

# Modélisation prédictive des effets du changement climatique sur les ressources hydriques en Afrique subsaharienne : cas du bassin du Nakanbé au Burkina Faso

Ouédraogo Sayouba Evrad Kirsi

*Le département de Gestion de l'environnement à l'université de Lisala (UNILIS), République Démocratique du Congo*

## RESUME

*Le bassin du Nakanbé a été touché par les effets des sécheresses des années 70. De 1970-1990, les changements climatiques ont occasionné des augmentations des coefficients d'écoulements malgré le déficit pluviométrique et les millions de plants mis en terre. L'évapotranspiration potentielle et l'écoulement se sont accrus de façon linéaire contrairement aux précipitations. L'objectif général de l'article est d'améliorer la compréhension de la réponse hydrologique du bassin du Nakanbé sous changements climatique. La conduite de l'étude a consisté à mener des enquêtes et à exploiter les thèses, les articles, les rapports techniques des agences nationales et internationales. Elle a procédé également à la construction des scénarios face aux paradoxes hydrologiques du bassin du Nakanbé. L'étude révèle que la dégradation environnementale a été la principale cause du premier paradoxe hydrologique et le second paradoxe est l'interaction climat-environnement et cela est confirmé par le Docteur Patrick GBOHOU dans sa thèse intitulé « Modélisation hydrologique de bassins emboîtés du Nakanbé au Burkina Faso dans un contexte de changement global ».*

**Mots-clés :** Changement climatique, paradoxes hydrologiques, coefficient de ruissellement, réponse hydrologique, Variabilités spatiales et temporelles.

Soumis le : 09 juillet, 2025

Publié le : 06 août, 2025

Auteur correspondant : Ouédraogo Sayouba Evrad Kirsi

Adresse électronique : [okirsi04@gmail.com](mailto:okirsi04@gmail.com) [okirsi@yahoo.fr](mailto:okirsi@yahoo.fr)

Ce travail est disponible sous la licence

Creative Commons Attribution 4.0 International.



## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Contexte

Le Burkina Faso, à l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, a souffert d'un long déficit pluviométrique de 1970 à 1990 qui a affecté les ressources en eau et les productions végétales. Les années sèches ont été marquées par une réduction notable de la fréquence des jours pluvieux, leur intensité demeurant presque inchangée.

Cette sécheresse a été à la fois exceptionnellement longue, prononcée et spatialement étendue puisque toute l'Afrique de l'Ouest a été touchée, soit plus de 5 millions de km<sup>2</sup>, même si, le déficit ayant été de plus en plus prononcé vers le Nord, c'est surtout la zone naturellement semi-aride, le Sahel, qui en a été le plus affecté. Depuis le milieu des années 1990, la pluviométrie a retrouvé son niveau moyen de long terme (BALME et al, 2006). La végétation et les sols ont été très dégradés. La durée de la sécheresse a fait que même les espèces adaptées à l'aridité ont souffert, et parfois été asséchées et ont donc péri, ce qui a laissé de grandes plages sans végétation. Les sols ont également été dégradés du fait de la dégradation de la végétation : de grandes étendues de sol nu ont subi un tassement et un encroûtement (ZOUGMORE et al, 1999). Le passage de la période humide à la période sèche a engendré une dégradation des états de surfaces entraînant la diminution de la capacité de rétention en eau des sols qui a conduit à une augmentation des coefficients de ruissellement, d'où les paradoxes hydrologiques. L'augmentation des écoulements malgré la sécheresse des années 1980 a caractérisé le premier paradoxe, tandis qu'au cours du deuxième paradoxe hydrologique sahélien

(1990 à nos jours) il est constaté la continuité de l'accroissement des coefficients d'écoulement malgré le reverdissement lié à la reprise des précipitations en 1990 (GBOHUI, 2021).

## 1.2 Problématique

Dans le contexte des changements climatiques, la gestion des ressources en eau dans l'optique d'un développement durable constitue un défi majeur dans l'espace de gestion du bassin du Nakanbé. Il représente un condensé de toute la problématique de l'eau du pays en ce sens qu'il abrite plus de 50% des retenues d'eau du pays avec une densité de population (69 habitants/Km<sup>2</sup> en 2006) supérieure à la moyenne nationale (51 habitants/Km<sup>2</sup> en 2006) et couvre les trois zones climatiques avec une bonne partie de son bassin dans le Sahel.

Selon GBOHUI, le bassin du Nakanbé a subi une forte dégradation entre 1972 et 1992 : la surface du bassin en végétation naturelle est passée de 52 % à 17 % sous l'influence des activités humaines. Le cycle hydrologique du bassin et ses composantes ont été affectés à la fois par le changement climatique et les activités humaines, modifiant ainsi la distribution spatio-temporelle de l'écoulement. Les problématiques identifiées sont entre autres :

- Les écoulements temporaires en raison du régime non pérenne du cours d'eau et de ses affluents ;
- La faible maîtrise des quantités d'eau souterraine et de surface disponibles dans le bassin du Nakanbé ;

La faible connaissance des volumes des ressources en eau renouvelables (écoulements, infiltration) à l'échelle du bassin du Nakanbé ;

- La faible maîtrise des mécanismes de recharge/décharge des nappes du bassin du Nakanbé ;
- La connaissance fragmentaire et insuffisante de la qualité des ressources en eau souterraine et de surface du bassin du Nakanbé.
- Cette situation appelle à réfléchir de façon approfondie sur les outils de prévision et de gestion de l'eau.

## 1.3 Question principale

Quels sont les facteurs hydrologiques clés qui déterminent les impacts des changements climatiques ?

## 1.4 Questions spécifiques

- Comment les changements climatiques influencent-ils la dynamique de la végétation dans le bassin du Nakanbé ?
- Quels ont été les impacts des changements climatiques passés sur les écoulements du Nakanbé ?
- Comment peut-on prendre en compte de façon précise les effets des changements climatiques pour simuler de façon optimale les écoulements dans un contexte d'inexistence ou d'insuffisance de données de suivi environnemental de qualité ?

## 1.5 Objectif général de l'étude

L'objectif général de l'article est d'améliorer la compréhension de la réponse hydrologique du bassin du Nakanbé sous changements climatique.

## 1.6 Objectifs spécifiques de la recherche

- Analyser la dynamique de la végétation du bassin du Nakanbé ;
- Évaluer les impacts des changements climatiques sur les écoulements du bassin du Nakanbé ;
- Amélioration de la simulation de la réponse hydrologique du bassin du Nakanbé.

## 1.7 Hypothèse générale

Les changements climatiques seraient l'origine de la plupart des dégradations du bassin du Nakanbé

## 1.8 Hypothèses spécifiques

Hypothèse 1 : dans le bassin du Nakanbé, les changements climatiques seraient l'origine d'une dégradation du couvert végétal.

Hypothèse 2 : La dégradation environnementale semble être la principale cause des paradoxes hydrologiques du bassin du Nakanbé

Hypothèse 3 : Il existerait une coévolution climat-environnement et sa prise en compte permettra d'améliorer la simulation des écoulements du bassin du Nakanbé.

# 2. REVUE DE LA LITTÉRATURE

## 2.1 Clarification des concepts

### Modélisation prédictive

La modélisation prédictive, ou Predictive Modeling en anglais, regroupe un ensemble de méthodes permettant de collecter et d'analyser des données définies, de manière à les interpréter pour en déduire des pronostics concernant des tendances futures, des événements à venir ou bien le comportement des consommateurs à l'avenir.

<b>Changements climatiques</b>	Le changement climatique désigne l'ensemble des variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. Il s'agit de tout changement de climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines.
<b>Modèle hydrologique</b>	Un modèle hydrologique est une représentation simplifiée d'un hydrosystème (WMO et UNESCO, 2012).
<b>Variabilités spatiales et temporelles</b>	La variabilité spatiale décrit les changements d'un paramètre ou d'un phénomène d'un endroit à l'autre. La variabilité temporelle quant à elle, décrit les changements de ce même paramètre ou phénomène au fil du temps. En d'autres termes, la variabilité spatiale regarde les différences entre des lieux, tandis que la variabilité temporelle regarde les différences entre des moments.
<b>Coefficient de ruissellement</b>	Le coefficient de ruissellement est un facteur crucial en hydrologie pour estimer le volume d'eau qui ruissellera après une pluie, plutôt que d'être absorbé par le sol ou évaporé. Il représente le rapport entre la hauteur de pluie nette (ruissellement) et la hauteur de pluie brute.
<b>Réponse hydrologique</b>	La réponse hydrologique est la réaction d'un bassin versant à un événement hydrologique, comme la pluie ou la fonte des neiges. Elle se manifeste par le changement dans le débit du cours d'eau, et est influencée par de nombreux facteurs comme la géomorphologie du bassin, le type de sol, la couverture végétale, et les précipitations.
<b>Paradoxes hydrologiques</b>	Les paradoxes hydrologiques, particulièrement dans le Sahel, désignent des situations où l'hydrologie révèle des tendances contraires à ce que l'on observerait en temps normal.
<b>Variabilité hydro-climatique</b>	La variabilité hydro-climatique se réfère à la fluctuation des paramètres hydrologiques et climatiques d'une région par rapport à une moyenne à long terme. Elle comprend la variabilité climatique naturelle et les changements climatiques plus à long terme.

## 2.2 Travaux antérieurs

De nombreux travaux ont été menés à l'échelle internationale sur la modélisation hydrologique. Le bassin du Nakanbé a bénéficié de beaucoup d'études en termes de modélisation (GBOHOU, 2021). Selon GBOHOU, le bassin versant du Nakanbé a subi deux paradoxes hydrologiques, le premier paradoxe a concerné la période 1965-1990 qui a été caractérisée par une augmentation des écoulements malgré la diminution des précipitations, le second paradoxe hydrologique est caractérisé par l'augmentation des coefficients d'écoulement malgré le reverdissement mitigé.

Selon le rapport final du lot Hydrologie de Surface du projet Explore 2070, le changement climatique aura des conséquences sur les activités humaines, notamment sur le fonctionnement des centrales thermiques, mais aussi sur les milieux aquatiques.

L'étude sur l'impact des changements globaux sur les ressources en eau dans la zone sahélienne en Afrique de l'Ouest (FOWE et al, 2013) les projections climatiques issues des sorties des modèles climatiques régionaux (MCRs) convergent quant à l'augmentation de l'évapotranspiration à l'horizon 2025 comparée à la période de référence 1971–2000 avec des taux de variations annuelles allant jusqu'à 7%.

Selon LAMIZANA D. B. M. sur l'impact de la crue fluviale sur les écosystèmes et les conditions de vie des populations riveraines du Nakanbé a révélé que la forte dépendance des populations riveraines vis-à-vis des ressources naturelles du Nakanbé et ont aussi montré l'interaction qui existe entre la crue fluviale et l'existence de ces ressources, particulièrement la végétation des berges des cours d'eau. Il est confirmé par l'étude portant sur la baisse des pluies et augmentation des écoulements au Sahel en l'occurrence l'impact climatique et anthropique sur les écoulements du Nakambé au Burkina Faso de Mahe, G., Diello, P., Paturel, J.E., Barbier, B., Karambiri, H., Dezetter, A., Dieulin, C., Rouche, N. (2010).

## 3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

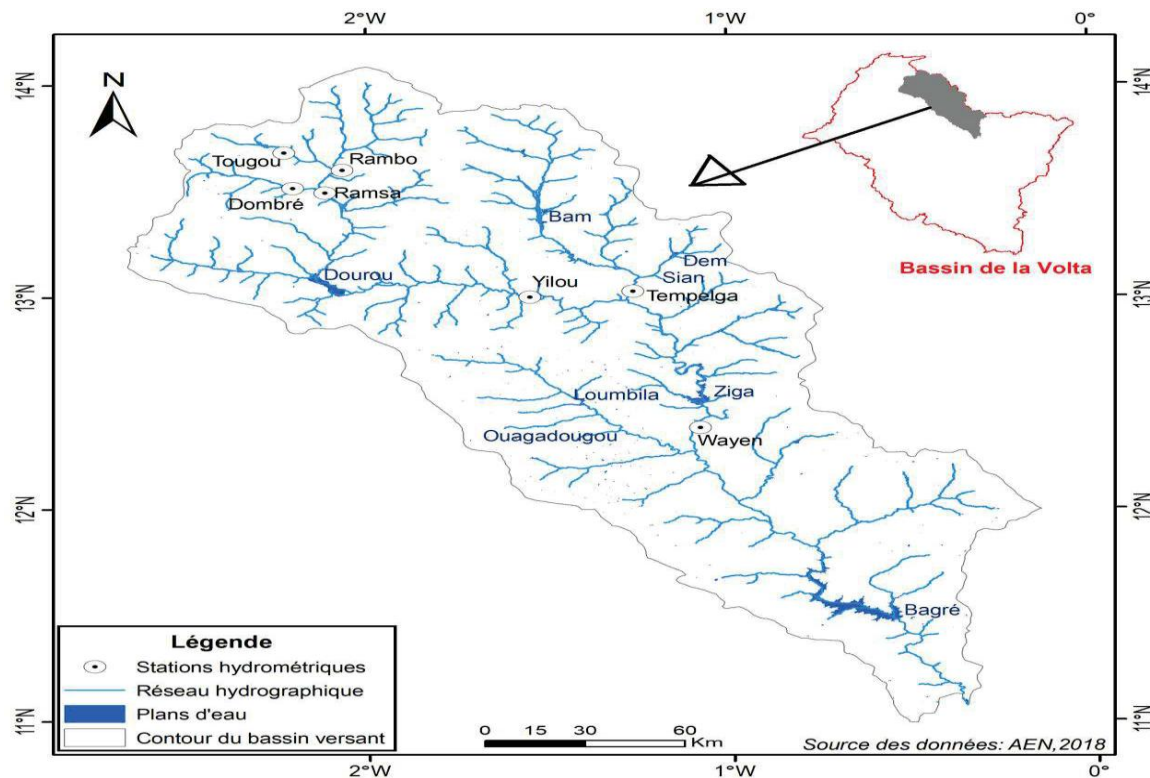
### 3.1 Site de l'étude

Le Nakanbé (Volta blanche) est un important affluent du fleuve international de la Volta dont les ressources en eau sont partagées par 6 pays de l'Afrique de l'Ouest que sont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali et le Togo. Ces pays pour des raisons de nécessité de gestion partagée des ressources en eau du fleuve et des écosystèmes transnationaux ont créé l'Autorité du Bassin de la Volta (SDAGE, 2015).

Le Nakanbé stricto sensu prend sa source dans la zone sahélienne, sous le quatorzième parallèle. Cette source est en réalité un marigot qui ne débite que sous les fortes averses de la saison des pluies. Il coule vers le sud en passant par les stations hydrométriques de Rambo et de Ramsa pour alimenter le réservoir de Dourou (encore appelé Toécé ou Kanazoé) d'une capacité nominale de 75 millions de m<sup>3</sup>. Sa pente longitudinale déjà faible s'adoucit encore et il passe à la station hydrométrique de Yilou.

Le Nakanbé stricto sensu reçoit sur sa rive gauche notamment des petits affluents aux débits intermittents, qui sont les petits cours d'eau de de Tikare. Après avoir reçu d'autres petits affluents, le Nakanbé alimente le réservoir de Ziga d'une capacité nominale de 208 millions de m<sup>3</sup>, destiné à l'approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou et des communes environnantes et passe à la station de Wayen. Après la station hydrométrique de Wayen, il reçoit sur sa droite le Massili, qui alimente les barrages de Loumbila et de Ouagadougou. Sur sa rive gauche après la station de Wayen, le Nakanbé reçoit trois affluents que sont le Bomboré, le Dougoula et le Tcherbo. Sur la rive droite, à l'Ouest, le bassin est très étroit, car le Nakanbé stricto sensu coule à une cinquantaine de kilomètres à peine du Nazinon qui suit un tracé sensiblement parallèle. La pente du Nakanbé s'adoucit à son arrivée au barrage Bagré d'une capacité de 1 700 millions de mètres cubes alimentant une centrale hydroélectrique de 16 MW et un périmètre irrigué de 3 380 ha en 2018.

A la frontière ghanéenne, le Nakanbé reçoit sur sa rive gauche, la Nohao. Sur le territoire Ghanéen, il reçoit le Nazinon puis passe à la station de Pwalagu.



**Graphique 1** Bassin du Nakanbé stricto sensu au Burkina Faso. Source : (SDAGE, 2015).

Les formations géologiques rencontrées dans le bassin du Nakanbé sont variées et peuvent être regroupées en deux grands ensembles géologiques d'âge protérozoïque : l'ensemble plutonique et l'ensemble volcano-sédimentaire. Ce bassin est essentiellement couvert par des formations géologiques peu productives. En effet, la productivité hydraulique des ouvrages de captage de l'eau souterraine dépend de l'importance des failles qui affecte le socle rocheux et des faciès pétrographiques des différentes formations lithologiques traversées (SDACE, 2015). Sur le plan relief et géomorphologie, le bassin du Nakanbé se présente comme une vaste pénéplaine faiblement ondulée. Elle se caractérise par un modelé mou, avec par endroit de petits massifs rocheux.

## 3.2 Méthodologie

### 3.2.1 Recherche documentaire

Lors des travaux de l'article, environ 20 ouvrages scientifiques ont été consultés. La bibliographie consultée est essentiellement constituée d'articles publiés dans des revues scientifiques, de manuscrits de thèse, de mémoires et de rapports techniques. La revue bibliographique a permis de faire un état des lieux des connaissances relatives au sujet de l'étude. En effet, il faut bien maîtriser ce qui a déjà été fait pour pouvoir positionner sa propre recherche de manière à ce qu'elle soit originale et apporte quelque chose de plus. La revue de bibliographie a permis de cerner davantage la problématique du sujet pour l'élaboration d'une méthodologie adaptée.

### 3.2.2 La collecte des données sur l'eau de surface

Il s'est agi d'identifier et de collecter les données hydrométriques et pluviométriques du bassin versant du Nakanbé. Ces données collectées se composent des débits moyens mensuels, des modules des stations en rivières et des volumes moyens mensuels et annuels des retenues suivies sur le plan hydrologique.

### 3.2.3 AquiMod pour l'estimation des eaux souterraine

C'est un modèle conceptuel à paramètres globaux qui prend en entrée des séries temporelles de précipitations et d'évapotranspiration potentielle. Il simule le drainage du sol, le mouvement de l'eau dans la zone non saturée et le flux d'eau souterraine pour produire une série temporelle de niveaux d'eau souterraine. Il peut également générer des hydrogrammes de débits de sortie de la nappe phréatique, qui peuvent être comparés aux mesures de débit de rivière. Il fonctionne avec des approches de modélisation conceptuelle qui sont en accord avec la compréhension générale des processus hydrologiques (Mackay et al, 2014).

### 3.2.4 Cadre conceptuel de Budyko

Prévoir l'évolution des ressources en eau est un défi majeur dans un contexte de changement climatique et de rivières hautement anthropisées. Nous proposons une méthode innovante pour détecter et quantifier les changements dans le débit des rivières, climatiques et non climatiques. Un modèle de surface (LSM) est utilisé pour estimer la réponse « naturelle » de la surface continentale aux fluctuations climatiques. Le cadre conceptuel de Budyko est ensuite utilisé, pour décomposer l'évolution du débit en une réponse directe aux fluctuations climatiques, et une réponse indirecte, due aux changements de l'efficacité évaporative du bassin versant. Comparer l'application de ce cadre aux sorties du LSM et à des débits observés permet de mettre en évidence les zones où la réponse « naturelle » des bassins versants à la variabilité climatique est insuffisante pour expliquer les changements enregistrés. Le cadre de Budyko (Eq. 1) est une approche basée sur le bilan hydrique et est utilisé par plusieurs auteurs à travers le monde pour quantifier les contributions du climat et de l'environnement au changement des écoulements.

$$\frac{AE}{P} = f(\phi, \theta) = f$$

Où AE est l'évapotranspiration réelle ; P la précipitation ;  $\phi$  est le rapport entre l'évapotranspiration potentielle (ETP) et P ;  $\theta$  est un paramètre qui prend en compte l'état de l'environnement du bassin et f est la fonction Budyko.

### 3.2.5 Traitement et analyse des données

A partir des données qualitatives et quantitatives collectées dans des documents, sur le terrain notamment à la Base nationale de données des terres (BNDT), et la base des données de Division du Système d'Information Forestier (DSIF), des données de l'ANAM-BF, l'analyse sur les précipitations de la zone, des températures, des dégradations des sols de la zone d'études, la dynamique du fleuve Nakanbé est faite. En outre une cartographie de la végétation de la zone sur les dix (10) dernières années a été effectuée.

Les données socioéconomiques obtenues seront saisies, interprétées et analysées.

## 4. RESULTATS ET DISCUSSION

### 4.1 Impacts des changements climatiques et environnemental sur la ressource en eau

Le cadre conceptuel de Budyko (approche descendante) sera utilisé pour quantifier les contributions isolées et combinées du climat et de l'environnement aux changements des écoulements du Nakanbé.

Le cadre conceptuel de Budyko, appliqué selon une approche descendante, permet d'analyser l'impact du changement climatique et environnemental sur les ressources en eau des bassins versants. Cette approche considère d'abord les facteurs climatiques (précipitations, potentiel d'évapotranspiration) et leurs interactions, puis évalue l'influence des facteurs environnementaux, notamment sur l'évapotranspiration réelle. L'analyse se base sur la courbe de Budyko, qui relie l'indice d'évaporation à l'indice d'aridité, et permet de distinguer les changements dus au climat de ceux liés à l'environnement.

### 4.2 Variabilité hydro-climatique annuelle de 1965 à 2018

Le bilan hydrique est un outil permettant d'évaluer l'équilibre entre les apports et les pertes d'eau d'un système donné.

La gestion des ressources en eau exige une compréhension approfondie du cycle de l'eau. A l'échelle du bassin versant, le bilan hydrique est l'équation qui gouverne les différentes interactions. Ainsi, une meilleure gestion des ressources en eau passe par la détermination des différents termes du bilan hydrique qui peut s'exprimer comme suit :

$$P = R + ETR + \Delta S$$

**P** : désigne la précipitation reçue par le bassin ; **R** : la lame d'eau écoulée ; **ETR** : l'évapotranspiration réelle et  **$\Delta S$**  : représente la variation du stock d'eau.

Toutes ces valeurs seront exprimées en lame d'eau, c'est-à-dire en mm.

Selon Horton, à long terme, la variation de stock ( $\Delta S$ ) peut être négligée, l'équation du bilan hydrique devient :  $P = R + ETR$ .

Dans cette équation, l'évapotranspiration réelle n'est pas directement mesurable à l'échelle du bassin versant et est très difficile à estimer alors qu'elle constitue le facteur hydrologique clé reliant à grande échelle les modèles atmosphériques aux modèles hydrologiques.

La formulation tenant compte des indices d'aridité et d'évaporation a été pour la première fois développée par le climatologue / géophysicien / géographe soviétique (Russe) Mikhail Ivanovitch Budyko en 1958 (Mianabadi et al., 2020).

Selon Patrick Gbohoui, l'analyse de tendance indique une augmentation significative globale des trois variables étudiées (précipitation, évapotranspiration potentielle et écoulement annuel) entre 1965 et 2018 (p-value < 0,1 et pente de Sen > 0). L'évolution interannuelle de ces trois variables de 1965 à 2018 dans les sous-bassins est similaire à celle du bassin du Nakanbé à Wayen. L'évapotranspiration potentielle et l'écoulement se sont accrus de façon linéaire contrairement aux précipitations. L'évolution des précipitations annuelles montre une diminution de 1965 à 1990 (plus faibles valeurs entre 1981 et 1990), une reprise à partir de 1990 qui s'est intensifiée depuis 2006.

Il en résulte que la tendance croissante soutenue de l'évapotranspiration potentielle au niveau de tous les bassins pourrait être le reflet du réchauffement climatique qui a causé une augmentation significative des températures dans toutes les régions du Burkina Faso.

**Tableau 1 Tendances des variables hydro-climatiques de 1965 à 2018**

Bassins du Nakanbé à	Variables hydro climatiques	Test de Mann-Kendall	
		P_value	Pen de Sen
Wayen	P	0,00	3,63
	ETP	0,01	1,58
	R	0,00	0,44
Yilou	P	0,00	4,45
	ETP	0,02	1,38
Tempelga	P	0,00	3,15
	ETP	0,02	1,54
Ramsa	P	0,00	5,05
	ETP	0,03	1,20
	R	0,04	0,85
Rambo	P	0,00	5,05
	ETP	0,05	1,21
	R	0,03	0,51
Dombre	P	0,00	5,20
	ETP	0,03	1,21
Tougou	P	0,00	5,20
	ETP	0,04	1,22

Source : Thèse Patrick Gbohoui, 2021

P : Précipitation ; ETP : Evapotranspiration réelle ; R : écoulement

Plusieurs études (BADOLO, 2010 ; GBOHUI, 2021 ; PATUREL J.E et al, 2010 ; KARAMBIRI H et al, 2021 ; SDAGE, 2015) ont reconnu que l'évolution des variables hydro-climatiques dans le bassin du Nakanbé à Wayen sur la période 1965 – 2018 a été caractérisée par une augmentation des écoulements malgré la diminution des précipitations annuelles (1965-1990) et par l'accroissement de l'évapotranspiration. L'analyse faite par Patrick GBOHUI dans sa thèse, révèle que la précipitation n'est pas le facteur prépondérant dans la génération des écoulements.

**Tableau 2 Valeurs moyennes des variables hydro-climatiques par période dans le bassin du Nakanbé**

Variables	Période 1965-1977	Période 1978-1994	Période 1995-2014
R	9,9	18,9	21,5/28,7
P	636,3	584,1	686,9
ETP	2016,3	2062,3	2078,8
CE	0,015	0,032	0,031/0,042

Source : Thèse Patrick Gbohoui, 2021

Indique les données reconstituées après la mise eau des barrages de Dourou (1995) et Ziga (2000) ; R, P, ETP et CE sont respectivement l'écoulement, la pluie, l'évapotranspiration potentielle et le coefficient d'écoulement moyen annuels.

### 4.3 Les écoulements

**Tableau 3 Synthèse des écoulements**

N°	Station	Ecoulement
1	Rambo	Le volume d'écoulement moyen interannuel des eaux à la station de Rambo, sur la période 1983-2012, est de 56,765 millions de m3 tandis que le débit moyen interannuel est de 1,8 m3/s.
2	Wayen	Le volume d'écoulement moyen interannuel des eaux à la station Wayen, sur la période 1955-2012, est de 460,43 millions de m3 tandis que le débit moyen interannuel est de 14,6 m3/s.
3	Bittou	Le volume d'écoulement moyen interannuel des écoulements des eaux à la station Bittou, pour la période 1975-2012, est de 358 millions de m3 tandis que le débit moyen interannuel est de 11,4 m3/s.
4	Ziou	Le volume d'écoulement moyen interannuel des écoulements des eaux à la station du Ziou sur le Nazinon, pour la période 1965-2012, est de 449 millions de m3 tandis que le débit moyen interannuel est de 14,20m3/s.
5	Kounou	Le volume d'écoulement moyen interannuel des écoulements des eaux à la station de Kounou sur le Sissili, pour la période 1965-2012, est de 2,81 millions de m3 tandis que le débit moyen interannuel est de 2,81m3/s.

Source : DEIE/DGRE (Annuaire hydrologique 2014)

### 4.4 Ecosystèmes forestiers

Les écosystèmes forestiers sont des systèmes complexes où les plantes, les animaux et les micro-organismes interagissent avec leur environnement physique (sol, eau, air). Ils comprennent des éléments biotiques (êtres vivants) et abiotiques (milieu physique), et leurs interactions créent un réseau dynamique où chaque composante influence les autres.

### 4.5 Aires classées du bassin du Nakanbé

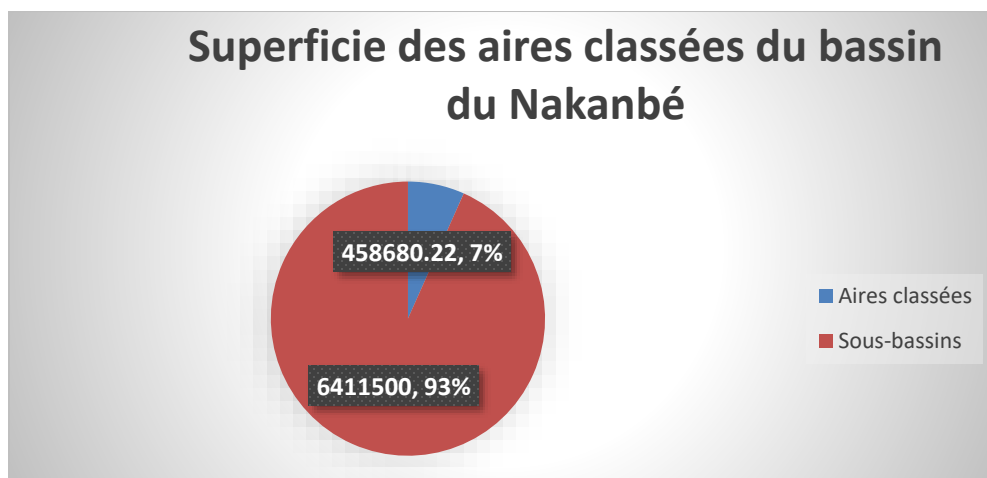
**Tableau 4 Les aires du Bassin du Nakanbé**

Aires classées	Régions	Superficie (ha)
Forêt classée du Barrage de Ouagadougou	Centre	260
Forêt classée de Gonsé	Centre	6724,47
Forêt classée de Ouilingoré	Centre - Est	6 850
Forêt classée de Sitenga	Centre - Est	840
Forêt classée de Yakala	Centre - Est	1 600
Forêt classée de Nakabé	Centre - Nord	2000
Forêt classée de Yabo	Centre - Nord	1 000

Forêt classée de Dem	Centre - Nord	350
Forêt classée de la Sissili	Centre - Ouest	32 700
Forêt classée du Nazinon	Centre - Ouest	35 000
Forêt classée de Nakambé (ex Volta blanche)	Centre - Sud	98 000
Parc Natinal Kaboré Tambi (PNKT)	Centre - Sud	155 500
Forêt classée du Pic Nahouri	Centre - Sud	1 039
Ranch de gibier de Nazinga	Centre - Sud	91 300
Forêt classée de Niouma	Nord	735
Forêt classée de Twessé	Nord	490
Forêt classée de Wayen	Plateau Central	12 000
Forêt classée de Bissiga	Plateau Central	3 292
Forêt classée de Ziga	Plateau Central	9 000
<b>TOTAL</b>		<b>458680,22</b>

Source : DGEF 2024

Les aires classées sont des entités forestières (forêts classées, parcs, réserves de faune) ayant fait l'objet d'un classement au nom de l'Etat. Tout au long du Nakanbé dix-neuf (19) forêts classées protègent le bassin. Elles couvrent une superficie totale de 458680,22 hectares soit 7,15% de la superficie du bassin du Nakanbé.



Graphique 2 Proportion des aires classées du Nakanbé

Tableau 5 Données sur les pressions anthropiques dans les forêts classées du bassin du Nakanbé

Pressions	Taux
Fréquence des indices de coupes frauduleuses	83%
Fréquence des sites de carbonisation	39%
Pratique de la pâture	89%
Indices de braconnage	82%
Nbre d'habitations	30%
Nbre ecoles	21%
Collèges	1%



Marchés	5%
Eglises	5%
Mosquées	3%
Forages	12%

Source : DGEF 2024

#### 4.5.1 Zones humides

Le bassin du Nakanbé compte de nombreuses zones humides parmi lesquelles 3 sont d'importance internationale (sites Ramsar). Ces sites exigent en particulier une gestion conforme aux règles de gestion des sites reconnus par la communauté internationale. Elles sont un patrimoine national important. Elles sont demandeuses d'eau et assurent d'importantes fonctions telles que l'atténuation des inondations, le refuge des animaux, le pâturage, la pêche, les produits forestiers, la conservation de la biodiversité, etc....

Ces zones humides sont essentielles pour la biodiversité et jouent un rôle important dans le cycle de l'eau. On peut citer le Lac Dem d'une superficie de 1 354ha, le Lac de Bagré 21 611ha situé dans la région du Centre Est et le Lac Bam de 2 693ha au Centre Nord.

- Répercussions des changements climatiques sur les ressources en eau

Pour contribuer à le relever le défi de la résilience de l'agriculture aux changements climatiques, le Centre africain de recherche scientifique et de formation a mis au point des outils pour l'amélioration de la pertinence, de l'efficacité, de la performance et de l'impact des processus de résilience aux risques de catastrophes et changements climatiques. Ces outils utilisent des opérateurs et algorithmes basés sur le cadre théorique Badolien SahelClimProspect. C'est un formalisme mathématique qui utilise un vecteur à dimension multiple. Pour le cas du bassin du Nakanbé, Dr M. BADOLO est parvenu à la proposition de trois scénarios :

- Premier scénario (S1) : l'appauvrissement
- Second scénario (S2) : la précarité
- Troisième scénario (S3) : l'abondance

Le scénario (S1) correspond à une exacerbation rapide et profonde des tendances à la baisse des précipitations conduisant à un appauvrissement en ressources en eau du bassin de Nakanbé. Il s'établit un écart permanent et croissant entre les disponibilités et les besoins en eau. Les risques liés à ce scénario (S1) sont multiples :

- Des reculs catastrophiques dans les secteurs de l'agriculture et de la sécurité alimentaire, de la pêche, de la production de l'hydroélectricité, de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement et du développement industriel ;
- Des déplacements des populations vers les points d'eau disponibles et des tensions politiques et sociales liées au partage et à la gestion des ressources en eau ;
- La perte des acquis en matière de développement social et économique et le développement d'une dépendance à l'aide extérieure.

Le scénario (S2) correspond à une évolution de la pluviométrie marquée par une persistance ou une détérioration des tendances à la baisse et une forte variabilité interannuelle. Dans ce cas de figure, l'augmentation continue des besoins en eau pour les différents usages installe le bassin dans une situation de déséquilibres récurrents entre l'offre et la demande.

Lorsqu'ils surviennent, ces déséquilibres engendrent des tensions sociales et politiques. Les risques majeurs liés à ce scénario (S2) sont des fluctuations plus importantes des productions agricoles, des contraintes plus grandes pour la préservation des écosystèmes et de la biodiversité, pour la réalisation des conditions d'une sécurité alimentaire durable, pour la réduction de la pauvreté, notamment en milieu rural, et pour la construction d'une intégration sous régionale.

Le scénario (S3) est le scénario souhaité. Il renvoie à un bassin où la pluviométrie est redevenue abondante, induisant un recul significatif de la désertification. Dans ce cas de figure, l'enjeu est la valorisation des ressources.

Les données portant sur le réseau hydrographique, le cadre climatique général et les écosystèmes forestiers révèlent que la dégradation environnementale a été la principale cause du premier paradoxe hydrologique et le second paradoxe est l'interaction climat-environnement et cela est confirmé par le Docteur Patrick GBOHOU dans sa thèse intitulée « Modélisation hydrologique de bassins emboîtés du Nakanbé au Burkina Faso dans un contexte de changement global ».

Il en résulte qu'il faut mettre en cohérence une stratégie de reforestation et de consolidation viable des espaces communaux, consolider et protéger les écosystèmes forestiers et aquatiques pour assurer un meilleur développement de la faune sauvage terrestre, aquatique et aviaire et lutter efficacement et durablement contre les plantes envahissantes nuisibles.

Pour relever les défis de l'expansion anarchique des champs de culture pluviale et la forte régression de la savane arborée et des mosaïques de culture, il est impérieux de développer des stratégies d'accompagnement des agriculteurs au moyen de l'eau afin de les stabiliser sur leurs champs de culture pluviale et de les inciter à passer progressivement d'une pratique culturale extensive à une pratique intensive. Dans cette dynamique il faut inciter la population à intégrer dans leurs activités l'écocitoyenneté.

Ces actions auront l'avantage de permettre aux producteurs d'être résilients et d'accroître leurs productions.

## 5. CONCLUSION

La modélisation hydrologique dans le contexte actuel de changement global est un défi, surtout dans des régions caractérisées par un manque de données de qualité comme le Sahel. L'objectif général de l'étude était de parvenir à une amélioration de la compréhension de la réponse hydrologique du bassin du Nakanbé sous changements climatiques. Le bassin du Nakanbé couvre une superficie de 60 088 Km<sup>2</sup>, un condensé de toute la problématique en eau du Burkina Faso, a été utilisé comme cadre physique de l'étude. Cette étude a consisté à l'analyse des données existantes et des rencontres d'échanges avec des experts des domaines en lien avec la thématique abordée. Les résultats obtenus confirment que dans le bassin du Nakanbé, les changements climatiques ont conduit à un accroissement des coefficients de ruissellement, la dégradation environnementale est l'une des principales causes des paradoxes hydrologiques du bassin du Nakanbé et il existe une coévolution climat-environnement et sa prise en compte permettra d'améliorer la simulation des écoulements du bassin du Nakanbé.

## CONTRIBUTION DE LA RECHERCHE

Cette étude a permis de relancer les débats sur la modélisation prédictive des effets du changement climatique sur les ressources hydriques et permettra aux autres futurs chercheurs qui mèneront leurs études ayant trait à celle – ci de disposer d'une référence dans ce domaine.

## REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier particulièrement Pr RONDON, notre Assistant de thèse, pour l'appui à l'élaboration de cet article et Pr Jean OUEDRAOGO, pour ses conseils précieux. Nous remercions les structures telles que l'ANAM, l'ONEDD et la DSIF.

## CONFLITS D'INTÉRÊTS

Aucun conflit n'est à signaler dans la présente étude.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agence de l'Eau du Nakanbé, 2015. Etat-des-lieux-actualisé-des-RE-du-Nakanbé- \_Tome-1-SDAGE, VERSION VALIDÉE PAR LE COMITÉ DE BASSIN en novembre 2015.
- BAAHMED D., 2015. Thèse de doctorat en sciences en Hydraulique. Bilan hydrique et évaluation des ressources en eau superficielle du bassin de la Macta. 195p.
- BADOLO M, 2010. Enjeux potentiels des changements Climatiques pour le secteur des ressources en eau au Sahel. Bulletin mensuel d'information sur les changements climatiques Changements de l'institut d'applications et de vulgarisation en sciences N°16, Janvier 2010
- Bargaoui, Z., Dakhlaoui, H. & Houcine, A. (2008). Modelisation pluie-debit et classification hydroclimatique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 21(2), 233–245. <https://doi.org/10.7202/018468ar>
- BENEDETTI B., 2007. Estimation dynamique d'un indice d'humidité sur le bassin de la rivière la grande avec l'aide de données de micro-ondes passives, 184p.
- CARINE PONCELET. Du bassin au paramètre : jusqu'où peut-on régionaliser un modèle hydrologique conceptuel ? Hydrologie. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2016. Français. NNT : 2016PA066550. Tel-01529196
- DIELLO, P., PATUREL, J. E., MAHE, G., KARAMBIRI, H. & SERVAT, E. (2006) Méthodologie et application d'une démarche de modélisation hydrologique prenant en compte l'évolution des états de surface en milieu sahélien d'Afrique de l'Ouest. In: Climate Variability and Change – Hydrological Impacts (ed. by S. Demuth, A. Gustard, E. Planos, F. Scatena & E. Servat) (Proc. 5th FRIEND World Conference, La Havana, Cuba), 691–697. IAHS Publ. 308. IAHS Press, Wallingford, UK.
- IBIZA D., Maitre de Recherches à l'ORSTOM.Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., ool. XX, no 1, 1983, un modèle simplifié de calcul des écoulements mensuels par bilan hydrique. 43p.
- FOWE T, PATUREL JE, KARAMBIRI H, YACOUBA H, DIELO P & MAHE G. 2013. Impacts des changements globaux sur les ressources en eau dans la zone sahélienne en Afrique de l'Ouest. Climate and Land Surface Changes in Hydrology. Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 359, 2013).
- FOWE T, KARAMBIRI H, IBRAHIM B. YACOUBA H, 2011. Scénarisation de la dynamique de l'occupation des sols sur le bassin. 6<sup>ème</sup> Edition des journées scientifiques du 2ie.
- GBOHOU Y. P. 2021. Modélisation hydrologique de bassins emboîtés du Nakanbe au Burkina Faso dans un contexte de changement global, Thèse de doctorat, Unité de recherche HydroSciences Montpellier (HSM) en partenariat international avec 2iE, BURKINA FASO
- KARAMBIRI H, GBOHOU Y. P., PATUREL J.E., FOWE T., YACOUBA H., 2021. Impacts des changements climatique et environnemental sur la réponse hydrologique du bassin du Nakanbé à Wayen (Burkina Faso) à travers le cadre de budyko