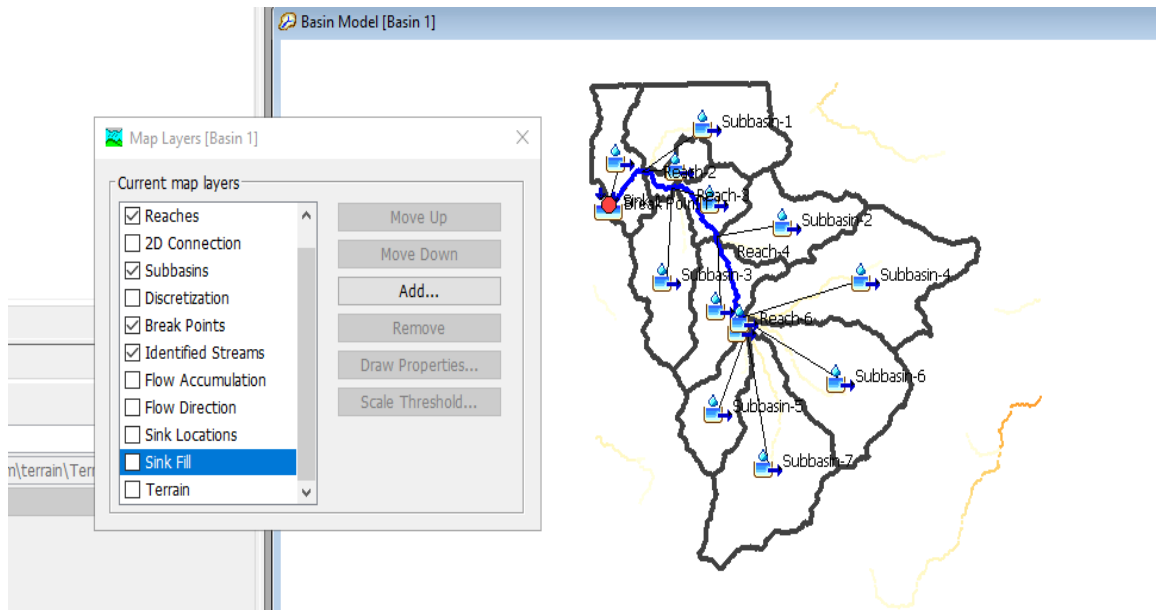


Figure 41 : Etape numéro 36.

✓ A présent nous pouvons modifier notre carte , soit jumeller 2 sous-bassins ; en allant dans GIS puis Merge Elements.

**NB** : pour effectuer cette operation entre 2 bassin, il faut qu'au minimum 1 bassin soit travéresé par le fleuve 'Stream' principale.

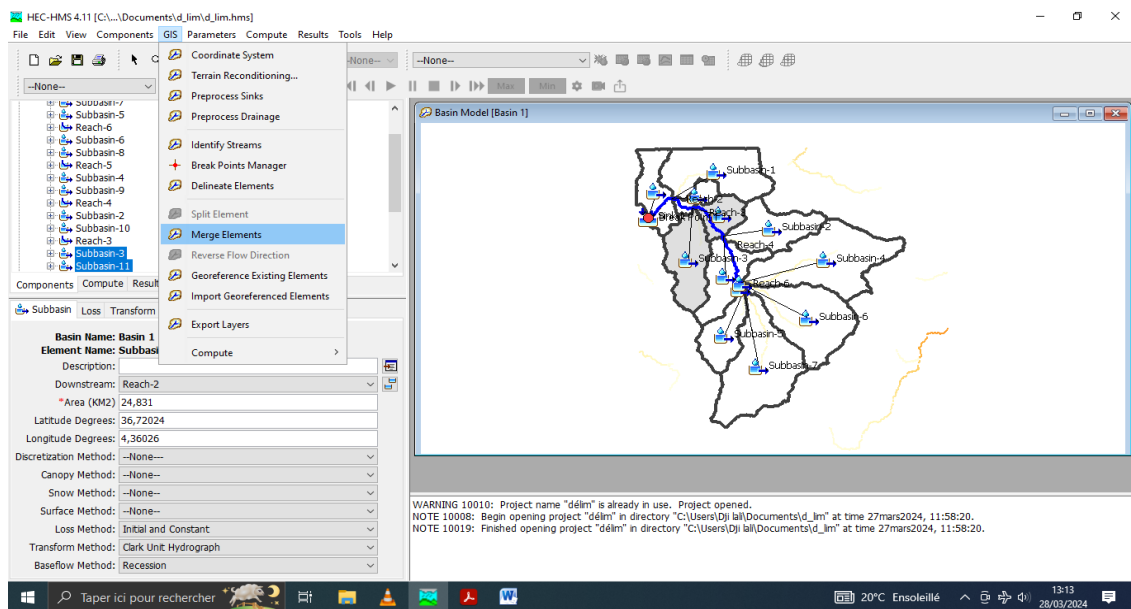


Figure 42 : Etape numéro 37.

✓ En cliquant sur Merge Elements, on voit que nous avons fusionné nos 2 bassins préselectionnés .

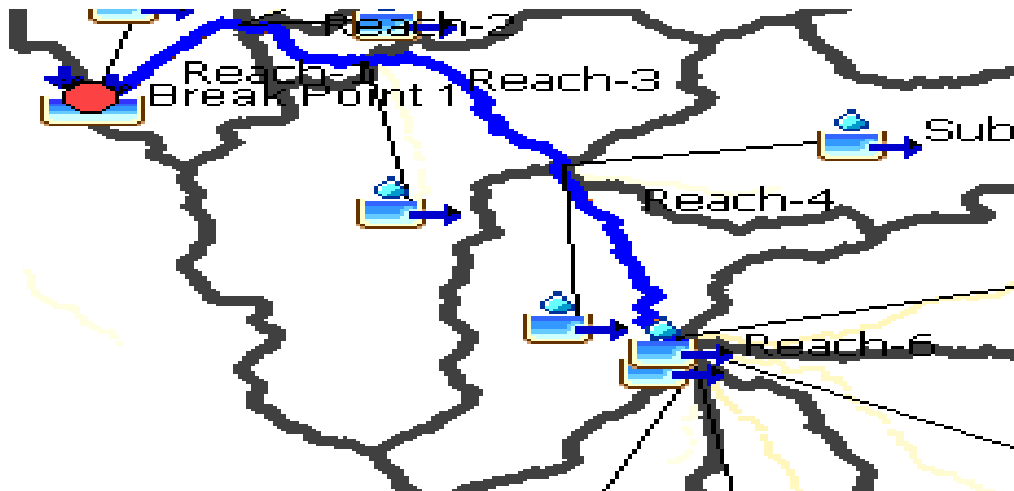


Figure 43 : Etape numéro 38.

✓ Bien que l'on peut Diviser un Sous-Bassin ; pour cela il suffit de selectionner le sous-bassin concerné par la division, puis d aller dans GIS et appuyer sur Split Elements.

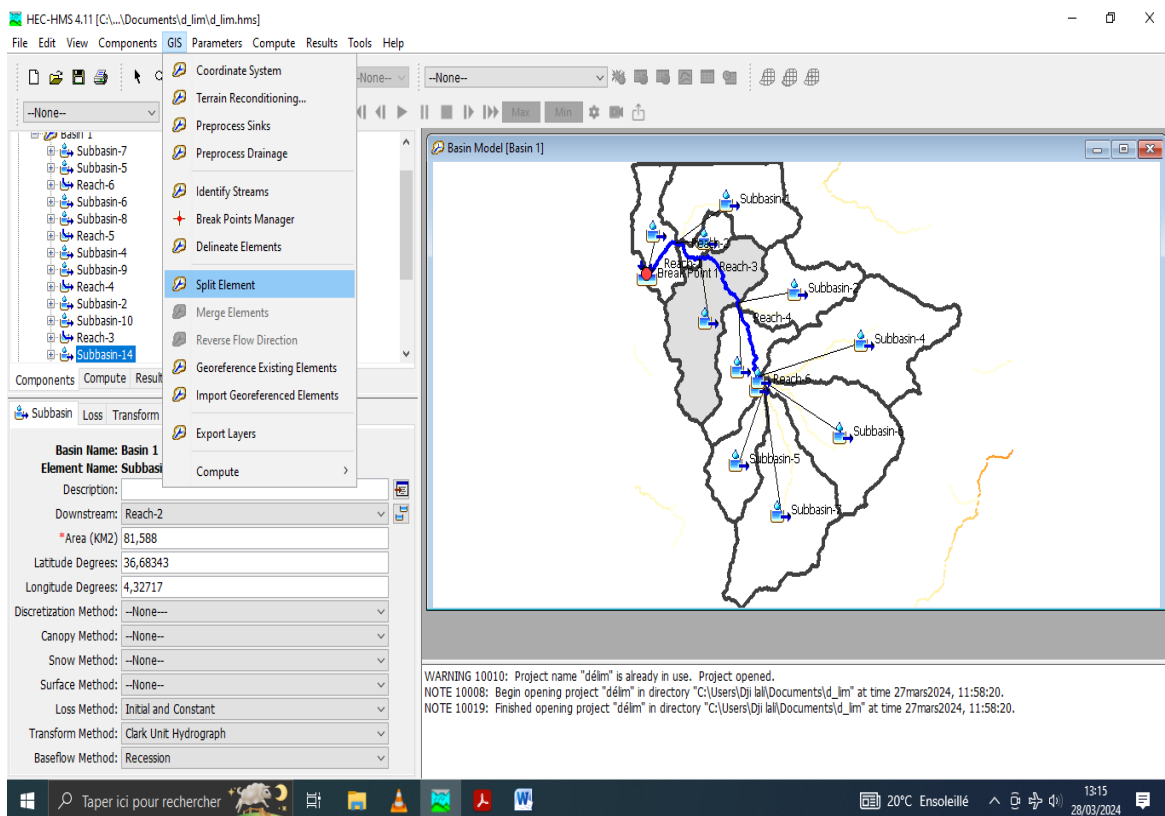


Figure 44 : Etape numéro 39.

✓ Après avoir cliqué sur Split Elements, notre curseur devient une croix via laquelle on doit donner au logiciel un point de division dans le fleuve 'Stream ' traversant le sous-bassin concerné par la division. Il nous demande la confirmation, on clique sur Accept.

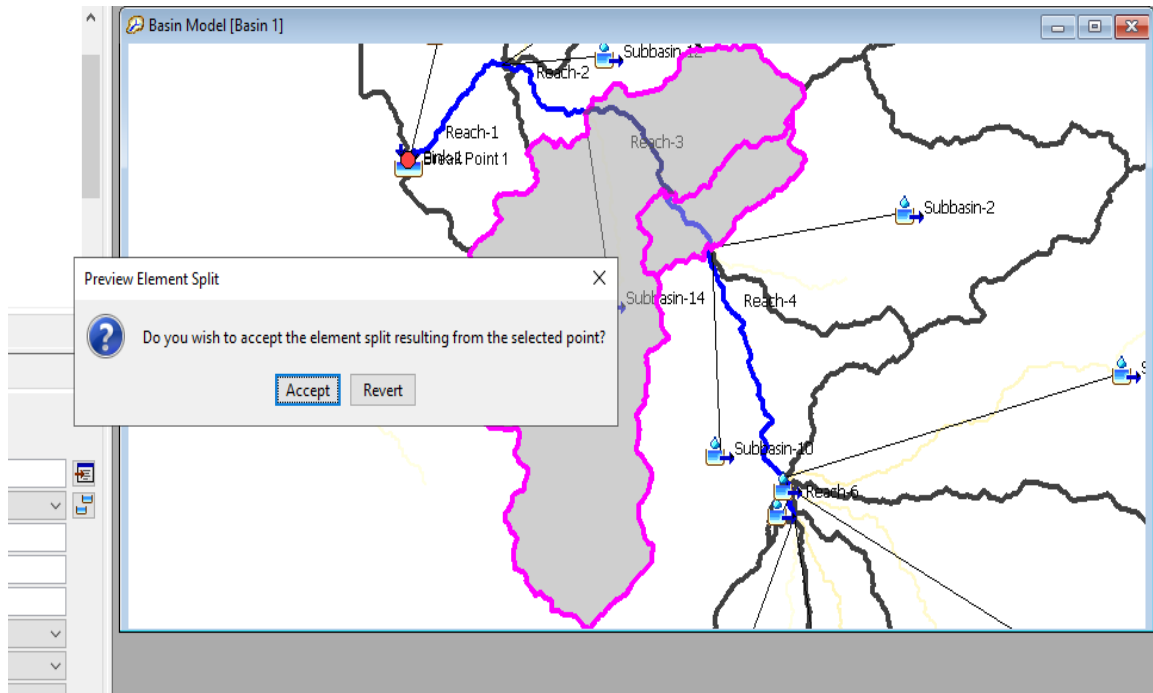


Figure 45 : Etape numéro 40.

✓ En bas le bassin divisé à la fin de cette étape.

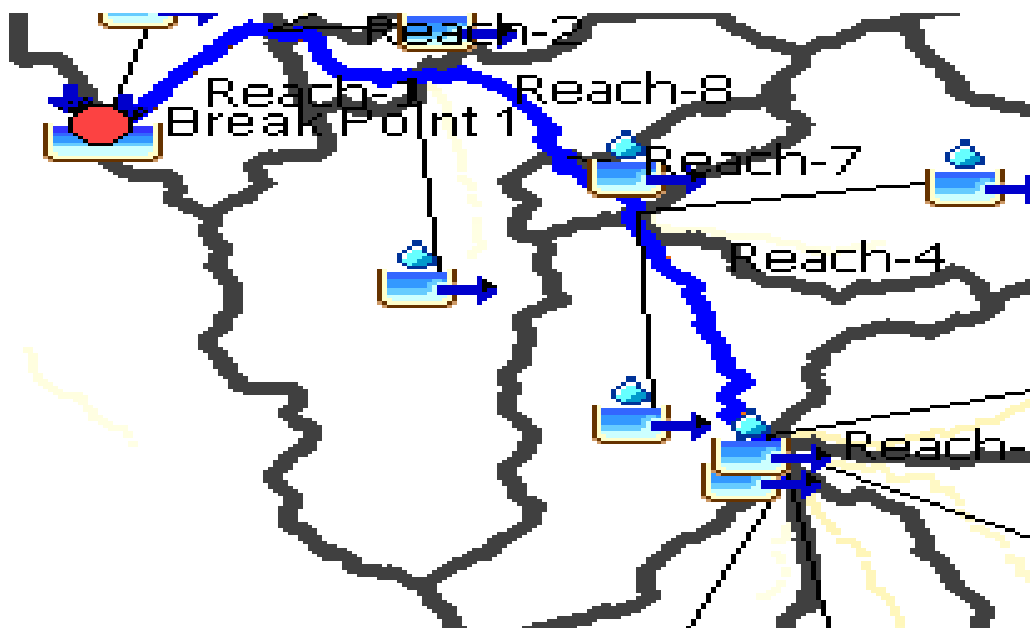


Figure 46 : Etape numéro 41.

## Chapitre 4 : Résultats des Simulations et Optimisations

I) Simulation, démonstration :

Pour pouvoir lancer la simulation dans notre programme, il est important d'introduire nos Inputs en premier lieu, qui ne sont nul autre que les données de pluies et de débits. Une fois nos stations créés et nos bassins ont pris forme, on va dans Components puis Time Series Data Manager.

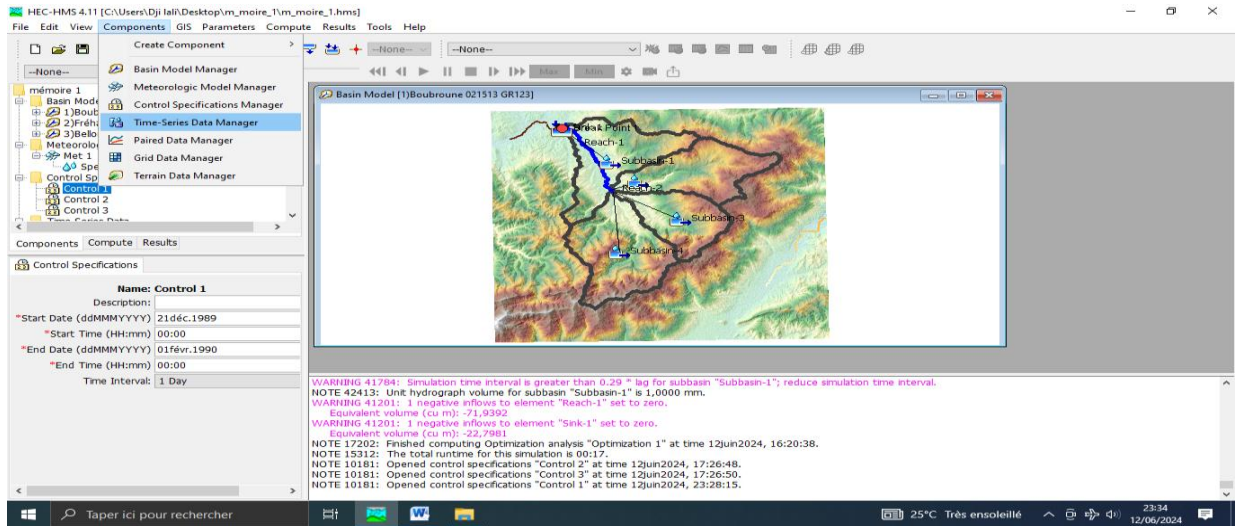


Figure 47 : Etape numéro 01.

Dans le Data Type on choisit Precipitations Gages afin de pouvoir introduire nos pluies dedans, on craie autant de Gage que nos séries de pluies.

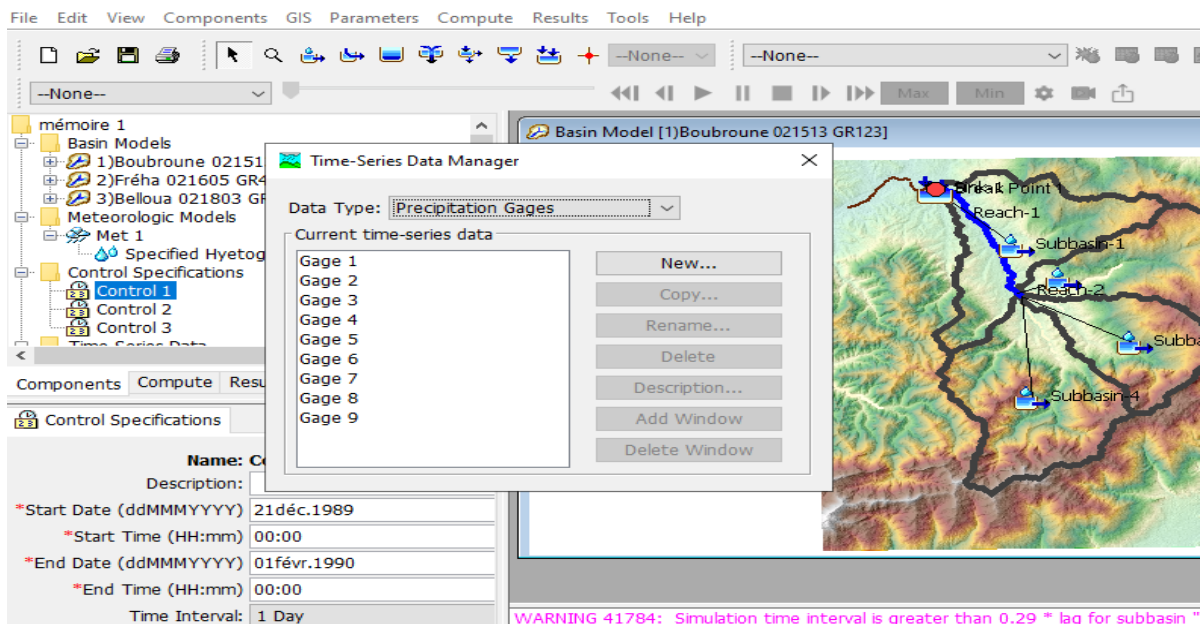


Figure 48 : Etape numéro 02.

Dans Components, notre station pluviométrique apparaît sous le nom Gage 1, en appuyant dessus on aura accès au pas de temps de nos pluies ; pour notre cas il s'agit d'un intervalle journalier. Pour faire apparaître l'étendue de notre série, on appuie sur le plus derrière Gage 1, et en sélectionnant cette date on pourra modifier la date initiale et finale ainsi que l'heure.

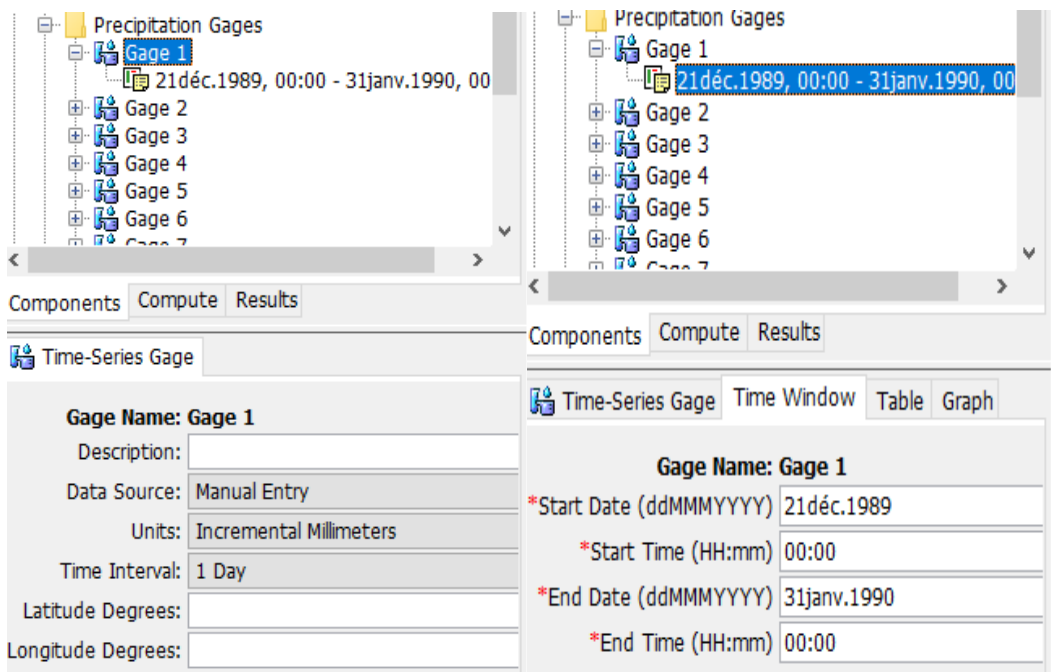


Figure 49 : Etape numéro 03.

Dans Table, on copie nos séries de pluies déjà organisées au préalable dans un fichier Excel et on les colle directement dans Precipitation.

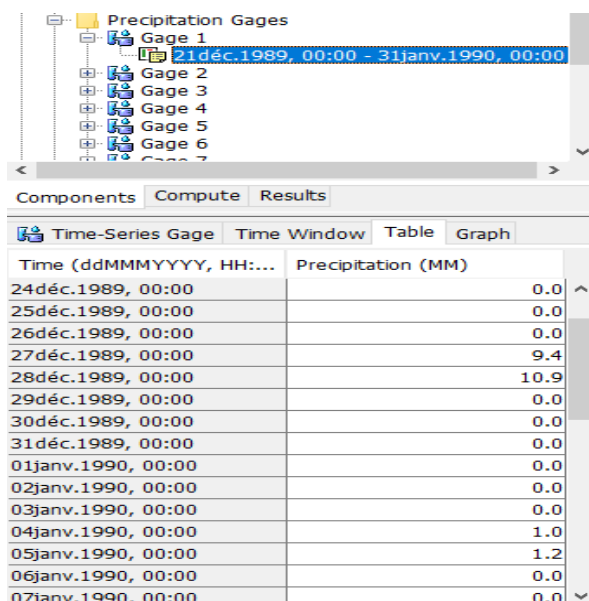


Figure 50 : Etape numéro 04.

A présent on crée notre station de débit, pour ce on va dans Components puis Time Series Data Manager, dans Data Type on choisit : Discharge Gages puis on clique sur New puis Create.

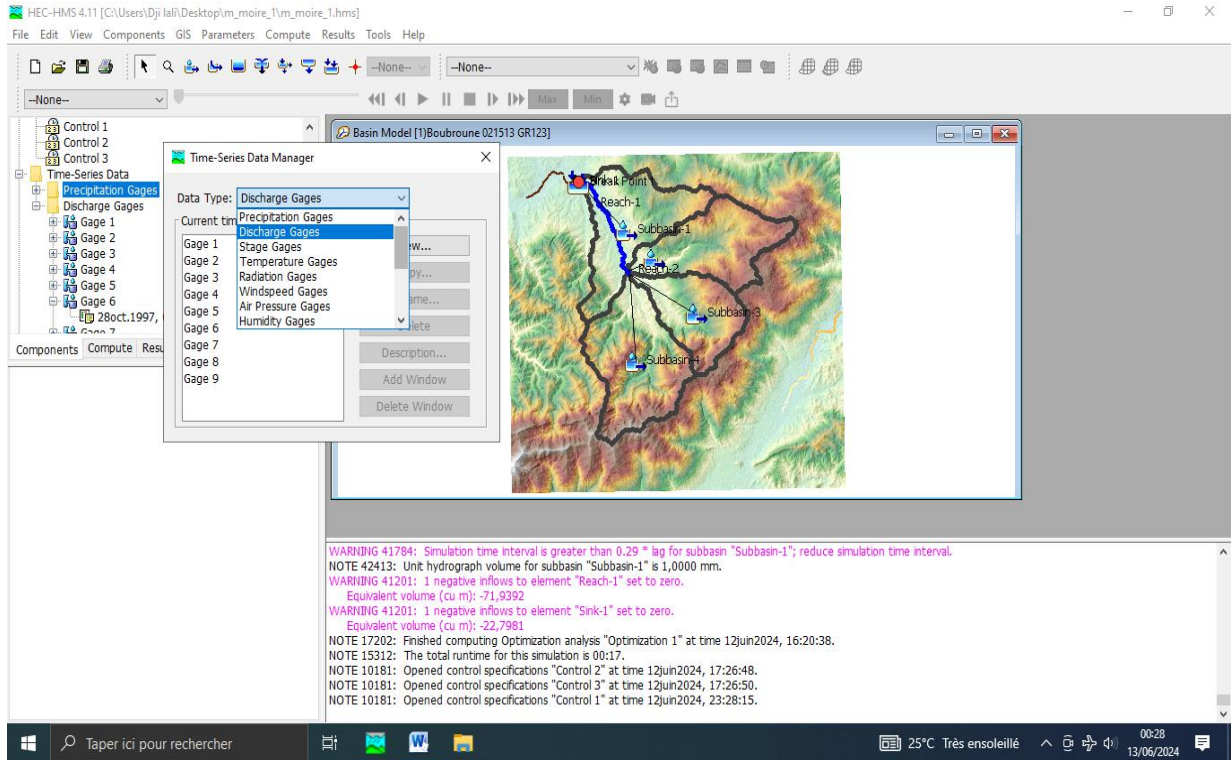


Figure 51 : Etape numéro 05.

Dans components apparait notre station sous Gage 1 sous Discharge Gages. Comme pour la station de pluie, on lui introduit le même pas de temps ainsi que date de série.

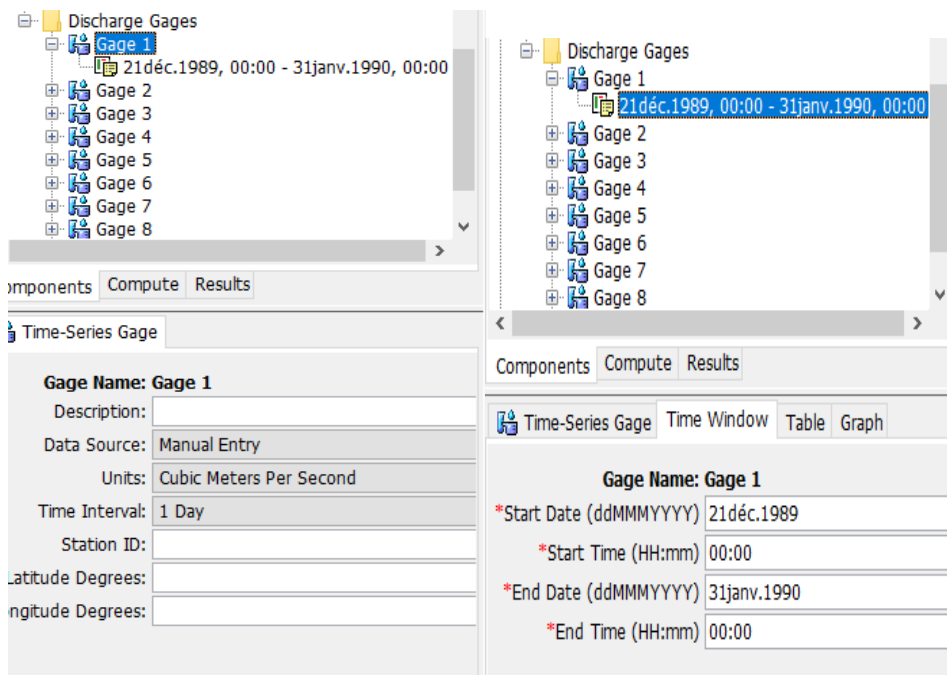


Figure 52 : Etape numéro 06.

Dans la date apparente sous Gage 1, on introduit dans Table nos séries de débit.

Time (ddMMMYYYY, HH:MM:SS)	Discharge (M3/S)
21déc.1989, 00:00	0.00
22déc.1989, 00:00	0.00
23déc.1989, 00:00	0.00
24déc.1989, 00:00	0.00
25déc.1989, 00:00	0.00
26déc.1989, 00:00	0.00
27déc.1989, 00:00	0.00
28déc.1989, 00:00	0.00
29déc.1989, 00:00	0.00
30déc.1989, 00:00	0.00
31déc.1989, 00:00	0.09
01janv.1990, 00:00	0.22
02janv.1990, 00:00	0.53
03janv.1990, 00:00	0.60
04janv.1990, 00:00	0.53

Figure 53 : Etape numéro 07.

Puis, place à la création d’une station de contrôle ou on introduit le laps de temps de simulation à notre logiciel. On craie des stations de contrôle en fonction de nos périodes ; pour notre cass nous disposons de 3.

Subbasin Name	Gage
Subbasin-1	Gage 1
Subbasin-2	Gage 1
Subbasin-3	Gage 1
Subbasin-4	Gage 1
Subbasin-5	-None-
Subbasin-8	-None-

Figure 54 : Etape numéro 08.

On va dans : Components, Control Specifications Manager, New, Create.

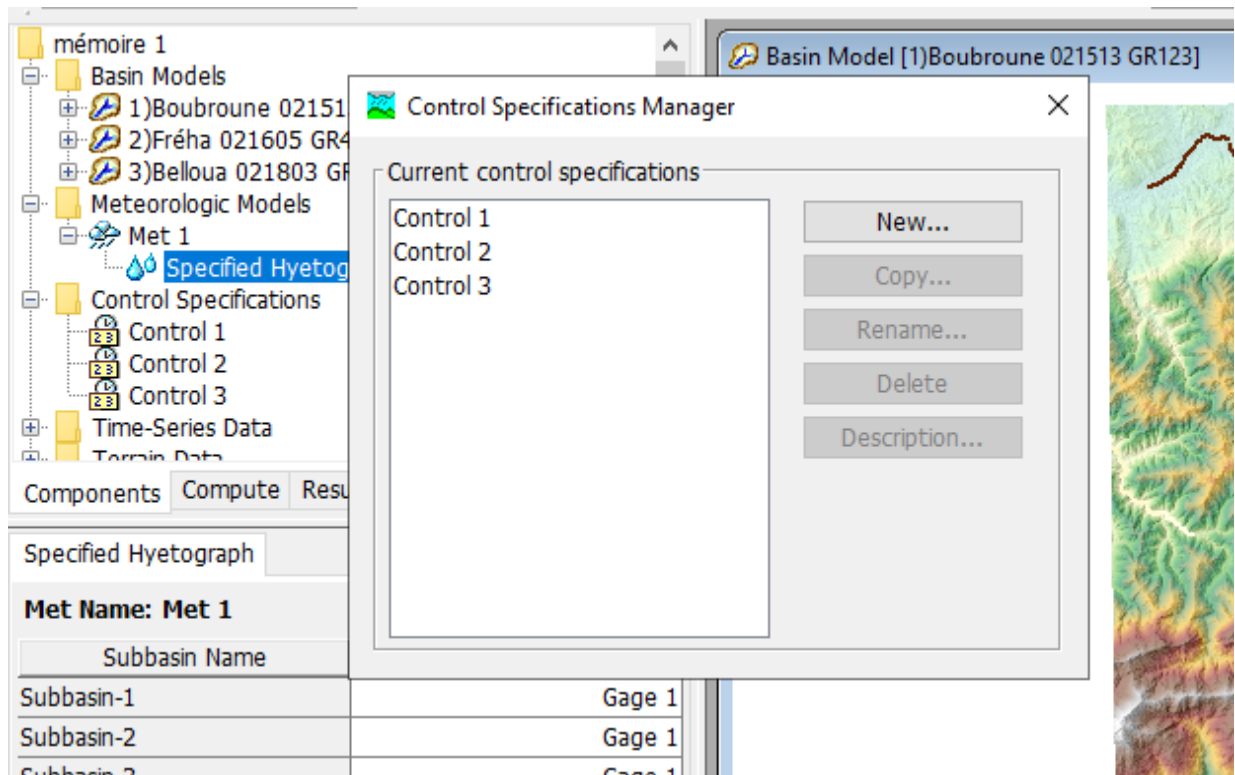


Figure 55 : Etape numéro 09.

Dans Components se retrouve notre contrôle de spécification, on met les mêmes dates que celles de nos séries en rajoutant une marge de 02 jours afin que notre logiciel ait un temps de simulation.

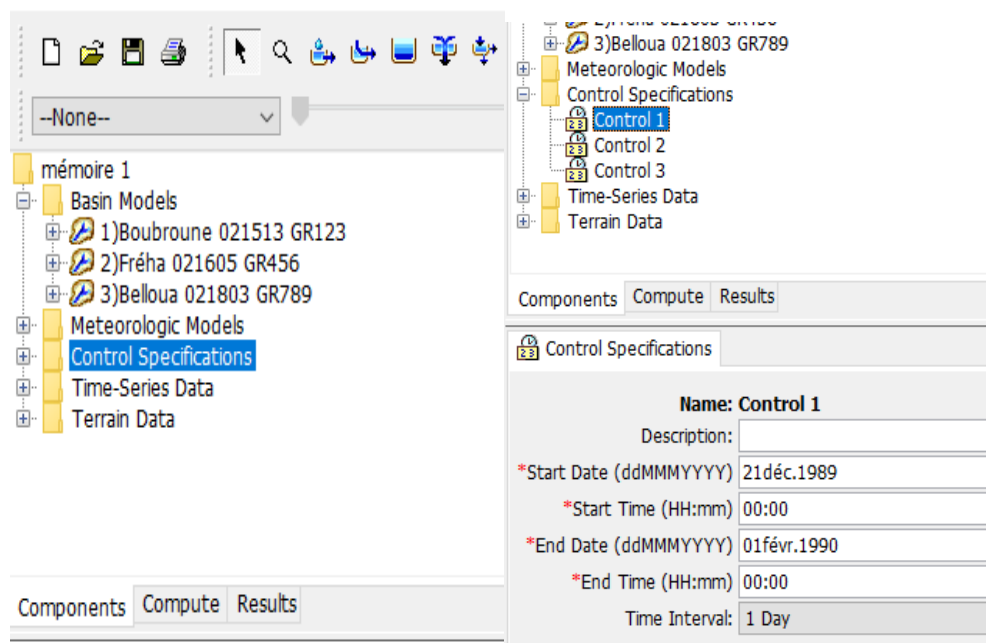


Figure 56 : Etape numéro 10.

A présent on crai un Meteorologic Model Manager afin de pouvoir connecter chaque station à son bassin adéquat.

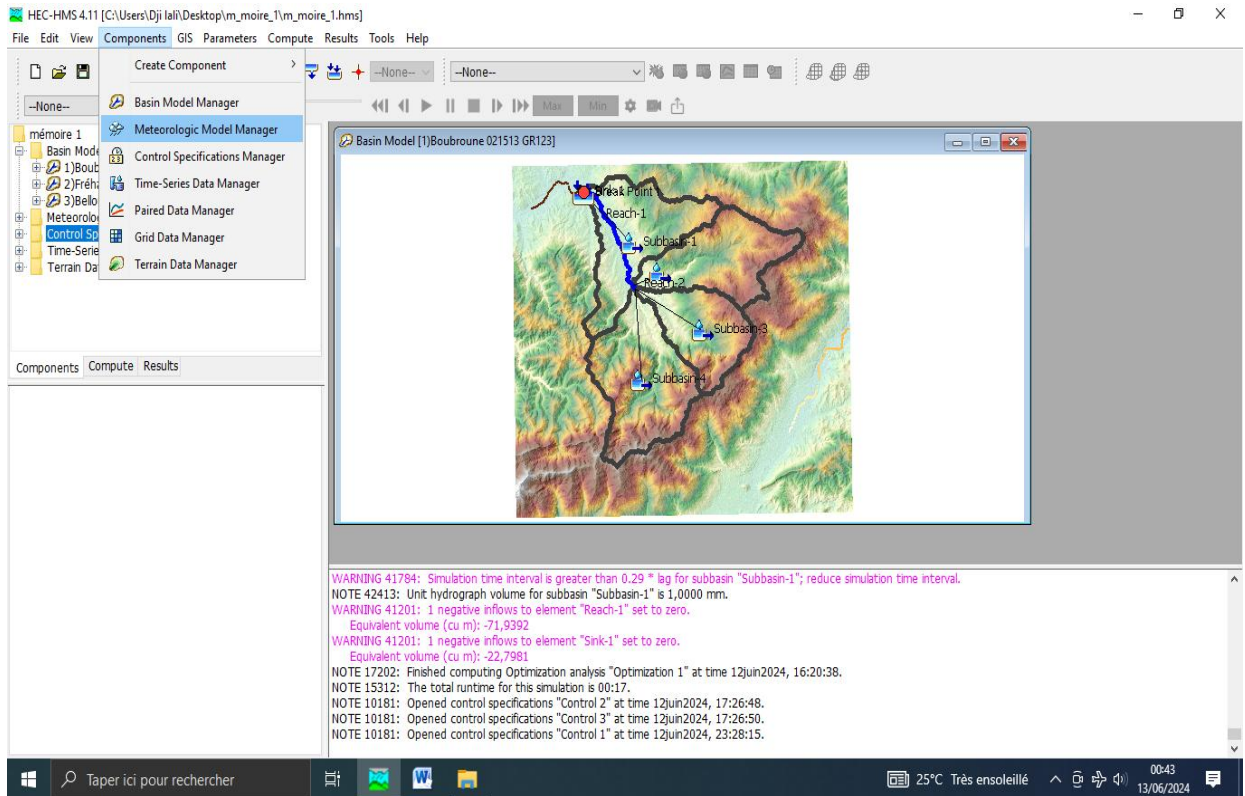


Figure 57 : Etape numéro 11.

Pour cela, on clique sur : composants puis Meteorologic Model Manager, New, et enfin Create.

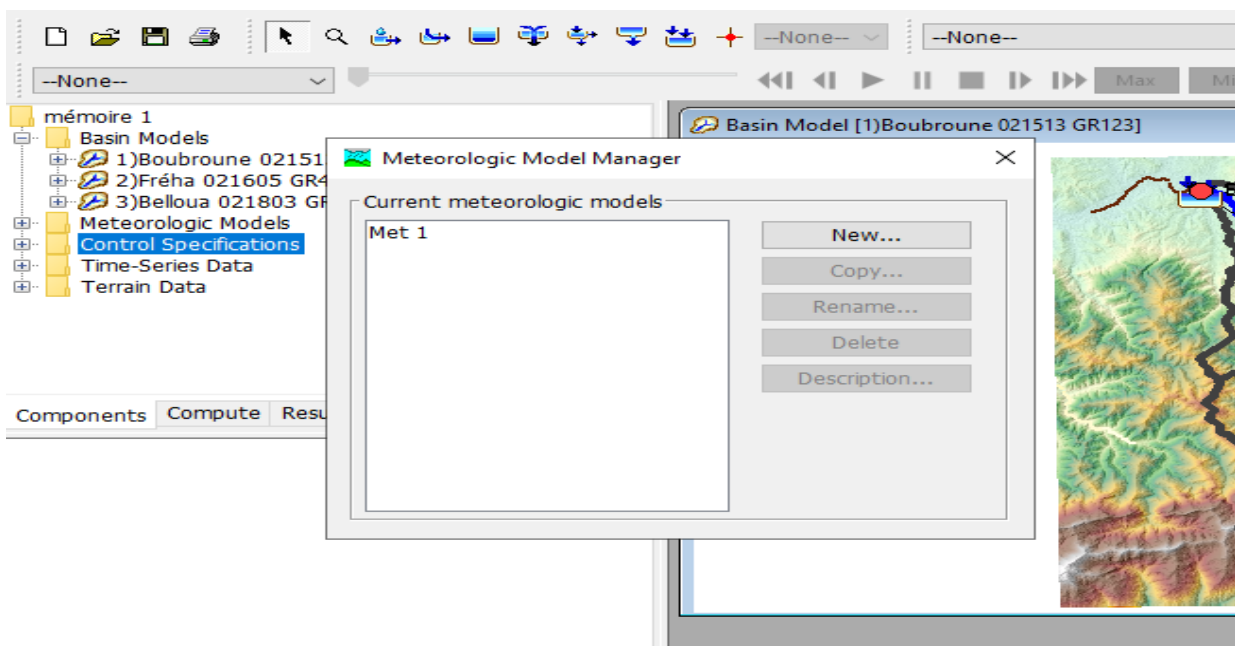


Figure 58 : Etape numéro 12.

Meteorologic Models s’affiche dans composants , en cliquant sur le plus derriere il nous affiche 02 parametres important à la liaison de chaque gage a son bassin, la moindre erreur de liaison peut faire planter notre logiciel. ainsi devoir le redemarrer afin de reprendre à nouveau le travail.

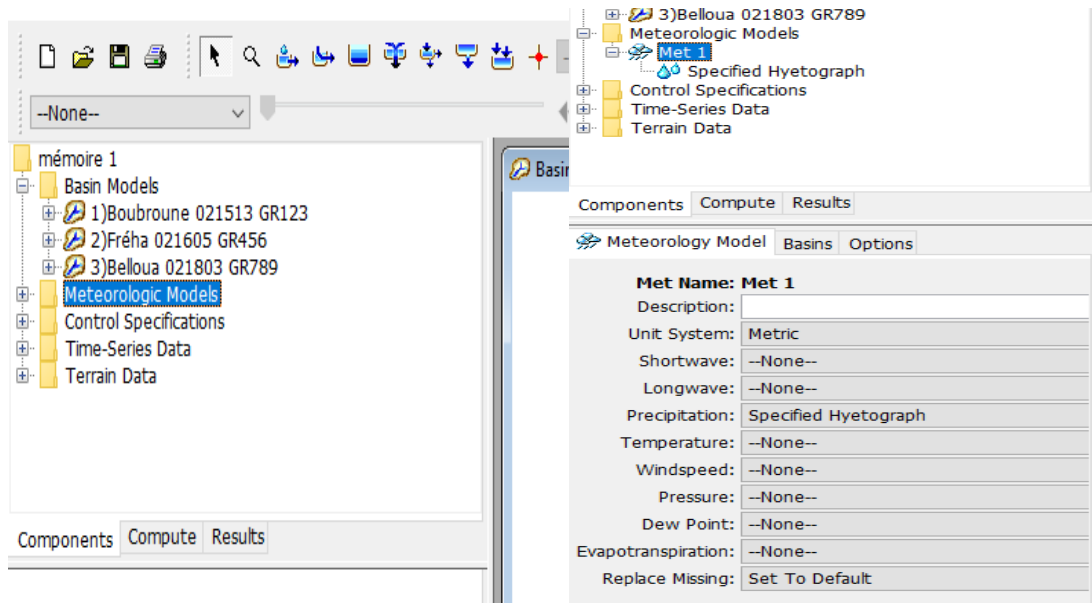


Figure 59 : Etape numéro 13.

Dans ‘Met 1’ on doit sélectionner la zone concernée en allant dans : Met 1 puis Basins. On met ‘No’ pour les stations non concernés par la simulation et ‘Yes’ pour le concerné. Quant à ‘Specified Hyetograph’ il attribue à chaque sous- bassin sa série de pluie comme ci-dessous.

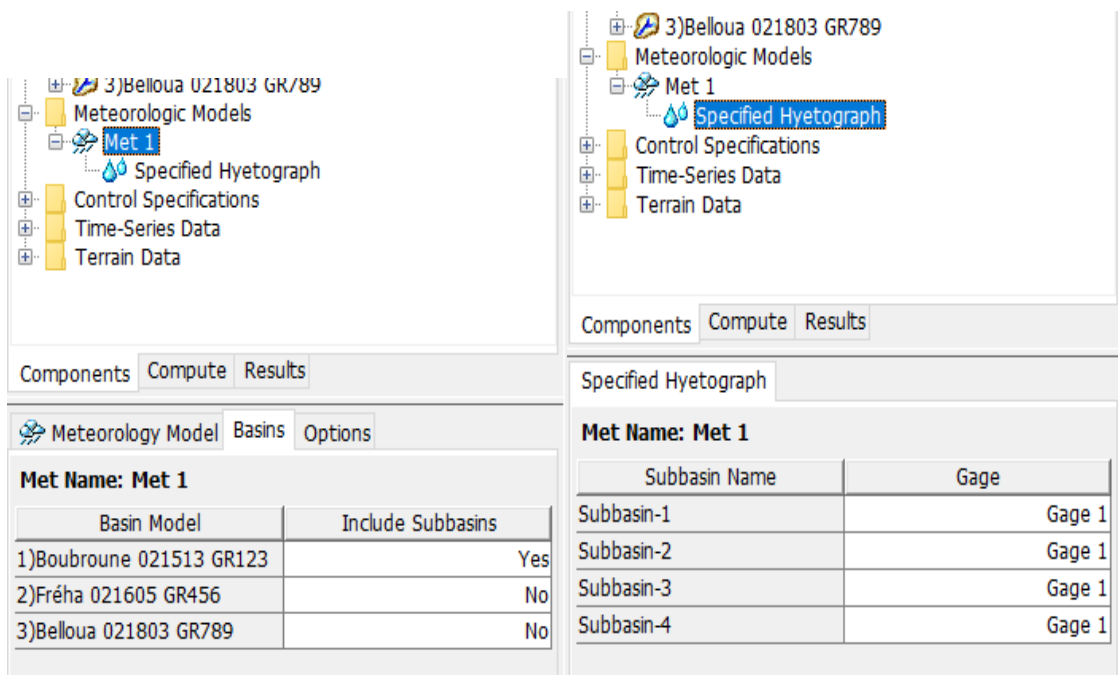


Figure 60 : Etape numéro 14.

Une fois nous avons tout bien connecté dans notre ‘Met’ et ‘Specified Hyetograph’ on doit connecter le sink de notre bassin concerné. En allant dans Sink, Options , on attribue un gage adéquat a la case ‘Observed Flow’.

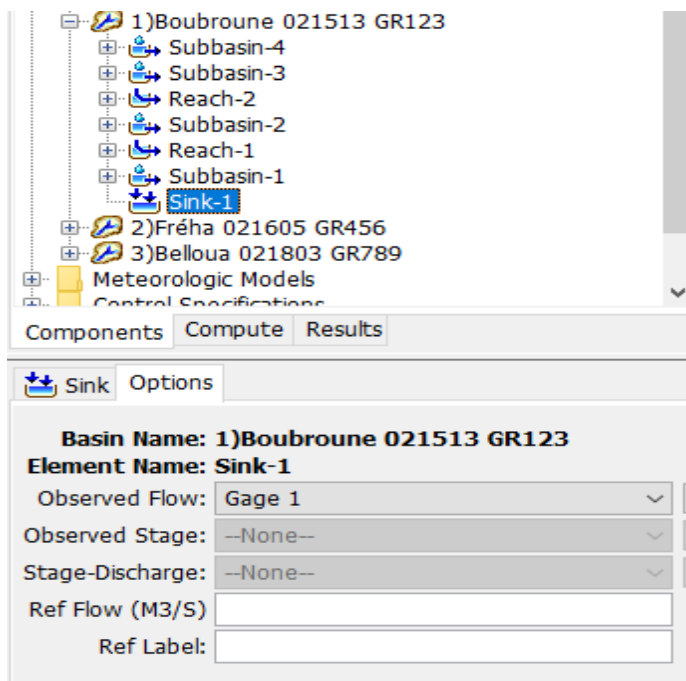


Figure 61 : Etape numéro 15.

Une fois toutes ses étapes faites on peut lancer notre simulation en procédant ainsi :  
 Compute, Create Compute, Simulation Run

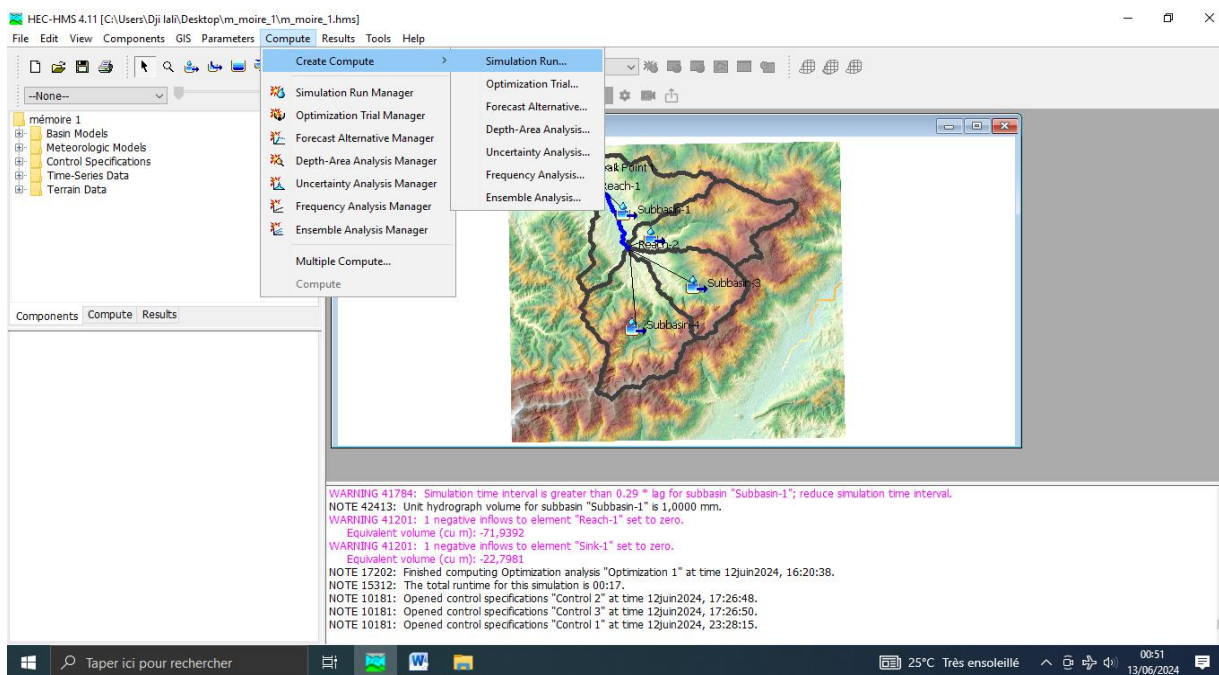


Figure 62 : Etape numéro 16.

On clique sur 'Next' pour continuer.

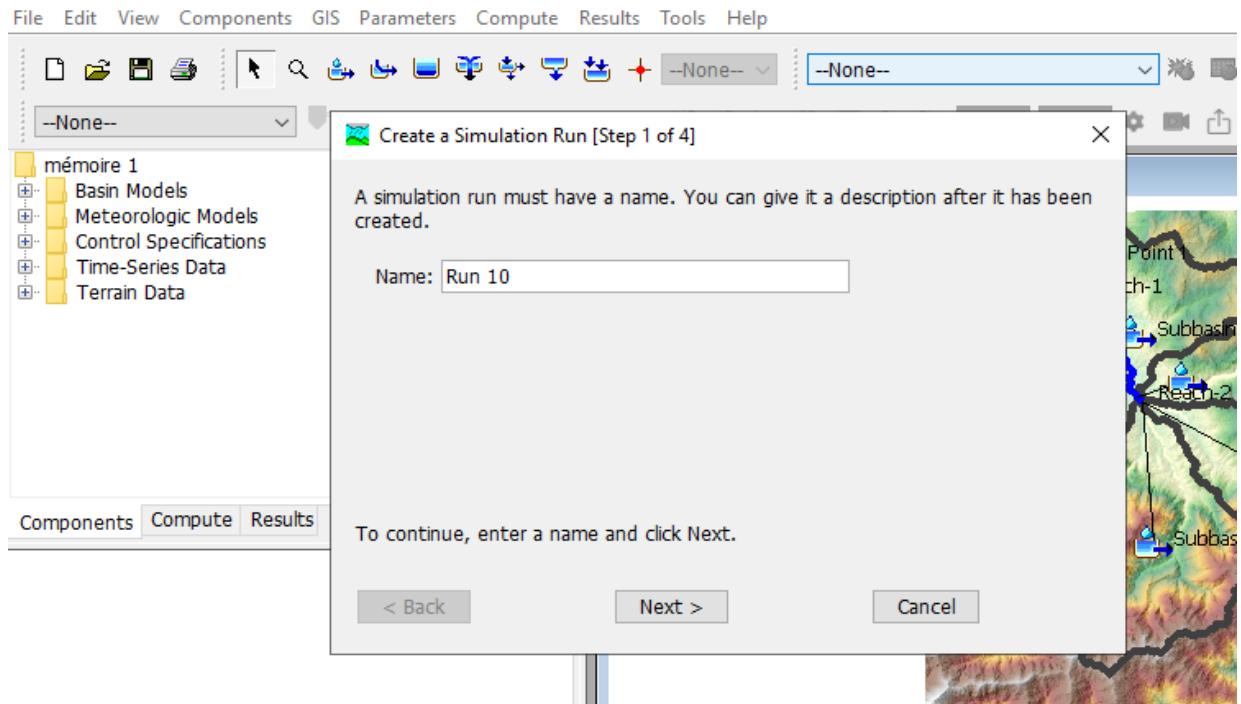


Figure 63 : Etape numéro 17.

On choisit la station pour laquelle nous voulons faire notre simulation. Puis on clique sur 'Next'

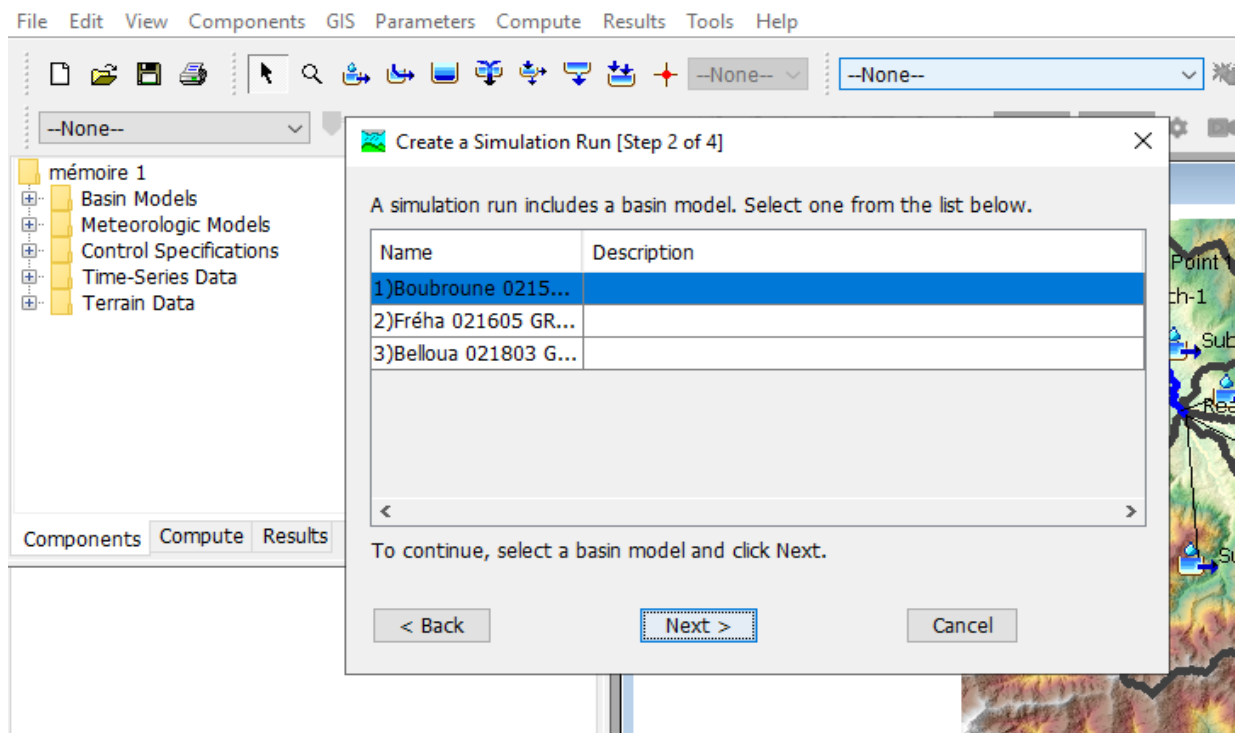


Figure 64 : Etape numéro 18.

Puis on choisit le modèle Météorologique, pour notre cas nous avons qu'un seul qu'on actualise avant de lancer chaque simulation.

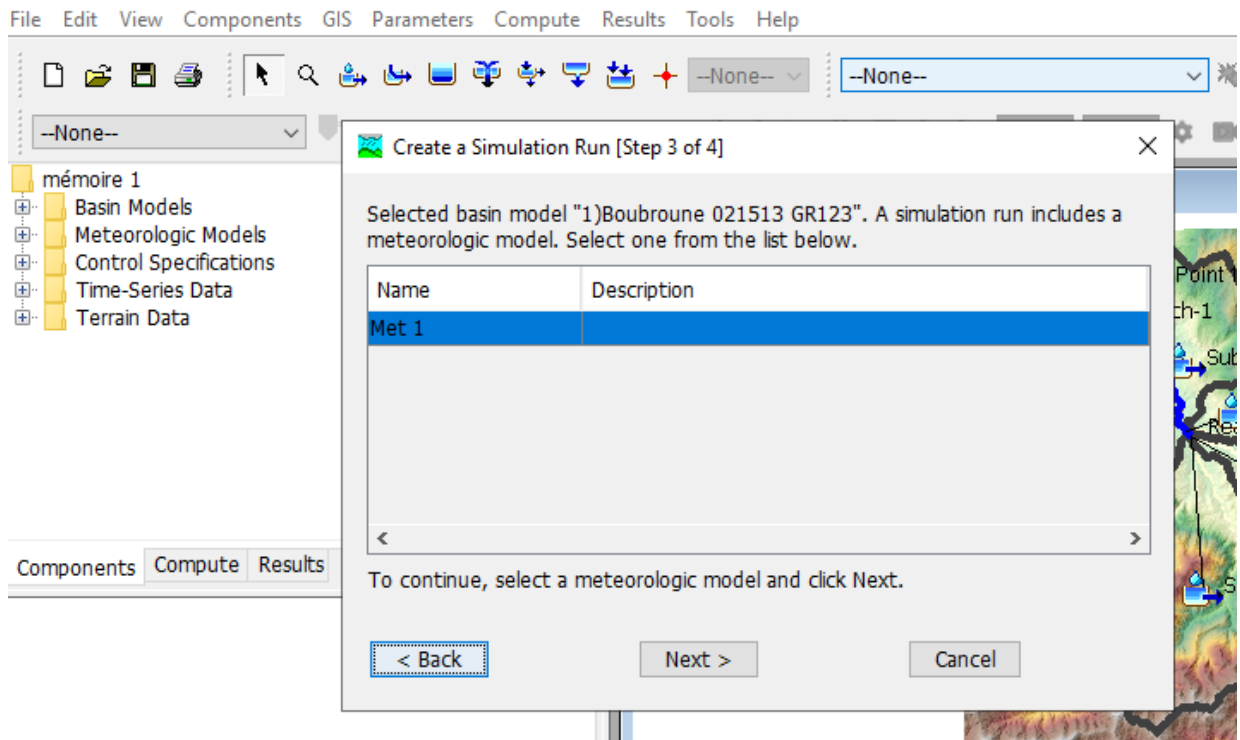


Figure 65 : Etape numéro 19.

L'étape suivante implique le choix d'un Contrôle donné adéquat en fonction de notre objectif de simulation.

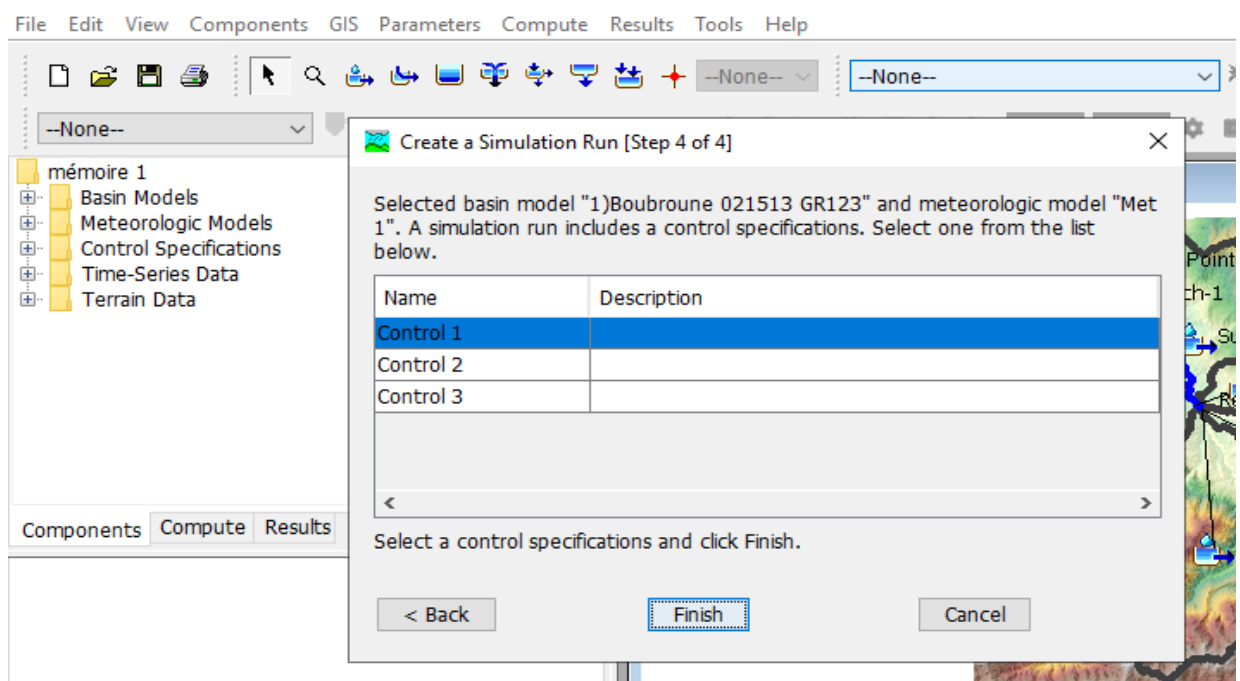


Figure 66 : Etape numéro 20.

Dans ‘Compute’ on trouve l’emplacement de notre première simulation.

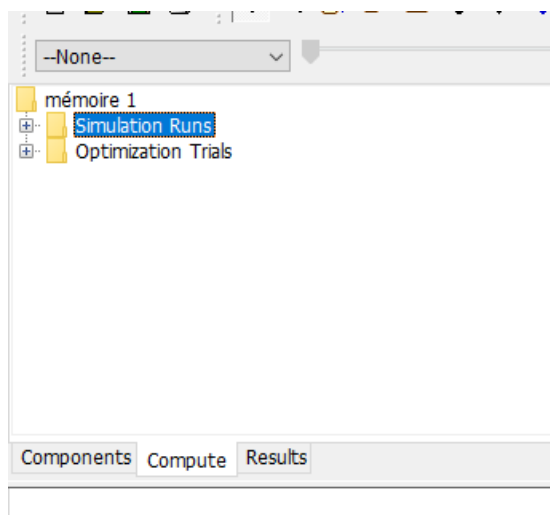


Figure 67 : Etape numéro 21.

En cliquant sur le petit plus derrière on aura accès à chaque simulation déjà créée, et pour la lancer ; on clique avec le bouton droit sur la simulation souhaité puis compté, ainsi démarre la simulation.

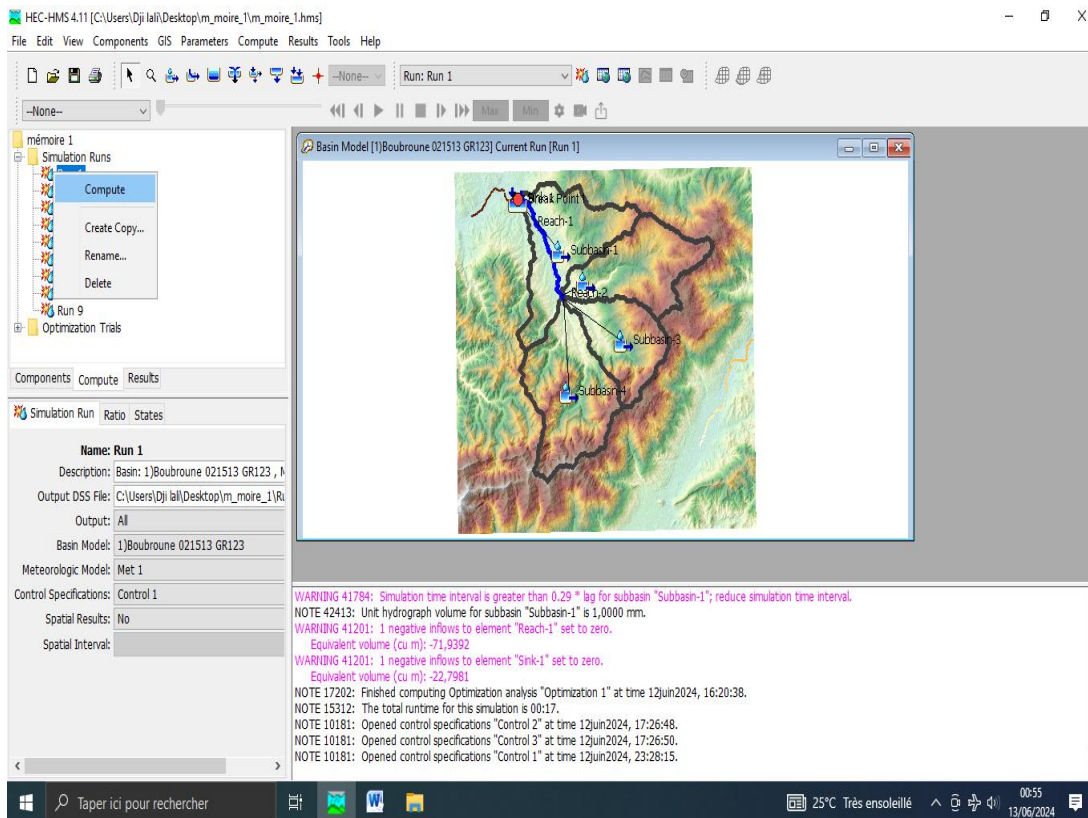


Figure 68 : Etape numéro 22.

Enfin, une fois la simulation terminée, on peut accéder aux résultats de cette dernière via ‘Results’ comme ci-dessous.

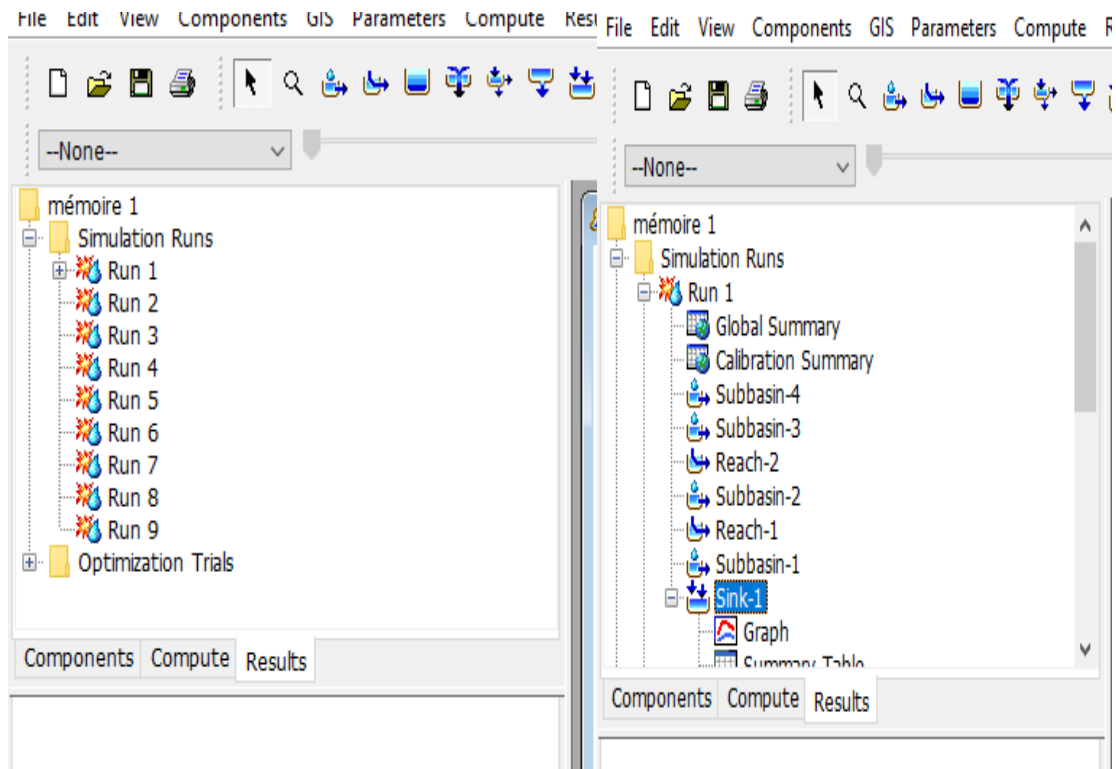


Figure 69 : Etape numéro 23.

### Résultats des simulations :

Pour une parfaite calibration, il faut satisfaire les bons résultats issus de ce tableau.

#### Les critères d'évaluation

L'étude de la performance de ce modèle se fait à travers l'évaluation d'un certain nombre de critères.

##### - Le critère de NASH :

Il mesure le degré d'ajustement entre les valeurs simulées et celles observées ainsi il représente la précision des simulations. Variant de 1 à l'infini négatif on considère la bonté des résultats ci ce dernier se rapproche de 1, en d'autres termes un Nash négatif est synonyme de mauvais résultats [8].

Les scientifiques ont établi des critères en fonction de la valeur des coefficients de Nash-Sutcliffe :

$$NASH = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{simi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{moyen})^2}$$

- ✓ Pour une très bonne performance  $0.75 < NSE \leq 1.0$
- ✓ Pour une bonne performance  $0.65 < NSE \leq 75$
- ✓ Pour une performance satisfaisante  $0.5 < NSE \leq 65$  [13].

**Le coefficient de corrélation :**

Mesure la Co fluctuation des séries simulées et observées (Pangalou, 2003) si ce coefficient est égal à 1 on a une corrélation parfaite entre nos deux séries (Pangalou, 2003).

Le coefficient de corrélation est exprimé à travers la formule suivante [13].

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{obs.moy}) \times (Q_{simi} - Q_{sim.moy})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{obs.moy})^2 \times \sum_{i=1}^n (Q_{simi} - Q_{sim.moy})^2}}$$

**- PBIAS :**

Le PBIAS ou l'erreur moyenne (Gupta et al.1999 ; Dawson et al.2007), Une valeur négative indique une sous-estimation du débit tandis qu'une valeur positive indique sa surestimation. Une valeur nulle indique une parfaite description de l'observation. Il est compris entre plus ou moins 100.

En résumé, cette valeur exprime de pourcentage d'erreur (BIAS) moyen existant entre la série de données observée et la série de données simulée.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - Q_{simi}) \times 100}{\sum_{i=1}^n Q_{obsi}}$$

Selon les conditions de Moriasi (Moriasi et al.2007), le calage est supposé satisfaisant dans le cas des simulations des débits liquides si nous avons :

NASH supérieur ou égal à 0,5 ; R<sup>2</sup> supérieur ou égal à 0,5 et PBIAS compris entre plus ou moins 25% [13].

**Erreur quadratique (RMSE) :**

Représente les écarts entre les résultats simulés et ceux observés. Le témoin de bons résultats est l'expression de faibles valeurs de la part de ce critère [13].

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obsi} - simi)^2}$$

L'erreur sur la lame d'eau (error in volume) :

Désigne la différence entre nos deux lames d'eau ( simulée et observée).la simulation est parfaite en obtenant des résultats côtoyant zéro [13].

$$v = \frac{V_{obs} - V_{sim}}{V_{obs}}$$

Erreur sur le débit de pointe (error in peak) :

Il exprime la différence entre le débit de pointe simulé et celui observé. Plus cette valeur est réduite plus la performance est bonne.

$$Q_{peak} = \frac{Q_{peak,obs} - Q_{peak,cal}}{Q_{peak,obs}}$$

Les différents critères cités sont appliqués au modèle. De ce fait une bonne connaissance du modèle du modèle est indispensable [13].

## II) Repère de calibration :

### Calibration Goals

- Quantitative Goodness-of-Fit
  - Coefficient of Determination, Nash-Sutcliffe Efficiency, Root Mean Square Error, Percent Bias

Performance Ratings for Evaluation Metrics for a daily and weekly time step				
Performance Rating	R <sup>2</sup>	NSE	RSR	PBIAS
Very Good	0.65 < R <sup>2</sup> ≤ 1.00	0.65 < NSE ≤ 1.00	0.00 < RSR ≤ 0.60	PBIAS < ±15
Good	0.55 < R <sup>2</sup> ≤ 0.65	0.55 < NSE ≤ 0.65	0.60 < RSR ≤ 0.70	±15 ≤ PBIAS < ±20
Satisfactory	0.40 < R <sup>2</sup> ≤ 0.55	0.40 < NSE ≤ 0.55	0.70 < RSR ≤ 0.80	±20 ≤ PBIAS < ±30
Unsatisfactory	R <sup>2</sup> ≤ 0.40	NSE ≤ 0.40	RSR > 0.80	PBIAS ≥ ±30

Performance Ratings for Evaluation Metrics for a monthly time step				
Performance Rating	R <sup>2</sup>	NSE	RSR	PBIAS
Very Good	0.75 < R <sup>2</sup> ≤ 1.00	0.75 < NSE ≤ 1.00	0.00 < RSR ≤ 0.50	PBIAS < ±10
Good	0.65 < R <sup>2</sup> ≤ 0.75	0.65 < NSE ≤ 0.75	0.50 < RSR ≤ 0.60	±10 ≤ PBIAS < ±15
Satisfactory	0.50 < R <sup>2</sup> ≤ 0.65	0.50 < NSE ≤ 0.65	0.60 < RSR ≤ 0.70	±15 ≤ PBIAS < ±25
Unsatisfactory	R <sup>2</sup> ≤ 0.50	NSE ≤ 0.50	RSR > 0.70	PBIAS ≥ ±25

Source: Moriasi et al (2007)

Tableau 16: Tableau d'évaluation de calibration.

Pour notre cas :

• Bassin1 ‘ Boubroune’station 021513 :

Période 01 :

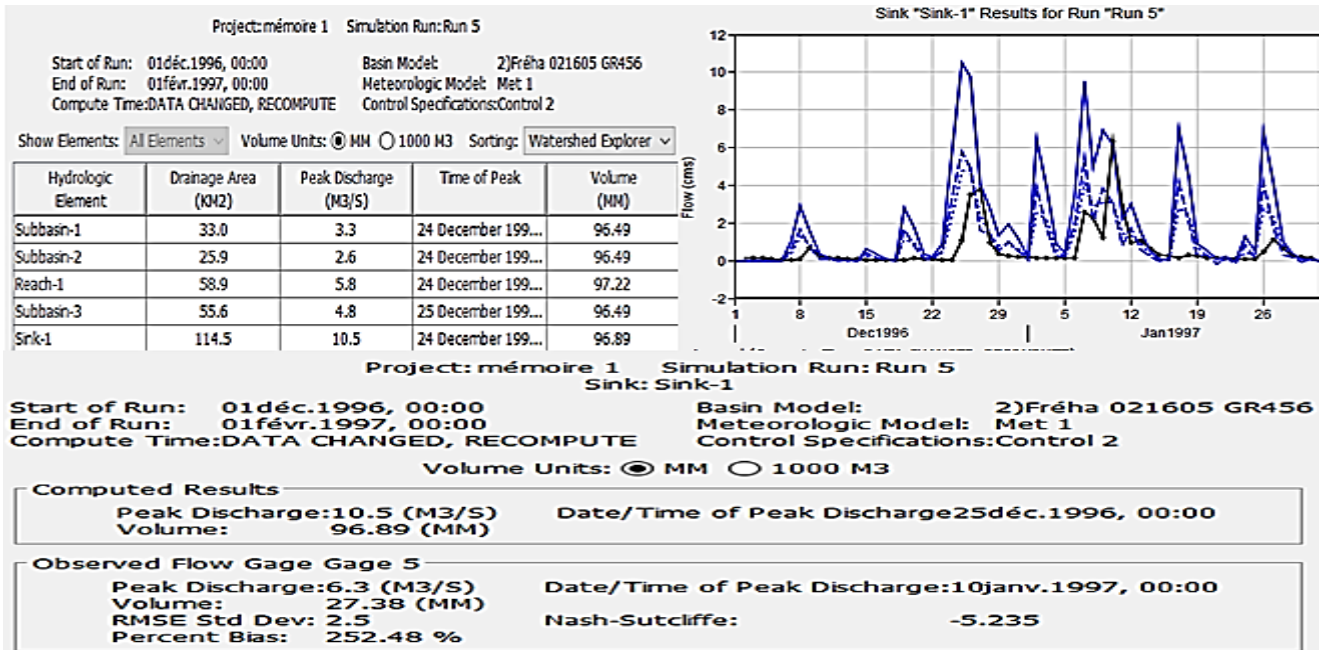


Figure 70 : Résultats de la simulation n 01.

Période 02 :

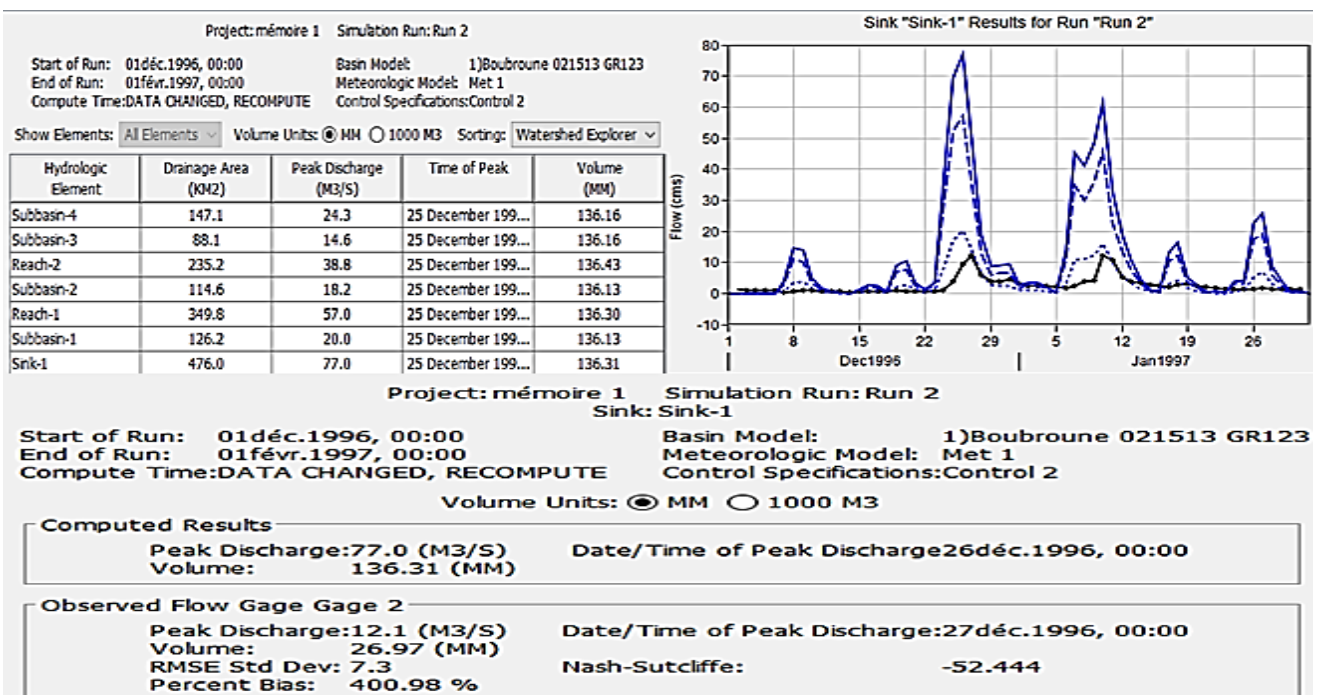


Figure 71 : Résultats de la simulation N02.

Période 03 :

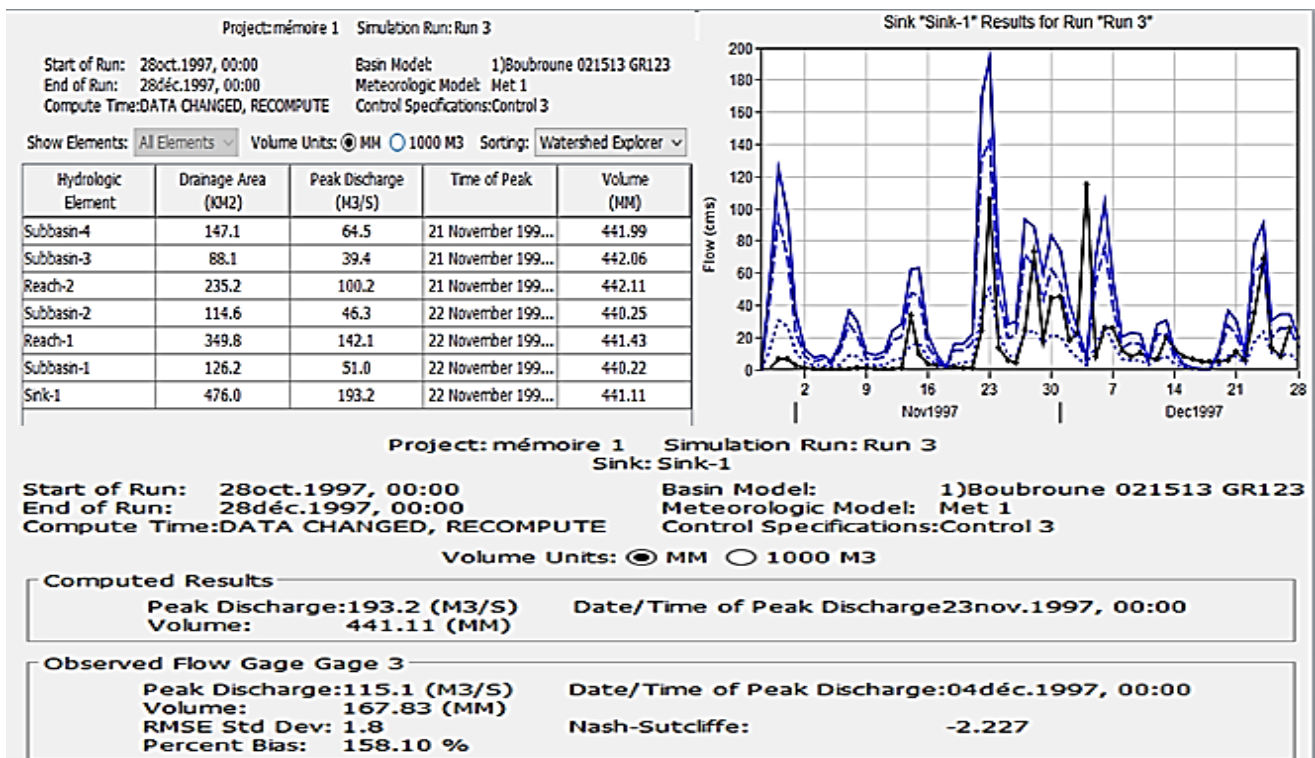


Figure 72 : Résultats de la simulation N03.

• Bassin 2 ‘Fréha’ station 021605 :

Période 01:

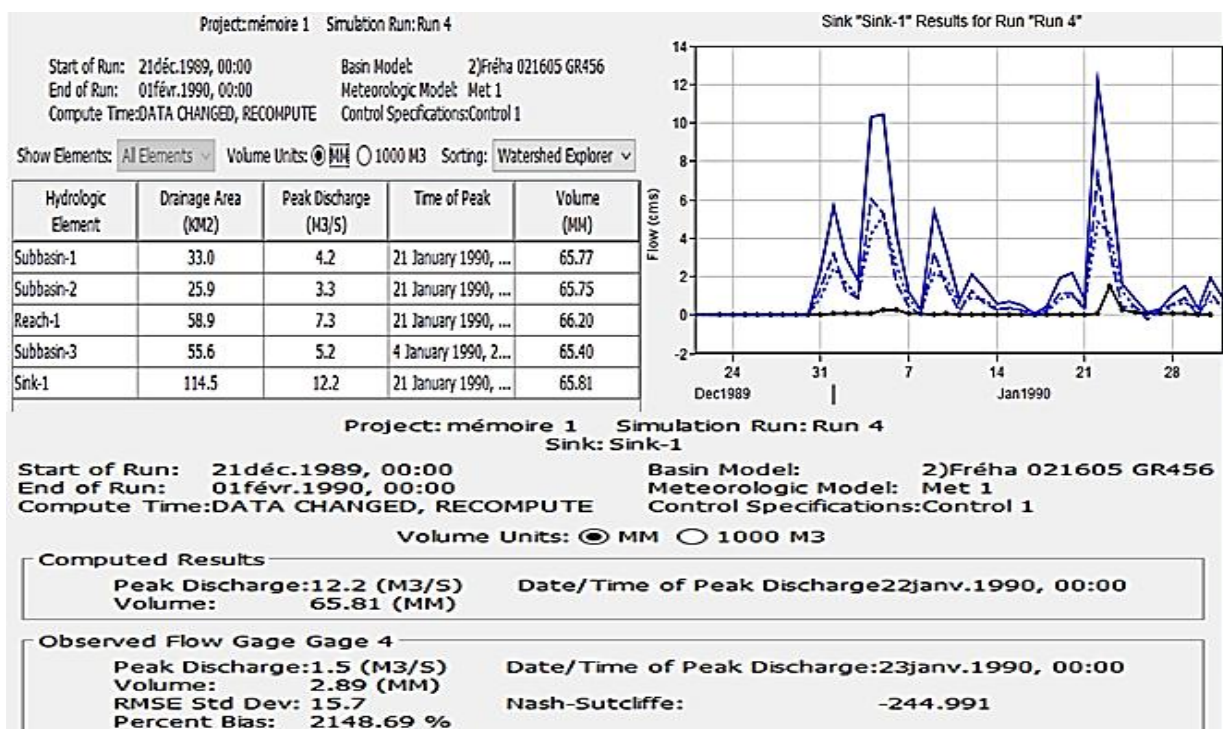


Figure 73 : Résultats de la simulation N04

Période 02 :

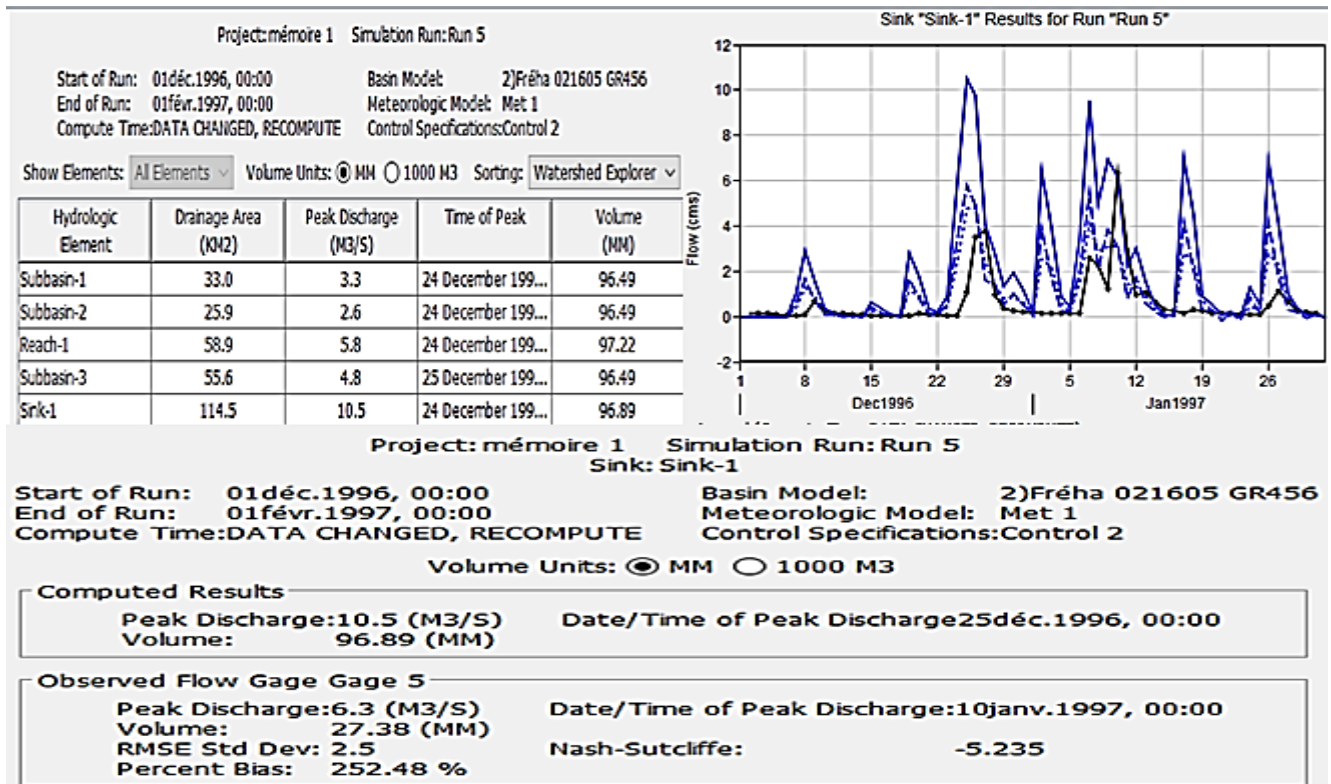


Figure 74 : Résultats de la simulation N05.

Période 03 :

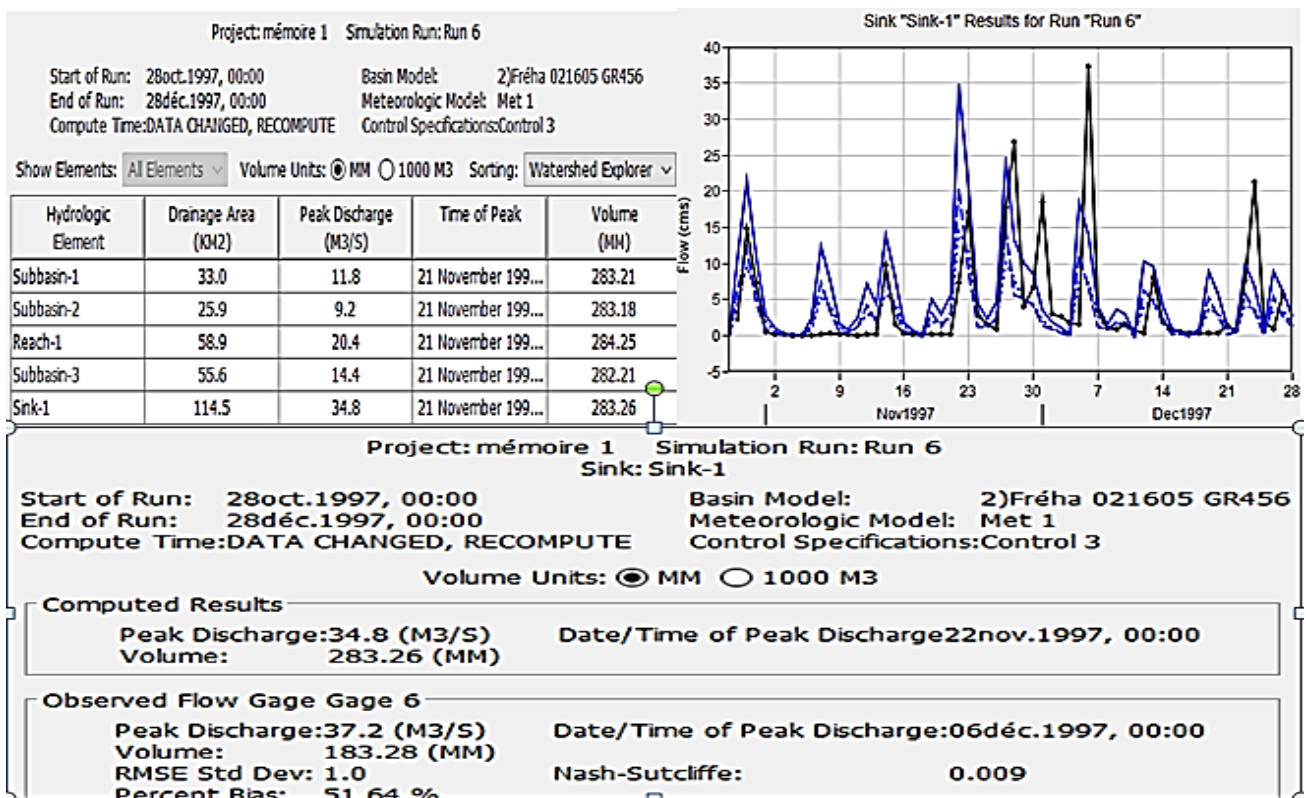


Figure 75 : Résultats de la simulation N06.

• Bassin 3 ‘ Belloua ’ station 021803 :

Période 01 :

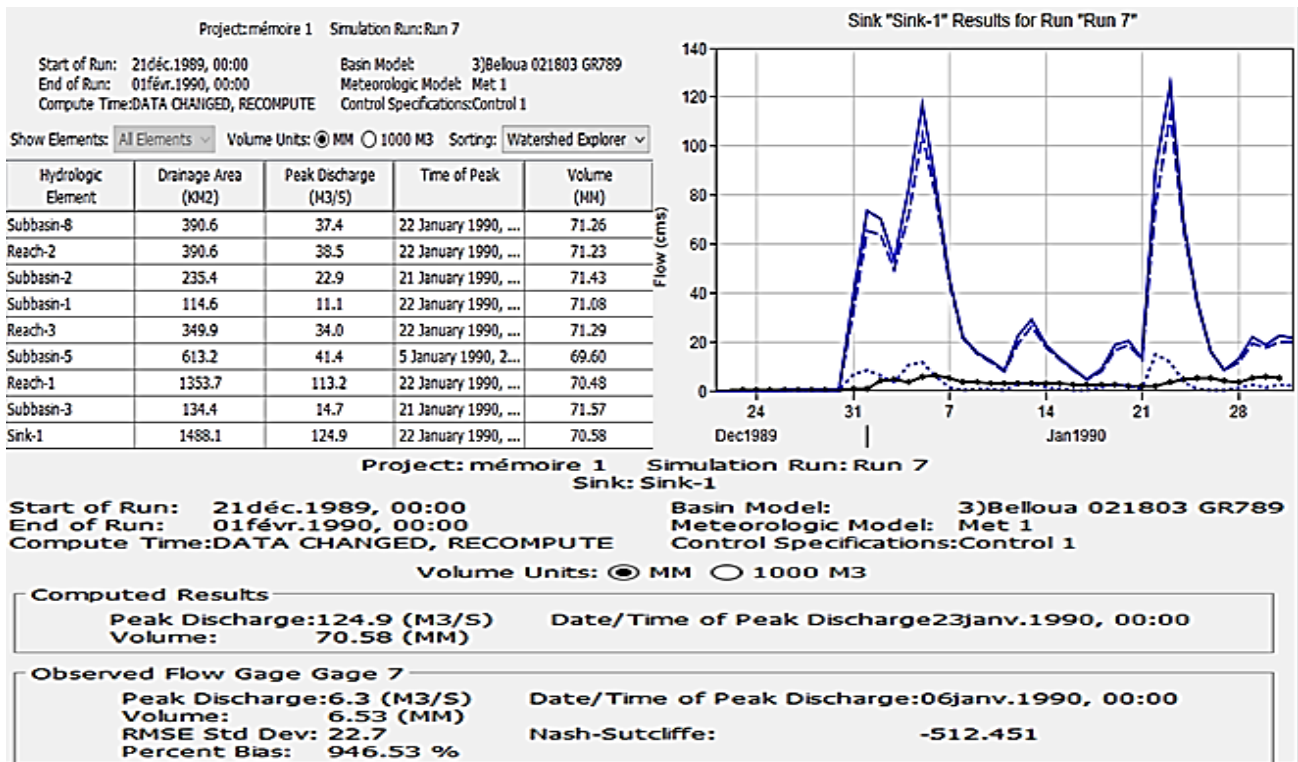


Figure 76 : Résultats de la simulation N07.

Période 02 :

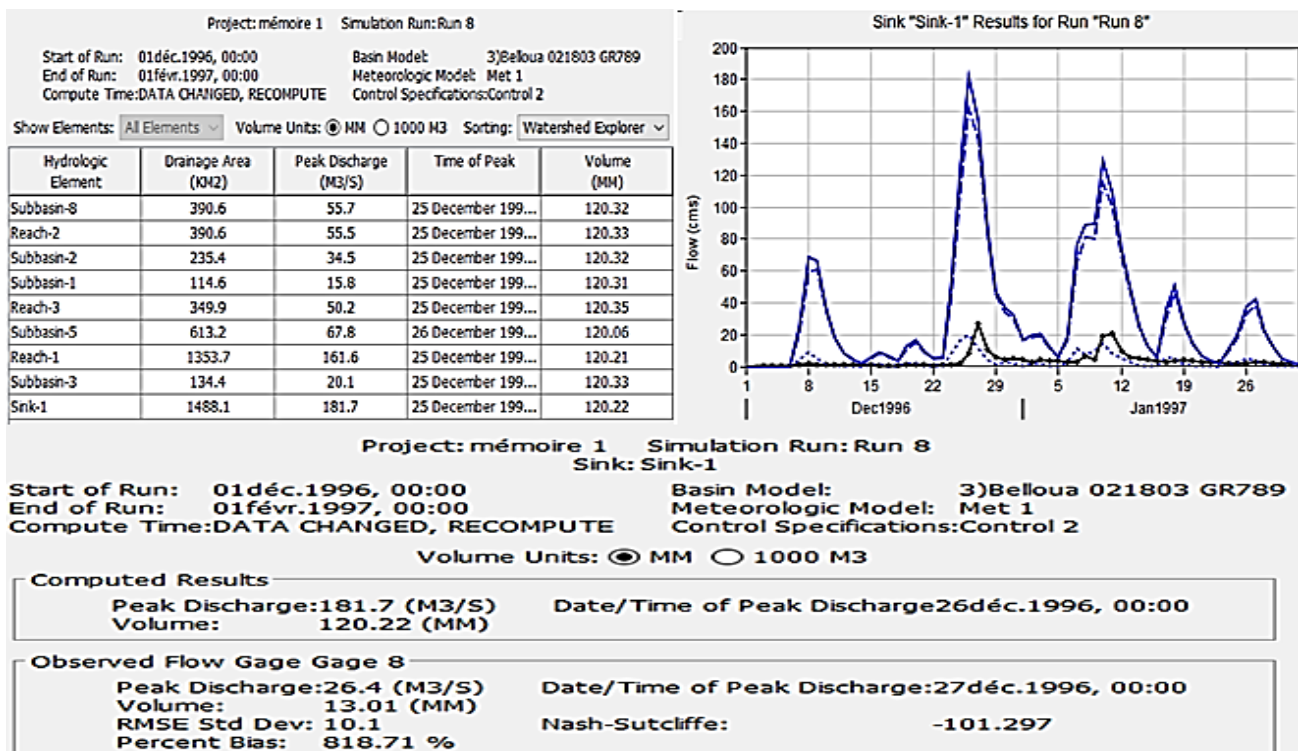


Figure 77 : Résultats de la simulation N08.

Période 03 :

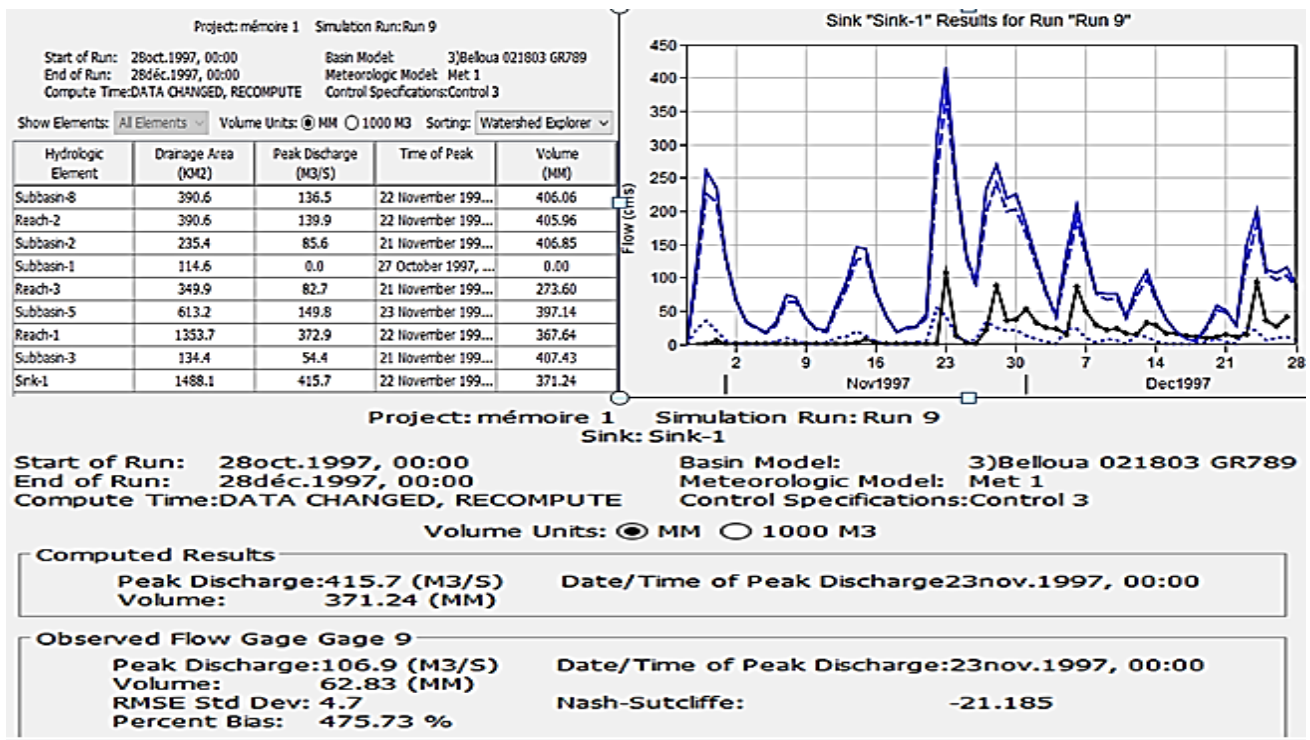


Figure 78 : Résultats de la simulation N09.

Démonstration d'une optimisation :

Le but est de rapprocher la courbe modelée par HEC-HMS à celle observée générée par des données réelles en changeant quelques paramètres

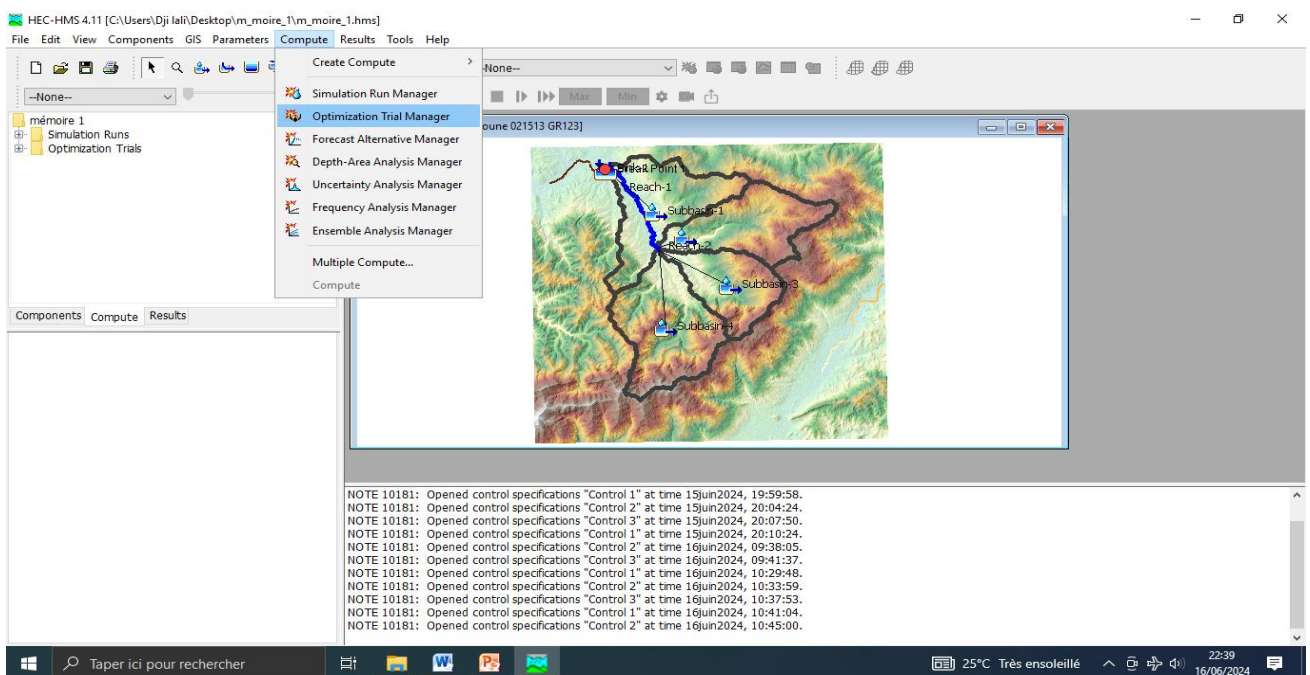


Figure 79 : Etape N01.

On va dans : Compute, Optimization Trial, New, Next, et là il nous demande les stations que nous voulons inclure .Une fois nos données introduites on clique sur Next puis Finish.

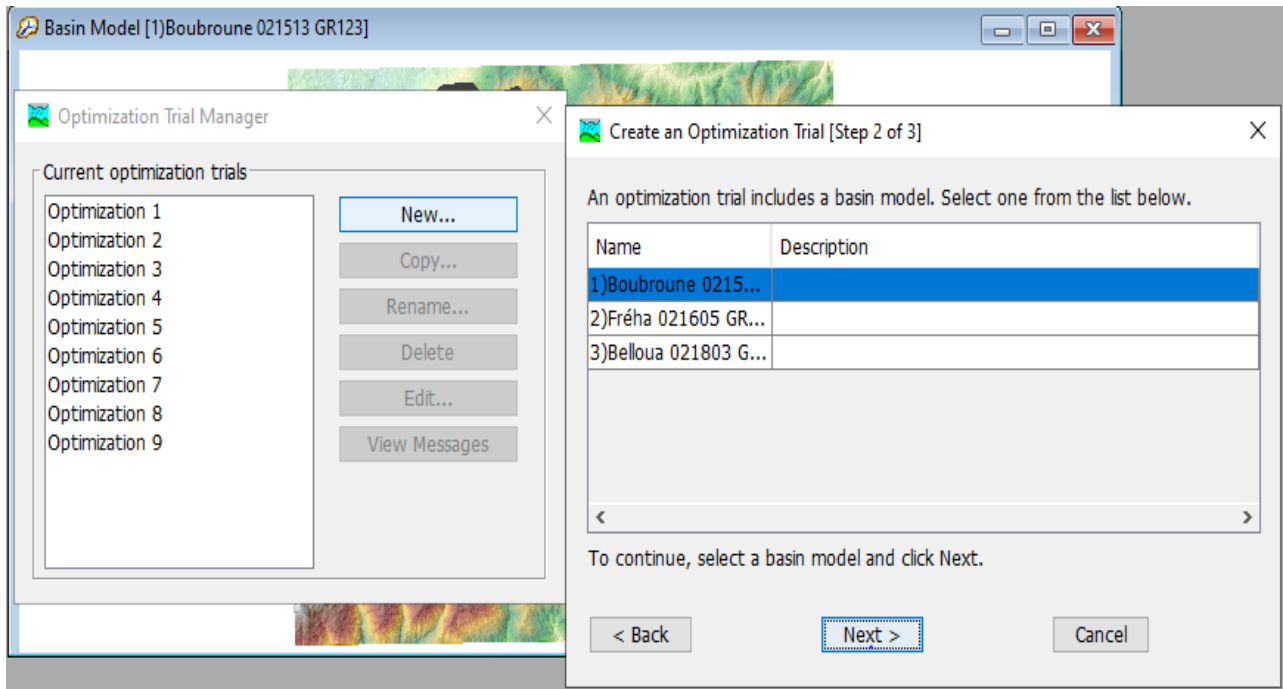


Figure 80 : Etape N02.

En bas dans ‘Optimization Trial’on introduit le pas de temps ainsi que la date (mêmes dates que celles données à contrôle).

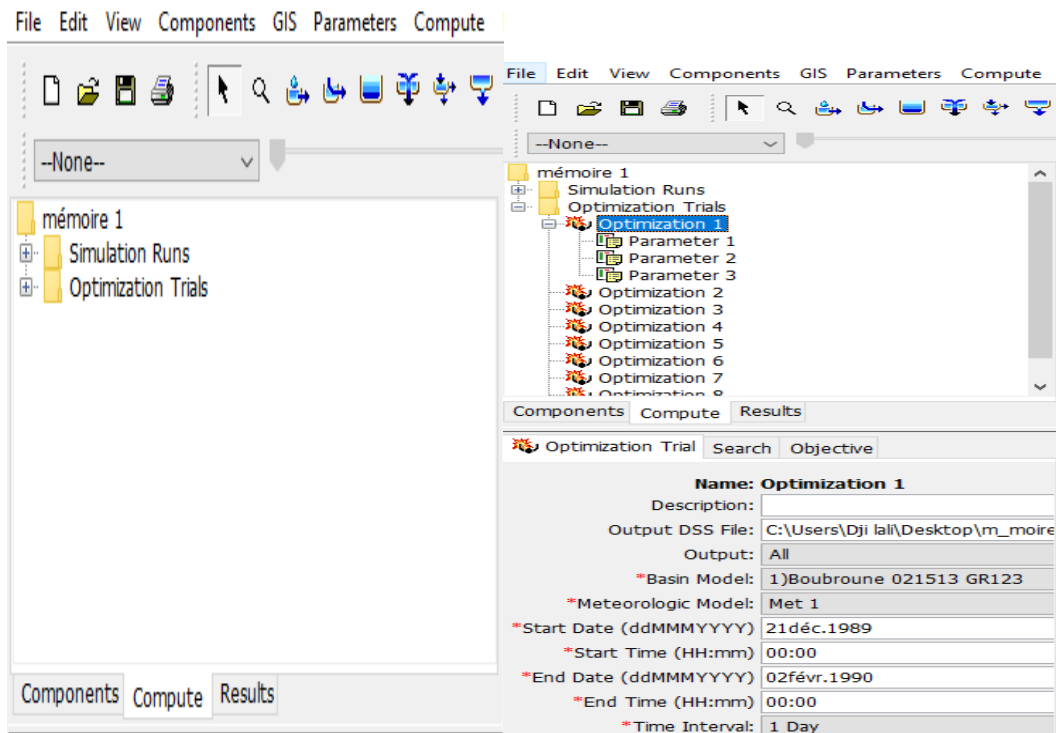


Figure 81 : Etape N03.

Dans ‘Search ‘ on choisit la méthode ‘Simplex’ comme étant la plus utilisée. Et on limite le nombre d’itérations à 100 comme performance du programme. Pour la tolérance on fixe la valeur de 0.01 comme point d’arrêt à notre optimisation.

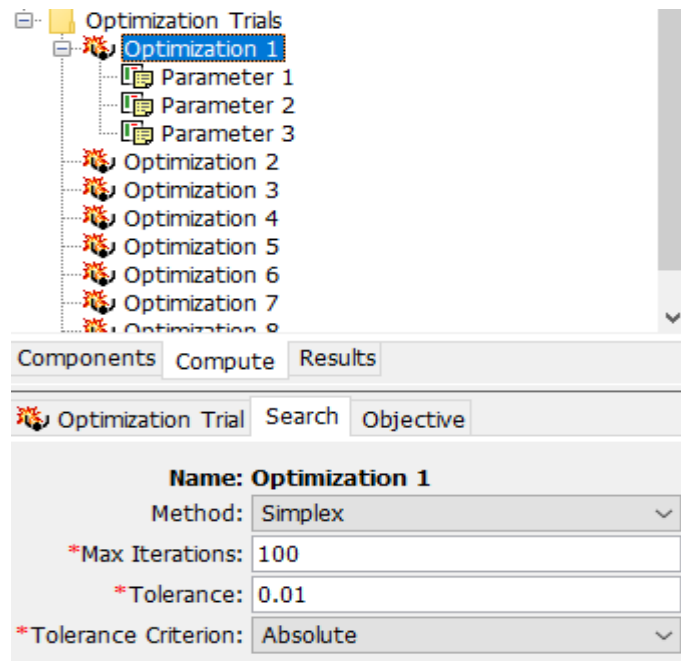


Figure 82 : Etape N04.

Dans la case Objective on met Goal sur ‘Minimization ‘ car notre but est de rapprocher au maximum nos deux hydrographes .dans Times-series on choisit discharge (Débits) pour obtenir nos données observées. Pour ‘Statistics’ nous avons une variété de choix, on choisit en fonction de nos combinaisons, l’idée est de matcher nos 2 courbes pour un résultat optimal.

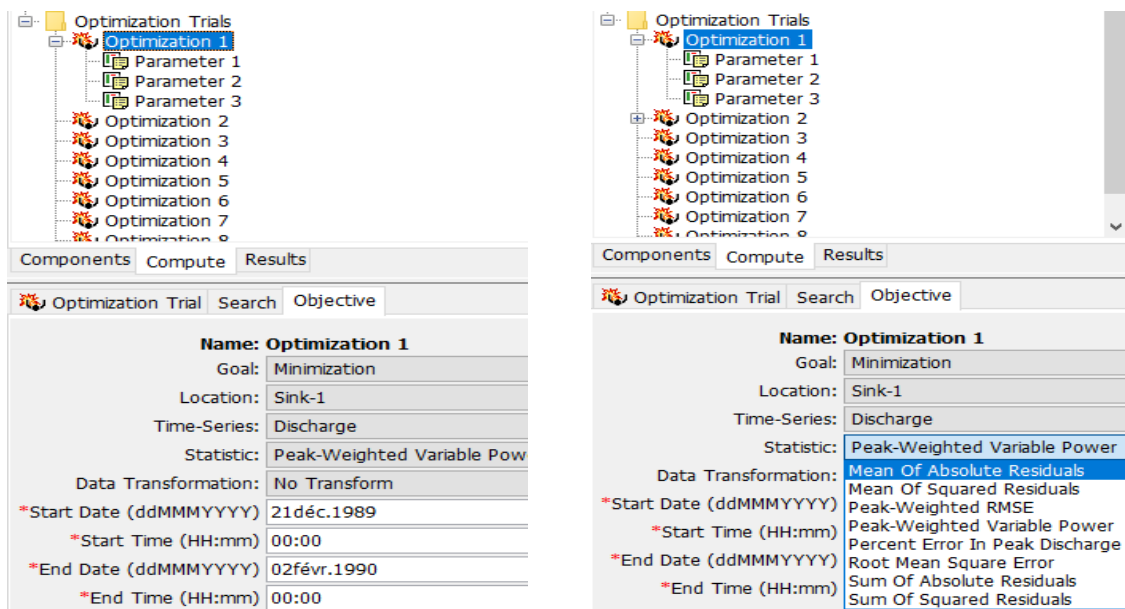


Figure 83 : Etape N05.

Pour une bonne calibration il est nécessaire d'en rajouter des paramètres, pour ce on clique avec le bouton droit sur optimization1 puis on selectionne 'Add Parameters'

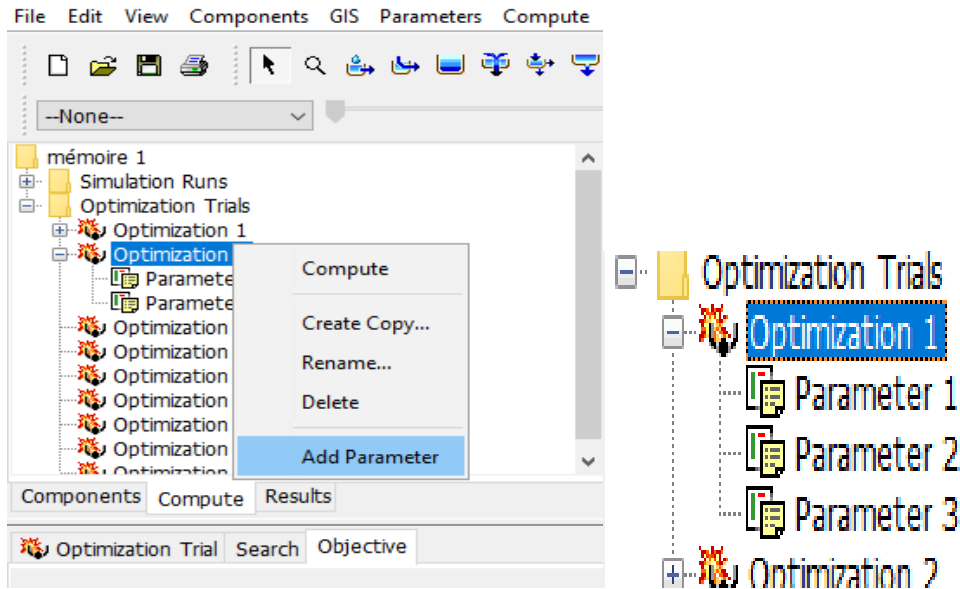


Figure 84 : Etape N06.

Le premier paramètre est liée à tous les sous-bassins, le second et le reste sont dépendant de nos 'Reachs' (cours d'eau).on introduit cela sans 'Elements' comme ci-dessous.

Dans parametre 1 on choisit le paramètre SCS curve number scale factor, et une valeur initiale de 1 un minimum de 0.5et un maximum de 1. On les a choisi pour voir ce que l'optimisation va nous donner comme résultats, et tout ce que nous avons introduit est susceptible d'ajustement.Pour 'Parmeter 02' le parametre est 'Muskingum K' nous avons pris 24 pour la valeur initiale, une valeur de '7' pour le minimum et '60' pour le maximum.

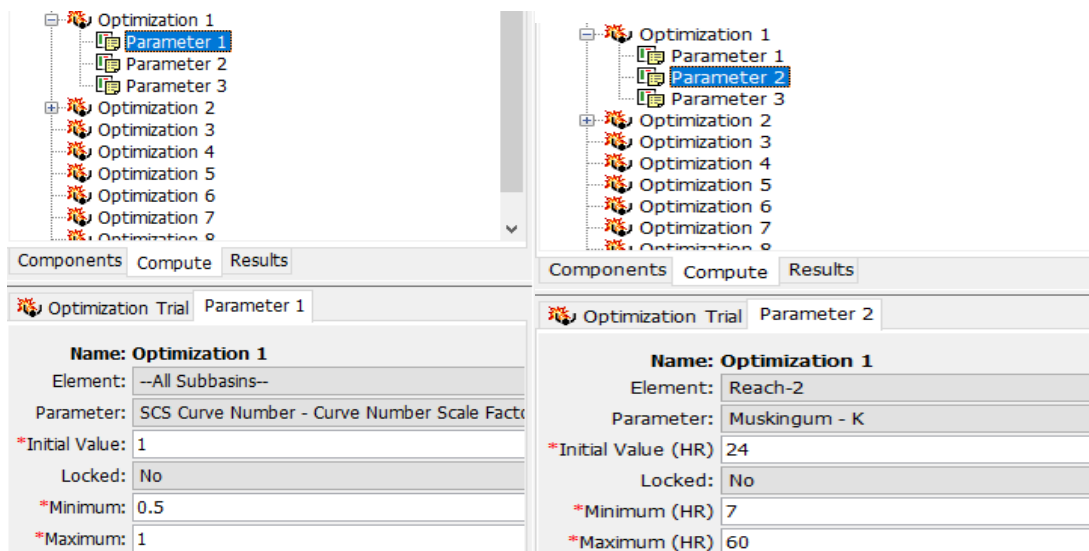


Figure 85 : Etape N07.

Pour voir les résultats on va dans 'Results' puis 'Optimization' on se rend dans le 'Sink'.

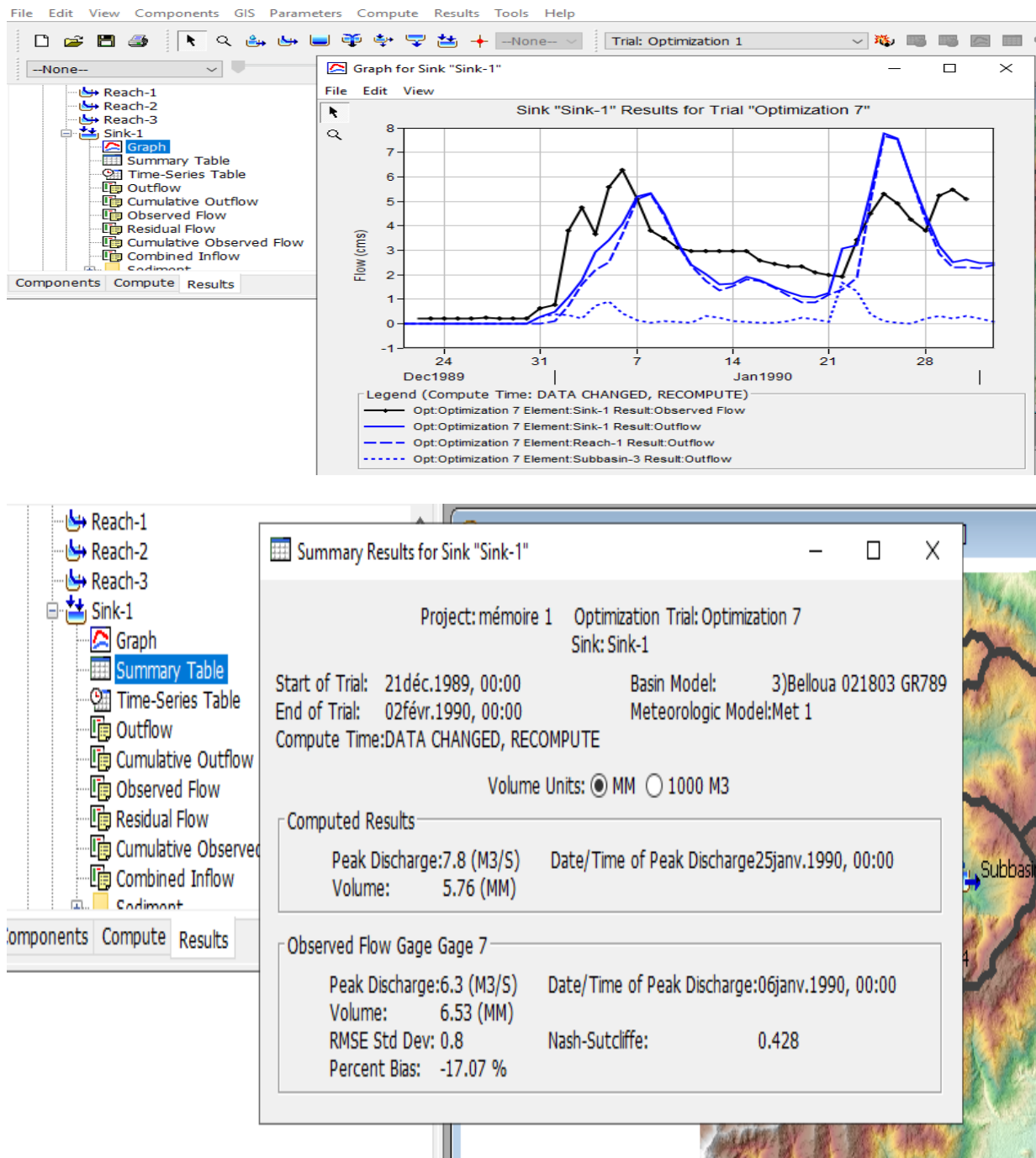


Figure 86 : Etape N08.

Résultats des Optimisations :

Manifestement, pour une première optimisation nos résultats sont du moins acceptables pour la majorité de nos stations en les comparants à la **Figure 70** : Tableau d'évaluation de calibration !

✓ **Bassin Boubroune :**

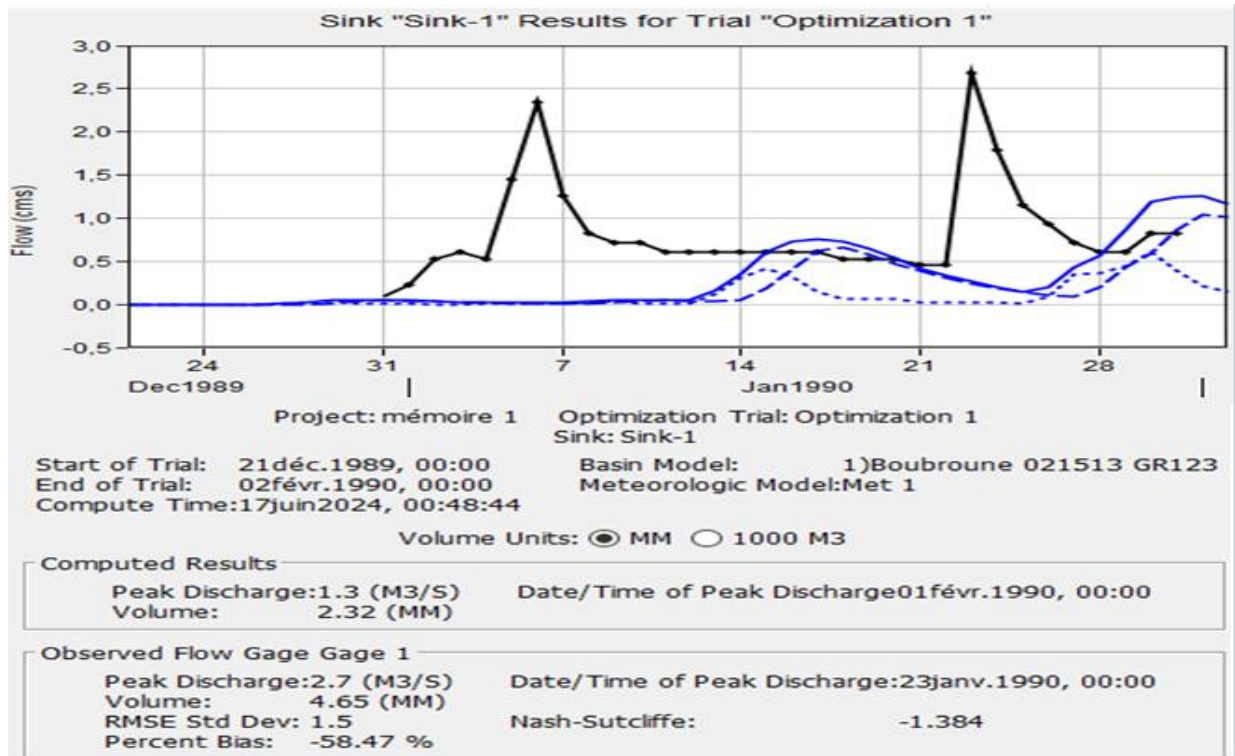


Figure 87 : Optimisation 01.

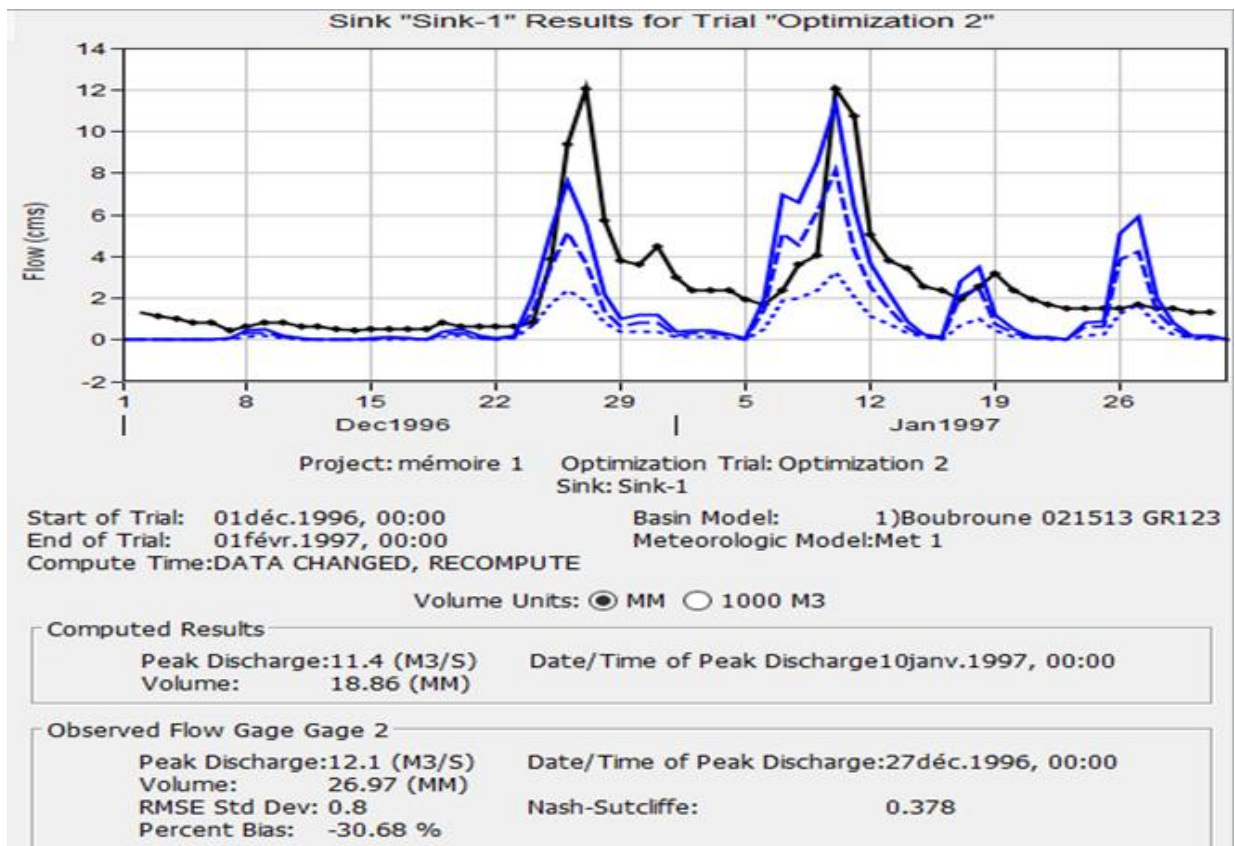


Figure 88 : Optimisation 02.

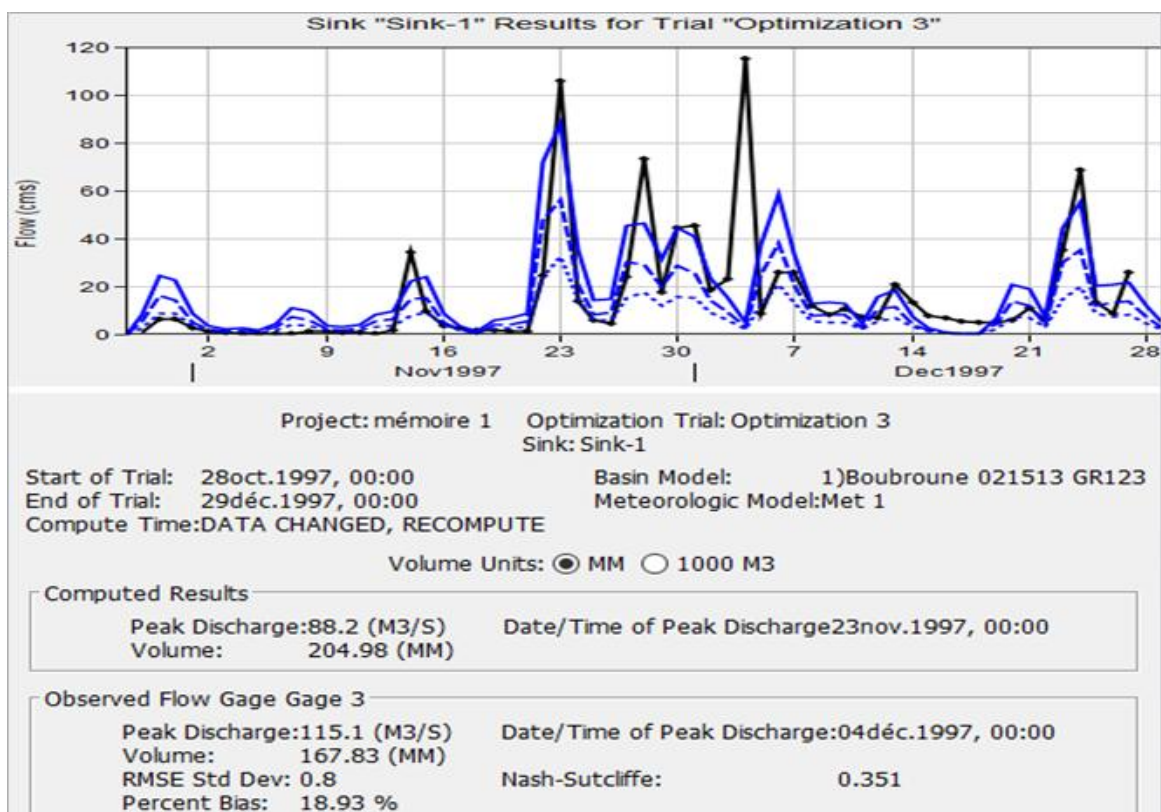


Figure 89 : Optimisation 03.

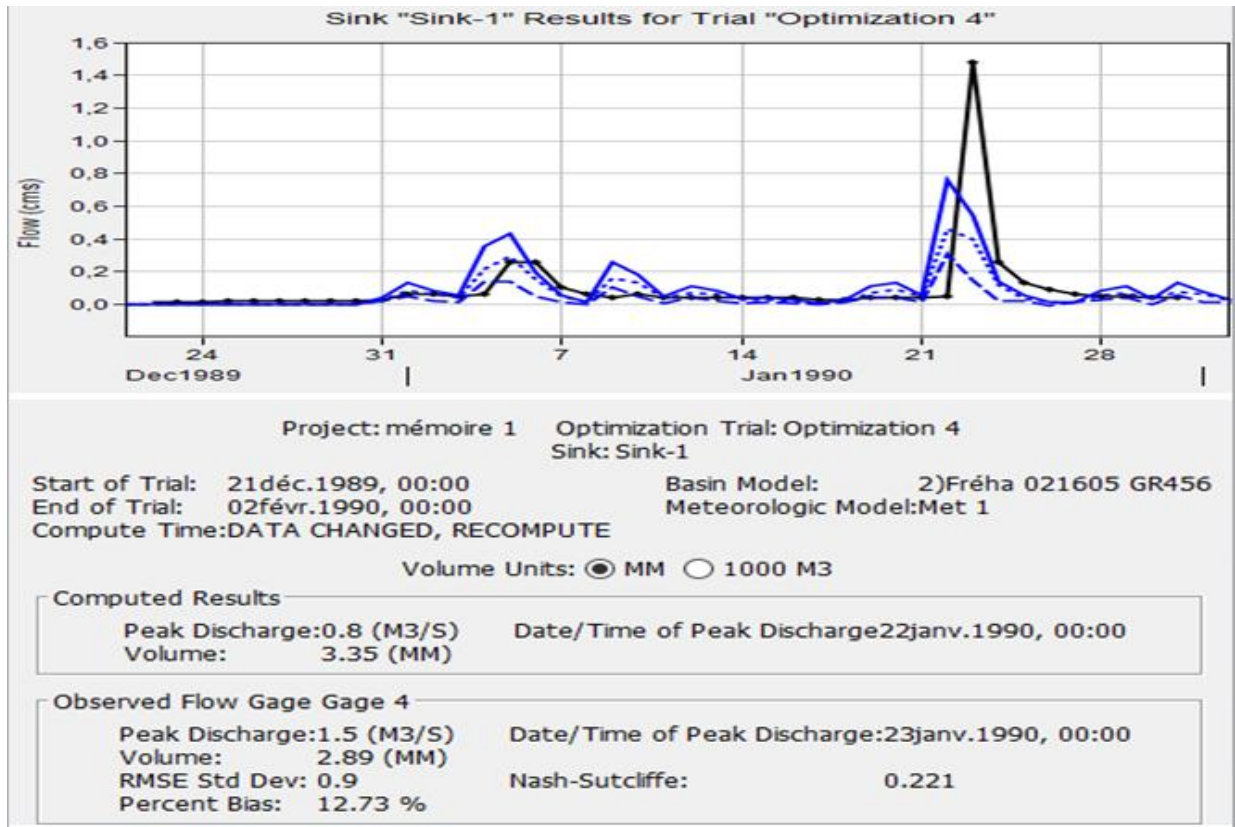


Figure 90 : Optimisation 04.

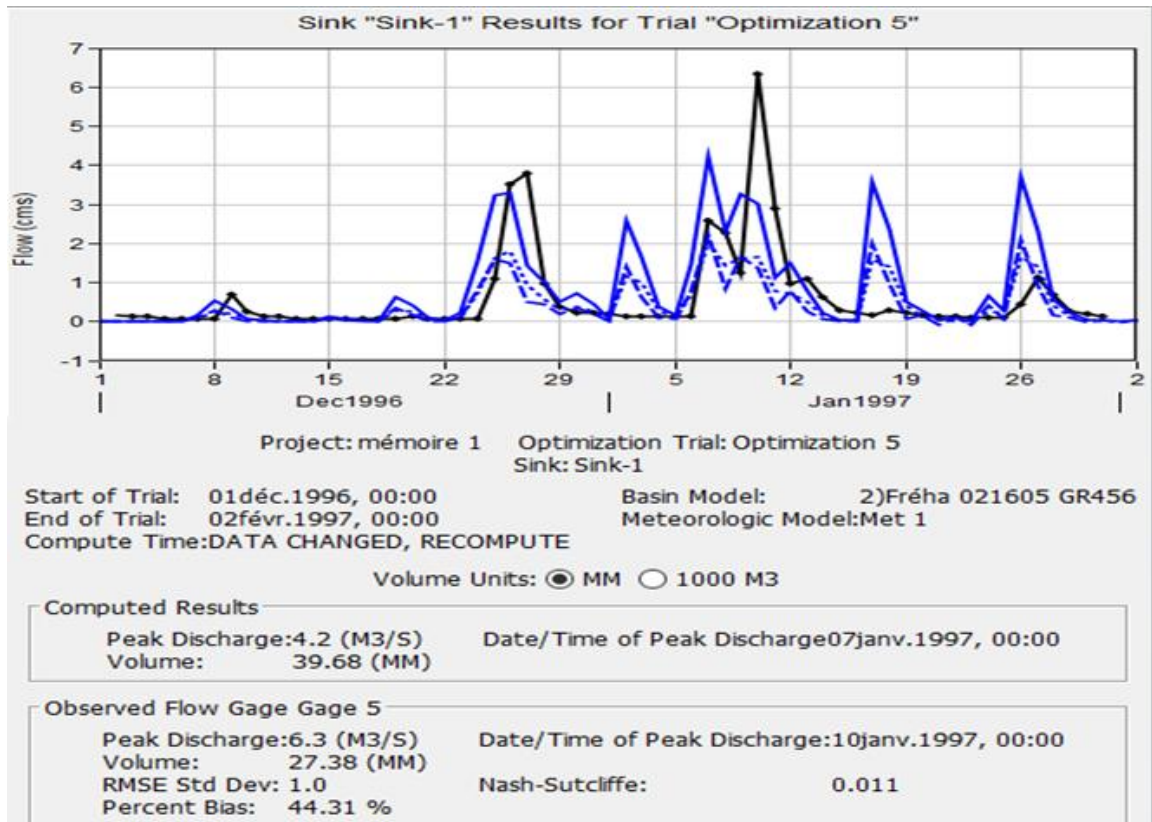


Figure 91 : Optimisation 05.

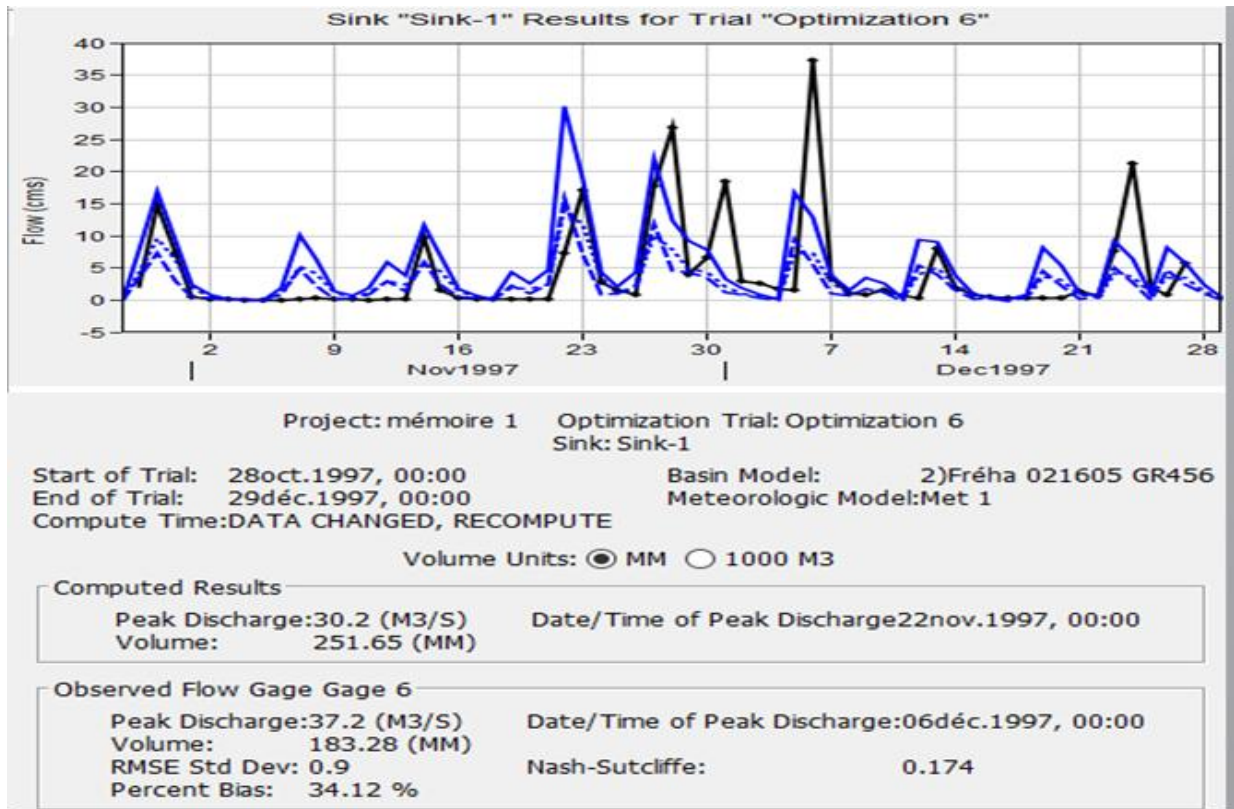


Figure 92 : Optimisation 06.

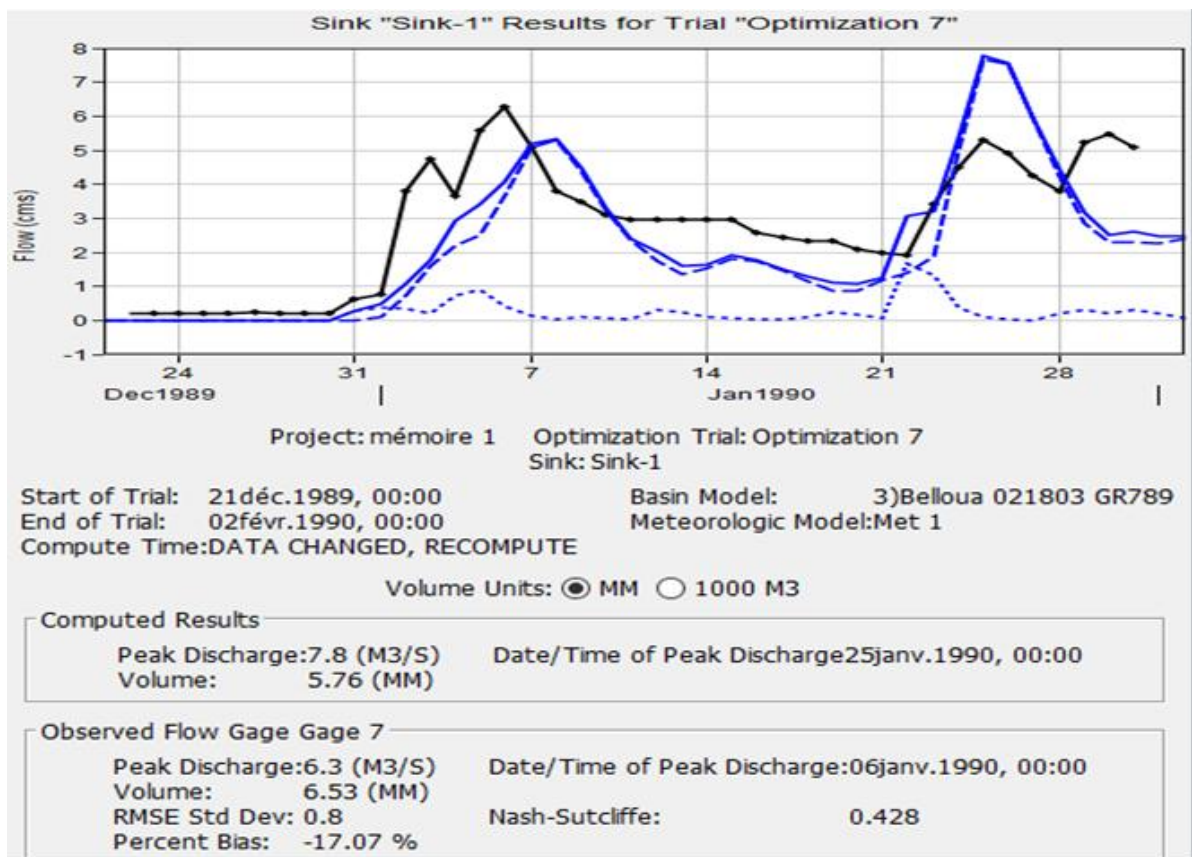


Figure 93 : Optimisation 07.

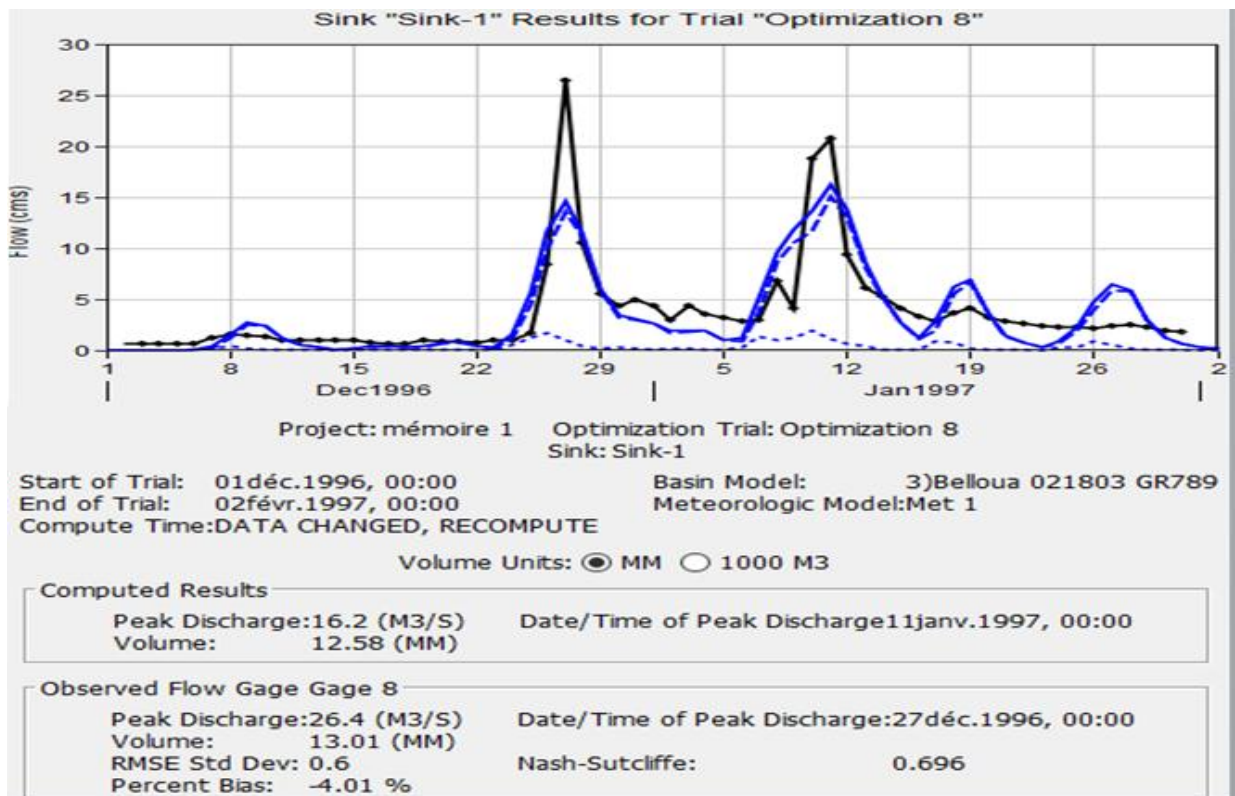


Figure 94 : Optimisation 08.

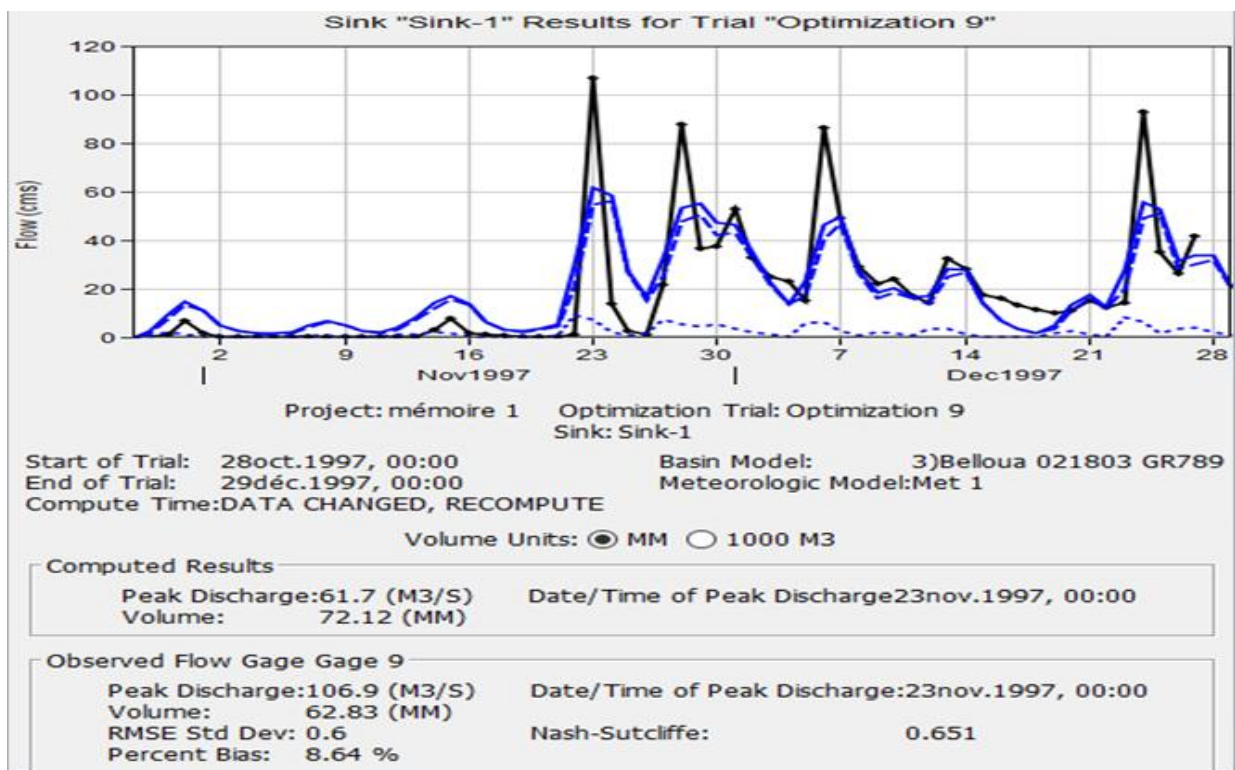


Figure 95 : Optimisation 09.

### III) Calibration :

La calibration est un ajustement des paramètres de notre modèle soit automatique ou manuel dans le but de représenter avec précision notre bassin versant en utilisant des algorithmes et faire en sorte que notre modèle simulé matche avec le modèle observé ou du moins le rapprocher du mieux que possible.

Il s'agit d'une étape importante car :

- ✓ Les modèles sont des simplifications.
- ✓ Les estimations initiales sont seulement des estimations.
- ✓ Possibilité de présence de débordements incertains.

Pour l'ajustement des paramètres, il est important de prendre en considération les consignes suivantes :

- ✓ Travailler de l'amont à l'aval.
- ✓ Retenir les rangs vraisemblables en tête.
- ✓ Considérer l'évidence physique.
- ✓ Changer un seul paramètre à la fois.

Concernant l'estimation de la concordance, on se réfère par rapport à :

- ✓ Concordance visuelle (Graphe).
- ✓ Bonté de l'ajustement métrique.
- ✓ Nash-Sutcliffe rendement.
- ✓ Volume error
- ✓ Rootmeansquare-error
- ✓ Coefficient de détermination  $R^2$ .

### Démonstration de calibration :

Une fois nous avons terminés nos simulations et optimisations, place à la calibration de notre modèle simulé par HEC-HMS.

Il y a 3 paramètres essentiels à la calibration manuelle de notre modèle, on retrouve :

- ✓ **Initial Model Parameter Loss :**

Ce paramètre dépend particulièrement du sol, pente, fissures, porosité, température, humidité, ainsi que le couvert végétal.

On retrouve dans ce paramètre le Curve Number, qui signifie la capacité du sol à absorber l'eau, ce dernier affecte le pic de l'hydrographe, ainsi la première opération à déployer est la réduction de ce paramètre si nous avons un pic important dans notre modèle simulé.

Pour réduire le Curve Number sur Hec-Hms on se rend sur : Components, on sélectionne le bassin concerné, Parameters, loss SCS Curve Number

La procédure de réduction du CN s'effectue avec un certain pourcentage à démarrer par 10 % jusqu'à ce que nous obtenions un résultat meilleur.

✓ **Initial model parameters Transform :**

Le paramètre Transform a un impact sur le timing et l'atténuation de l'hydrogramme dans le sous bassin. Le Lag Time affecte particulièrement la magnitude et la position.

Afin de pouvoir retoucher ce paramètre il faut parcourir le cheminement suivant :

Parameters, Transform ,SCS Unit Hyetograph

On réduit et augmente sa valeur avec des pourcentages au fur et à mesure selon nos besoins pour notre modèle.

les combinaisons possibles pour la première période du bassin 01											
CN	CN*0,9	CN*0,8	CN*0,7	CN*0,6	CN*0,5	CN*0,4	CN*0,3				
	87,213	78,4917	69,7704	61,0491	52,3278	43,6065	34,8852	26,1639			
	87,213	78,4917	69,7704	61,0491	52,3278	43,6065	34,8852	26,1639			
	87,213	78,4917	69,7704	61,0491	52,3278	43,6065	34,8852	26,1639			
	87,213	78,4917	69,7704	61,0491	52,3278	43,6065	34,8852	26,1639			
LAG Time	Lag*0,9	lag*0,8	lag*0,7	lag*0,6	lag*0,5	lag*0,4	lag*0,3	lag*10	lag*15	lag*17	
	1272,590273	1145,33125	1018,072218	890,8131911	763,554164	636,295137	509,036109	381,777082	12725,9027	19088,8541	21634,0346
	1252,131794	1126,91861	1001,705435	876,4922558	751,279076	626,065897	500,852718	375,639538	12521,3179	18781,9769	21286,2405
	1695,038204	1525,53438	1356,030563	1186,526743	1017,02292	847,519102	678,015282	508,511461	16950,382	25425,5731	28815,6495
	1701,316389	1531,18475	1361,053111	1190,921472	1020,78983	850,658195	680,526556	510,394917	17013,1639	25519,7458	28922,3786
rooting											
muskingum K		0,5	1	2	2,5	3	3,5	4			
muskingum X		0,25	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1			

Tableau 17 : procédure d'ajustement sur Excel.

Le résultat démonstratif ci-après d'un avant et après une calibration manuelle effectuée sur notre premier bassin pour la première période, (Simulation01 et Optimization01).

Voici à quoi ressemble notre simulation avant la calibration. En effet la complexité de la situation initiale joue un rôle dans l'obtention de bonnes performances.

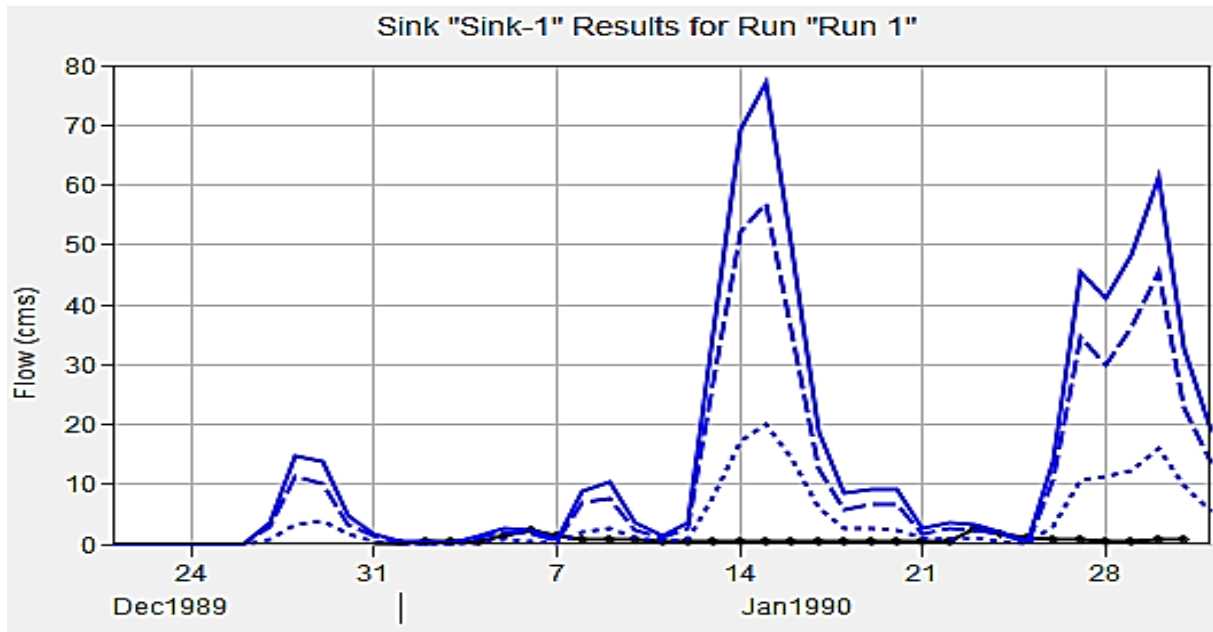


Figure 96 : simulation Run 01.Graphe.

Project: mémoire 1		Simulation Run: Run 1	
Sink: Sink-1			
Start of Run: 21déc.1989, 00:00	Basin Model: 1)Boubroune 021513 GR123		
End of Run: 01févr.1990, 00:00	Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE	Control Specifications:Control 1		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge:77.0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge15janv.1990, 00:00		
Volume: 111.71 (MM)			
Observed Flow Gage Gage 1			
Peak Discharge:2.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:23janv.1990, 00:00		
Volume: 4.65 (MM)			
RMSE Std Dev: 52.0	Nash-Sutcliffe:	-2701.244	
Percent Bias: 2083.82 %			

Figure 97: simulation Run 01. Summary Table.

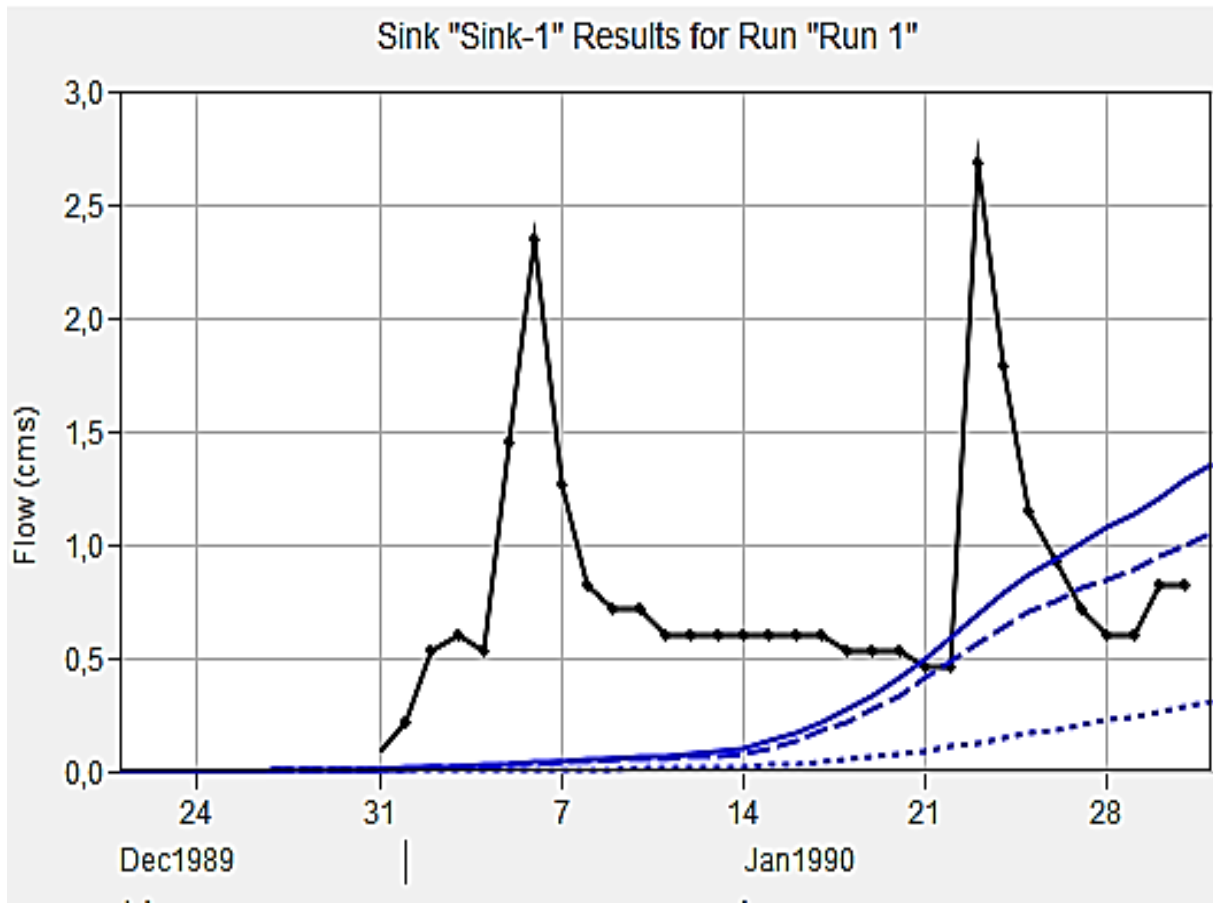


Figure 98 : simulation Run 01.Graphe calibré.

Project: mémoire 1		Simulation Run: Run 1	
Sink: Sink-1			
Start of Run: 21déc.1989, 00:00	Basin Model: 1)Boubroune 021513 GR123		
End of Run: 01févr.1990, 00:00	Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE	Control Specifications:Control 1		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge:1.4 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:01févr.1990, 00:00		
Volume: 2.36 (MM)			
Observed Flow Gage Gage 1			
Peak Discharge:2.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:23janv.1990, 00:00		
Volume: 4.65 (MM)			
RMSE Std Dev: 1.4	Nash-Sutcliffe:	-0.987	
Percent Bias: -52.80 %			

Figure 99 : simulation Run 01, summary table calibré.

On constate une nette amélioration du Nash Stueliffe en comparant à la situation initiale.

Pour l'optimisation aussi nous avons eu un retour positif par rapport à la situation de départ !

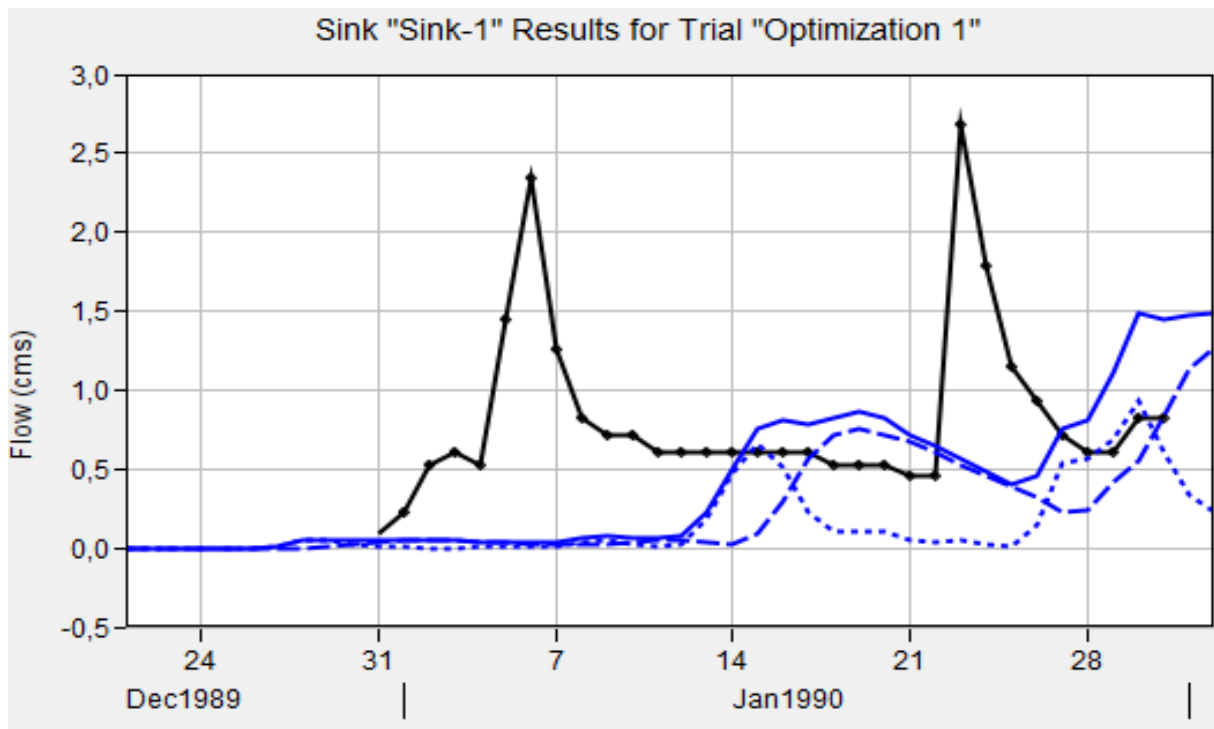


Figure 100 : Optimisation .Run 01 Graphe.

Project: mémoire 1		Optimization Trial: Optimization 1	
		Sink: Sink-1	
Start of Trial: 21déc.1989, 00:00	Basin Model: 1)Boubroune 021513 GR123		
End of Trial: 02févr.1990, 00:00	Meteorologic Model:Met 1		
Compute Time:DATA CHANGED, RECOMPUTE			
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
<b>Computed Results</b>			
Peak Discharge:1.5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:02févr.1990, 00:00		
Volume: 3.17 (MM)			
<b>Observed Flow Gage Gage 1</b>			
Peak Discharge:2.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:23janv.1990, 00:00		
Volume: 4.65 (MM)			
RMSE Std Dev: 1.5	Nash-Sutcliffe: -1.133		
Percent Bias: -42.12 %			

Figure 101 : Optimisation 1, summary table.

Au départ, nous avons eu un Nash de -1.133 que nous avons améliorés avec notre calibration manuelle pour atteindre -0.516 comme le démontre les figures ci-dessous.

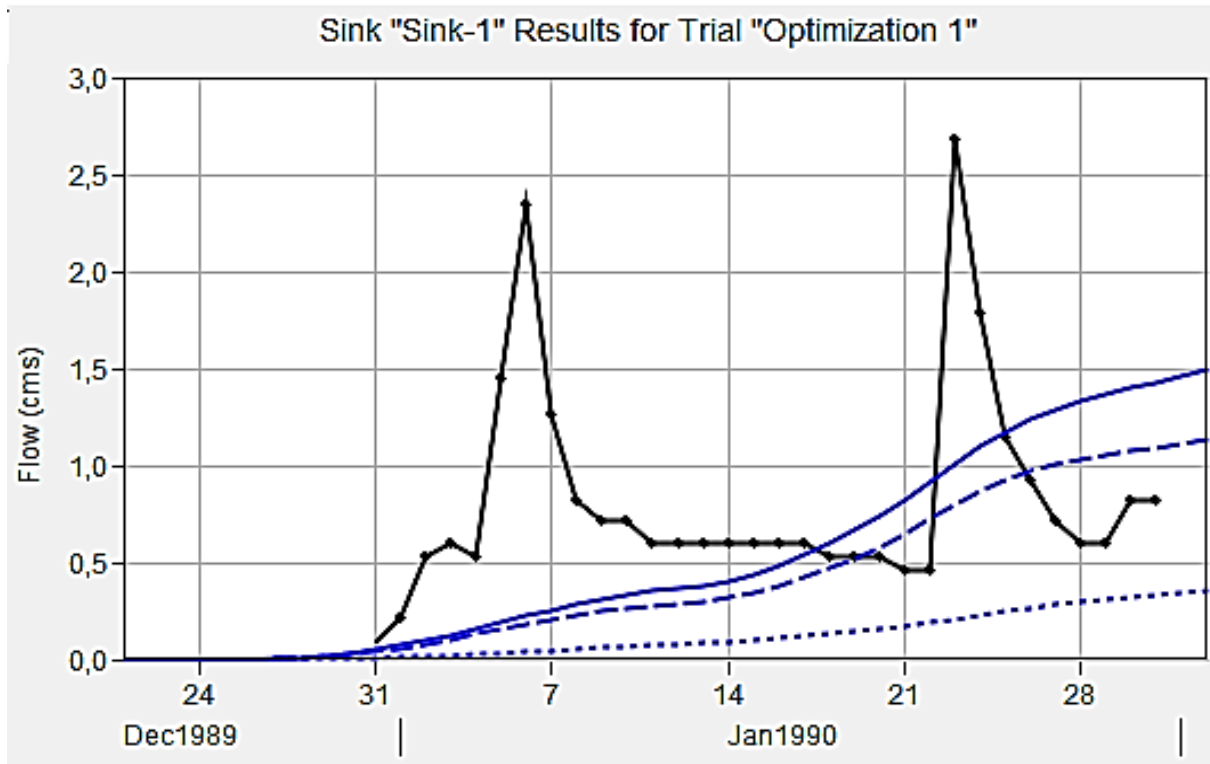


Figure 102 : Optimisation 1, Graphe calibré.

Project: mémoire 1		Optimization Trial: Optimization 1	
		Sink: Sink-1	
Start of Trial:	21déc.1989, 00:00	Basin Model:	1)Boubroune 021513 GR123
End of Trial:	02févr.1990, 00:00	Meteorologic Model:	Met 1
Compute Time:18juin2024, 15:24:53			
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge:	1.5 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge	02févr.1990, 00:00
Volume:	4.06 (MM)		
Observed Flow Gage Gage 1			
Peak Discharge:	2.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge:	23janv.1990, 00:00
Volume:	4.65 (MM)		
RMSE Std Dev:	1.2	Nash-Sutcliffe:	-0.516
Percent Bias:	-22.84 %		

Figure 103 : Optimisation 1, Summary table.

Résultats de la calibration :

Calibration de L'optimisation 01 :

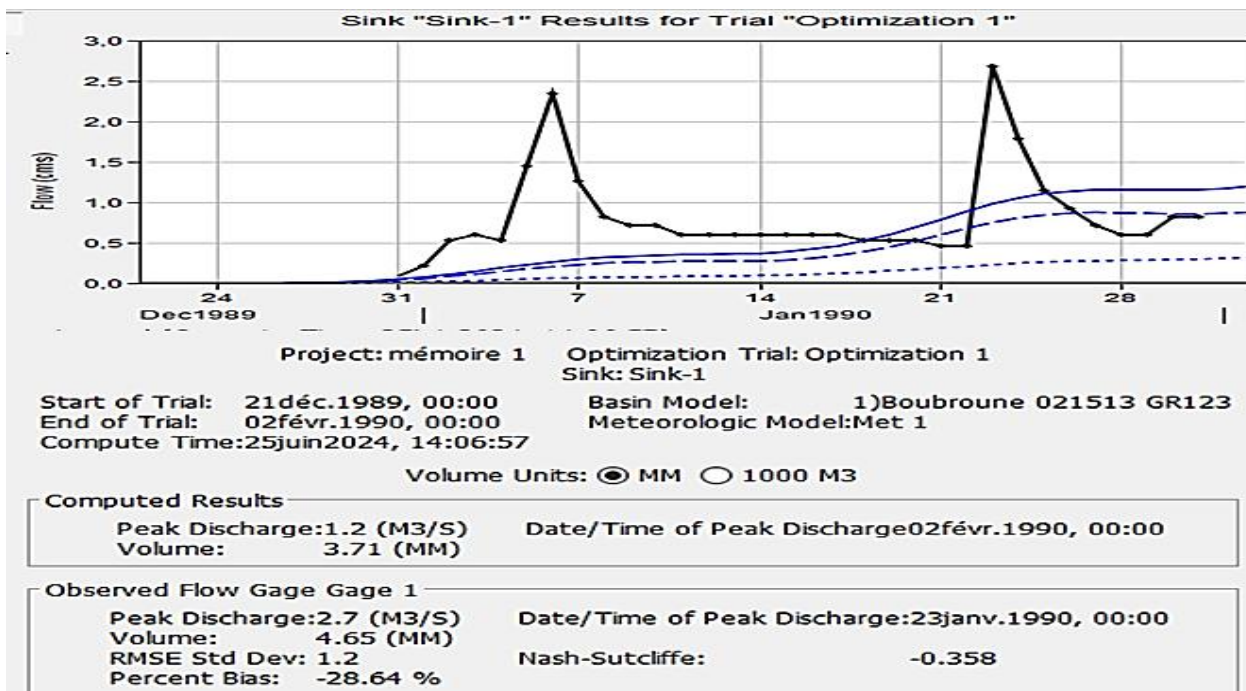


Figure 104 : Optimisation 01 calibrée.

Calibration de L'optimisation 02 :

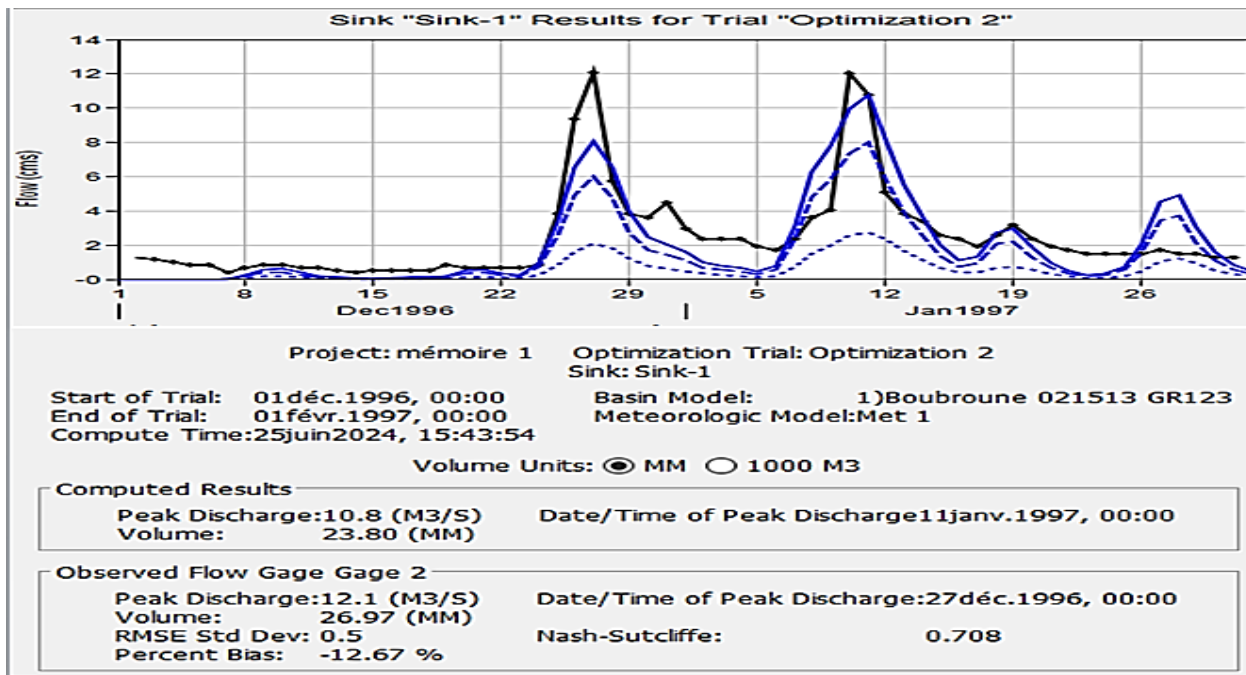


Figure 105 : Optimisation 02 calibrée.

Calibration de L'optimisation 03 :

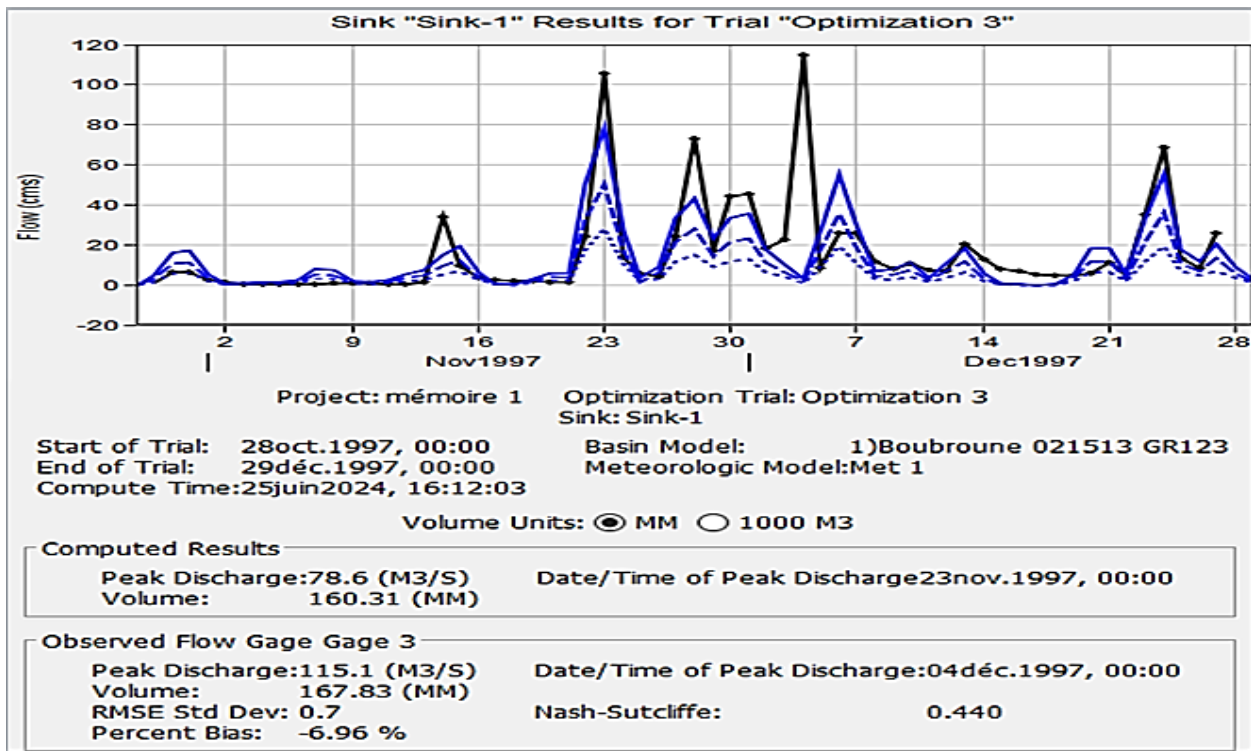


Figure 106 : Optimisation 03 Calibrée.

Calibration de L'optimisation 04 :

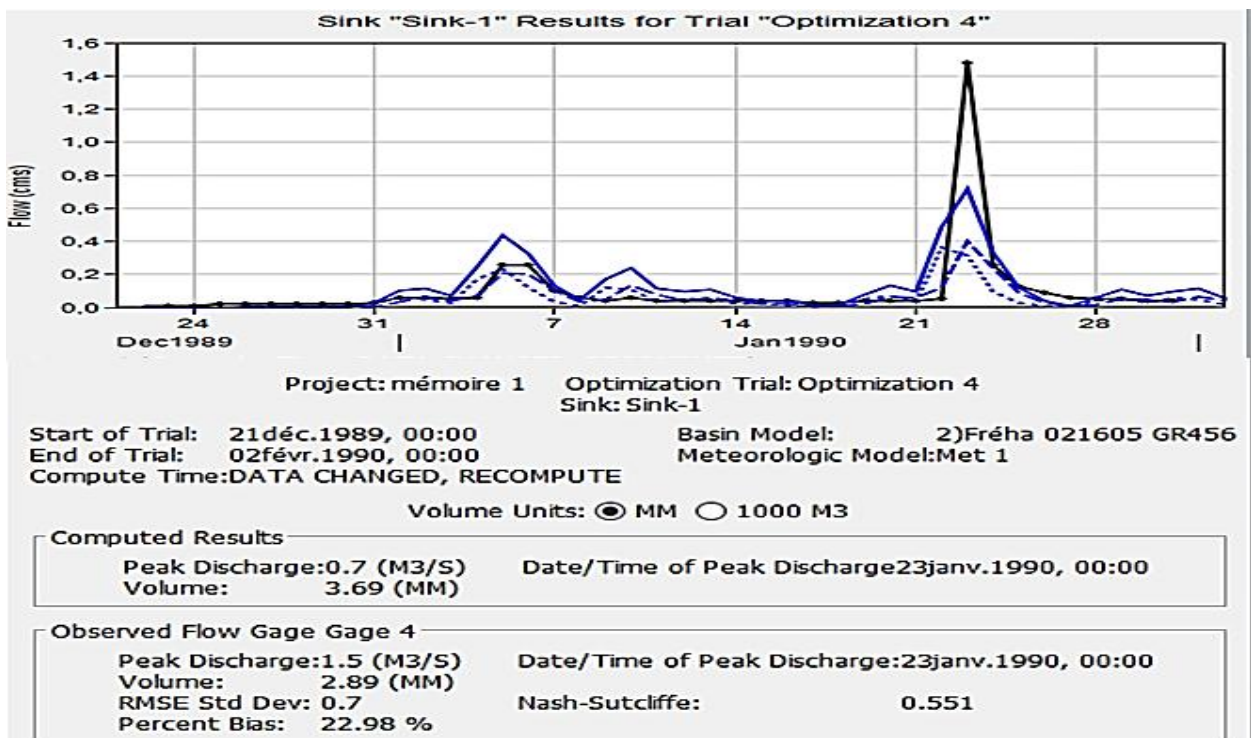


Figure 107 : Optimisation 04 calibrée.

Calibration de L'optimisation 05 :

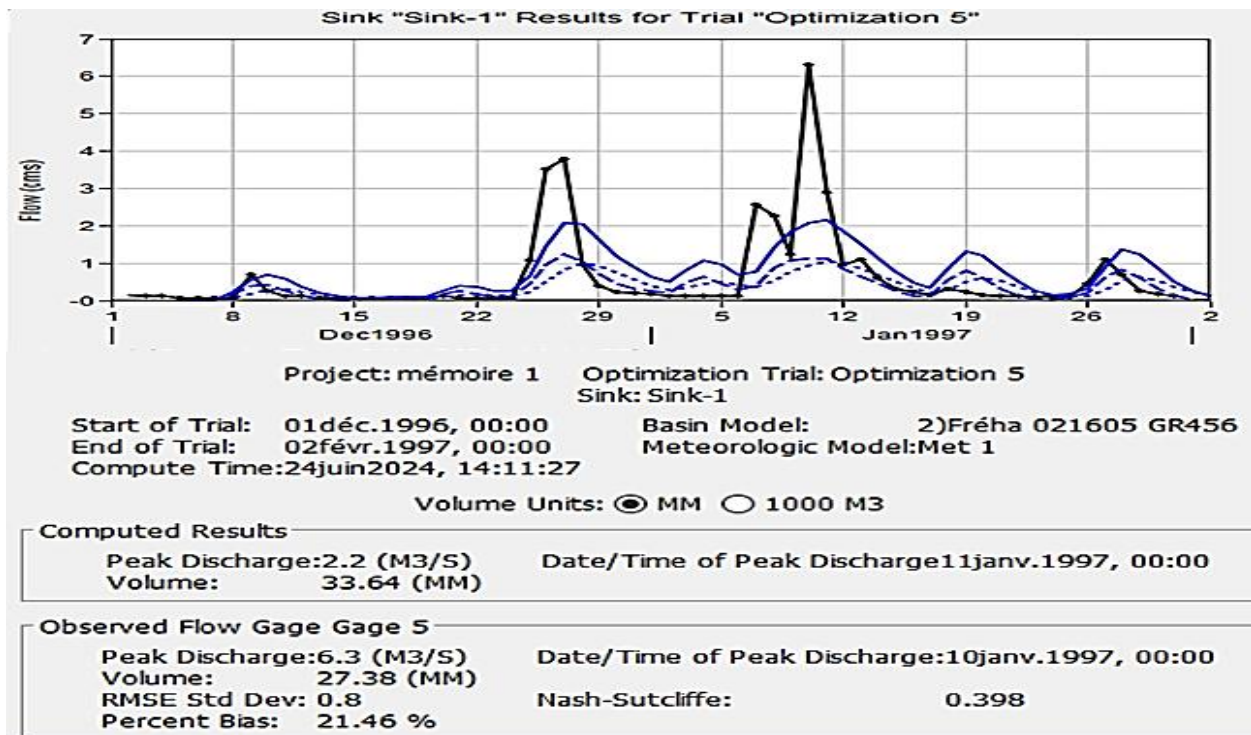


Figure 108 : Optimisation 05 calibrée.

Calibration de L'optimisation 06 :

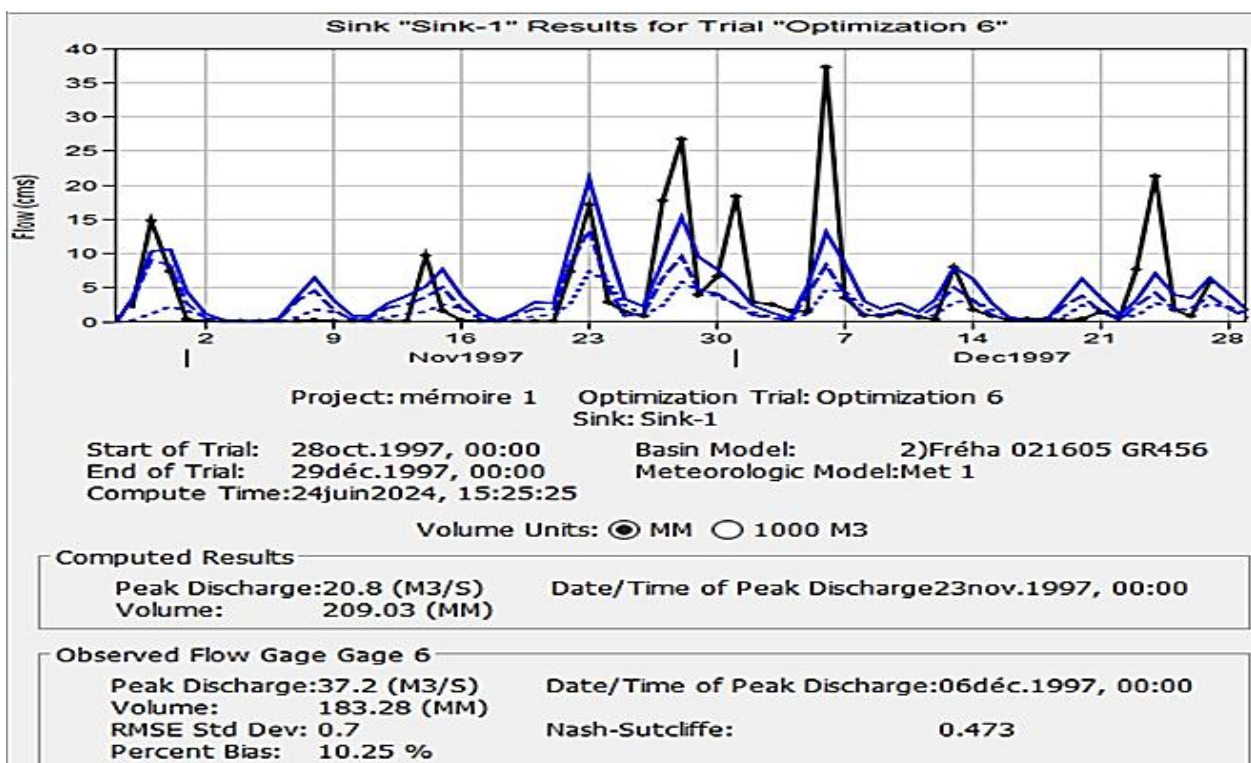


Figure 109 : Optimisation 06 calibrée.

Calibration de L'optimisation 07 :

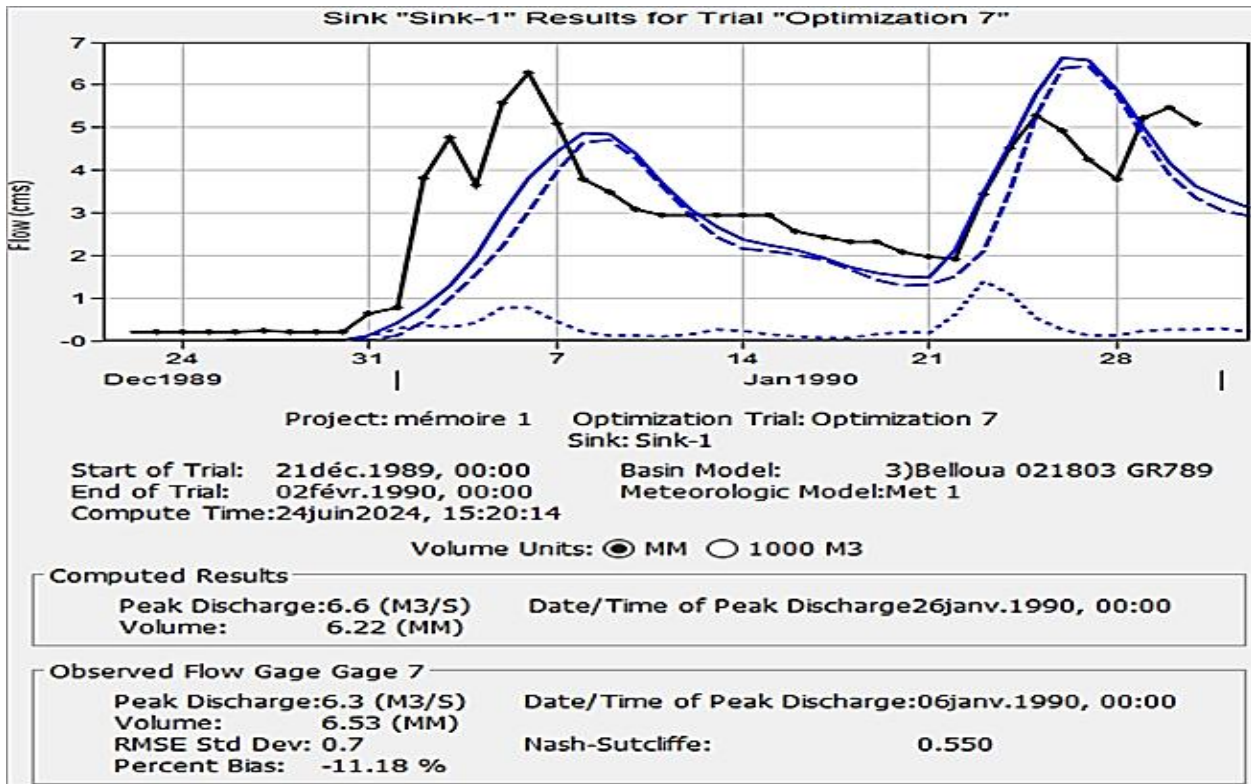


Figure 110 : Optimisation 07 calibrée.

Calibration de L'optimisation 08 :

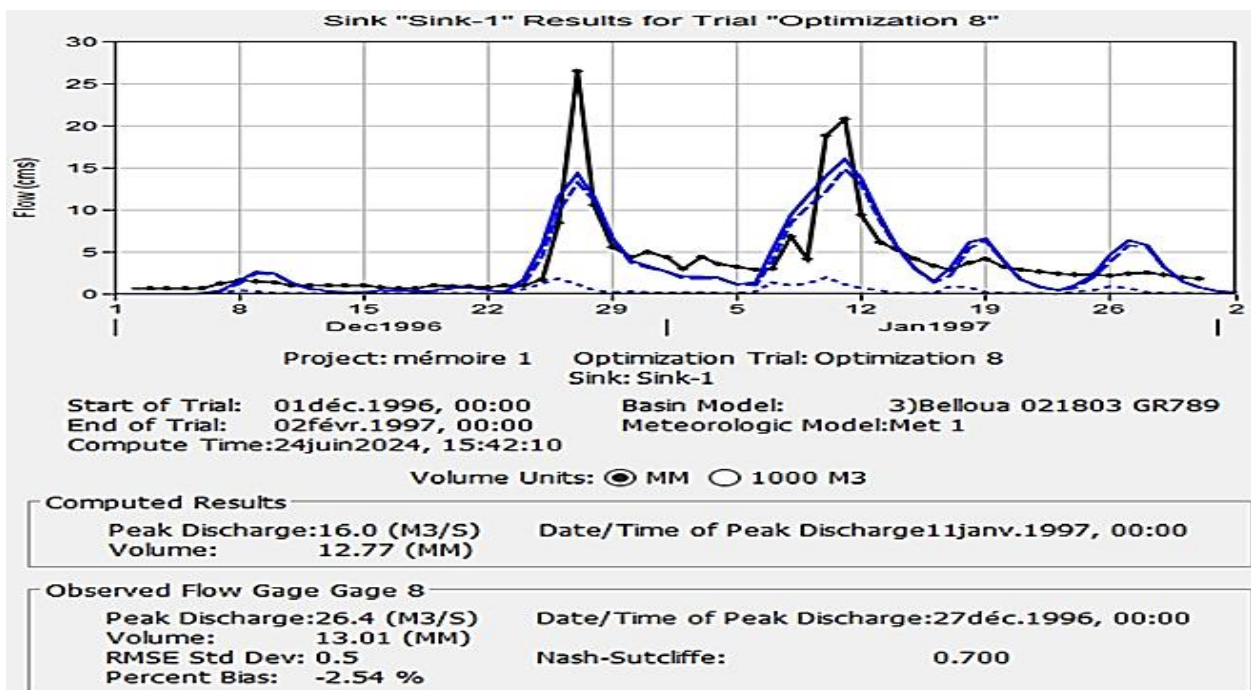


Figure 111 : Optimisation 08 calibrée.

Calibration de L'optimisation 09 :

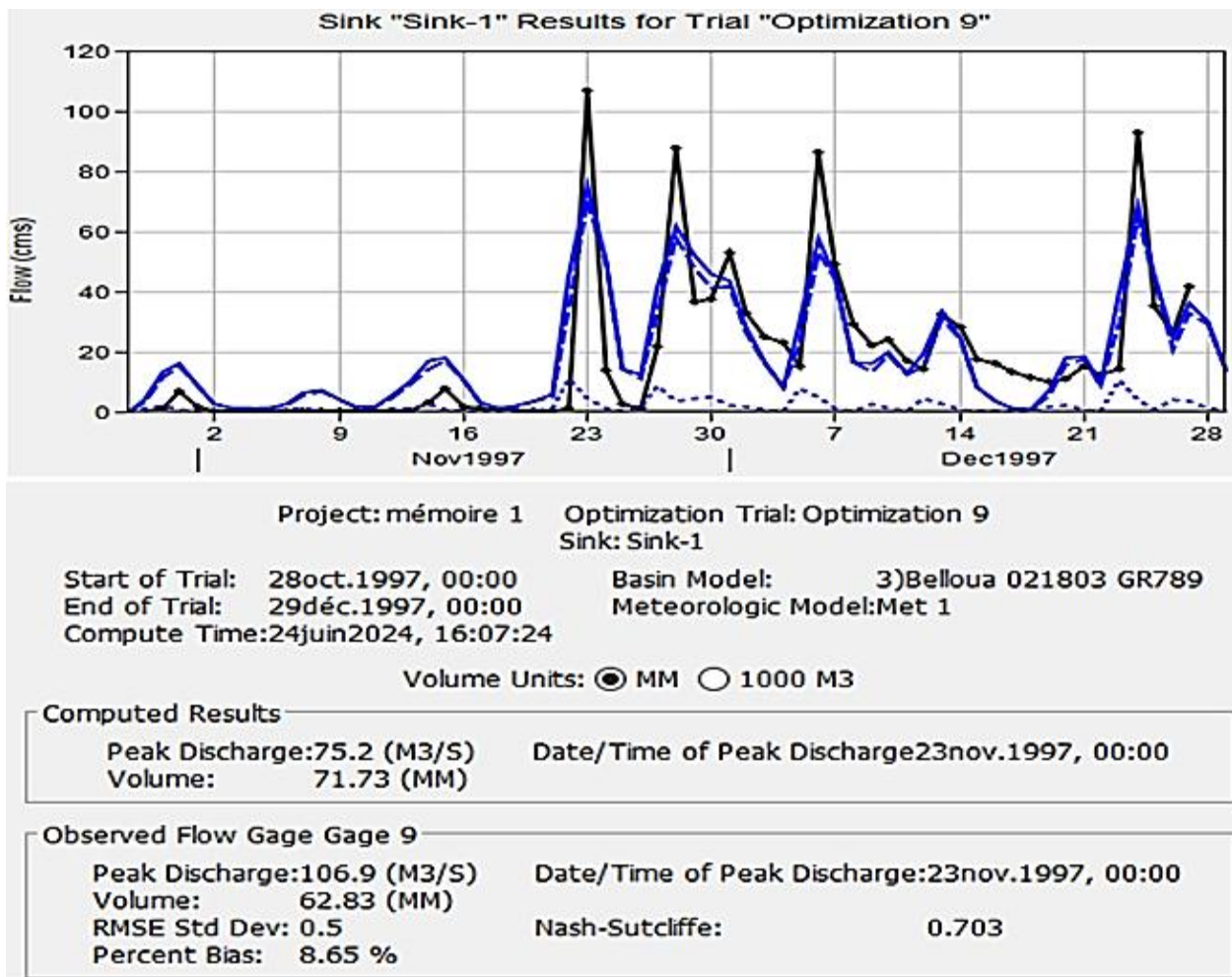


Figure 112 : Optimisation 09 calibrée.

## Discussion

Cette étude nous a permis de nous initier et découvrir le modèle HEC-HMS et soumettre ces performance sur plusieurs années afin d'établir le bilan hydrologique. Sur l'ensemble des différents calages effectués témoignant de la bonne prestation du modèle.

Le modèle HEC-HMS arrive à reproduire la forme de l'hydrogramme en respectant le début et la fin dans plusieurs cas. Cependant, les débits de pointe sont sous-estimés et ceci provient certainement aux fluctuations fréquentes observées sur les hauteurs d'eau dans quelques stations, Cette instabilité remarquée provient probablement à la gestion de données que nous avons obtenus ainsi que de la ressource elle-même ; l'eau qui n'est pas optimale surtout en face aux aléas climatiques.

## Conclusion

La modélisation pluie-débit avec des outils comme HEC-HMS revêt une importance cruciale dans la gestion intégrée et durable des ressources en eau, particulièrement face aux défis accrus posés par le changement climatique. Ce logiciel permet de simuler le comportement des bassins versants en réponse aux précipitations, aidant ainsi les gestionnaires à prendre des décisions éclairées en matière de gestion des crues, de planification des ressources en eau et de préparation aux sécheresses.

L'utilisation du modèle HEC-HMS pour simuler les écoulements des eaux du bassin versant de Taksebt a permis de reproduire la forme des hydrogrammes sans décalage avec soit une sous-estimation ou soit une sur estimation des débits de pointe. Nous remarquons qu'en fonction des années d'optimisation et de calibrage de modèle se comportent de manière acceptable dans la simulation des écoulements de ce bassin versant. les valeurs obtenues témoignent d'une bonne performance Sur les critères d'évaluation.

En effet, ces valeurs durant la phase de calibration (NASH=0.703, PBIAS :8,6%) et (NASH=0.7 , BIAS=-2.54) sont largement supérieures à celles recommandées pour l'acceptation d'une simulation .

Au regard de tous ces constats, nous pouvons dire que le modèle HEC-HMS simule normalement les écoulements du bassin versant de Taksebt localisé à Tizi-Ouzou au nord de l'Algérie.

## Références Bibliographiques :

- [1] <https://wecivilengineers.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/10/applied-hydrology-ven-te-chow.pdf>
- [2] <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/2940/1/memoire.pdf>
- [3] <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-hydrology>
- [4] <https://hal.inrae.fr/tel-02592808/file/pub00028076.pdf>
- [5] [https://www.researchgate.net/publication/255634732\\_Status\\_of\\_Automatic\\_Calibration\\_for\\_Hydrologic\\_Models\\_Comparison\\_With\\_Multilevel\\_Expert\\_Calibration](https://www.researchgate.net/publication/255634732_Status_of_Automatic_Calibration_for_Hydrologic_Models_Comparison_With_Multilevel_Expert_Calibration)
- [6] <https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/8673/1/BOUHOUN.Idris.pdf>
- [7] [https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/12992/1/ZAOUI\\_RIANE\\_F1.pdf](https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/12992/1/ZAOUI_RIANE_F1.pdf)
- [8] <https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/8939/1/ELASRI.Nassima.pdf>
- [9] <https://dspace.univ-msila.dz/items/72b06e01-25df-48bd-8163-7098fb5f67d0>
- [10] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Tizi\\_Ouzou#:~:text=Relief%2C%20g%C3%A9ologie%2C%20hydrographie-,Relief,ville%2C%20dite%20la%20Haute%20Ville.](https://fr.wikipedia.org/wiki/Tizi_Ouzou#:~:text=Relief%2C%20g%C3%A9ologie%2C%20hydrographie-,Relief,ville%2C%20dite%20la%20Haute%20Ville.)
- [11] <https://dspace.ummtto.dz/items/8978940f-6a45-4d46-8f11-53f0822bea21>
- [12] [monographie barrage taksabt.](#)
- [13] [Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2IE avec grade de Master en ingénierie de l'eau et l'environnement, thème « Modélisation pluie-débit du bassin versant du Mouhoun à Banzon au Burkina Faso : application de modèle hydrologique HEC-HMS »](#)
- [14] <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2019/09/BENHAMIDCHA-ESMA.pdf>
- [15] [https://www.researchgate.net/publication/288066931\\_Assessing\\_the\\_effects\\_of\\_land\\_use\\_change\\_on\\_hydrologic\\_balance\\_of\\_Kan\\_watershed\\_using\\_SCS\\_and\\_HEC-HMS\\_hydrological\\_models\\_-\\_Tehran\\_IRAN](https://www.researchgate.net/publication/288066931_Assessing_the_effects_of_land_use_change_on_hydrologic_balance_of_Kan_watershed_using_SCS_and_HEC-HMS_hydrological_models_-_Tehran_IRAN)
- [16] [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS\\_Users\\_Manual\\_4.0.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.0.pdf)

[17] <https://www.hydrocad.net/curvenumber.htm>

[18] [http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Lag\\_time\\_\(HU\)#:~:text=Figure%201%20%3A%20Le%20lag%2Dtime,'onde%20%C3%A0%20l'aval.](http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Lag_time_(HU)#:~:text=Figure%201%20%3A%20Le%20lag%2Dtime,'onde%20%C3%A0%20l'aval.)

[19]

[https://www.loiret.gouv.fr/contenu/telechargement/47808/335087/file/5\\_D%C3%A9bits.pdf](https://www.loiret.gouv.fr/contenu/telechargement/47808/335087/file/5_D%C3%A9bits.pdf)

[20] <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/pluviales/chap6.pdf>

[21] [IPCC \(Intergovernmental Panel on Climate Change\). \(2014\). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.](#)

[22] [\(IPCC, 2014; Bates et al., 2008\)](#)

[23] [\(DGRE, 2009\).](#)