



ANNALES
DE
L'UNIVERSITE
MARIEN NGOUABI

Sciences et Techniques

VOL. 20 – N° 1 – ANNEE 2020

ISSN: 1815 – 4433

www.annalesumng.org

Indexation: Google Scholar

ANNALES DE L'UNIVERSITE MARIEN NGOUABI *SCIENCES ET TECHNIQUES*



VOLUME 20, NUMERO 1, ANNEE 2020.

www.annales umng.org

SOMMAIRE

Directeur de la publication :

J-R. IBARA

Rédacteur en chef :

J ; GOMA-TCHUMBAKALA

Rédacteur en chef adjoint

B. PASSI MABIALA

Comité de lecture

A.A. ABENA (Brazzaville)
J.M. BESSIERE (Montpellier)
G. COLLIN (Québec)
R. DELMAS (Toulouse)
C. DEMANGEAT (Strasbourg)
E.B. DONGALA (Brazzaville)
L. DORBATH (Strasbourg)
G. LAMATY (Montpellier)
P. LEPOIVRE (Gembloux)
J. MABANDZA (Brazzaville)
F. MIALOUNDAMA (Brazzaville)
B. MILLET (Besançon)
J.M. OUAMBA (Brazzaville)
B. PACKA-TCHISSAMBOU (Brazzaville)
T. SILOU (Brazzaville)
J.P. TATHY (Brazzaville)
L. TCHISSAMBOU (Brazzaville)
F. YALA (Brazzaville)

Comité de rédaction

C. BOUKA BIONA (Brazzaville)
D. LOUEMBE (Brazzaville)
B. MPASSI MABIALA (Brazzaville)

Webmaster

R. D. ANKY

Administration – Rédaction :

Université Marien NGOUABI
Direction de la Recherche
B.P. 69, Brazzaville – Congo
E-mail : annales@umng.cg

ISSN : 1815 – 4433

Indexation: Google Scholar

1 Composition floristique et production herbacée des savanes inondables de Mossaka (République du Congo)

YOKA J., BITISSI MPASSI L. O., BOKATOLA MOYIKOLA C., LOUMETO J.J., DJEGO J. G., AKOUANGO P.

11 Influences de l'extrait aqueux des feuilles de *Ageratum Conyzoides* Linnee (Asteraceae) sur la pression artérielle et la fréquence cardiaque chez le rat Wistar.

OKEMY AANDISSA N., MOUSSOUNGOU A.S.U., ETOU OSSIBI A.W., BOUKAKA B.E., ABENA A.A.

33 Monitoring des débits de rivières : cas de la rivière Djiri (République du Congo).

NGOUBOU R. C, DINGA J. B., NGANGA D.

55 Suivi de la pollution hydrique par le plomb dans le bassin versant de la rivière Djiri (République du Congo).

DINGA J. B., NGOUBOU R. C, NGANGA D.



MONITORING DES DEBITS DE RIVIERES : CAS DE LA RIVIERE DJIRI (REPUBLIQUE DU CONGO).

NGOUBOU R. C^{1,2}, DINGA J. B.^{1,2}, NGANGA D.²

- 1. Laboratoire d'Analyses Physico-chimique de l'Institut de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles, Recherche Scientifique ;*
- 2. Faculté des Sciences et Techniques, Formation doctorale en Géosciences de l'Environnement Université Marien NGOUABI.*

République du Congo

Email : Corneillerochdesuz@gmail.com

RESUME

L'objectif de ce travail est de conceptualiser et réaliser un outil de suivi des débits des rivières à partir d'une simulation sur les données de la rivière Djiri par une modélisation systémique de type MERISE. Le bassin versant de la rivière Djiri dispose d'une station hydrométrique, sa superficie est de 980 km², sa longueur est de 57 km. Il est localisé entre 4° et 4°52' de latitude Sud et 15° et 15°55' de longitude Est et son altitude oscille entre 600 et 760 m, sa géologie est essentiellement formée de sables Batéké.

Les étiages naturels sont souvent accentués par l'utilisation de la ressource en eau à une période où celle-ci est moins disponible : alimentation en eau potable, irrigation, arrosage des jardins publics, etc. Face à ces diminutions des débits il est nécessaire que des mesures hydrométriques soient réalisées au quotidien pour le suivi des débits afin de faciliter la prévention, la détection et la résolution des éventuels problèmes liés à la baisse du niveau d'eau de chaque cours d'eau.

Ce travail de recherche vise de façon générale la conception et la réalisation d'un système d'information automatisé de suivi des débits des rivières en République du Congo afin de faciliter le travail des acteurs de l'hydrologie national par l'acquisition d'un outil de détection ou de prévention d'éventuels situations observées sur des cours d'eau du bassin du Congo. Outil qui apportera une grande valeur ajoutée en termes d'automatisation de processus de gestion des écosystèmes hydriques. Les simulations réalisées par l'outil révèlent une baisse du débit sur toute la période 2017, avec un indice de divergence de 0.82344.

***Mots-clés :** Débit de cours d'eau, MERISE et système d'information, Barème hydrologique, Station hydrologique*

ABSTRACT

The objective of this work is to conceptualize and realize a tool for monitoring river flows from a simulation on data from the Djiri river by systemic modeling of the MERISE type. The watershed of the Djiri river has a hydrometric station, its area is 980 km², its length is 57 km. It is located between 4 ° and 4 ° 52 ' south latitude and 15 ° and 15 ° 55 ' east longitude and its altitude oscillates between 600 and 760 m, its geology is essentially formed by Batéké sands.

Natural low water is often accentuated by the use of water resources at a time when it is less available: drinking water supply, irrigation, watering public gardens, etc.

Faced with these decreases in flow rates, it is necessary that daily hydrometric measurements be taken to monitor flow rates in order to facilitate the prevention, detection and resolution of any problems linked to the drop in the water level of each course. water.

This research work generally aims at the design and implementation of an automated information system for monitoring river flows in the Republic of Congo in order to facilitate the work of stakeholders in national hydrology by acquiring a tool for detecting or preventing possible situations observed on rivers in the Congo Basin. Tool that will bring great added value in terms of automation of water ecosystem management processes. The simulations carried out by the tool reveal a drop in flow over the entire period 2017, with a divergence index of 0.82344.

Keywords : *Stream flow, MERISE and information system, Hydrological scale, Hydrological station.*

INTRODUCTION

Le suivi des niveaux d'eau dans les rivières est d'une nécessité incontestable vue l'importance vitale de l'eau chez les êtres humains, les poissons, les animaux et les végétaux.

Aussi, le suivi des niveaux d'eau dans une rivière est extrêmement lié à la notion de débit et impose une discipline dans la collecte journalière et régulière des mesures des hauteurs d'eau ; sur une rivière, deux mesures au moins par jour permettent une estimation du débit moyen journalier à l'aide d'un barème défini spécifiquement pour cette rivière.

D'après l'encyclopédie de l'environnement (2018), la mesure des débits d'une rivière répond à plusieurs finalités :

- La gestion opérationnelle d'ouvrages hydrauliques (aménagement hydro électriques, systèmes d'irrigation, réservoirs d'écrêtement des crues ou de soutien des étiages...);
- Le dimensionnement de ces ouvrages, par la connaissance des caractéristiques de ces cours d'eau ;
- Le contrôle réglementaire, pour vérification des obligations de restitution de débit en aval d'ouvrages (débit minimum pour assurer la survie piscicole, le maintien d'autres usages ; la non aggravation des crues), la déclaration d'état de calamité (sécheresses...);
- La protection des biens et des personnes, par l'annonce des crues ; de patrimoine, par la constitution de séries d'observations de longue durée, indispensables pour connaître les évolutions des régimes des cours d'eau, sensibiliser les populations aux risques naturels, affecter une probabilité aux événements extrêmes (crues, étiages).

L'intérêt de ces mesures se trouve aujourd'hui renforcé par les défis actuels que constituent le réchauffement climatique, les nouvelles demandes de partage de l'eau entre différents usages (récréatifs, énergétiques, irrigation, eau potable), la restauration ou la préservation des milieux naturels et de leur biodiversité, la demande sociale de connaissances, les vulnérabilités accrues de la société (Encyclopédie de l'environnement, 2019).

Dans ce travail, nous ne réaliserons pas des mesures des hauteurs d'eau pour déduire des débits mais nous nous contenterons à exploiter des mesures déjà réalisées pour simuler le monitoring automatisé des débits des rivières.

Ce travail de recherche est réalisé à l'Institut de Recherche en Sciences Exactes et Naturelles (IRSEN) dans le cadre d'un projet de thèse de doctorat unique à la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Marien NGOUABI de Brazzaville (Rep. du Congo).

Ce travail répond à la problématique de suivi des débits des rivières en République du Congo et permet donc aux acteurs de l'hydrologie nationale d'acquérir à court et moyen terme la mise à disposition des centres de recherches et étudiants en hydrologies de disposer d'un outil de monitoring des débits des rivières afin de prévenir, détecter et concevoir des scénarii de couverture de risque de disparition des rivières.

L'outil de monitoring est conceptualisé et réalisé selon l'approche suivante :

- Conception du modèle conceptuel des données entités-association ;
- Modèle physique des données ;
- Réalisation de l'interface applicative.

Les fonctionnalités de l'outil sont les suivantes :

- Codification des stations hydrométriques ;
- Codification des rivières, fleuves, mers etc... ;
- Codification des barèmes ;
- Saisie et enregistrement journalière des mesures effectuées sur les stations.
- Elaboration des tableaux de bord pour le monitoring.

A long terme, nous procéderons au déploiement de cet outil sur le web pour permettre en temps immédiat d'avoir une vue sur l'ensemble des stations opérationnels installées sur toutes les rivières du Congo Brazzaville donc faire le suivi de toutes ces rivières.

2. Présentation de la zone d'étude

2.1. Période d'étude

La période d'étude retenue porte sur 2 années, de 2016 à 2017. Elle fait référence à la période d'échantillonnage adoptée

l'évaluation des impacts sanitaires de la pollution des eaux de la rivière Djiri.

2.2. Domaine d'étude

Ce travail de recherche s'inscrit de façon générale dans le domaine de l'hydrométrie (mesurer les débits d'une rivière) et spécifiquement dans l'application du génie informatique à la réalisation de valorisation des données hydrométriques pour le suivi des débits des rivières. Les résultats de ce travail sont flexibles car s'appliquent à l'ensemble des rivières, cours d'eau, fleuves et mers du Congo-Brazzaville mais l'expérimentation du système implémenté est faite à partir des données de la rivière Djiri comme système hydriques de tests.

I 3. Matériels et Méthodes

I 3.1. Matériels

L'ensemble de matériels et logiciels utiles pour exécuter cette étude sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Matériels et Logiciels

| N° | BESOIN | TYPE DE BESOIN | USAGE |
|----|---------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 | POWER AMC | OUTIL LOGICIEL | CONCEPTION DU SYSTÈME D'INFORMATION |
| 2 | POSTGRESQL | | IMPLEMENTATION BASE DE DONNEES |
| 3 | WINDEV 23 | | PROGRAMMATION |
| 4 | ORDINATEUR PORTABLE | MATERIEL INFORMATIQUE | OUTIL DE TRAVAIL |

Le tableau 2 synthétise les différents matériels et logiciels à usage pour ces travaux.

3.1.2. Méthodes

3.1.2.1. Collectes des données

Les données sont collectées à l'Institut de Recherche en Sciences Exactes Naturelles ont servi pour simuler l'outil de monitoring : il s'agit des données couvrant la période 2017 sur la rivière Djiri.

3.1.2.2. Description de la mesure de débit des rivières

La mesure directe du débit est une opération complexe qui ne peut être réalisée que ponctuellement. Sauf cas d'espèce très particulier, on ne peut pas réaliser un suivi direct et continu du débit. C'est la hauteur d'eau que l'on mesure en continu, après l'avoir au préalable reliée au débit par une courbe de tarage (LALLEMENT

Christian,2018). C'est pourquoi, l'hydrométrie est une démarche en 4 étapes :

- La mesure continue des hauteurs en amont d'un contrôle hydraulique, ou en autre endroit où une relation univoque hauteur-débit peut être établie ;
- La réalisation de jaugeages périodiques pour construire cette relation (courbe de tarage), permettant de convertir les hauteurs en débits ;
- Le tracé de cette courbe de tarage et la détection de ses évolutions ;
- Puis, après conversion des hauteurs en débit, l'analyse critique des fluctuations spatiales et temporelles, puis leur archivage.

3.1.2.3. Indice de divergence et indicateurs de monitoring des débits de rivières

- **Indice de divergence (IDIV)**

On note :

DE : Débit Estimé ;

DRF : Débit de référence de la rivière ;

On définit l'indice de tendance par :

$$IDIV = \frac{DE}{DRF}$$

Cet indice est par définition strictement supérieur à l'unité pour exprimer l'évolution normale du débit d'une rivière et le cas contraire nécessitera la mise en place des scénarii de remédiation sur la rivière.

- **Moyenne mensuelle des débits estimés**

Pour faciliter le monitoring mensuel des débits des rivières, l'estimation des moyennes mensuelles des débits déduits du barème par station et par rivière à partir des hauteurs d'eau mesurées quotidiennement est une approche appropriée :

Pour chaque station, chaque rivière et chaque mois d'une année on a :

$$Moyenne_{DebitEstimé_i} = \frac{\sum_{i=1}^N Debit_{Estimé_i}}{\sum_{i=1}^N i}$$

N : Nombre de jours du mois, **i** le mois et **DebitEstimé** le débit déduit par croisement des hauteurs d'eau et du barème.

Par principe d'évolution croissante des débits de rivières, on sait que :

$$Debit_{Estimé_i} > DRF \text{ au mois } i.$$

$$\text{Alors : } \frac{\sum_{i=1}^N Debit_{Estimé_i}}{\sum_{i=1}^N i} > DRF$$

Le cas contraire signifiera une baisse du débit d'une rivière.

- **Moyenne annuelle des débits estimés**

Pour faciliter le monitoring annuel des débits des rivières, l'estimation de la moyenne inter-année des débits déduits des moyennes connues des années sur chaque station selon l'expression ci-après :

Pour chaque station s_j installée sur une rivière r_m , chaque année a_i on a :

Pour $i=1 \dots i_{max}$, $j=1 \dots j_{max}$ et $m=1 \dots m_{max}$ faire :

$$Moyenne_{DebitEstimé_{s_j}} = \frac{\sum_{i=1}^{i_{max}} Moyenne_{DebitEstimé_{r_m s_j a_i}}}{\sum_{i=1}^{i_{max}} i}$$

Où $\sum_{i=1}^{i=i_{max}} \text{Moyenne}_{\text{DebitEstimé}_{r_m s_j a_i}}$ estimé sur la rivière r_m sur la station s_j au cours de l'année a_i .
représente la moyenne annuelle du debit

- **Script SQL d'Evaluation de divergence sur le débit d'une rivière**

Script 1 : Evaluation de divergence sur le débit d'une rivière

```

SELECT Annee_Mesure,Mois_Mesure,Nom_Station,Debit_Reference,la_moyenne_Debit_Estime Debit_Moyen_Mensuel,
(la_moyenne_Debit_Estime/Debit_Reference)IDIV_Mensuel
FROM
(
SELECT
Riviere.Nom_Riviere AS Nom_Riviere,
Station.Nom_Station AS Nom_Station,
Mesure.Annee_Mesure AS Annee_Mesure,
Mesure.Mois_Mesure AS Mois_Mesure,
Riviere.Debit_Reference AS Debit_Reference,
AVG(Mesure.Debit_Estime) AS la_moyenne_Debit_Estime
FROM
Riviere,
Station,
Mesure
WHERE
Riviere.IDRiviere = Station.IDRiviere
AND
Riviere.IDRiviere = Mesure.IDRiviere

GROUP BY
Mesure.Mois_Mesure,
Mesure.Annee_Mesure, |
Station.Nom_Station,
Riviere.Nom_Riviere,
Riviere.Debit_Reference
)X
WHERE Annee_Mesure={ParAnnee}
AND Nom_Riviere={ParRiviere}
ORDER BY 2 ASC

```

- **Script SQL d'Evaluation Moyenne mensuelle des débits estimés**

Script 2 : Evaluation Moyenne mensuelle des débits estimés

```
SELECT
    Mesure.Annee_Mesure AS Annee_Mesure,
    Mesure.Mois_Mesure AS Mois_Mesure,
    Station.Nom_Station AS Nom_Station,
    Riviere.Nom_Riviere AS Nom_Riviere,
    Riviere.Debit_Reference AS Debit_Reference,
    AVG(Mesure.Debit_Estime) AS la_moyenne_Debit_Estime
FROM
    Riviere,
    Station,
    Mesure
WHERE
    Riviere.IDRiviere = Mesure.IDRiviere
    AND
        Riviere.IDRiviere = Station.IDRiviere
    AND
    (
        Mesure.Annee_Mesure = {ParamAnnee_Mesure}
        AND
        Riviere.Nom_Riviere = {ParamNom_Riviere}
    )
GROUP BY
    Mesure.Annee_Mesure,
    Mesure.Mois_Mesure,
    Station.Nom_Station,
    Riviere.Nom_Riviere,
    Riviere.Debit_Reference
ORDER BY
    Mois_Mesure ASC
```

- **Script SQL d'Evaluation Moyenne annuelle des débits estimés**

Script 3 : Evaluation Moyenne annuelle des débits estimés

```

SELECT
Mesure.Annee_Mesure AS Annee_Mesure,
Station.Nom_Station AS Nom_Station,
Riviere.Nom_Riviere AS Nom_Riviere,
Riviere.Debit_Reference AS Debit_Reference,
AVG(Mesure.Debit_Estime) AS la_moyenne_Debit_Estime
FROM
Riviere,
Station,
Mesure
WHERE
Riviere.IDRiviere = Mesure.IDRiviere
AND
Riviere.IDRiviere = Station.IDRiviere
AND
(
Mesure.Annee_Mesure = {ParamAnnee_Mesure}
AND
Riviere.Nom_Riviere = {ParamNom_Riviere}
)
GROUP BY
Mesure.Annee_Mesure,
Station.Nom_Station,
Riviere.Nom_Riviere,
Riviere.Debit_Reference
ORDER BY
Mesure.Annee_Mesure ASC

```

- **Script SQL de Evaluation des écarts annuel entre le volume d'eau de référence et le volume d'eau Estimé.**

Le volume d'eau de référence est le volume correspondant à la quantité d'eau qui

devrait couler normalement et conformément au début de référence de la rivière.

Dans le cas de la rivière Djiri, il est défini par :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume}_{\text{Reference}} &= \text{Debit}_{\text{Reference}} * 24 * 3600 * 365 \\
 &= 25 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 24 * 3600 * 365 \text{ s}
 \end{aligned}$$

Le volume d'eau estimé est déduit du débit moyen journalier estimé par le même principe :

$$\text{Volume}_{\text{Estimé}} = \text{Debit}_{\text{Estimé}} * 24 * 3600 * 365$$

Et l'Ecart des deux volumes d'eau serait :

$$\text{ECART}_{\text{VOLUME}} = \text{Volume}_{\text{Reference}} - \text{Volume}_{\text{Estimé}}$$

Un écart négatif signifiera une perte de volume d'eau au niveau d'une i.e. une diminution des eaux et l'écart positif correspondra à une augmentation du volume d'eau sur cette rivière.

Script 4 : Evaluation des écarts annuels entre le volume d'eau de référence et le volume d'eau Estimé.

```

SELECT Annee_Mesure,Nom_Station,Debit_Reference,la_moyenne_Debit_Estime Debit_Moyen_Mensuel,
(la_moyenne_Debit_Estime-Debit_Reference)*24*3600*365 ECART_VOLUME_EAU_ANNUEL,
CASE
WHEN (la_moyenne_Debit_Estime-Debit_Reference)*24*3600*365>0 THEN 'AUGMENTATION VOLUME EAU'
ELSE 'BAISSE VOULUME EAU'
END OBSERVATION
FROM
(
SELECT
Riviere.Nom_Riviere AS Nom_Riviere,
Station.Nom_Station AS Nom_Station,
Mesure.Annee_Mesure AS Annee_Mesure,
Riviere.Debit_Reference AS Debit_Reference,
AVG(Mesure.Debit_Estime) AS la_moyenne_Debit_Estime
FROM
Riviere,
Station,
Mesure
WHERE Riviere.IDRiviere = Station.IDRiviere
AND Riviere.IDRiviere = Mesure.IDRiviere
GROUP BY
Mesure.Annee_Mesure,
Station.Nom_Station,
Riviere.Nom_Riviere,
Riviere.Debit_Reference
)X
WHERE Annee_Mesure={ParAnnee}
AND Nom_Riviere={ParRiviere}
ORDER BY 2 ASC

```

- **Estimation du débit moyen journalier (Débit Estimé)**

Le traitement ci-après permet d'estimer le débit moyen journalier à partir des hauteurs d'eau relevées au niveau des stations hydrométriques par comparaison avec les bornes du barème.

```

i est un entier=0
HLitRecherchePremier(Bareme,IDRiviere,COMBO_Riviere)
SI HTrouve(Riviere) ALORS
  SI Mesure.IDRiviere=Bareme.IDRiviere ALORS
    HLitRecherchePremier(Station,IDRiviere,COMBO_Riviere)
    SI HTrouve(Station) ALORS
      SI Station.IDRiviere=Bareme.IDRiviere ALORS
        HLitRecherchePremier(Ligne,IDBareme,Bareme.IDRiviere)
        SI HTrouve(Ligne) ALORS
          SI Bareme.IDRiviere=Ligne.IDRiviere ALORS
            //POUR i= 1 A TableOccurrence(Table_Bareme)/
            POUR TOUT Mesure AVEC Mesure.IDMesure[i] = 0 À TableOccurrence(TABLE_Mesure)
              SI SAI_Hauteur_Moyenne>=Ligne.Borne_inferieure[i]
                ET SAI_Hauteur_Moyenne<=Ligne.Borne_superieure[i] ALORS
                  Mesure.Debit_Estime[i]= Ligne.Debit_Bareme[i]
              FIN
            FIN
          FIN
        FIN
      FIN
    FIN
  FIN
FIN

```

L'implémentation de ce traitement permet de déduire automatiquement le débit estimé du barème

3.1.2.4. Modélisation MERISE des données sur la gestion des stations

La modélisation des données au sens de MERISE est basée sur la théorie mathématique des ensembles et des relations ; MERISE considère un ensemble comme un objet ou entité et une relation comme une association ou lien sémantique entre les objets (Hubert Tardieu, 1978 ; Jean Patrick MATHERON, Hubert TARDIEU, 2000).

Le formalisme est basé sur la syntaxe suivante :

Sujet + Verbe + Complément où le sujet et le complément sont des objets ou entités et le verbe est l'association.

Schématiquement on a :

A court et moyen terme, MERISE apportera les résultats suivants :

- Construction du modèle conceptuel des données : description de l'ensemble des informations sur le processus de gestion des statistiques sanitaires ;

- Construction du modèle logique des données : description des données sans s'occuper des contraintes d'implémentation des données, ce modèle traduit le choix

organisationnel des données (Table relationnelle, fichier etc.)

- Construction du modèle physique des données : la présentation des données telle qu'elles seront implémentées ;

- Implémentation de la base de données et réalisation de l'outil applicatif : réalisation de la structure de données réelle et de l'interface applicative.

4. Résultats et Discussion

4.1. Résultats

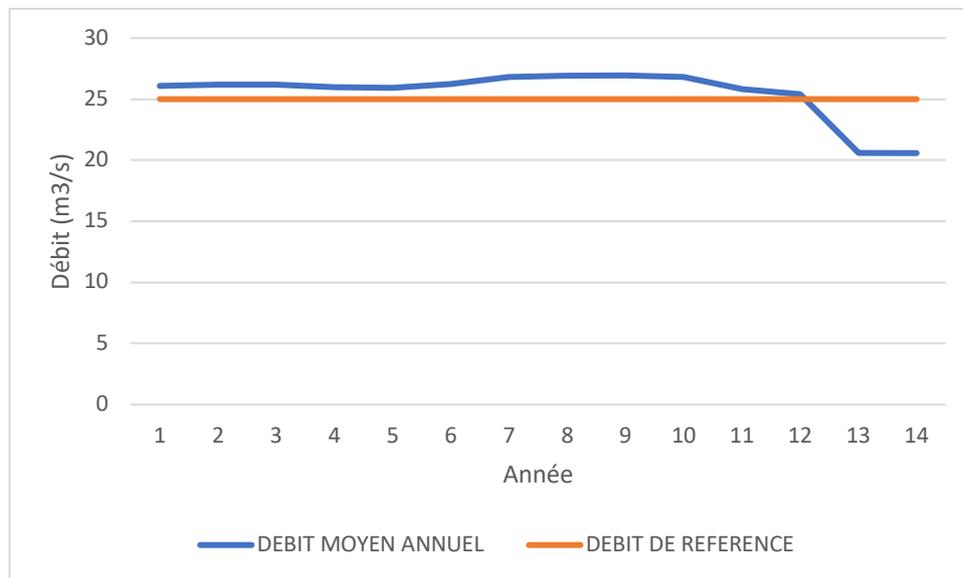
4.1.1-Simulation de l'indicateur de Monitoring des débits de rivières

Selon le processus d'acquisition des débits estimés par croisement des hauteurs moyennes des eaux au niveau de chaque station et des lignes du barème, il convient de suivre ces débits estimés par comparaison de leurs **moyennes mensuelles** et du **débit de référence de la rivière** pour une rivière donnée et au cours d'une année donnée.

L'application de cette approche avec les données de la rivière Djiri donne des résultats inscrits dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Détermination de l'indice de Divergence de Débits (IDIV) estimés sur la rivière Djiri.

| ANNEE | Debit moyen annuel | DEBIT DE REFERENCE | IDIV | VOLUME D'EAU INITIAL | VOLUME ECOULE ESTIME | ECART | OBSERVATION |
|-------|--------------------|--------------------|-------------|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| 1983 | 26,09 | 25 | 1,043556132 | 788 400 000 | 822 739 654 | 34 339 654 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1984 | 26,19 | 25 | 1,047654147 | 788 400 000 | 825 970 530 | 37 570 530 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1985 | 26,21 | 25 | 1,048559901 | 788 400 000 | 826 684 626 | 38 284 626 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1986 | 25,99 | 25 | 1,039785381 | 788 400 000 | 819 766 795 | 31 366 795 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1987 | 25,93 | 25 | 1,037114145 | 788 400 000 | 817 660 792 | 29 260 792 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1989 | 26,26 | 25 | 1,050458833 | 788 400 000 | 828 181 744 | 39 781 744 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1990 | 26,79 | 25 | 1,071452573 | 788 400 000 | 844 733 209 | 56 333 209 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1991 | 26,92 | 25 | 1,076689964 | 788 400 000 | 848 862 368 | 60 462 368 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1992 | 26,94 | 25 | 1,077632258 | 788 400 000 | 849 605 272 | 61 205 272 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1993 | 26,79 | 25 | 1,071731959 | 788 400 000 | 844 953 476 | 56 553 476 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1994 | 25,83 | 25 | 1,033100717 | 788 400 000 | 814 496 605 | 26 096 605 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 1997 | 25,38 | 25 | 1,015196359 | 788 400 000 | 800 380 810 | 11 980 810 | AUGMENTATION DU NIVEAU D'EAU |
| 2016 | 20,60 | 25 | 0,824146289 | 788 400 000 | 649 756 934 | -138 643 066 | BAISSE DU NIVEAU D'EAU |
| 2017 | 20,58 | 25 | 0,823040179 | 788 400 000 | 648 884 877 | -139 515 123 | BAISSE DU NIVEAU D'EAU |

**Figure 1 : Comparaison débit de référence et débit moyen annuel estimé sur la rivière Djiri. (Source des données : Laboratoire Hydrologie, IRSEN)**

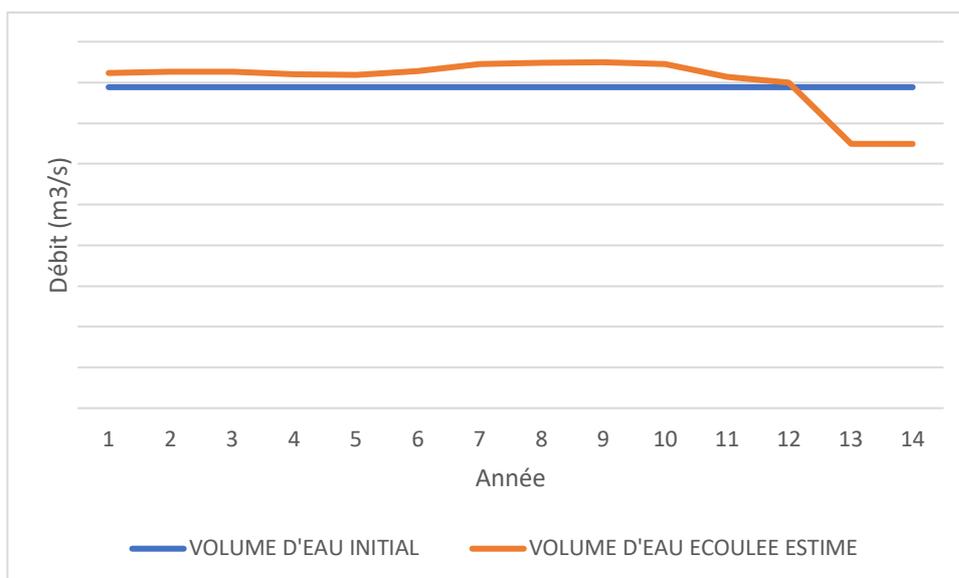


Figure 2 : Comparaison volume de référence et volume moyen annuel estimé sur la rivière Djiri. (Source des données : Laboratoire Hydrologie, IRSEN).

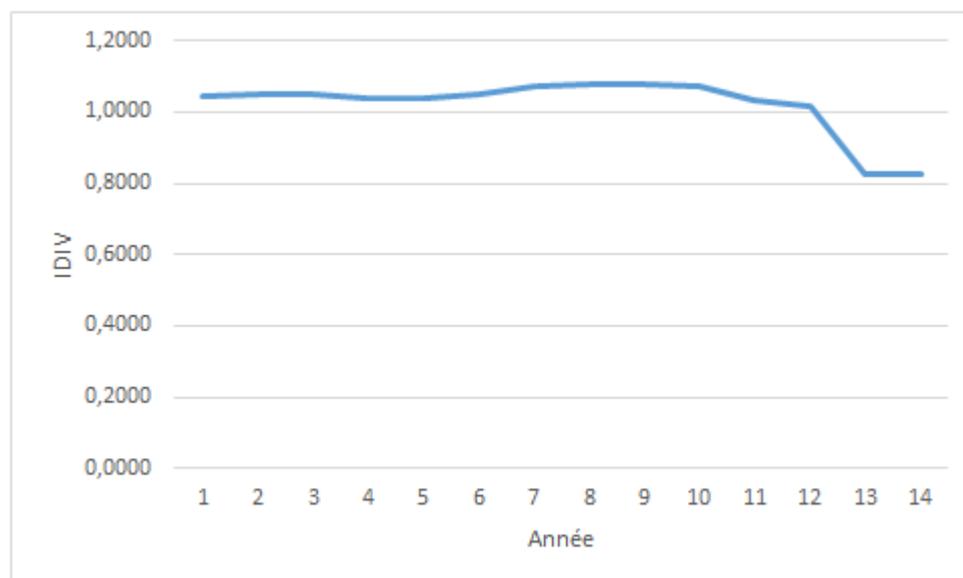


Figure 3 : Tendence de l'indice de divergence par année sur la rivière Djiri (Source des données : Laboratoire Hydrologie, IRSEN).

Le tableau 2 présente les moyennes mensuels débits estimés à l'issue des mesures effectuées sur la station de Djiri et met en évidence un débit moyen entre $20.58 \text{ m}^3/\text{s}$ et $26.94 \text{ m}^3/\text{s}$ dans la période allant de 1983 à 2017 ;

La figure 1 illustre la tendance des débits sur la rivière Djiri et révèle que les moyennes mensuelles des débits estimés sont en dessous du débit de référence de la rivière et de façon logique cela indique une situation à remédier par la mise en place des scénarii efficace de protection de la rivière

contre une éventuelle disparition à long terme.

La figure 2 révèle une diminution du volume d'eau de la rivière entre 2016 et 2017, observation mise en évidence par l'écart remarqué entre le volume d'eau initial et le volume d'eau écoulee estimé dû à la baisse du débit de la rivière : le volume

d'eau écoulee est en dessous du volume initial.

La figure 3 illustre la divergence entre le débit de référence et le débit mensuel estimé sur la rivière Djiri : indice de divergence strictement inférieur à l'unité entre 2016 et 2017.

Tableau 3 : Monitoring du Débit moyen mensuel estimé sur la rivière Djiri.

| ANNEE | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | DRF |
|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-----------|---------|----------|----------|-----|
| 1983 | 23,85 | 26,19 | 26,78 | 26,02 | 26,12 | 25,23 | 26,46 | 26,06 | 26,04 | 26,19 | 27,25 | 26,87 | 25 |
| 1984 | 26,66 | 26,22 | 26,62 | 26,86 | 26,12 | 26,03 | 25,89 | 25,9 | 25,9 | 25,86 | 26,23 | 26,01 | 25 |
| 1985 | 26,07 | 26,03 | 25,94 | 26,81 | 27,3 | 26,3 | 26,09 | 25,8 | 25,78 | 26,17 | 26,15 | 26,13 | 25 |
| 1986 | 26,11 | 26,15 | 26,09 | 26,21 | 26,32 | 25,83 | 25,71 | 25,54 | 25,74 | 25,9 | 26,01 | 26,33 | 25 |
| 1987 | 25,99 | 25,84 | 26,05 | 26,43 | 25,99 | 25,95 | 25,95 | 25,62 | 25,56 | 25,45 | 26,05 | 26,25 | 25 |
| 1989 | 26,47 | 26,29 | 26,33 | 26,39 | 26,29 | 25,63 | 25,92 | 25,84 | 25,9 | 26,39 | 26,79 | 26,9 | 25 |
| 1990 | 26,68 | 26,87 | 26,57 | 26,8 | 27,09 | 27 | 26,46 | 26,35 | 26,32 | 26,73 | 27,1 | 27,47 | 25 |
| 1991 | 27,13 | 28,23 | 26,36 | 26,65 | 27,28 | 26,72 | 26,56 | 26,46 | 26,43 | 26,54 | 27,47 | 27,18 | 25 |
| 1992 | 27,61 | 27,48 | 27,42 | 27,53 | 27,21 | 27,01 | 26,65 | 26,03 | 26,06 | 26,48 | 26,77 | 27,05 | 25 |
| 1993 | 26,84 | 26,95 | 27,25 | 27,23 | 27,14 | 26,77 | 26,85 | 26,47 | 26,33 | 26,4 | 26,54 | 26,74 | 25 |
| 1994 | 26,14 | 26,59 | 25,65 | 26,35 | 25,33 | 24,35 | 26,2 | 26,05 | 25,83 | 25,66 | 25,44 | 26,34 | 25 |
| 1997 | 25,5 | 25,44 | 25,68 | 25,81 | 25,34 | 24,99 | 24,89 | 24,85 | 24,82 | 25,27 | 25,95 | 26,02 | 25 |
| 2016 | 20,54 | 20,9 | 20,63 | 20,57 | 20,56 | 20,6 | 20,56 | 20,58 | 20,58 | 20,56 | 20,59 | 20,57 | 25 |
| 2017 | 20,56 | 2,59 | 20,56 | 20,6 | 20,57 | 20,57 | 20,58 | 20,56 | 20,59 | 20,57 | 20,56 | 20,6 | 25 |

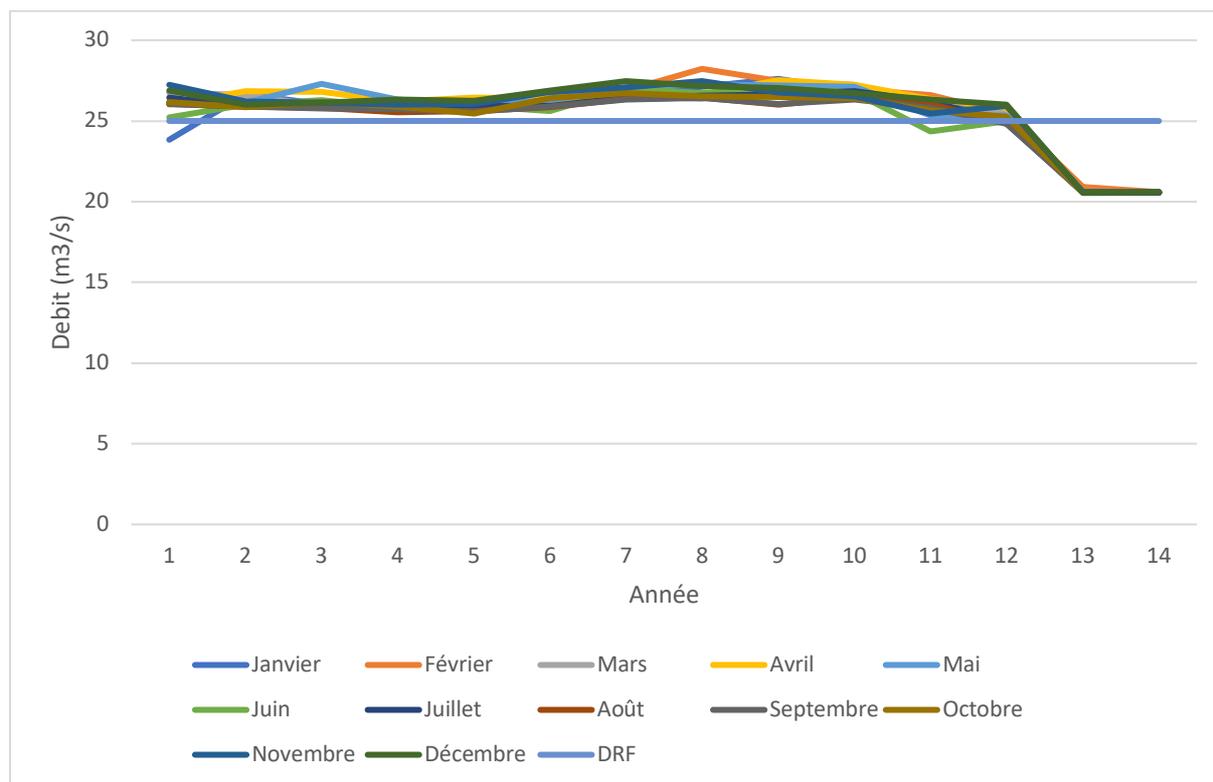


Figure 4 : Monitoring du Débit moyen mensuel estimé sur la rivière Djiri.

Le tableau 2 et la figure 4 mettent en évidence la répartition du débit moyen

mensuel estimé sur la rivière Djiri. il ressort de cette mise en évidence que les tendances

sont en-dessous du débit de référence en 2016 avec un débit moyen estimé de 20.60 m³/s et en 2017 avec un débit moyen estimé de 20.58 m³/s .

4.1.3-Modelisation du système d'information de gestion des stations

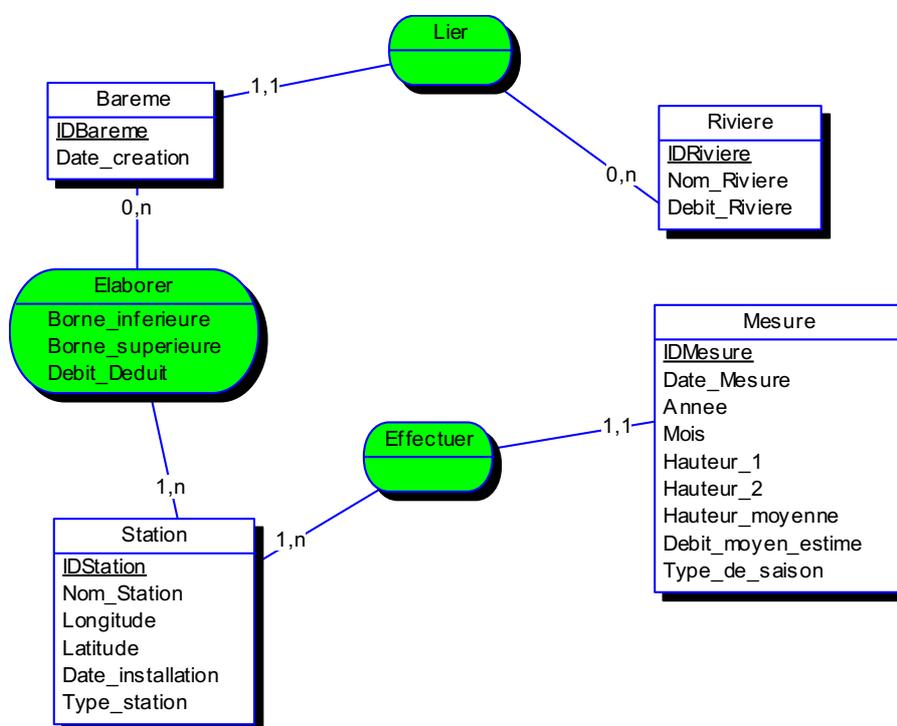
- **Modèle Conceptuel des Données**

Le modèle conceptuel des données décrit conceptuellement la sémantique du

système d'information par conséquent met en évidence le référentiel de l'information.

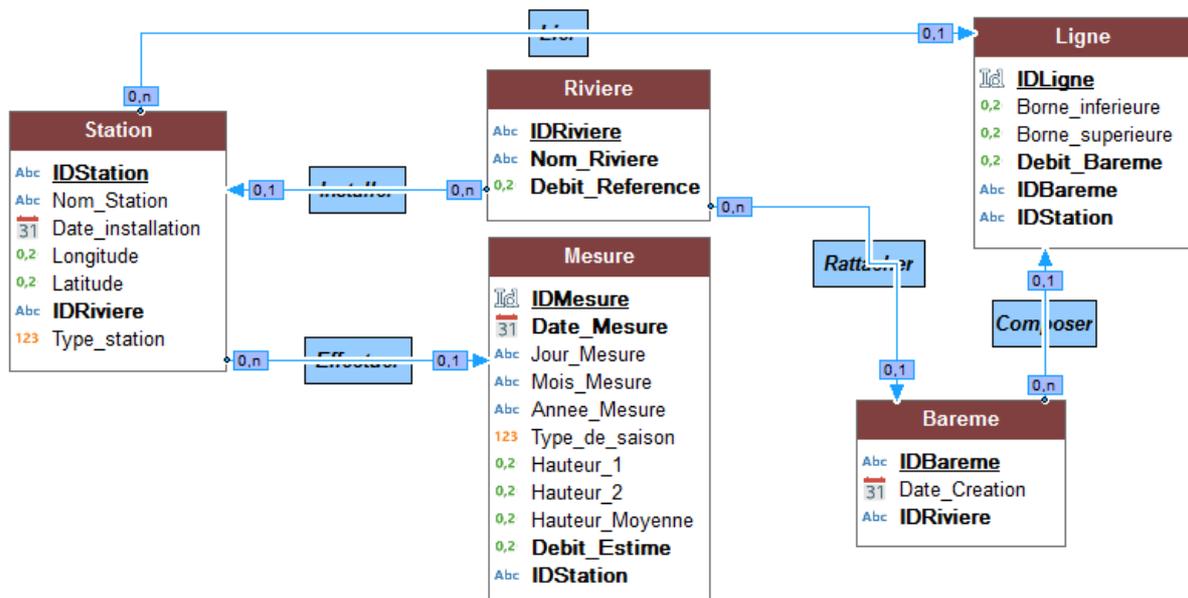
Ce modèle est conçu par application du formalisme entité-association de MERISE (Hubert Tardieu, 1978) et dans le contexte de notre travail décrit le processus de suivi des débits des écosystèmes hydriques (Rivière, fleuve, mer etc...).

Le modèle conceptuel de données permettant de réaliser le suivi des débits des écosystèmes hydriques est le suivant :



Ce modèle conceptuel décrit les données des stations hydrologiques et permet la structure de la base de données.

- **Modèle Logique des Données**



- **Script de création de la Base de données sous SQL SERVER**

- **-- Création de la table Bareme**

```
CREATE TABLE [Bareme] (
  [IDBareme] VARCHAR (10) NOT NULL UNIQUE,
  [Date_Creation] DATETIME,
  [IDRiviere] VARCHAR (10));
CREATE INDEX [WDIDX_Bareme_IDRiviere] ON [Bareme] ([IDRiviere]);
```

- **-- Création de la table Ligne**

```
CREATE TABLE [Ligne] (
  [IDLigne] NUMERIC (19,0) IDENTITY PRIMARY KEY,
  [Borne_inferieure] NUMERIC (38,6) DEFAULT 0,
  [Borne_superieure] NUMERIC (38,6) DEFAULT 0,
  [Debit_Bareme] NUMERIC (38,6) DEFAULT 0,
  [IDBareme] VARCHAR (10),
  [IDStation] VARCHAR (10));
CREATE INDEX [WDIDX_Ligne_Debit_Bareme] ON [Ligne] ([Debit_Bareme]);
CREATE INDEX [WDIDX_Ligne_IDBareme] ON [Ligne] ([IDBareme]);
CREATE INDEX [WDIDX_Ligne_IDStation] ON [Ligne] ([IDStation]);
```

- **-- Création de la table Mesure**

```
CREATE TABLE [Mesure] (
  [IDMesure] NUMERIC (19,0) IDENTITY PRIMARY KEY,
  [Date_Mesure] DATETIME,
  [Jour_Mesure] VARCHAR (2),
  [Mois_Mesure] VARCHAR (2) DEFAULT '0',
  [Annee_Mesure] VARCHAR (4),
  [Hauteur_1] REAL DEFAULT 0,
  [Hauteur_2] REAL DEFAULT 0,
  [Hauteur_Moyenne] REAL DEFAULT 0,
```

```

[Debit_Estime] REAL DEFAULT 0,
[IDStation] VARCHAR (10),
[Type_de_saison] TINYINT DEFAULT 0);
CREATE INDEX [WDIDX_Mesure_Date_Mesure] ON [Mesure] ([Date_Mesure]);
CREATE INDEX [WDIDX_Mesure_Debit_Estime] ON [Mesure] ([Debit_Estime]);
CREATE INDEX [WDIDX_Mesure_IDStation] ON [Mesure] ([IDStation]);

-- Création de la table Riviere
CREATE TABLE [Riviere] (
  [IDRiviere] VARCHAR (10) NOT NULL UNIQUE,
  [Nom_Riviere] VARCHAR (50),
  [Debit_Reference] REAL DEFAULT 0);
CREATE INDEX [WDIDX_Riviere_Nom_Riviere] ON [Riviere] ([Nom_Riviere]);
CREATE INDEX [WDIDX_Riviere_Debit_Reference] ON [Riviere] ([Debit_Reference]);

-- Création de la table Station
CREATE TABLE [Station] (
  [IDStation] VARCHAR (10) NOT NULL UNIQUE,
  [Date_installation] DATETIME,
  [Longitude] NUMERIC (38,6) DEFAULT 0,
  [Latitude] NUMERIC (38,6) DEFAULT 0,
  [IDRiviere] VARCHAR (10),
  [Nom_Station] VARCHAR (50),
  [Type_station] TINYINT DEFAULT 0);
CREATE INDEX [WDIDX_Station_IDRiviere] ON [Station] ([IDRiviere]);

-- Contraintes d'intégrité
ALTER TABLE [Ligne] ADD FOREIGN KEY ([IDBareme]) REFERENCES [Bareme]
([IDBareme]);
ALTER TABLE [Station] ADD FOREIGN KEY ([IDRiviere]) REFERENCES [Riviere]
([IDRiviere]);
ALTER TABLE [Mesure] ADD FOREIGN KEY ([IDStation]) REFERENCES [Station]
([IDStation]);
ALTER TABLE [Bareme] ADD FOREIGN KEY ([IDRiviere]) REFERENCES [Riviere]
([IDRiviere]);
ALTER TABLE [Ligne] ADD FOREIGN KEY ([IDStation]) REFERENCES [Station]
([IDStation]);

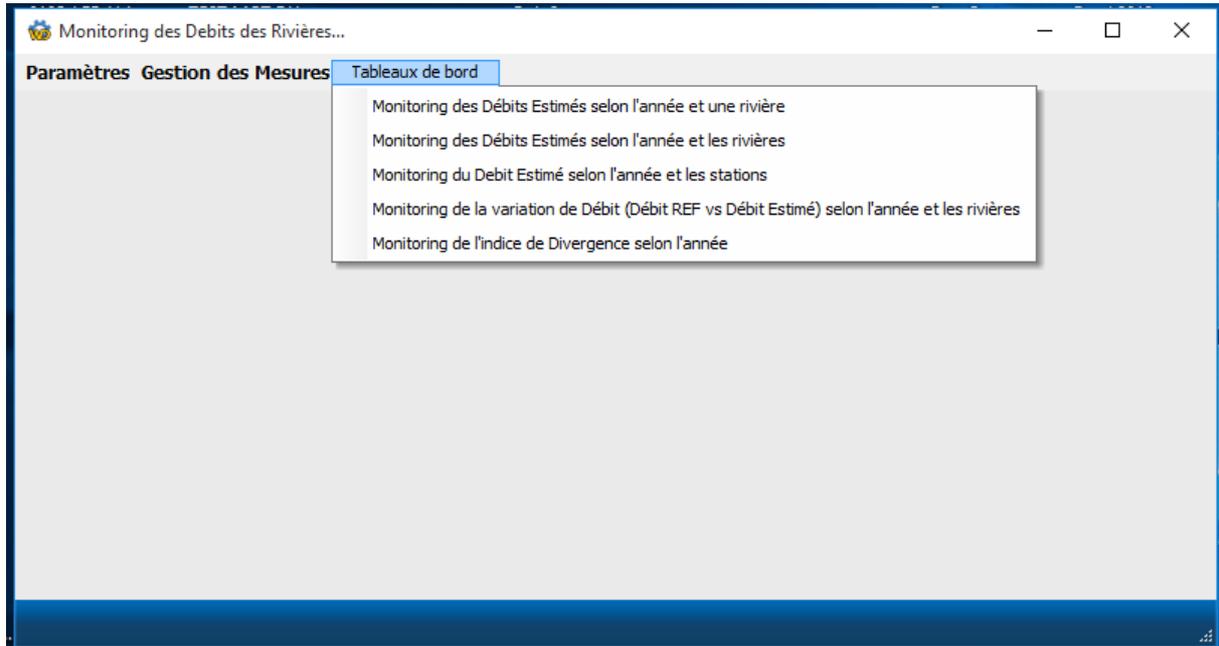
```

Ce script représente le code de création de la structure de données de gestion des stations hydrométriques à partir du gestionnaire des bases de données relationnelles SQL SERVER ;

La base de données créer à partir de ce script permet la réalisation de l'interface applicative facilitant l'opérationnalité du processus de valorisation des données hydrologiques relatives aux stations hydrométriques installées sur les rivières.

4.1.4-Outil Applicatif

- **Menu Principal de l'Application :**



Cette vue présente les fonctionnalités de l'outil de suivi des débits des rivières implémentées à court terme.

Cet outil prend en compte :

- **Le Paramétrage du système d'information :** l'ensemble des tables

contenant les données de base ou d'initialisation de la base de données ;

- **La Gestion des Mesures :** implémentation du formulaire de saisie et d'enregistrement des mesures journalières effectuées sur chaque station hydrométrique ;

- **Monitoring des Débits des rivières.**

- **Application du script 1**

Vue 1 : Application du script 1

L'implémentation du script 1 permet d'avoir la vue des données ci-dessous :

Monitoring selon l'année et la rivière

ANNEE RIVIERE Valider ✓ Imprimer ✓ Annuler ✓

| ANNEE | MOIS | STATION | DEBIT REFERENCE | DEBIT MOYEN MENSUEL | INDICE DE DIVERGENCE MENSUEL |
|-------|------|--------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|
| 2016 | 01 | Station Djiri Pont | 25,00 | 24,3450 | 0,9738 |
| 2016 | 02 | Station Djiri Pont | 25,00 | 24,1250 | 0,9650 |
| 2016 | 03 | Station Djiri Pont | 25,00 | 24,3750 | 0,9750 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Cette vue illustre à la fois les tendances mensuelles du débit estimé et donne les différentes valeurs de l'indice de divergence du débit. Il ressort de ces résultats que l'indice de divergence du débit estimé est strictement inférieur à l'unité pour les trois premiers mois de l'année 2016 illustrés.

- **Application du script 2**

L'implémentation du script 2 permet d'avoir à partir des données tests la vue des données ci-dessous afin de suivre parallèlement les tendances sur la moyenne mensuelle du débit estimé.

Vue 2 : Formulaire de consultation des débits mensuelles estimés selon l'année et la rivière.

Debit Estimé Mensuel

ANNEE: 2016 RIVIERE: DJIRI [Valider] [Imprimer] [Annuler]

| Année | Mois | Station | Rivière | Debit de Reference | Moyenne Debit Estime |
|-------|------|--------------------|---------|--------------------|----------------------|
| 2016 | 01 | Station Djiri Pont | DJIRI | 25,00 | 24,345 |
| 2016 | 02 | Station Djiri Pont | DJIRI | 25,00 | 24,125 |
| 2016 | 03 | Station Djiri Pont | DJIRI | 25,00 | 24,375 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

L'application du script 2 a permis d'avoir à partir des données de tests la vue 2 illustrant le volume moyen d'eau perdu au cours de l'année 2016.

- Application du script 3**

L'implémentation du script 3 permet d'avoir à partir des données tests la vue des données ci-dessous afin de suivre parallèlement les tendances sur la moyenne annuelle du débit estimé.

- Vue 3 : Application du script 3**

Debit Annuel Estimé

ANNEE: 2016 [Valider] [Imprimer] [Annuler]

| Année | Station | Rivière | Debit de Reference | Moyenne Débit Estime |
|-------|--------------------|---------|--------------------|----------------------|
| 2016 | Station Djiri Pont | DJIRI | 25,00 | 24,281 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

L'application du script 3 a permis d'avoir à partir des données de tests la vue 3 illustrant le volume moyen d'eau perdu au cours de l'année 2016.

- Application du script 4
-

Vue 4 : Application du script 4

Evaluation des Ecart de volumes d'eau

ANNEE: 2016 RIVIERE: DJIRI [Valider] [Imprimer] [Annuler]

| ANNEE | STATION | DEBIT REFERENCE | DEBIT MOYEN ANNUEL | ECART VOLUME D'EAU | OBSERVATION |
|-------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2016 | Station Djiri Pont | 25,00 | 24,2817 | -22 653 357,1930 | BAISSE VOULUME EAU |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

L'application du script 4 a permis d'avoir à partir des données de tests la vue 4 illustrant le volume moyen d'eau perdu au cours de l'année 2016.

- **Formulaire de saisie et enregistrement des hauteurs d'eau relevées au niveau des stations hydrométriques.**

Enregistrement des Mesures

IDMesure Date Mesure

Jour Mois

Année STATION

Hauteur :1 Hauteur Moyenne

Hauteur : 2 Debit Estimé

Nouveau + Valider +
 Modifier + Supprimer +
 Imprimer + Annuler +

| IDMesure | Date Mesure | Jour | Mois | Année | Hauteur_1 | Hauteur_2 | Hauteur Moyenne | Debit Estimé | IDStation | IDRiviere |
|----------|-------------|------|------|-------|-----------|-----------|-----------------|--------------|-----------|-----------|
| 1 | 01/02/2016 | 01 | 02 | 2016 | 47,00 | 50,00 | 48,50 | 24,00 | ST001 | |
| 2 | 02/02/2016 | 02 | 02 | 2016 | 48,00 | 55,00 | 51,50 | 24,25 | ST001 | |
| 3 | 01/01/2016 | 01 | 01 | 2016 | 49,00 | 56,00 | 52,50 | 24,33 | ST001 | |
| 4 | 02/01/2016 | 02 | 01 | 2016 | 50,00 | 56,00 | 53,00 | 24,36 | ST001 | |
| 5 | 01/03/2016 | 01 | 03 | 2016 | 51,00 | 57,00 | 54,00 | 24,38 | ST001 | |
| 6 | 02/03/2016 | 02 | 03 | 2016 | 51,00 | 56,00 | 53,50 | 24,37 | ST001 | |

Ce formulaire permet la saisie et l'enregistrement au quotidien des mesures effectuées au niveau de chaque station.

Les formulaires de cette application que nous n'avons pas inscrit dans ce manuscrit tels que Station, Rivière, Barème et Ligne le paramétrage ou l'initialisation de la base de données.

4.2. Discussion.

L'application des différents algorithmes inscrits au I.3.2 nous a permis d'obtenir les résultats illustrés au 4.1 à savoir :

- Les données sur les débits relevés depuis 1983 (IRSEN) ;
- Les indices de divergence du débit mensuel ou annuel estimé ;
- Conception et réalisation d'un système d'information de monitoring des débits des rivières.

Il ressort de ces résultats et selon les données reçues de l'Institut de Recherche

en Sciences exactes et Naturelles sur la rivière Djiri que de 1983 à 1997 l'indice moyen de divergence est strictement supérieur à l'unité mais en 2016 et 2017 cet indice est inférieur strictement à l'unité traduisant ainsi une baisse des eaux donc une diminution du débit de la rivière Djiri.

L'outil applicatif développé contribuera fortement à la valorisation des données hydrométriques et à la surveillance de nos écosystèmes hydriques.

De nos jours et sur le plan local, aucun outil similaire n'a été implémenté et l'optique de développement de cet outil est celle de la prévention des éventuelles inondations dans le cas d'augmentation débordante du volume des eaux (augmentation des débits) ou soit une diminution considérable des volumes d'eau entraînant des baisses significatives des débits de rivières et susceptibles d'occasionner la disparition des rivières.

A long terme, l'on procèdera à l'évolution de ce système d'information vers la réalisation d'un portail de surveillance des rivières, fleuves au Congo-Brazzaville donnant lieu en perspective à la création d'un observatoire de surveillance des niveaux d'eau des écosystèmes hydriques.

De par le monde, des outils similaires avec les mêmes fonctionnalités ont été implémentés et expérimentés dans le cadre du suivi des débits des rivières en France, le cas de Hydro3 par exemple dans le projet sur « l'Etude d'opportunité d'une gestion dans Hydro3 » (Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du développement durable et de l'Aménagement du territoire, France-2003,2013).

5. CONCLUSION

Ce travail de recherche a permis de conceptualiser de façon formelle le processus de suivi des débits des écosystèmes hydriques en République du Congo à partir de la description faite par les différents acteurs actifs dans l'opérationnalité de ce processus et de réaliser un outil informatique permettant de construire les indicateurs opérationnels nécessaires à ce suivi.

De par le monde les outils similaires ont été mis en projet de réalisation tel que par exemple Hydro3 (Direction Générale de la Prévention des Risques, 2013) en République Française qui devrait être opérationnel depuis 2014.

Au Congo Brazzaville et à ce jour, aucun outil similaire n'existe, l'outil construit contribuera fortement au stockage et archivage des données dans la base de données et à la réalisation du reporting et

analyse des données hydrométriques permettant la prévention, la détection des situations hydrologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]-LALLEMENT Christian ,2018, Hydrométrie : mesurer les débits d'une rivière, pourquoi et comment ?, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=4307>.
- [2]-eaufrance,2017,Les synthèses, www.eaufrance.fr,pages 1-12
- [3] -Audinet M., Hydrométrie appliquée des cours d'eau. Edition Eyrolles,1995.
- [4] -Perret C., Les moyens de contrôle et de mesure des débits-les capteurs et les méthodes. La Houille Blanche, N°3,2009, p.97-107, <http://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/2009/03/lhb2009033.pdf>.
- [5] -Réméniéras G., Annuaire hydrologiques de la France, année 1949 : l'Hydraulique des stations limnométriques pour la mesure du débit des cours d'eau. Société hydrotechnique de France, http://www.shf-hydro.org/annuaires_hydrologiques-73.html.
- [6] –Gilbert JACCON., TRACE DE LA COURBE DE TARAGE ET CALCUL DES DEBITS, ORSTOM, Brasilia-1986.
- [7] –Direction Générale de la Prévention des Risques., Etude d'opportunité d'une gestion dans Hydro3, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du développement durable et de l'Aménagement du territoire, France-2003,2013.