MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT
****
SECRETARIAT GENERAL
****
PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET D'ASSAINISSEMENT

BURKINA FASO
****
Unité – Progrès – Justice

RAPPORT

FINAL

ETUDE D'OPTIMISATION DES RESEAUX HYDROMETRIQUES ET DE QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU BURKINA FASO

Version Finale

AVRIL 2022

GROUPEMENT AHT – WRC – AQUATIS

AHT SARL African Hydro Tech Changing tomorrow today

Water Resources Consultant Trusting Excellence

AQUATIS consultance Dompter l'énergie de l'eau !

BURKINA FASO - MINISTERE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT - MEA

PROGRAMME D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET D'ASSAINISSEMENT - PAEA

ETUDE D'OPTIMISATION DES RESEAUX HYDROMETRIQUES ET DE QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU **BURKINA FASO**

RAPPORT FINAL

Avril 2022

NO DE PROJET	DOCUMENT NO.
A14302	42

VERSION	DATE SOUMISSION	DESCRIPTION	ÉLABORE	DATE VALIDATION	APPROUVE
FINALE	25 AVRIL 2022	Étude d'optimisation des réseaux hydrométriques et de qualité des eaux de surface du Burkina Faso	COULIBALY Paulin MIHIN Jean Pierre SILGA Matthias	06 AVRIL 2022	NA

AHT – WRC – AQUATIS

TABLE DES MATIERES

Table des matières

1. INTRODUCTION 11
2. HYPOTHESES DE BASE DE L'ETUDE 13
3. CONTEXTE DE LA MISSION 14
   3.1. Contexte Général 14
   3.2 Contexte institutionnel 15
   3.3 Contexte climatique 16
   3.4 Contexte hydrologique 18
   3.5 Contexte hydrochimique 23
4. JUSTIFICATION DE LA MISSION 33
5. APPROCHE METHODOLOGIQUE 38
   5.1. Définition et terminologie 38
   5.2. Vue d'ensemble de la méthodologie 39
   5.3. Synthèse des informations retenues de l'étude diagnostique pour l'optimisation des réseaux 40
      5.3.1 Synthèse géospatiale des données sur les usages des ressources en eau de surface 46
      5.3.2 Caractéristiques hydrologiques des bassins versants 51
   5.4. Traitement des données utilisées 53
      5.4.1 Données hydrologiques 55
      5.4.2 Données météorologiques et climatiques 56
      5.4.3 Données sur les projections climatiques 61
      5.4.4 Données des caractéristiques physiques des bassins 66
      5.4.5 Données de qualité des eaux de surface 67
   5.5. Méthode d'analyse préliminaire des réseaux 69
      5.5.1 Séries de débits utilisées 69
      5.5.2 Théorie de l'entropie et technique de «transinformation» 69
   5.6 Conception des réseaux 73
   5.7 Critères d'optimisation des réseaux 81
   5.8 Algorithme d'optimisation multicritère 82
   5.9 Scenarios d'optimisation considérés 87
   5.10 Procédure de choix des réseaux optimisés 93
6. RESULTATS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RESEAUX 95
7. RESULTATS CONSIDERES DANS LE CHOIX DES RESEAUX OPTIMISES 99

7.1. Solutions du Front de Pareto ou Réseaux Optimaux 99
7.2. Cartes de Probabilité DEMO 100
7.3. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé de la Comoé 102
7.4. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométrique optimisé de la Comoé 103
7.5. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Mouhoun 104
7.6. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Mouhoun 105
7.7. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Nakanbé 106
7.8. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Nakanbé 107
7.9. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Niger 108
7.10. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Niger 109
7.11. Synthèse des travaux sur le choix des réseaux optimaux 110
8. RESEAUX HYDROMETRIQUES OPTIMAUX IDENTIFIES PAR BVN 113
8.1. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN de la Comoé 113
8.2. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN du Mouhoun 115
8.3. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN du Nakanbé 117
8.4. Réseaux hydrométriques optimisésdu BVN du Niger 119
9. RESEAU HYDROMETRIQUE DE BASE OPTIMISE 121
10. RESEAU HYDROMETRIQUE NATIONAL OPTIMISE 122
11. RESEAU DE BASE DE QUALITE DES EAUX OPTIMISE 125
12. RESEAU NATIONAL DE QUALITE DES EAUX OPTIMISE 127
13. COUTS ESTIMATIFS DE L'OPERATIONALISATION ET DU SUIVI DES RESEAUX OPTIMISES 136
13.1 Equipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés 136
13.2 Coûts estimatifs de l'opérationnalisation et du suivi des réseaux optimisés 137
14. CHOIX DES EQUIPEMENTS RECOMMANDÉS DANS LE DAO 139
14.1. Équipements hydrométriques 139
14.1.1. Équipements hydrométriques utilisés au Burkina Faso ou dans la sous-région 139
14.1.2. Propositions retenues pour les équipements hydrométriques 147
14.2. Équipements supplémentaires pour les mesures de la qualité de l'eau 150
15. MECANISMES DE SUIVI DES RESEAUX OPTIMISES 153
15.1 Mécanisme de suivi du réseau hydrométrique 153
15.1.1. Généralités 153
15.1.2. Risque de dégradation du réseau hydrométrique à la phase d'exploitation 153
15.1.3. Rôle de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) et des Directions Régionales de l'Eau et de l'Assainissement (DREA) 154
15.1.4. Principes généraux de la surveillance 154

15.1.5. Procédures de saisie, transmission et gestion des données 154
15.1.6. Procédures d'entretiens et règles à suivre 157
15.2 Mécanisme de suivi du réseau de la qualité des eaux et procédures de maintenance des équipements 158
15.2.1 Mécanisme de suivi des réseaux optimisés de la qualité des eaux 158
15.2.2 Procédure de maintenance des équipements 168
16. RENFORCEMENT DES CAPACITES 169
16.1 Renforcements des capacités des agents en charge du suivi hydrométrique 169
Importance de la formation des hydrologues de terrain 170
16.2 Modules de formation proposés 171
Contenu des modules de formation 171
16.3 Proposition de renforcement des capacités pour le suivi des réseaux optimisés de la qualité des eaux de surface 174
Renforcement des capacités institutionnelles 174
Renforcement des capacités en moyens matériels 175
17. PLAN D'ACTION 177
18. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 187
19. REFERENCES 190
20. ANNEXES 193

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Bassins internationaux du Burkina Faso 18
Figure 2: Bassins versants nationaux du Burkina Faso 19
Figure 3 :Carte du potentiel Hydrogène (pH) des eaux de surface du bassin du Nakanbé..... 25
Figure 4 :Carte de conductivité électrique des eaux de surface du bassin du Nakanbé..... 25
Figure 5 :Carte de turbidité des eaux de surface du bassin du Nakanbé..... 25
Figure 6 : Carte du pH des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun 27
Figure 7 : Carte de conductivité des eaux de surface du Mouhoun..... 28
Figure 8 : Carte de la turbidité des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun..... 29
Figure 9 : Réseau hydrométrique national du Burkina Faso (en date de février 2021)..... 34
Figure 10 : Distribution spatiale de l'état des stations du réseau hydrométrique (février 2021)..... 35
Figure 11: Réseau actuel de suivi de la qualité des eaux de surface au Burkina Faso (février 2021)..... 37
Figure 12 : Principales étapes de la méthodologie..... 39
Figure 13 : Cartes des stations hydrométriques visitées ou non lors des missions de terrain (Janv. 2021) 41
Figure 14 : Carte du réseau hydrographique avec ordre des rivières par BVN 42
Figure 15 :Carte des stations à débits retenues pour l'optimisation du réseau (février 2021)..... 43
Figure 16 : Carte des stations météorologiques retenues en lien avec le réseau hydrométrique (février 2021) 44
Figure 17 : Carte des stations de qualité des eaux retenues (en date de février 2021) 45
Figure 18 : Retenues d'eau du bassin national du Mouhoun..... 47
Figure 19 : Usages du bassin national du Mouhoun..... 47
Figure 20 : Retenues d'eau du bassin national du Nakanbé 48
Figure 21 : Usages du bassin national du Nakanbé 48
Figure 22 : Retenues d'eau du bassin national du Niger 49
Figure 23 : Usages du bassin national du Niger 49
Figure 24 : Retenues d'eau du bassin national de la Comoé 49
Figure 25 : Usages du bassin national de la Comoé 49
Figure 26 : Sites d'orpaillage avec autorisation..... 50
Figure 27 : Indices ombrothermiques historiques du BVN de la Comoé..... 57
Figure 28 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Mouhoun..... 58
Figure 29 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Nakanbé..... 59
Figure 30 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Niger..... 60
Figure 31 : Comparaison des indices ombrothermiques (BGI) des modèles (RCM) vs les observations (période 1988-2015)..... 63
Figure 32 : Indices ombrothermiques futurs (2100) vs. historiques (1988): Comoé et Mouhoun 64
Figure 33 : Indices ombrothermiques futurs (2100) vs. historiques (1988): Nakanbéet Niger..... 65
Figure 34 : Résultats de l'analyse par composantes principales des paramètres physiques. 67
Figure 35 : - Diagramme de Venn illustrant: (a) entropie marginale, (b) entropie conjointe; (c) corrélation totale (en terme de duplication de l'information), et (d) entropie conditionnelle (de A étant donné B et C) d'un réseau composé de 3 stations. 71
Figure 36 : Illustration de l'approche comparative d'identification des techniques de régionalisation robustes et adéquates..... 74
Figure 37 : Exemples de résultats de régionalisation des attributs physiques (1970-2018) et des précipitations (1960-2015)..... 78

Figure 38 : Exemples de résultats de régionalisation des températures de l'air (1960-2015) et de l'eau de surface (2005-2019) 79
Figure 39 : Exemples de résultats de régionalisation des températures maximales et minimales (1960-2015) 80
Figure 40 : Illustration simplifiée de l'approche DEMO 83
Figure 41 : Ordre des rivières du bassin versant du Mouhoun 84
Figure 42 : Exemple de sites potentiels évalués dans le bassin versant du Mouhoun 84
Figure 43 : Illustration du couplage réseaux hydrométriques optimisés et stations de qualité des eaux.. 91
Figure 44 : Illustration de l'approche d'optimisation du réseau de qualité des eaux de surface 92
Figure 45 : Carte d'interpolation spatiale des indices de Transinformation basés sur les débits historiques utilisables (option 1) dans l'analyse entropique. 96
Figure 46 : Carte d'interpolation spatiale des indices de Transinformation basés sur les débits synthétiques (option 2) dans l'analyse entropique. 98
Figure 47 : Exemple de Front de Pareto (bassin de la Comoé) 99
Figure 48 : Example de réseau de base optimal de la Comoé 100
Figure 49 : Example de carte de probabilité DEMO du réseau national du Mouhoun. 101
Figure 50 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN de la Comoé 102
Figure 51 :Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN de la Comoé 103
Figure 52 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Mouhoun 104
Figure 53 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Mouhoun 105
Figure 54 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Nakanbé 106
Figure 55 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Nakanbé 107
Figure 56 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Niger 108
Figure 57 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Niger 109
Figure 58 : Réseau hydrométrique de base optimisé de la Comoé 113
Figure 59 : Réseau hydrométrique national optimisé de la Comoé 114
Figure 60 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Mouhoun 115
Figure 61 : Réseau hydrométrique national optimisé du Mouhoun 116
Figure 62 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Nakanbé 117
Figure 63 : Réseau hydrométrique national optimisé du Nakanbé 118
Figure 64 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Niger 119
Figure 65 : Réseau hydrométrique national optimisé du Niger 120
Figure 66 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Burkina Faso 121
Figure 67 : Réseau hydrométrique national optimisé sur la base des stations à débits. 123
Figure 68 : Réseau hydrométrique national optimisé du Burkina Faso. 124
Figure 69 : Réseau de base de qualité des eaux optimisé du Burkina Faso. 126
Figure 70 : Réseau national de qualité des eaux optimisé associé aux stations sur rivières 127
Figure 71 : Réseau national de qualité des eaux optimisé du Burkina Faso 128
Figure 72- Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et la spatialisation de la conductivité des eaux de surface. 133
Figure 73 : Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et la spatialisation du pH des eaux de surface. 134
Figure 74 : Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et les aménagements hydro-agricoles autour des retenues d'eau de surface. 135
Figure 75 : Répartition des coûts estimatifs de mise en œuvre et de suivi des réseaux optimisés 138

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1**:** Récapitulatif des ressources en eau des différents bassins versants nationaux 22
Tableau 2 : Détails du suivi qualité aux stations du bassin du Nakanbé 26
Tableau 3: Details du suivi qualité aux stations du bassin du Mouhoun 30
Tableau 4 : Details des stations de suivi de la qualité des eaux de surface du bassin de la Comoé 31
Tableau 5 : Détails du suivi aux stations du bassin du Niger 32
Tableau 6 : Aperçu de l'approche méthodologique de synthèse des informations 40
Tableau 7 : Retenues d'eau et types d'usages sur les bassins nationaux 46
Tableau 8 : Liste descriptive des signatures hydrologiques analysées 51
Tableau 9 : Résultats de l'analyse statistique des signatures : Comoé et Mouhoun 52
Tableau 10 : Résultats de l'analyse statistique des signatures : Nakanbé et Niger 53
Tableau 11 : Types de données collectées et techniques de traitement 54
Tableau 12 : Statistiques des lacunes dans les séries débits 55
Tableau 13: Modèles climatiques retenus 62
Tableau 14: Liste des paramètres physiques considérés 66
Tableau 15 : Coût annuel estimé pour le suivi des réseaux actuels 68
Tableau 16 : Avantages, limites et justification des techniques de régionalisation retenues pour l'étude comparative. 75
Tableau 17 : Méthodes de régionalisation retenues 77
Tableau 18 : Critères d'optimisation utilisés 81
Tableau 19 : Différents scenarios considérés dans l'optimisation 88
Tableau 20 : Procédure de choix des réseaux optimisés 94
Tableau 21 : Synthèse des travaux des techniciens du MEA sur le choix des réseaux optimaux (MEA, 2021) 110
Tableau 22: Nombre de stations des réseaux hydrométriques optimisés 125
Tableau 23 : Liste des équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés 136
Tableau 24 : Coûts estimatifs de mise en œuvre et du suivi des réseaux optimisés 137
Tableau 25 : Comparaison des équipements expérimentés au Burkina Faso et dans la sous-région 141
Tableau 26 : Les équipements des besoins en réhabilitation 149
Tableau 27 : Liste des paramètres communs à analyser 162
Tableau 28: Liste des paramètres complémentaires à analyser selon la zone 165
Tableau 29: Liste d'autres paramètres complémentaires en cas de nécessité 166
Tableau 30 : Activités du plan d'action 178
Tableau 31 : Coûts estimatifs de mise en œuvre et du suivi des stations accessibles des réseaux optimisés 182
Tableau 32 : Plan d'action opérationnel 183

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ABCBT	:	Autorité du Bassin de la Comoé-Bia-Tanoé
ABN	:	Autorité du Bassin du Niger
ABV	:	Autorité du Bassin de la Volta
ADCP	:	Acoustic Doppler Current Profiler
AE	:	Agence de l'eau
AEC	:	Agence de l'Eau des Cascades
AEG	:	Agence de l'Eau du Gourma
AEL	:	Agence de l'Eau du Liptako
AEM	:	Agence de l'Eau du Mouhoun
AEN	:	Agence de l'Eau du Nakanbé
AEPA	:	Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement
AEP	:	Approvisionnement en Eau Potable
AGRHYMET	:	Centre Régional de formation en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle
AIEA	:	Agence Internationale de l'Energie Atomique
ANAM	:	Agence Nationale de la Météorologie
AOF	:	Attributions, Organisation et Fonctionnement
AUE	:	Association des Usagers de l'Eau
BCEOM	:	Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer
BD-SNIEau	:	Base de Données du Système National d'Information sur l'Eau
BM	:	Banque Mondiale
BRGM	:	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BUMIGEB	:	Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina
BUNASOL	:	Bureau National des Sols
BVN	:	Bassin Versant National
CFE	:	Contribution Financière en matière d'Eau
CGCT	:	Code Général des Collectivités Territoriales
CIEH	:	Comité Inter-africain d'Etudes Hydrauliques
CLE	:	Comité Local de l'Eau
CPCR-Eau	:	Cadre Permanent de Concertation sur la Recherche dans le Domaine de l'Eau et de l'assainissement
CNDIEau	:	Centre National de la Documentation et de l'Information sur l'Eau
CNIEau	:	Centre National d'Information sur l'Eau
CR	:	Coefficient de ruissellement
CRDIEau	:	Centre Régional de la Documentation et de l'Information sur l'Eau
CRIEau	:	Centre Régional d'Information sur l'Eau
CSLP	:	Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté
DAO	:	Dossier d'Appel d'Offre
DAD	:	Direction des Archives et de la Documentation
DCC	:	Densité des courbes de concentration
DEMO	:	Dual Entropy Multi-objective Optimisation
DEIE	:	Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau

DGEP	:	Direction Générale de l'Eau Potable
DGIH	:	Direction Générale des Infrastructures Hydrauliques
DGIRH	:	Direction Générale de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques
DGRE	:	Direction Générale des Ressources en Eau
DHER	:	Direction de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural
DIRH	:	Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques
DR	:	Domaines des Résultats
DRE	:	Direction Régionale de l'Eau
DREA	:	Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement
DSBH	:	Direction du Suivi des Bassins Hydrographiques
EEA	:	Environnement, Eau et Assainissement
EIER	:	Ecole Inter-Etats des Ingénieurs de l'Equipement Rural
ER	:	Elasticité du ruissellement
ETSHER	:	Ecole des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural
FIT	:	Front Inter-Tropical
GIRE	:	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
IEB	:	Indice d'écoulement de base
INERA	:	Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INO	:	Inventaire National des Ouvrages
IOTA	:	Installations, Ouvrages, Travaux et Activités
LAQE	:	Laboratoire d'Analyse de Qualité de l'Environnement
LATES	:	Laboratoire de Toxicologie, Environnement et Santé
LIMS	:	Système de gestion de l'information du laboratoire
LIPDHD	:	Lettre d'Intention de Politique de Développement Humain Durable
LNSP	:	Laboratoire National de Santé Publique
LPCE	:	Laboratoire de Physique et de Chimie de l'environnement
MAHRH	:	Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MARHASA	:	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité alimentaire
MEA	:	Ministère de l'Eau et de l'Assainissement
MEAHA	:	Ministère de l'Eau, des Aménagements Hydrauliques et de l'Assainissement
MINEFID	:	Ministère de l'économie, des finances et du développement
ODD	:	Objectifs de développement durable
OMM	:	Organisation Météorologique Mondiale
OMS	:	Organisation Mondiale de la Santé
ONEA	:	Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ONG	:	Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM	:	Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
OSC	:	Organisation de la Société Civile
OSS	:	Observatoire du Sahara et du Sahel
PAGIRE	:	Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PCDR	:	Pente de la courbe de durée du ruissellement
PEM	:	Point d'Eau Moderne
PDRH	:	Plan de Développement des Ressources Humaines
PMH	:	Pompe à Motricité Humaine

PN-AEP	:	Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable
PN-AEPA	:	Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et d'Assainissement
PN-AEUE	:	Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excréta
PN-AH	:	Programme National des Aménagements Hydrauliques
PN-GIRE	:	Programme National pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PNDES	:	Plan National de Développement Économique et Social
PTF	:	Partenaires Techniques et Financiers
RCM	:	Modèle Climatique Régional
SAGE	:	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAGE	:	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SOGREAH	:	Société Grenobloise d'Etudes et d'Aménagements Hydrauliques
SONABEL	:	Société Nationale d'Electricité du Burkina
SOSUCO	:	Société Sucrière de la Comoé
SP/PAGIRE	:	Secrétariat Permanent du Plan d'Action pour la GIRE
SP GIRE	:	Secrétariat Permanent pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
SNE	:	Stratégie Nationale de l'Eau
SNIEau	:	Système National d'Information sur l'Eau
UCDIEau	:	Unités de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau

Avant-propos

L'analyse diagnostique faisant partie de cette mission d'étude a fait l'objet d'un rapport diagnostic validé (MEA, 2021) qui couvre les aspects institutionnels, les ressources humaines, les ressources financières et l'état des réseaux actuels. Ce rapport final de l'étude sur l'optimisation des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux du Burkina Faso présente donc brièvement ces aspects en référant le lecteur au Rapport Diagnostic. Cependant pour faciliter la compréhension du processus d'optimisation des réseaux, les informations retenues du diagnostic pour l'optimisation des réseaux est reproduite dans ce rapport.

Le présent rapport est focalisé sur la méthodologie d'optimisation, les réseaux optimisés, et les recommandations et plan d'actions qui en découlent.

1. INTRODUCTION

Une bonne connaissance des ressources en eau (RE) passe nécessairement par un bon suivi et une évaluation adéquate de l'eau disponible au fils du temps. L'observation et l'évaluation de l'eau disponible et de sa qualité nécessite un réseau de suivi permettant d'obtenir des informations fiables et représentatives sur les ressources en eau. Pour ce faire, le réseau de suivi doit être adéquatement conçu et optimisé pour répondre aux besoins de connaissance, indispensable pour une Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) de façon rationnelle et durable. Il s'agit d'un défi majeur pour bon nombre de pays qui aspirent à une bonne maitrise et un développement durable des ressources en eau.

Le Burkina Faso fait partie des pays sahéliens considérés « *pays à stress hydrique* » indiquant que les ressources en eau annuellement disponibles par habitant sont inférieures au seuil de rareté de l'eau estimé à 1000 m^3/an/habitant. À cela s'ajoute une population croissante et des besoins croissants en ressources en eau dans différents secteurs (ex. approvisionnement en eau potable, agriculture, mines/industries, production hydroélectrique, etc.) et ce dans un contexte de changement climatique altérant les régimes hydrologiques de la zone sahélienne. Dans un tel contexte, une gestion durable des ressources en eau est non seulement une préoccupation du Gouvernement du Burkina Faso, mais aussi des partenaires au développement tel que la Banque Mondiale (BM), et des divers usagers des ressources en eau. Il s'agit d'un défi majeur pour l'avenir du Burkina Faso, et la solution première est effectivement de se doter de réseaux de suivi des RE optimisés.

L'objectif principal de cette mission d'étude d'optimisation est de doter le Burkina Faso *d'un réseau national hydrométrique et d'un réseau national de qualité des eaux de surface, optimisés* en suivant les directives techniques préconisées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Ces réseaux nationaux hydrométrique et de qualité des eaux, optimisés, devront reposer respectivement sur *un réseau hydrométrique de base et un réseau de base de qualité des eaux, optimisés.* Les réseaux nationaux étant en fait des extensions des réseaux de base dans le but de répondre à divers besoins identifiés et priorisés.

Tandis que les réseaux de base (hydrométrique et de qualité des eaux) optimisés, permettront une meilleure évaluation quantitative et qualitative des ressources en eau du Burkina Faso de façon générale, les réseaux nationaux (hydrométrique et de qualité des eaux) optimisés, permettront de répondre aux différents besoins spécifiés en termes de qualité et quantité des ressources en eaux.

Les objectifs spécifiques de l'étude consistent à :

- Évaluer les capacités nationales en termes d'évaluation et de suivi des ressources en eau de surface et de qualité des eaux ;

- Établir un diagnostic du suivi actuel des ressources en eau sur tout le territoire national ;
- Établir une méthodologie d'optimisation des réseaux hydrométriques et de qualités des eaux ;
- Élaborer un plan d'actions basé sur une montée en puissance progressive des réseaux avec un chiffrage des coûts et la prise en compte éventuelle de la télétransmission et du changement climatique ;
- Proposer un réseau hydrométrique de base et un réseau de base de qualité des eaux, optimisés ;
- Proposer un réseau national hydrométrique et un réseau national de qualité des eaux, optimisés ;
- Proposer un mécanisme de suivi des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux qui sera fonctionnel et durable ;
- Proposer un Dossier d'Appel d'Offre (DAO) pour la fourniture, l'installation des équipements nécessaires et la formation des agents concernés pour la gestion et la maintenance de ces équipements.

La vision stratégique de cette mission est multidimensionnelle et vise :

- La mise en place de réseaux nationaux optimisés qui peuvent être effectivement suivis et maintenus de façon durable au regard des ressources disponibles;
- L'opérationnalisation de la GIRE de façon rationnelle et durable sur la base d'une bonne connaissance de la quantité et de la qualité de l'eau disponible;
- Le renforcement des capacités du Gouvernement du Burkina Faso à travers le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA), pour mieux assumer son rôle régalien de suivi et d'évaluation des ressources en eau et de leurs usages.

Le rapport offre d'abord un aperçu du contexte et de la justification de la mission, suivi d'une présentation de l'approche méthodologique et de ses résultats, puis propose des mécanismes de suivi des réseaux optimisés, et finit par des recommandations pour la mise en œuvre des résultats de l'étude. Un plan d'actions et un dossier d'appel d'offre (DAO)sont fournis en annexe du rapport.

2. HYPOTHESES DE BASE DE L'ETUDE

Les différentes hypothèses suivantes ont été posées pour la conduite de l'étude.

- **Réseaux concernés par cette étude**

  Sur la base des TDR de la mission, cette étude d'optimisation concerne seulement les réseaux de suivi des eaux de surface, précisément le réseau hydrométrique et le réseau de qualité des eaux de surface. L'étude ne couvre pas le réseau piézométrique qui permet le suivi des eaux souterraines. Le réseau piézométrique est considéré dans une autre étude.

- **Stratégie de suivi des ressources en eau**

  Etant donné qu'une étude en cours traite de la stratégie de suivi des ressources en eau (RE) ainsi que du rôle des différents acteurs, par conséquent, cette étude effectue le diagnostic du suivi actuel tel que demandé dans les TDR et se limite à une brève présentation du rôle des différents acteurs (voir Rapport Diagnostic, MEA, 2021).

- **Réseau de qualité des eaux de surface**

  Dans l'optimisation du réseau de suivi de la qualité des eaux de surface, les potentielles sources de pollution agricoles et minières sont prises en compte sur la base de l'information limitée disponible. Deux études sur l'état des lieux de la qualité des eaux sont disponibles pour les bassins versants du Nakanbé et du Mouhoun. Une étude est en cours pour le bassin versant de la Comoé, et celle du Niger n'a pas encore commencé.

  Bien que certains sites locaux de pollution documentés aient été pris en compte dans l'optimisation du réseau de qualité des eaux, toutes les potentielles sources locales de pollution telles que les industries (usine de tannage, agro-alimentaires, décharges, etc.) n'ont pas été prises en compte car cela nécessite que ces sources soient d'abord géoréférencés. Toutes les sources spécifiques devraient être cartographiées et couvertes par un réseau national de suivi des usages. Une recommandation a été faite pour la mise en place d'un réseau national de suivi des usages, ce qui permettra également le suivi des pollutions émergentes telles que les perturbateurs endocriniens (ou hormonaux).

  Les principales sources des contaminants endocriniens sont les effluents des stations d'épuration des eaux usées (Vulliet et al. 2011; Merill et al. 2020). La plupart des perturbateurs hormonaux proviennent de divers produits chimiques d'usage domestique (détergents, cosmétiques, insecticides, etc.) et des résidus de médicaments éliminés par les urines (Munoz et al. 2013, Lalo 2021). Etant donné qu'au Burkina Faso, les eaux usées d'origine résidentielle sont stockées généralement dans des puits perdus, les risques de pollution des eaux de surface se situent plus au

niveau des sites de déversement des exécras et eaux usées provenant des fosses septiques et puits perdus. Ces sites devraient être cartographiés et suivis par le réseau national de suivi des usages.

3. CONTEXTE DE LA MISSION

3.1. Contexte Général

Cette mission d'étude s'inscrit dans le cadre du Programme d'approvisionnement en eau et d'assainissement (PAEA, P164345, Programme pour les Résultats), approuvé le 29 juin 2018, et qui est mis en place par le Burkina Faso avec l'appui de la BM. L'objectif de développement du Programme est d'améliorer l'accès aux services d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement dans les zones ciblées. Le Programme d'approvisionnement en eau et d'assainissement comprend trois Domaines des Résultats (DR) qui sont en correspondance avec les programmes nationaux Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable (PN-AEP), Programme National d'Assainissement des Eaux Usées et Excrétas (PN-AEUE) et Programme National pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PN-GIRE).

Le Programme soutenu par la BM vise à améliorer l'accès, la durabilité, l'efficacité et la responsabilité de la prestation de services d'approvisionnement en eau et d'assainissement en milieu urbain et rural, à renforcer la base de connaissance des ressources en eau pour la GIRE et à renforcer le capital humain pour garantir la pérennité de la prestation de services.

Le Programme comporte trois DR et un Domaine de Résultat Transversal (DRT), qui sont :

- DR 1. Amélioration de l'accès à l'eau ;
- DR 2. Amélioration de l'accès à l'assainissement ;
- DR 3. Amélioration de l'accès à des informations fiables sur les ressources en eau.
- DRT. Renforcement du capital humain.

Cette mission s'inscrit dans le cadre du DR3 qui vient en appui aux priorités du Gouvernement du Burkina Faso définies dans le PN-GIRE 2016-2030. Le Programme vise à renforcer la GIRE en :

(a) renforçant les connaissances et le suivi des eaux de surface ;

(b) renforçant les connaissances et le suivi des eaux souterraines ; et

(c) opérationnalisant le SNIEau.

L'optimisation du réseau hydrométrique et du réseau de qualité des eaux de surface font partie du volet *Renforcement des connaissances et du suivi des eaux de surface* qui est l'un des objectifs du DR3 dont l'agence d'exécution est le SP/GIRE.

3.2 Contexte institutionnel

La connaissance de la ressource en eau et de ses usages (ouvrages, quantités utilisées, pollutions, impacts sur la ressource et sur l'environnement, risques, etc…) est la base de la planification et de la gestion rationnelle de l'eau. Au Burkina Faso, les premières mesures systématiques sur les rivières datent de 1952 avec l'ouverture des six (6) premières stations hydrométriques dont 4 dans le bassin du Mouhoun (Kouri, Niompourou ou Douroula, Léry Nord et Léry Sud) et 2 dans le bassin de la Comoé (Karfiguela Radier et Yendéré). Le régime de l'eau étant lié aux variables climatiques et aux activités humaines, disposer d'une gamme de données la plus étendue possible est nécessaire à une bonne gestion des ressources en eau.

L'évaluation, le suivi et la gestion de la ressource en eau reposent sur l'existence de mécanismes d'informations fiables, allant de la collecte, le traitement et l'analyse des données, à la circulation des données et informations dérivées. Ainsi, le réseau hydrométrique qui se composait de 10 stations en 1960 a connu un développement important avec l'appui des partenaires techniques et financiers et compte aujourd'hui environ 100 stations. La Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA), est la structure centrale chargée d'élaborer et mettre en œuvre (i) la politique nationale de l'eau et (ii) les politiques sectorielles de la GIRE. Pour ce faire, la DGRE est structurée en 2 directions techniques:

- La Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau (DEIE) ;
- La Direction de la Règlementation et du Suivi des Organismes de gestion des Bassins Transfrontaliers (DRSOBT).

La DGRE a en charge le suivi, la gestion et la maintenance des réseaux à travers la DEIE.

Dans cette mission, la DGRE s'appuie sur les Directions Régionales de l'Eau et de l'Assainissement (DREA) dont 4 DREA disposent d'Unités de collecte et de diffusion de l'information sur l'Eau (UCDIEau): Il s'agit des DREA de la Boucle du Mouhoun, du Centre Est, des Hauts Bassins et du Nord.

Cette déconcentration des activités de suivi des réseaux et des usages a commencé depuis 1974 avec la création de la Brigade hydrologique des Hauts-Bassins (Bobo-Dioulasso), suivies de celles des Directions Régionales de l'Hydraulique du Centre (Ouagadougou), de la Boucle du Mouhoun (Dédougou) et de l'Est (Fada N'Gourma) en 1996.

En 2004, les brigades hydrologiques sont dénommées en Unités de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau (UCDIEau), leur mission de suivi qui ne se limite plus au suivi hydrométrique, prend en compte la piézométrie et les usages de l'eau.

Aujourd'hui quatre DREA ont des UCDIEau fonctionnelles (Boucle du Mouhoun, Centre Est, Hauts-Bassins et Nord) et sont le maillon-clé du SNIEau au niveau régional pour la collecte des données et leur

mise à disposition des usagers. Leurs activités à mener portent sur le suivi du réseau des mesures hydrométriques. Tandis que la DGRE a la mission de gérer et assurer le fonctionnement du réseau hydrométrique au niveau national.

Toutefois, avec la création des Agences de l'Eau dont les missions et attributions comprennent entre autres la collecte, le développement et la diffusion des connaissances sur les ressources en eau en vue de l'amélioration de leur gestion, il y a lieu de considérer une nouvelle distribution des rôles de chaque intervenant dans le suivi des ressources en eau.

3.3 Contexte climatique

Pour l'ensemble des pays sahéliens situés entre 10° et 20° de latitude nord, les types de saisons pluvieuses les plus manifestes se caractérisent par une pointe vers la mi-Août avec des pluies parmi les plus abondantes. Ces saisons qui reflètent la marche annuelle du soleil entre les latitudes 23° 30' nord et 23° 30' sud, culminent environ six semaines après le passage de celui-ci au-dessus de la région.
Situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, le Burkina Faso subit l'influence directe des anticyclones sahéliens et australs. Le temps est conditionné par la position, les mouvements, l'affaiblissement ou le renforcement de ceux-ci. L'anticyclone sahélien, situé sur le Nord du continent (Lybie-Soudan), dirige sur le Burkina Faso des flux d'air sec ou harmattan (alizés du Nord-Est), tandis que l'anticyclone austral, situé sur l'Atlantique sud aux environs de Ste Hélène, dirige sur le pays des flux d'air humide ou mousson (alizés du Sud-Est). La limite de démarcation au sol entre ces deux masses d'air est appelée Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT). Elle oscille entre 5° Nord en janvier et 25° Nord en août. Ce mouvement oscillatoire apparent de la ZCIT définit les saisons au Burkina Faso.

Le climat du Burkina Faso est caractérisé par des variations pluviométriques considérables allant d'une moyenne annuelle inférieure à 600 mm dans la partie nord à plus de 1000 mm dans la partie sud du pays. Près de 65 % du pays est situé entre les isohyètes 500 et 800 mm et l'essentiel des ressources en eau du Burkina Faso provient des pluies. Sur la base d'une pluviométrie moyenne de 960 mm période 1960-2017 (*Synthèse du suivi des ressources en eau, DGRE 2017*) pour l'ensemble du Burkina, les pluies apportent en moyenne chaque année près de 263 milliards de m^3 d'eau. Du nord au sud, on distingue trois zones climatiques : La zone sahélienne, la zone soudano-sahélienne, et la zone soudanienne.

Les caractéristiques climatiques principales de chaque zone sont :

La zone sahélienne est située au-dessus du parallèle 14°N et a une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à 600 mm et représente environ 25% du territoire (68 500km^2). La saison des pluies dure environ 3 mois.

La zone soudano-sahélienne est située entre les parallèles 11°30'N et 14°N, avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 900 mm, et représente environ 50 % du territoire (137 000 km^2) et la saison des pluies dure environ 4 à 5 mois.

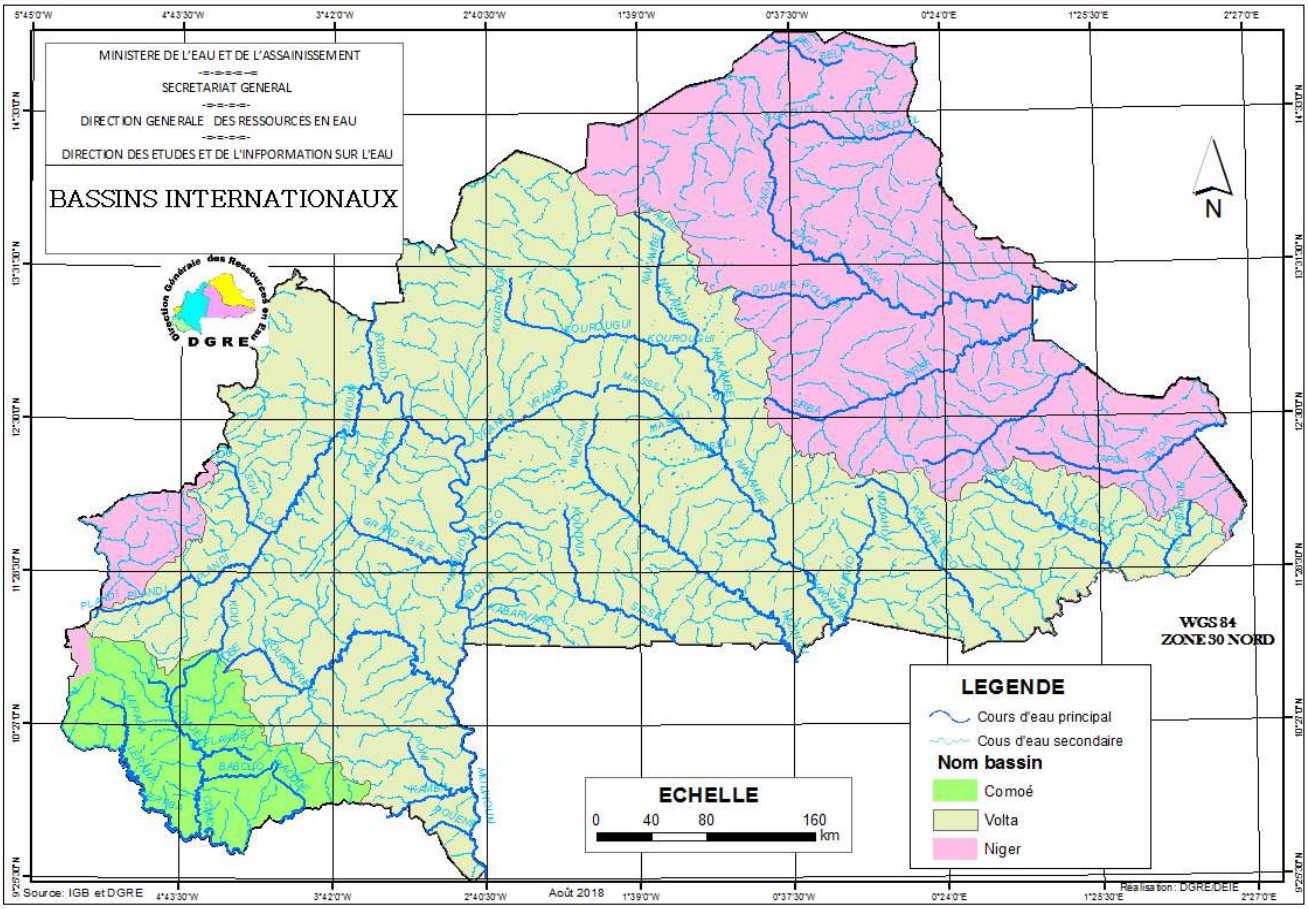
La zone soudanienne est située au sud du parallèle 11°30'N, avec une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 900 mm et représente environ 25 % du territoire (68 500 km^2) et la saison des pluies dure environ 6 à 7 mois.

Les données caractérisant ces zones climatiques sont obtenues à partir des stations synoptiques de Dori (zone sahélienne), Ouagadougou (zone soudano-sahélienne) et Bobo-Dioulasso (zone soudanienne).

Une description plus détaillée du contexte climatique est disponible dans le Rapport Diagnostic (MEA, 2021).

3.4 Contexte hydrologique

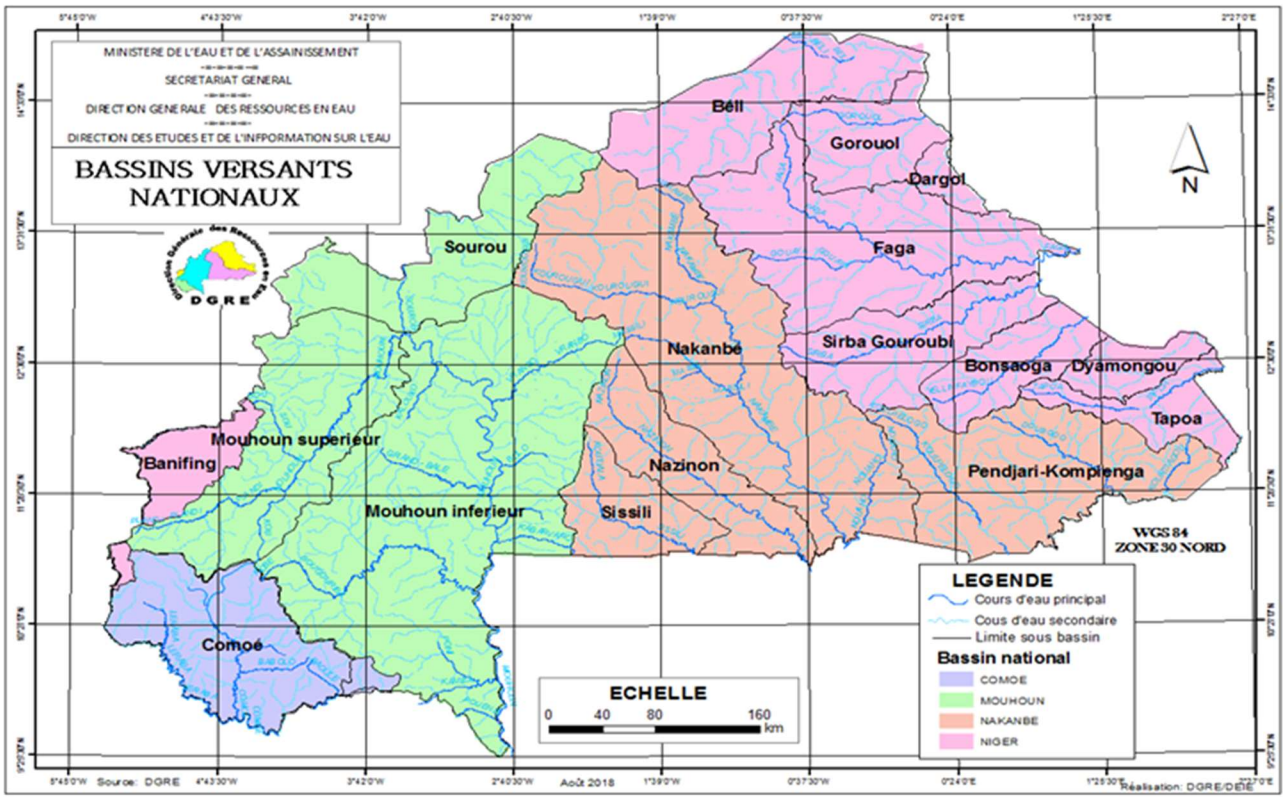
Du point de vue hydrographique, le Burkina Faso a un réseau hydrographique assez important, surtout dans sa partie méridionale. Le réseau hydrographique se rattache à trois bassins internationaux qui sont les bassins de la Volta, de la Comoé et du Niger (Figure 1).



Source DGRE: Synthèse du suivi des ressources en eau, 2019

Figure 1 : Bassins internationaux du Burkina Faso

Ces trois bassins sont eux-mêmes subdivisés en 4 bassins versants nationaux: le Nakanbé, le Mouhoun, le Niger et la Comoé (Figure 2).



Source DGRE: Synthèse du suivi des ressources en eau, 2019

Figure 2: Bassins versants nationaux du Burkina Faso

Le réseau hydrographique de chaque Bassin Versant National (BVN) est brièvement présenté ci-après.

Réseau hydrographique du bassin national de la Comoé

Le bassin national de la Comoé avec ses 17 620 km^2 représente 6,4 % de la superficie du pays. Il contient un seul sous-bassin national (Comoé – Léraba). La Comoé est un des grands fleuves d'Afrique occidentale. La superficie totale de son bassin versant à l'embouchure est de 76 500 km^2; il s'étend sur le Burkina Faso, la Côte-d'Ivoire, le Ghana et le Mali. La portion burkinabè de ce bassin international est répartie sur les provinces de la Comoé, de la Léraba, du Houet, du Kénédougou et du Poni. Elle est composée de deux unités hydrographiques comportant chacune un cours d'eau pérenne : la Comoé à l'Est et la Léraba à l'Ouest du Bassin. (cf. Rapport d'Etat des lieux des ressources en eau du bassin de la Comoé, MCA-BF-AD9.1, 2012).Sur le bassin se trouvent des sources, des mares, des lacs naturels et des barrages construits pour divers usages. Les écoulements sont permanents et les débits d'étiage soutenus sont largement exploités. La pluviométrie relativement abondante de ces régions confère à ces rivières un régime nettement soudanien avec une augmentation des débits dès le mois de juin et débits de crue en août-septembre pouvant atteindre 500 m^3/s. Le volume moyen interannuel écoulé sur la période 1955-2019 est

de **2,116 milliards de m^3.** La capacité totale de stockage des barrages réservoirs est de **106,8 millions de m^3.**

Réseau hydrographique du bassin national du Mouhoun

Le bassin du Mouhoun est un sous bassin de la Volta Noire partagé par le Mali au nord (Sourou), la Côte d'Ivoire et le Ghana au sud. Le réseau hydrographique du cours d'eau est assez dense et comporte de nombreux affluents. Les derniers affluents en rive gauche du Mouhoun proviennent de sous-bassins versants ghanéens et ivoiriens. D'une longueur totale d'environ 1 000 km au Burkina Faso, le Mouhoun draine au niveau national les territoires de 6 régions. Il couvre presque entièrement la région de la Boucle du Mouhoun (99%), la plus grande partie des régions des Hauts-Bassins (95%) et du Sud-Ouest (93%), des portions importantes des régions du Centre-Ouest (56%) et du Nord (44%) et une portion moindre de la région des Cascades (17%).

Le bassin du Mouhoun peut être subdivisé du point de vue hydrologique en plusieurs parties :

- Le Mouhoun supérieur issu du même massif gréseux que la Comoé mais s'écoulant vers le nord-est, présente dans sa partie amont des débits pérennes avec des étiages qui sont rarement inférieurs à 2 m^3/s aussi bien à la station de Samandéni que sur le Kou à Nasso. Limité au confluent du Sourou, le bassin versant du Mouhoun supérieur et ses principaux affluents (Plandi, Kou, Siou, Vou-Houn) atteint 20800 km^2 et fournit un débit moyen qui est cependant très irrégulier.
- Le Sourou draine l'ancienne plaine lacustre du Gondo dont le bassin versant de 15 200 km^2 ne fournit que de faibles ruissellements. A l'état naturel, lors des crues, le Mouhoun alimente son affluent le Sourou. En temps de décrue, le Sourou alimente le Mouhoun. Depuis 1976, des ouvrages de contrôle installés à l'amont de la confluence du Sourou et du Mouhoun au village de Léri permettent de stocker 360 Mm^3d'eaudérivés des crues d'hivernage du Mouhoun dans la dépression du Sourou et de restituer dans le cours aval du Mouhoun un débit écologique de 3 à 4 m^3/s pendant la saison sèche. Un canal complété en 1984 permet une dérivation du Mouhoun, qui se traduit par le détournement de la totalité des débits en provenance de la partie amont de la boucle du Mouhoun.
- Le Mouhoun inférieur changeant brusquement de direction après la boucle du Sourou, il coule vers le sud-est, puis plein Sud, formant la frontière avec le Ghana à partir de Ouessa. L'aménagement du Sourou et les prélèvements au fil de l'eau (Ténado, Poura) perturbent le régime naturel aussi bien en étiage qu'en crue. Les affluents de rive droite du bassin inférieur sont: le Karokuy, le Petit Balé, le Grand Balé, la Bougouriba, le Poni, la Bambassou et la Pouéné. En rive gauche dans le bassin inférieur, les affluents sont: le Vranso sur lequel est construit le barrage du Soum, le

Bulkiemdé, le Bolo, le Kabouti et le Kabarvaro. Les derniers affluents en rive gauche du Mouhoun proviennent de sous-bassins versants ghanéens et ivoiriens.

Le bassin est caractérisé par les cours d'eau pérennes : Mouhoun, Kou, et la vallée du Sourou. On y trouve d'autres cours d'eau permanents ainsi que des lacs : la mare aux crocodiles de Sabou dans la province de Boulkiemdé, la «Guingette» (source du Kou) dans la province du Houet.

C'est également le bassin national qui abrite le plus grand nombre des eaux et forêts classées. Le bassin abrite un peu plus de 400 lacs naturels et barrages dont le barrage de Samendéni, situé sur le Mouhoun Supérieur avec une capacité au plan d'eau normal de 1 050 Mm^3, le Sourou (608 Mm^3) et le barrage de Soum sur le Vranso (83 Mm^3). Le volume moyen interannuel écoulé sur la période 1955-2019 est de **4,858 milliards de m^3**. La capacité de stockage des barrages réservoirs est de **1 851,340 millions de m^3** (DGRE, 2019)

Réseau hydrographique du bassin national du Nakanbé

Le cours d'eau Nakanbé (ex. Volta Blanche) prend sa source à l'est de Ouahigouya, dans une région qui reçoit en moyenne 500 à 600 mm d'eau par an. Il draine un bassin versant d'environ 41 407 km² avec la Nouhao et couvre toute la partie centrale et le nord du plateau central. Il ne coule que pendant la saison des pluies. Les premiers écoulements intermittents peuvent se produire en mai, mais ce n'est qu'en juillet/août que les débits deviennent permanents à la station de Wayen et se renforcent vers l'aval. Cependant les écoulements sont devenus permanents à la station de Bagré Aval, compte tenu des turbinages et des lâchées de débits environnementaux.

Deux affluents du Nakanbé: le Nazinon (ex Volta Rouge) et la Sissili drainent la partie sud-ouest du plateau central avec un bassin versant de 18 929 km². Leur régime hydrologique est similaire à celui du Nakanbé. Le cours d'eau Pendjari forme la frontière sud-est du Burkina avec le Bénin et reçoit en rive droite trois affluents (le Doudodo, le Singou et la Kompienga) dont les bassins versants totalisent 21 595 km². Ces affluents apportent moins de 30% du débit moyen de la Pendjari qui elle-même tarit au moins une année sur deux à partir du mois d'avril au niveau de Porga (Bénin). Cependant les écoulements sont devenus permanents à l'aval du barrage de la Kompienga compte tenu des turbinages et des lâchées de débits environnementaux.

Le volume moyen interannuel écoulé sur la période 1955-2019 du bassin national du Nakanbé est de **2.97 milliards de m^3**(DGRE , 2019). La capacité de stockage des barrages réservoirs du bassin national du Nakanbé est de **4.4817 milliards de m^3**(DGRE , 2019)

Réseau hydrographique du bassin national du fleuve Niger

Le bassin versant du Niger au Burkina Faso, d'une superficie totale de 83 442 km^2, se compose de deux parties séparées et situées à deux extrémités du pays :

Le bassin versant du Banifing, affluent du Bani qui est lui-même un des affluents majeurs du fleuve Niger. Ce bassin est situé à l'ouest du pays où la pluviosité moyenne interannuelle est évaluée à 950 mm. D'une superficie totale de 5 441 km^2, le bassin du Banifing est drainé au Sud par le Sélédogo et le Sangoué et à l'Est par une multitude de rivières (Dougo, Konga, Dougbè) dont la confluence forme le Séssé. Le Tessé ou Longo, principal affluent, reçoit les cours d'eau du sud, et conflue avec le N'Gorlaka qui constitue la frontière avec le Mali sur une centaine de kilomètres.Le bassin des affluents en rive droite du fleuve Niger au Nord du pays couvre une superficie de 78 001 km^2. Les bassins de ces affluents burkinabè du Niger occupent tout le tier nord et est du pays. Ils peuvent être subdivisés en deux groupes : les affluents les plus septentrionaux qui sont le Béli, le Gorouol, le Goudébo et le Dargol couvrent une superficie de 24 839 km^2 ; ils sont en grande partie endoréiques[1] mais peuvent provoquer des crues ponctuelles importantes.Les affluents soudano-sahéliens que sont la Faga, la Sirba, la Bonsoaga, la Diamangou et la Tapoa couvrent une superficie de 53 162 km^2 ; ils ont des régimes un peu moins irréguliers et contribuent à la crue soudanienne du fleuve Niger qui se produit en septembre.

Le volume moyen interannuel écoulé (1970-2019) du basin national du Niger est de **3,93milliards de m^3.** La capacité de stockage des barrages réservoirs est de **156,503millions de m^3**(DGRE , 2019).

Le Tableau 1 donne un récapitulatif des ressources en eau des 4 bassins versants nationaux. En résumé les volumes moyens stockés dans les retenues et écoulés aux sorties du pays peuvent être évalués respectivement à **4,66** et **13,87 milliards** de m^3 (DGRE, 2019). Ce qui indique un bon potentiel de ressources en eau de surface mobilisable.

Tableau 1**:** Récapitulatif des ressources en eau des différents bassins versants nationaux

Bassins Versants Nationaux	Superficie (en km^2)	Capacité totale au Plan d'eau Normal de barrages (en Milliards de m^3)	Volume moyen mobilisé des principaux barrages (en Milliards de m^3)	Volume écoulé aux sorties du pays (en Milliards de m^3)
Comoé	17 620	0,1068	0,08544	2,116
Mouhoun	91 036	1,8513	1,481	4,858
Nakanbé	81 932	4,4817	2,97	2,96
Niger	83 442	0,1565	0,1252	3,93
Total Burkina	**274 030**	**6,5963**	**4,66**	**13,87**

Source : Synthèse du suivi des ressources en eau (DGRE 2019)

[1] *Dont l'écoulement se perd dans une cuvette ou sur un relief extrêmement plat, par infiltration et par évaporation.*

3.5 Contexte hydrochimique

Les connaissances sur la qualité des ressources en eaux du Burkina Faso sont très insuffisantes ; et en face, un nombre grandissant d'usagers dont les activités et besoins présentent de nombreux risques de pollution des eaux. Pendant ce temps, l'Etat de répondre au besoin par la mise en place de structures et de moyens humains, matériels et financiers. Telle est la situation actuelle du contexte hydro-chimique sur la qualité des eaux de surface. Cependant l'approche GIRE a entrainé une prise de conscience de plus en plus grande de l'importance de la gestion de la qualité des eaux dans la gouvernance de la ressource. Ainsi le Ministère en charge de l'eau à travers la DGRE a entrepris depuis 2011, dans le but d'améliorer les connaissances de la qualité des eaux, la réalisation d'un état des lieux (état de référence) de la qualité des eaux sur les quatre bassins versants nationaux; ceci après avoir mis en place un laboratoire bien équipé. Dans les sections suivantes, un état des lieux de la qualité des eaux de surface est présenté pour chaque bassin national.

Contexte hydrochimique du Nakanbé

L'état des lieux de la qualité des eaux du bassin versant du Nakanbé a été réalisé de 2011 à 2015. Les prélèvements d'échantillons se sont déroulés de façon discontinue de novembre 2012 à juillet 2013. Dans cet état des lieux, l'on considèrera surtout la qualité des ressources n eau de surface. Le bassin du Nakanbé compte environ 899 retenues d'eau (531 barrages, 324 boulis, 39 mares, 5 lacs naturels). La sélection des retenues a été faite sur la base d'un ensemble de critères prenant en considération le caractère pérenne de la ressource eau, l'usage de la retenue pour l'AEP, la proximité aux sites miniers ou toute autre activité anthropique pouvant générer des pollutions (maraîchage, champs cotonniers, sites industriels, tanneries, ...). La Figure 3présente la carte du potentiel hydrogène (pH) des eaux de surface du bassin du Nakanbé. Le pH varie de 6,04 (Koubri Tanvi) dans le Kadiogo à 9,23 (Bourzanga Kourro) dans le Bam. En dehors de trois retenues dont les eaux sont basiques et de deux autres dont les eaux sont acides, les eaux de tous les autres retenues sont dans les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour l'eau de boisson, à savoir $6,5<pH<8,5$.

La Figure 4présente la carte de conductivité électrique des eaux de surface du bassin du Nakanbé. Les données portent sur 37 barrages prélevés plusieurs fois donnant 161 échantillons. La conductivité électrique varie de 44 µS/cm (Manga) à 419 µS/cm (Ouagadougou Tanghin). En dehors des barrages de Koubri et de Ouagadougou (Tanghin) qui présentent des eaux de minéralisation importante (conductivité

comprise entre 333 µS/cm et 1000µS/cm), tous les autres barrages présentent des eaux de faible minéralisation.

La Figure 5 présente la carte de turbidité des eaux de barrages dans le bassin du Nakanbé.

Les données présentées ici, portent sur 161 échantillons de plans d'eau prélevés et analysés au cours de la période de réalisation de l'état des lieux. La turbidité varie de 0,01 NTU (Ouagadougou Tanghin) à 553,6 NTU (Tenkodogo). En dehors du barrage de Ouagadougou (Tanghin) et de celui de Koubri qui présentent des eaux limpides (turbidité comprise entre 0 et 5 NTU), tous les autres barrages présentent des eaux moyennement à très troubles (turbidité supérieure à 30 NTU). La valeur de la turbidité de l'eau du barrage de Ouagadougou (Thanghin) est très faible (0,01 NTU) par rapport aux valeurs obtenues antérieurement et ultérieurement à la station de suivi du réseau qualité au même barrage (cf. rapport diagnostic annexe A1) . Cela montre que les eaux du barrage ne sont pas homogènes et que les prélèvements lors de l'état des lieux ont été faits à des endroits différents de ladite station. Ceci d'autant plus que la valeur 0,01 NTU a été enregistrée deux fois sur les trois échantillons prélevés dans ce barrage pour l'état des lieux.

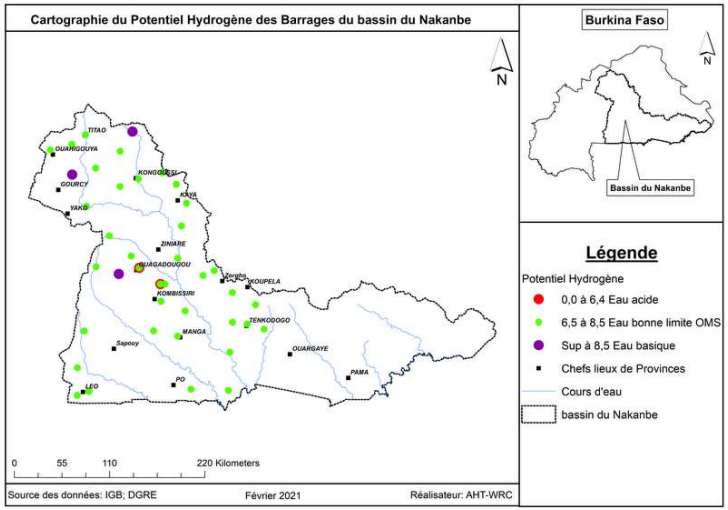


Figure 3 : Carte du potentiel Hydrogène (pH) des eaux de surface du bassin du Nakanbé

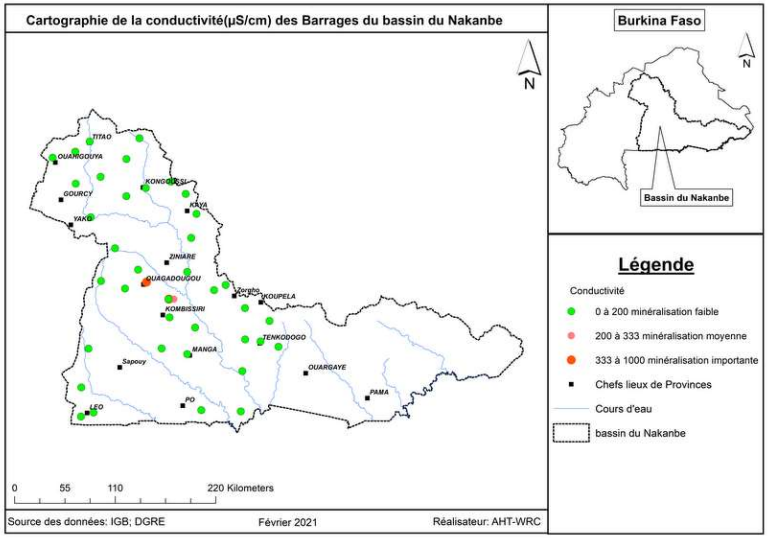


Figure 4 : Carte de conductivité électrique des eaux de surface du bassin du Nakanbé

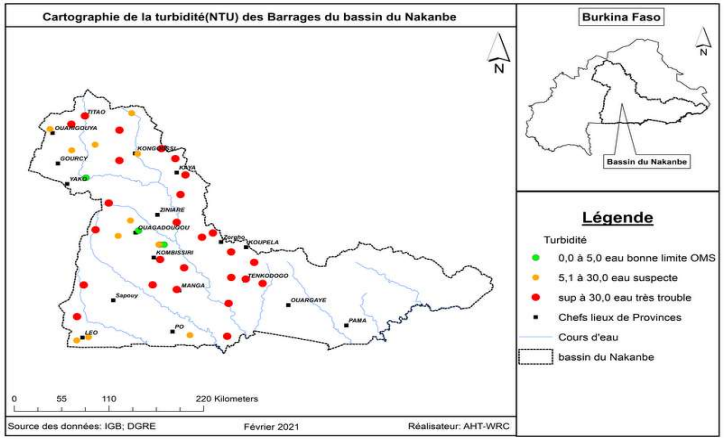


Figure 5 :Carte de turbidité des eaux de surface du bassin du Nakanbé

En dehors des données de l'état des lieux, en matière de données sur la qualité des eaux de surface, il y a aussi les données provenant du suivi du réseau de la qualité des eaux dans le Bassin Versant National du Nakanbé : Huit stations sont suivies dans le bassin du Nakanbé: Massili au Barrage N°2 de Ouaga, Massili au Barrage N°3 de Ouaga, Massili au Barrage de Loumbila, Nakanbé au Barrage de Bagré, Nakanbé au Barrage de Goinré, Nakanbé au Lac Bam à Kongoussi, Nakanbé à Wayen, Kompienga au Barrage de Kompienga. Ces stations sont suivies depuis 1992 et l'on dispose des données de 2004 à 2020. Sept autres stations dont des échantillons viennent d'être prélevés en 2020, ont été ajoutées au réseau : Barrage de Guitti, Nakanbé à Zéguézé, Nakanbé à Bissiga, Nouhao à Bittou, Sissili à Nebbou, Nazinon à Ziou et Pendjari à Arly. Le Tableau 2 donne les détails du suivi qualité aux stations du BVN du Nakanbé.

Tableau 2 : Détails du suivi qualité aux stations du bassin du Nakanbé

Type de station	Région	Cours d'eau	Nom de la station	Précisions de la Station	Y	X	Période de suivi	Nb d'échantillonnages
Anciennes stations	Centre	Massili	Barrage N°2 de Ouaga	**Massili au Barrage N°2 de Ouaga**	12,383333	-1,550000	2004 - 2020	9
	Centre	Massili	Barrage N°3 de Ouaga	**Massili au Barrage N°3 de Ouaga**	12,383333	-1,550000	2004 - 2020	9
	Plateau-Central	Massili	Barrage de Loumbila	**Massili au Barrage de Loumbila**	12,483333	-1,400000	2004 - 2020	11
	Centre-Est	Nakanbé	Barrage de Bagré	**Nakanbé au Barrage de Bagré**	11,450000	-0,550000	2004 - 2020	11
	Nord	Nakanbé	Barrage de Goinré	**Nakanbé au Barrage de Goinré**	13,623500	-2,443111	2004 - 2020	9
	Centre-Nord	Nakanbé	Lac Bam à Kongoussi	**Nakanbé au Lac Bam à Kongoussi**	13,331861	-1,515389	2004 - 2017	9
	Plateau-Central	Nakanbé	Wayen	**Nakanbé à Wayen**	12,379139	-1,080111	2004 - 2020	10
	Est	Kompienga	Barrage de Kompienga	**Kompienga au Barrage de Kompienga**	11,001389	0,011944	2004 - 2017	9
Nouvelles stations	Nord	Nakanbé	Barrage de Guitti	**Barrage de Guitti**	12,89111111	-1,195277778	2020	1
	Centre-Est	Nakanbé	Zéguézé	**Nakanbé à Zéguézé**	11,17361111	-0,402777778		0
	Centre-Nord	Nakanbé	Bissiga	**Nakanbé à Bissiga**	12,750000	-1,150000	2020	1
	Centre-Est	Nouaho	Bittou	**Nouaho à Bittou**	11,215139	-0,261167	2020	1
	Centre-Ouest	Sissili	Nebbou	**Sissili à Nebbou**	11,283333	-1,933333	2020	1
	Centre-Sud	Nazinon	Ziou	**Nazinon à Ziou**	11,097806	-0,707750	2020	1
	Est	Pendjari	Arly	**Pendjari à Arly**	11,433333	1,566667		0

Sources des données : DGRE

Contexte hydrochimique du Mouhoun

L'état des lieux de la qualité des eaux du bassin du Mouhoun a été fait de 2017 à 2019. La Figure 6 présente la carte du pH des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun. Au-delà du pH, la carte permet d'identifier la nature de l'ouvrage ayant fait l'objet de prélèvement (cours d'eau, barrage, mare ou bouli).

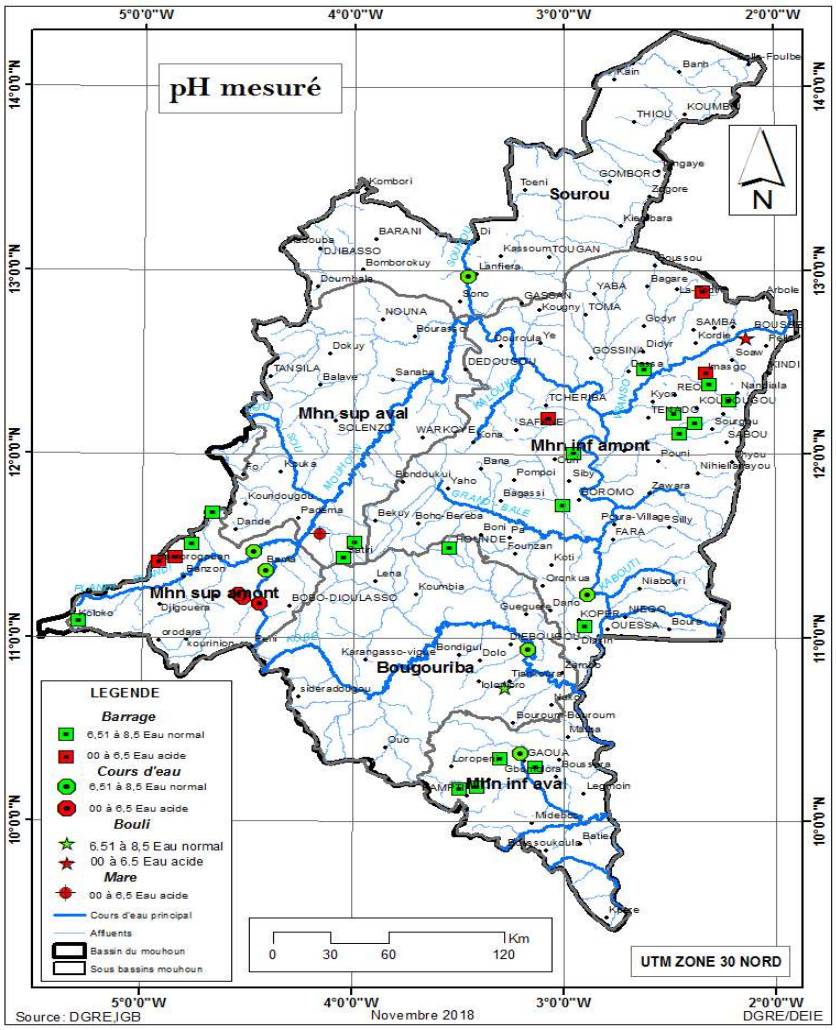


Figure 6 : Carte du pH des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun

Le pH varie de 4,08 à 8,5 montrant des termes acides et des termes basiques des eaux de surface du bassin du Mouhoun. On observe que les eaux sont acides pour cinq barrages, trois cours d'eau, une mare et un bouli. Tous les autres points d'eau prélevés ont des eaux dans les normes de l'OMS pour les eaux de boisson (6,5 < pH < 8,5).

La Figure 7 présente la carte de conductivité électrique des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun.

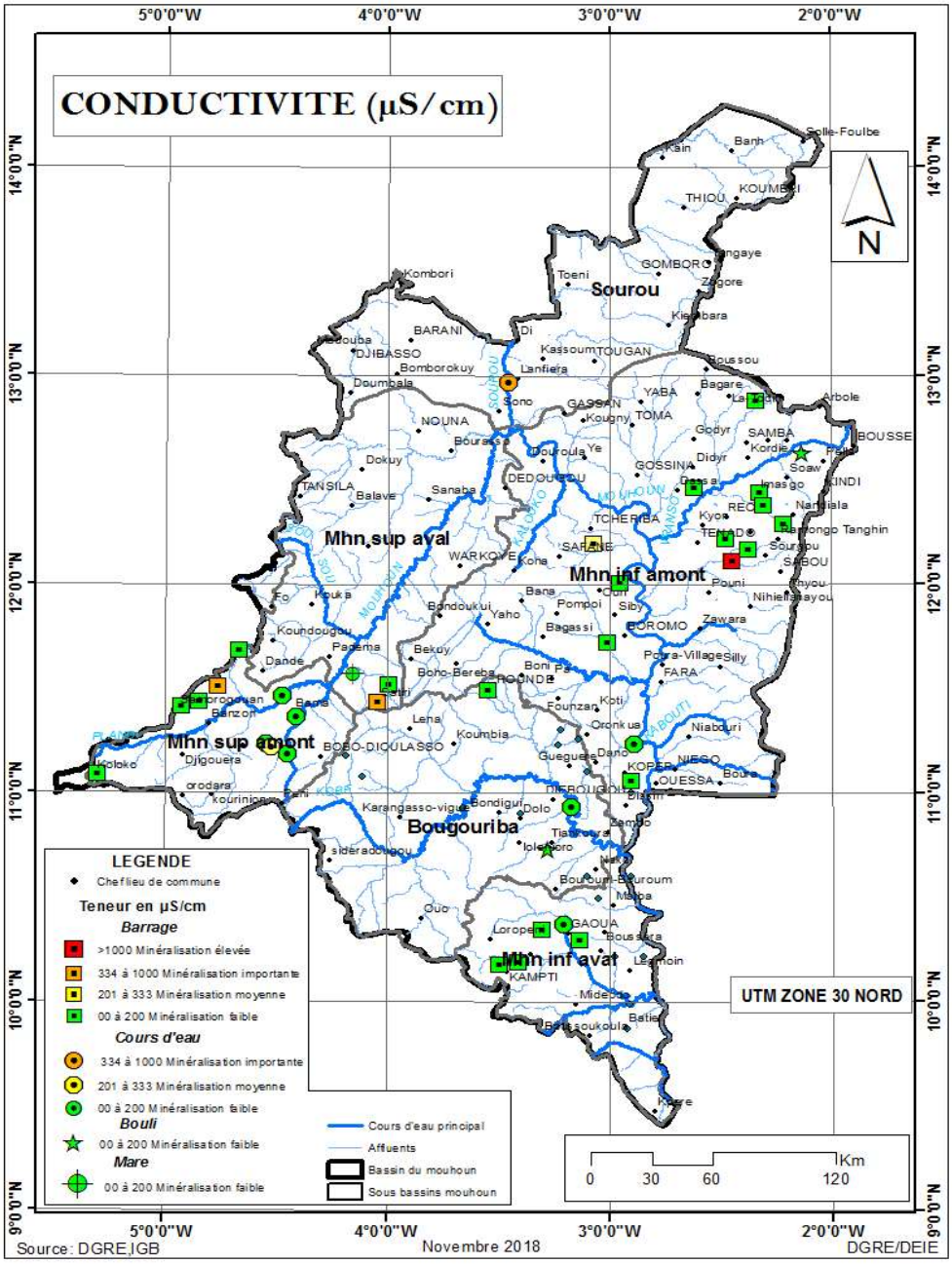


Figure 7 : Carte de conductivité des eaux de surface du Mouhoun

La carte porte sur 39 points de prélèvement. La conductivité électrique de ces eaux de surface varie de 12 (Samorogouan) à 1490 µS/cm (Nadiolo). Le premier quartile est à 42 µS/cm et le troisième quartile à 78 µS/cm; ce qui traduit la faible minéralisation des eaux de surface. La valeur extrême de 1490 µS/cm observée au barrage de Nadiolo, département de Sabou (province du Bulkiemdé) est exceptionnelle et

pourrait être liée à une pollution anthropique. Par contre, la faible valeur minimale de 12 est similaire à une eau de pluie et laisse penser que l'échantillon serait prélevé juste après une pluie au barrage de Samorogouan le 06 juin 2019.

La Figure 8 présente la carte de turbidité des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun.

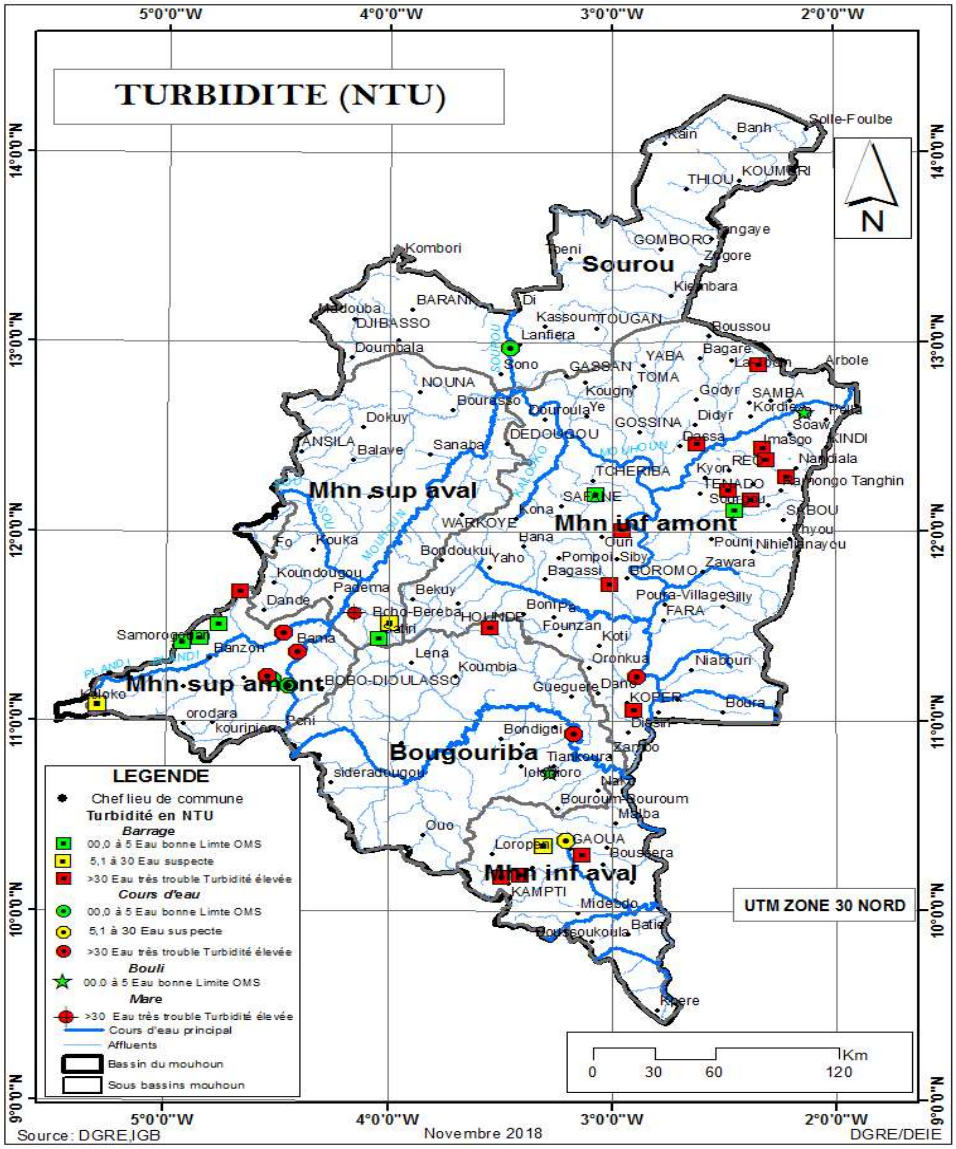


Figure 8 : Carte de la turbidité des eaux de surface dans le bassin du Mouhoun

Les valeurs de turbidité varient de 0,14 à 1100 NTU, c'est-à-dire de l'eau claire à de l'eau très trouble. Dans la localité de Yaran par exemple, le 08 août 2018 la turbidité est la plus faible de la série, sans doute pendant une poche de sécheresse et avant l'ouverture des vannes du barrage/écluse de Léry sur le Sourou. On signale qu'à Yaran il y a une station hydrométrique du réseau de suivi de la DGRE située sur les berges

du Sourou à moins de 30 km du barrage/écluse de Léry. Par ailleurs, au barrage de Roumtenga dans la province du Passoré, on enregistre une forte turbidité de 1100 NTU le 13 juillet 2019, sans doute du fait des écoulements turbulents des eaux de ruissellement chargées qui se sont déversées dans le plan d'eau. Pour la série de points d'eau considérés (39), le 1er quartile est de 24 et le 3eme quartile est de 354 TU. Il a été noté que les échantillonnages ne se soient pas déroulés dans les meilleures conditions par manque de zodiac et par manque de personnels en nombre suffisant.

En dehors des données de l'état des lieux, en matière de données sur la qualité des eaux de surface, il y a aussi les données du suivi du réseau de la qualité des eaux dans le Bassin Versant National du Mouhoun : trois stations étaient suivies dans le bassin Mouhoun: le Mouhoun à Boromo, le Mouhoun à Dapola et le Sourou au barrage de Léry. Ces stations sont suivies depuis 1992 et l'on dispose des données de 2004 à 2020. Cinq autres stations dont des échantillons viennent d'être prélevés en 2020, ont été ajoutées au réseau: Mouhoun à Poura, Mouhoun à Bazon, Plandi à Samandéni, la Bougouriba à Diébougou et Le Bambassou à Batié. Le Tableau 3 donne les détails du suivi qualité aux stations du BVN du Mouhoun.

Tableau 3: Details du suivi qualité aux stations du bassin du Mouhoun

Type de station	Région	Cours d'eau	Nom de la station	Précisions de la Station	Latitude	Longitude	Période de suivi	Nb d'échantillonnages
Anciennes stations	Boucle du Mouhoun	Sourou	Barrage de Léry	**Sourou au Barrage de Léry**	12,752361	-3,435944	2004- 2017	8
	Boucle du Mouhoun	Mouhoun	Boromo	**Mouhoun à Boromo**	11,780583	-2,580000	2004-2020	10
	Sud-Ouest	Mouhoun	Dapola	**Mouhoun à Dapola**	10,560861	-2,912500	2004 -2016	6
Nouvelles stations	Boucle du Mouhoun	Mouhoun	Poura	**Mouhoun à Poura**	11,7146111	-2,73775	2020	1
	Hauts-Bassins	Mouhoun	Banzon	**Mouhoun à Banzon**	11,316667	-4,816667	2020	1
	Hauts-Bassins	Plandi	Samandéni	**Plandi à Samandéni**	11,466667	-4,466667	2020	2
	Sud-Ouest	Bougouriba	Diébougou	**Bougouriba à Diébougou**	10,941167	-3,170722	2020	1
	Sud-Ouest	Bambassou	Batié	**Bambassou à Batié**	9,990111	-2,906750	2020	1

Sources des données : DGRE, 2020

Contexte de la Comoé

L'état des lieux dans le bassin versant de la Comoé, en cours depuis décembre 2020 est assez avancé dans exécution. Sur un total de 780 points de prélèvement prévus, seulement 382 points ont pu être prélevés et analysés. Au stade actuel de l'état des lieux dans le bassin de la Comoé, les résultats d'analyse sont disponibles mais le rapport est en cours d'élaboration.

En dehors des données de l'état des lieux en cours, en matière de qualité des eaux de surface, il y a aussi les données sur le suivi du réseau de la qualité des eaux dans le Bassin Versant National de la Comoé : deux stations étaient suivies: le barrage de la Douna et la Léraba à Yendéré. La Douna dispose des résultats d'analyses de 9 échantillons prélevés de 2004 à 2020. La station de Yendéré dispose des résultats de 10 échantillons prélevés durant la même période. Deux autres stations dont des échantillons viennent d'être prélevés en 2020, ont été ajoutées au réseau : Comoé à Folonzo et Comoé à Diarabakoko. Le Tableau 4 donne les détails des stations du bassin de la Comoé.

Tableau 4 : Details des stations de suivi de la qualité des eaux de surface du bassin de la Comoé

Type de station	Région	Cours d'eau	Nom de la station	Précisions de la Station	Latitude	Longitude	Période de suivi	Nb d'échantillonnages
Anciennes stations	Cascades	Comoé	Barrage de Douna	Comoé au Barrage de Douna	10,679861	-5,097361	2004 - 2020	9
	Cascades	Léraba	Yendéré	Léraba à Yendéré	10,209722	-5,091278	2004 - 2020	10
Nouvelles stations	Casacdes	Comoé	Folonzo	Comoé à Folonzo	9,950500	-4,639750	2020	1
	Cascades	Comoé	Diarabakoko	Comoé à Diarabakoko	10,454389	-4,699806	2020	1

Sources de données : DGRE, 2020

Contexte du Niger

L'exécution de l'état des lieux de la qualité des eaux dans le bassin versant du Niger n'a pas encore commencée mais compte tenu de la prise de conscience, il est permis d'espérer qu'elle commencera en 2022. Le bassin du Niger est couvert de nombreux sites miniers et aussi une zone de pâturages. Les risques de pollution des eaux sont donc élevés (COWI, 2019).

En matière de données de la qualité des eaux de surface, il n'y a que les données sur le suivi du réseau de la qualité des eaux dans le Bassin Versant National du Niger :

Trois stations étaient suivies dans le bassin du Niger: Faga au barrage de Liptougou, Le Gorouol à Korizéna et la Tapoa au barrage de Diapaga. Ces stations sont suivies depuis 1992 et l'on dispose des données de 2005 à 2017. Cinq autres stations dont des échantillons viennent d'être prélevés en 2020, ont été ajoutées au réseau : le Béli à Tin-Akoff, la Faga au Barrage de Yalgo, la Sirba à Bassiérie et le Diamongou à Bottou, Gouroubi/Bonsouaga à Dagou. Le Tableau 5 donne les détails du suivi qualité aux stations du BVN du Niger.

Tableau 5 : Détails du suivi aux stations du bassin du Niger

Type de stations	Région	Cours d'eau	Nom de la station	Précisions de la Station	Latitude	Longitude	Période de suivi	Nb d'échantillonnages
Anciennes stations	Est	Faga	Barrage de Liptougou	**Faga au Barrage de Liptougou**	13,183750	0,325167	2005 - 2017	6
	Sahel	Gorouol	Korizena	**Gorouol à Korizena**	14,368250	0,030250	2005 - 2012	2
	Est	Tapoa	Barrage de Diapaga	**Tapoa au Barrage de Diapaga**	12,008750	1,765722	2016 - 2017	2
Nouvelles stations	Sahel	Béli	Tin-Akoff	**Béli à Tin-Akoff**	14,970167	0,165667		
	Centre-Nord	Faga	Barrage de Yalgo	**Faga au Barrage de Yalgo**	13,581444	-0,270056	2020	1
	Est	Sirba	Bassiérie	**Sirba à Bassiérie**	13,801861	0,383667	--	--
	Est	Diamongou	Bottou	**Diamongou à Bottou**	12,683333	2,066667	--	--
	Est	Gouroubi/Bonsouaga	Dagou	**Gouroubi/Bonsouaga à Dagou**	12,714200	1,133300	--	--

Sources des données : DGRE, 2020

Résumé de l'état des lieux de la qualité des eaux de surface

En dépit de tous ces récents efforts, on peut dire que les connaissances sur la qualité des eaux de surface sur toute l'étendue du territoire restent très insuffisantes. Pour l'eau de surface qui concerne la présente étude, en dehors des données obtenues à partir de prélèvements faits sur les 16 points du réseau qualité, l'on dispose des données provenant de 161 points de prélèvement de plans d'eau du bassin du Nakanbé en 2011, de 25 points de plans d'eau et de cours d'eau prélevés en 2012, de 39 points de prélèvement des eaux de surface de l'état des lieux du Mouhoun (2017-2019), de 30 points prélevés en 2020 pour l'état des lieux de la Comoé et 19 points supplémentaires de prélèvements proposés en extension du réseau de suivi de la qualité des eaux, soit au total 290 points de prélèvement. Une bonne continuité et un meilleur respect de la fréquence des prélèvements sont nécessaires pour améliorer les connaissances sur la qualité des eaux de surface du Burkina au vue des nombreux besoins et usages récemment recensés (COWI, 2019).

4. JUSTIFICATION DE LA MISSION

Le suivi des réseaux d'observation sur les ressources en eau a commencé au Burkina Faso au début des années cinquante avec l'ouverture de la première station hydrométrique sur le Sourou à Léry en 1952. Le réseau hydrométrique qui se composait de 10 stations en 1960 a connu un développement important avec l'appui des partenaires techniques et financiers, atteignant 110 stations en 1990. Comme dans beaucoup de pays de la sous-région, le réseau s'est fortement dégradé dans les années 90. Aujourd'hui, les stations installées par les différents projets ne constituent pas un réseau de base adéquat, ni un réseau national adéquat, mais ce que l'on pourrait appeler un réseau « patchwork », avec des sous-réseaux poursuivant des objectifs locaux ou très spécifiques, avec comme résultat une distribution géographique des stations anarchique et présentant évidemment des zones d'ombre.

La Figure 9 présente le réseau hydrométrique du Burkina Faso (en date de février 2021) consideré dans cette étude d'optimisation. Ce réseau compte **46 stations** équipées de **54 enregistreurs** automatiques (il est à regretter que six (6) stations soient équipées chacune de **2** enregistreurs automatiques et une (1) station (Boromo) équipée de **3**. Les **54 stations** restantes sont équipées uniquement d'échelles limnimétriques.

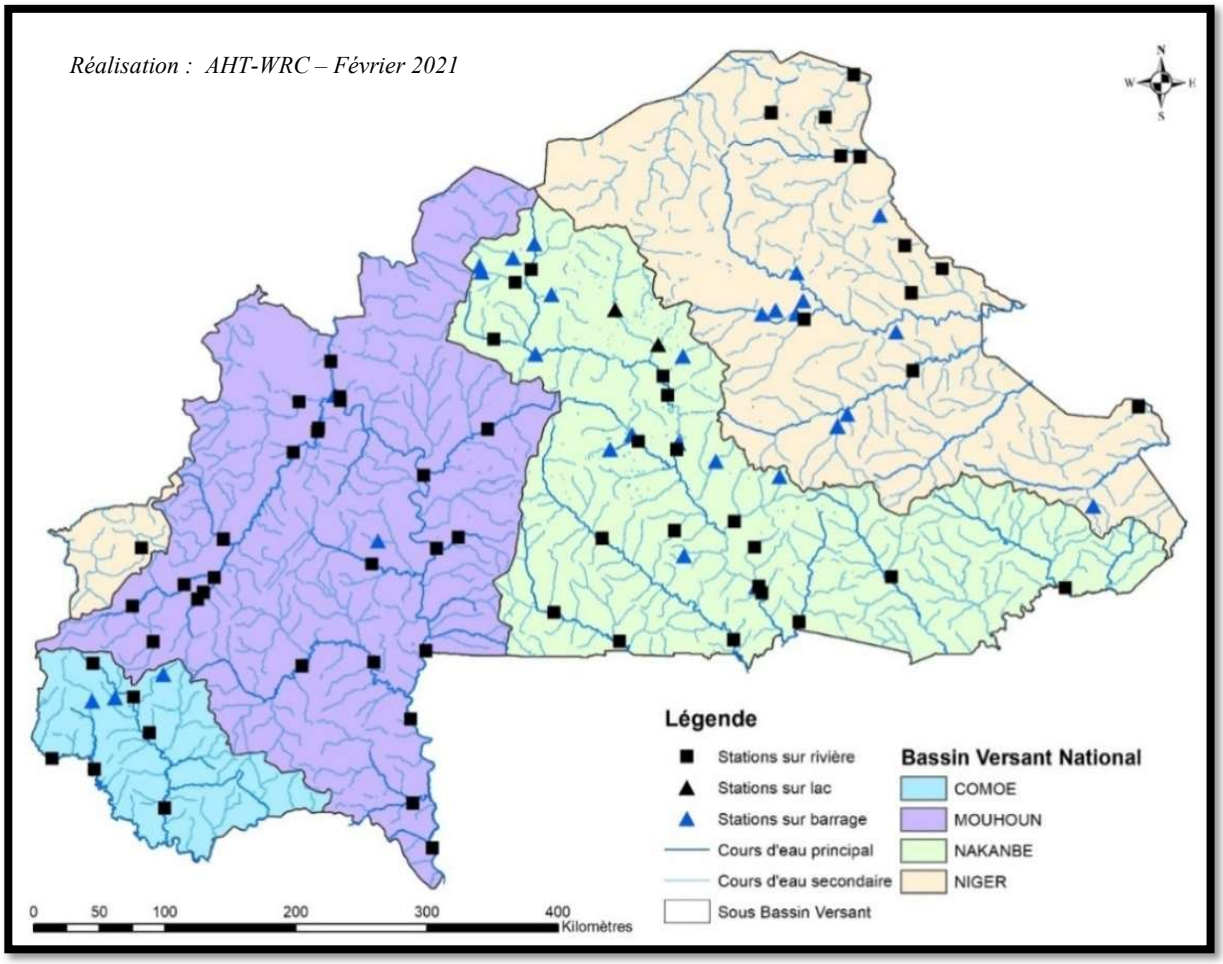


Figure 9 : Réseau hydrométrique national du Burkina Faso (en date de février 2021)

Cependant, ces chiffres ne doivent pas masquer la réalité. En effet, faute des ressources nécessaires et diverses raisons, la plupart de ces stations ne peuvent être suivies et maintenues de manière satisfaisante et les courbes de tarage permettant de transformer les hauteurs d'eau mesurées en débits ne sont pas actualisées depuis souvent plus de 20 ans pour certaines stations.

Le réseau hydrométrique national est aujourd'hui caractérisé par:

- Des stations contrôlant des régimes hydrométriques perturbés par l'installation d'ouvrages hydrauliques en amont et en aval ;
- L'irrégularité quasi-chronique de fonctionnement de ces stations (il est difficile de trouver parmi ces stations 10 années consécutives de données complètes sans interruption).

La Figure 10 suivante illustre la distribution spatiale de l'état des stations du réseau hydrométrique actuel du Burkina Faso. Bon nombre de stations sont en mauvais état ou état moyen si bien que les données collectées sont souvent lacunaires. L'analyse des données de débits historiques révèle des lacunes pouvant

dépasser 50% de la période d'observation (COWI, 2019). Cela s'explique essentiellement par le mauvais état des équipements dû au manque de maintenance appropriée. Le problème de lacunes (ou données manquantes) limite énormément l'utilisation des données de débits disponibles car la plupart des techniques de comblement des lacunes ne sont efficaces que pour de petites lacunes (inférieures à 20% de la période d'observation) (Mishra and Coulibaly, 2010).Une analyse préliminaire de la densité du réseau hydrométrique effectuée en 2019, indique que la distribution spatiale des stations n'est pas optimale si bien que l'information fournie par le réseau n'est pas représentative des bassins versants observés (COWI 2019).

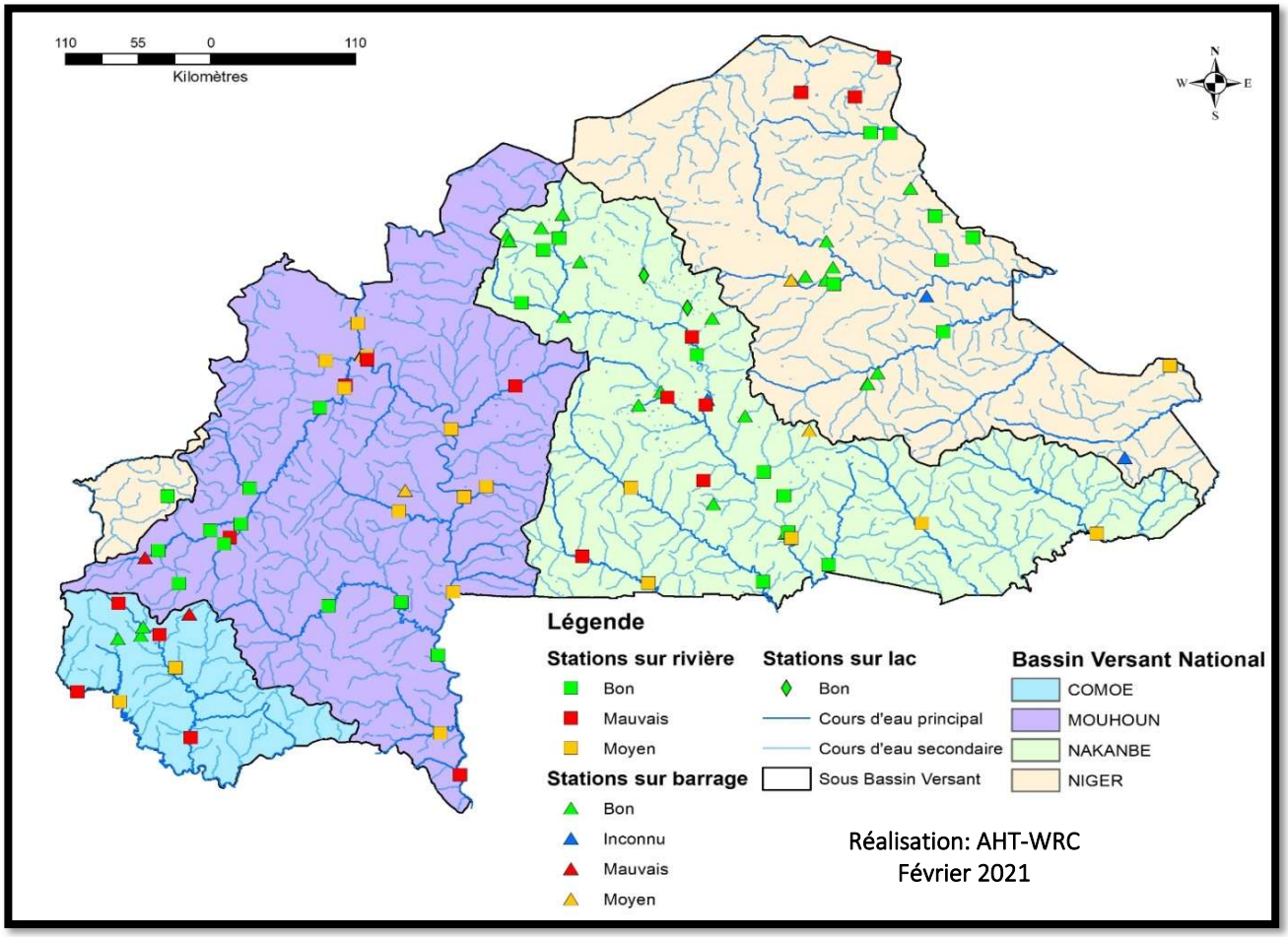


Figure 10 : Distribution spatiale de l'état des stations du réseau hydrométrique (février 2021)

Par conséquent, le réseau hydrométrique actuel a besoin d'être optimisé et dynamisé pour pouvoir jouer correctement son rôle qui est de fournir des informations fiables et complètes sur les ressources en eau du pays et leur variabilité dans le contexte physico-climatique rendu de plus en plus complexe par les pressions anthropiques et les phénomènes des changements climatiques.

Une optimisation du réseau hydrométrique, basée sur les moyens disponibles, la connaissance des ressources en eau et la nécessité de disposer des données dans le cadre de l'opérationnalisation de la GIRE s'avère tout à fait indispensable.

Pour ce qui est de la qualité des eaux de surface au Burkina Faso, elle est suivie à travers un réseau sommaire de stations qui existe depuis 1992 qui permet de mesurer les paramètres suivants (métaux lourds et les métalloïdes) tels que le fer (Fe), le Manganèse(Mn), le cuivre (Cu), le cadmium (Cd), le plomb(Pb), le chrome (Cr), l'arsenic (As), les ions majeurs et les paramètres microbiologiques). Ce réseau national comptait 33 points de mesures repartis entre les eaux de surface (16 points) et les eaux souterraines (17 points) qui permettent de produire les informations de base sur la qualité des eaux au Burkina Faso. En 2018, dans la perspective d'extension du réseau de qualité des eaux, la DGRE a identifié 34 nouveaux piézomètres et 19 nouvelles stations hydrométriques à intégrer au réseau de suivi de la qualité des eaux. Cette extension a permis de porter le réseau à 35 sites de prélèvement pour les eaux de surface. Ce qui reste bien peu pour un territoire de 274 030 km^2 et surtout compte tenu des pressions des activités humaines sur les ressources en eau. Par exemple, le développement continu du secteur minier aurifère, l'utilisation croissante des pesticides/herbicides et des engrais chimiques entraînent une nette augmentation de la pollution des ressources en eau sur certaines zones du pays. La Figure 11 présente le réseau actuel de suivi de la qualité des eaux de surface au Burkina Faso.

Il est donc nécessaire de mettre en place un réseau de suivi de la qualité de l'eau optimisé de sorte à obtenir une information représentative sur l'état de la qualité des eaux de surface afin de mieux répondre aux questions de protection des populations et des écosystèmes aquatiques.

Cette optimisation des réseaux nécessite d'abord un diagnostic profond des réseaux actuels, du cadre institutionnel, des ressources humaines et financières, pour permettre une optimisation basée sur les besoins et moyens disponibles. L'étude diagnostique qui est une étape importante de cette mission, a permis de synthétiser les informations utiles à l'optimisation des réseaux. Ces informations seront présentées dans la section 4.3 du présent rapport dédié à la phase optimisation.

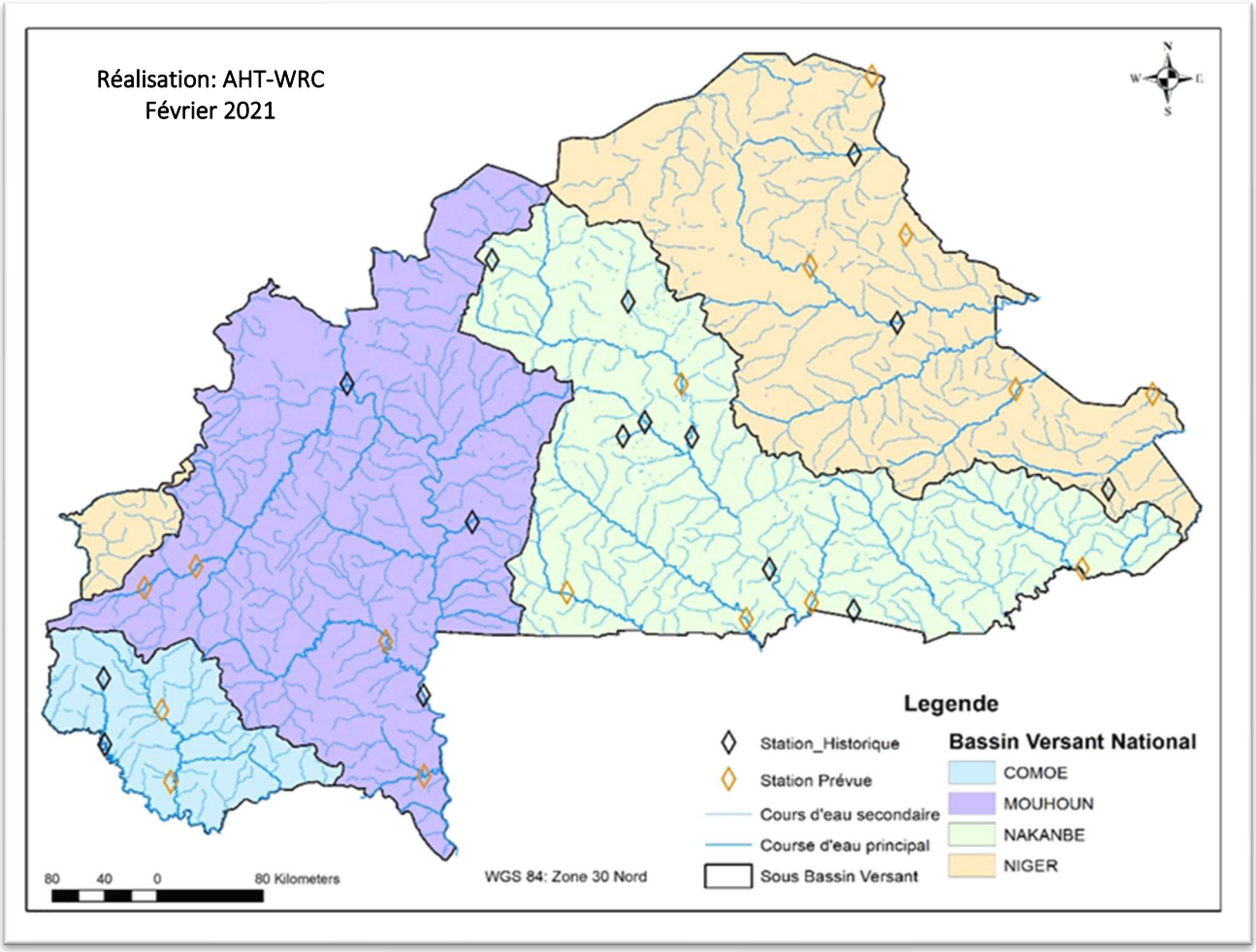


Figure 11: Réseau actuel de suivi de la qualité des eaux de surface au Burkina Faso (février 2021)

5. APPROCHE METHODOLOGIQUE

5.1. Définition et terminologie

Rappelons que du point de vue mathématique, "***optimization*** *is the* ***process*** *of attempting to find the best possible solution(s) amongst all those available"* [Burke & Kendall, 2014]. Il s'agit donc *d'un processus de recherche de la meilleure solution possible parmi toutes celles disponibles*. Il s'agit en fait d'une recherche du maximum global ou du minimum global d'une fonction dont la complexité va dicter celle du processus d'optimisation.

Dans le contexte des réseaux, ***l'optimisation du réseau*** consiste à utiliser des programmes mathématiques (ou algorithmes) basés sur la théorie de l'optimisation souvent appelée recherche opérationnelle (OMM, 2012). Mais compte tenu des divers besoins et contraintes budgétaires, *l'optimisation prend un caractère multi-dimensionnel* ce qui complexifie le processus de recherche de la solution optimale. Il faut donc faire recours aux techniques d'optimisation multicritère qui permettent la prise en compte de divers besoins et aussi de minimiser le coût du réseau. Il s'agit donc d'une recherche de solutions d'une fonction très complexe avec des contraintes sur les solutions désirées.

Dans cette étude, il s'agit d'optimiser deux types de réseaux: le **réseau de base** et le **réseau national**.

Le réseau de base aussi appelé réseau minimal est constitué d'un nombre minimal de stations jugé nécessaire pour pouvoir commencer à planifier l'exploitation des ressources en eau. Il s'agit d'un réseau pragmatique qui servira de base pour un développement progressif du réseau destiné à répondre aux besoins plus spécifiques de différents domaines (OMM, 2012).Ce réseau devrait procurer sur n'importe quel emplacement situé dans sa région d'observation, un niveau d'information hydrologique suffisant pour éviter que des erreurs grossières soient commises lors de la prise de décisions concernant les ressources en eau. Cependant, il faut souligner que le *réseau de base ne permettra pas de répondre aux nombreux besoins relatifs à l'exploitation et à la gestion des ressources en eau*. Ce rôle est dévolu au réseau national.

Le réseau national résulte de l'extension progressive du réseau de base en fonction des divers besoins spécifiques des différents domaines. Ces réseaux sont aussi appelés réseaux à buts généraux(OMM, 2012) car leurs objectifs s'étendent de l'évaluation des ressources en eau, au développement des ressources et des outils de modélisation et de prévision, à la gestion des ressources et des conflits. De nombreux pays disposent de réseaux nationaux hydrométrique, climatique et de qualité des eaux, mais souvent non optimisés même s'ils ont fait l'objet d'une bonne conception. Rappelons que la conception du réseau consiste à déterminer les variables à observer, la fréquence des observations, la précision désirée, et les lieux d'observations (OMM, 2012).

5.2. Vue d'ensemble de la méthodologie

Les principales étapes de la méthodologie sont illustrées par la Figure 12. Chaque étape sera présentée en détails dans les sections suivantes.

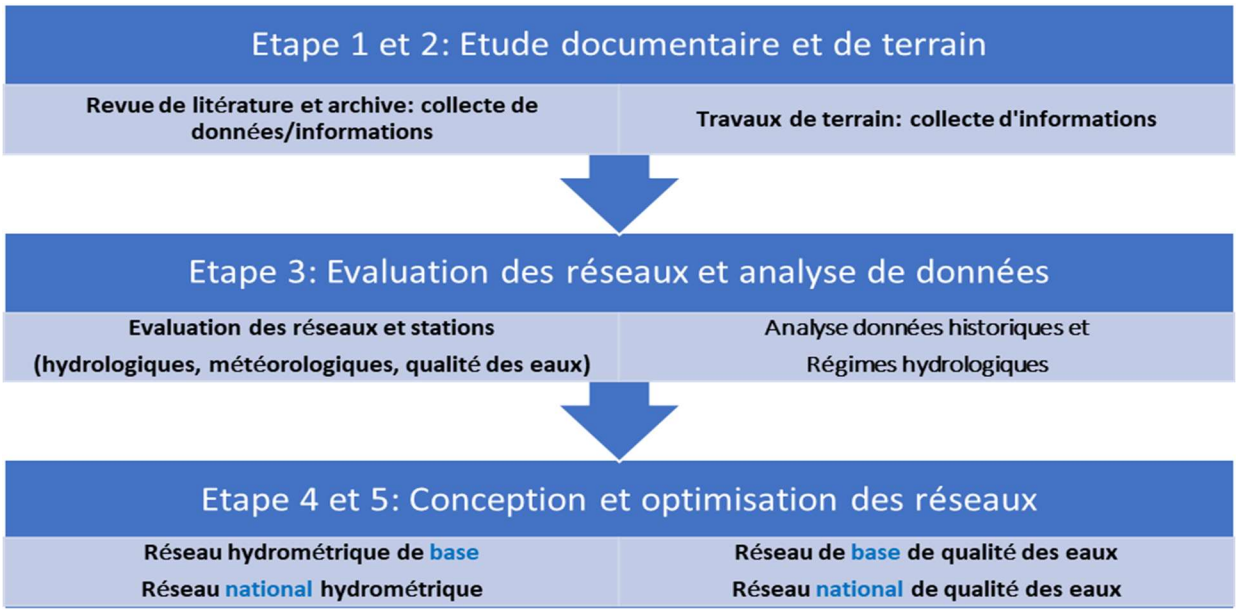


Figure 12 : Principales étapes de la méthodologie

Chacune des étapes de la méthodologie contribue à ce que l'étude d'optimisation des réseaux hydrométriques et de qualité des eaux, réponde aux résultats attendus de la mission. Toutes ces étapes sont donc importantes et interdépendantes.

Commençant par la première étape, *l'étude documentaire*. Elle a permis de:

(i) Collecter toutes les informations et données disponibles sur les stations hydrométéorologiques et de qualité des eaux, existantes ;

(ii) Faire la synthèse sur les connaissances du contexte hydrologique du Burkina Faso ;

(iii) Acquérir les connaissances sur les problématiques de pollutions déjà documentées.

Pour compléter et vérifier certaines informations de l'étude documentaire, *des sorties de terrains* sont nécessaires et constituent donc la deuxième étape. Elles ont permis d'acquérir des informations complémentaires, de rencontrer et d'échanger avec les techniciens des UCDIEau en charge de la collecte des données. La troisième étape permet d'une part d'évaluer les réseaux existants et d'autre part d'analyser les données des stations afin d'identifier celles qui peuvent être des stations potentielles pour les réseaux optimisés. Pour cela, une *analyse statistique des données historiques et des signatures hydrologiques* est effectuée, ainsi qu'une *analyse préliminaire des réseaux*.

L'étape de conception des réseaux (quatrième étape) est nécessaire suivant les directives de l'OMM pour identifier les zones homogènes d'observations. Ces zones permettent de choisir des sites d'observations qui sont utilisés comme des sites potentiels lors du processus de l'optimisation du réseau. Étant donné que toutes les zones homogènes dans un bassin versant ne peuvent pas être dotées de stations, *l'étape optimisation* (cinquième étape) permet d'identifier les réseaux optimaux sur la base des critères spécifiés. Les détails des étapes 1 et 2 et leurs résultats sont présentés dans le Rapport Diagnostic (MEA, 2021). Par conséquent, seulement la synthèse des informations retenues de l'étude diagnostique pour l'optimisation des réseaux, sera présentée par la suite. Dans les sections suivantes, les détails des étapes 3 à 5 seront présentés ainsi que les résultats des analyses.

5.3. Synthèse des informations retenues de l'étude diagnostique pour l'optimisation des réseaux

Le Tableau 6 ci-après donne un aperçu de l'approche méthodologique suivie dans l'analyse et la synthèse des données et informations retenues pour l'optimisation des réseaux. Les résultats obtenus à chaque étape sont détaillés dans le Rapport Diagnostic (MEA, 2021).

Tableau 6 : Aperçu de l'approche méthodologique de synthèse des informations

#	Méthode		Résultats
1	Analyse qualitative des données et informations des missions de terrain ; Cartographie des stations visitées.		Fiches techniques des stations visitées Cartes des stations visitées
2	Analyse cartographique des données hydrographiques et calcul de l'ordre des rivières		Carte du réseau hydrographique de chaque bassin national avec l'ordre des rivières
3	Analyse spatiale des stations hydro-météorologiques		Cartes des stations hydrométriques et météorologiques retenues
4	Analyse spatiale des stations de qualité des eaux de surface		Cartes des stations de qualité des eaux retenues
5	Analyse géospatiale des données sur les usages des ressources en eau		Synthèse géospatiale des usages par BVN et des risques de pollution associés
6	Analyse géostatistique des caractéristiques hydrologiques des bassins versants		Tableaux des corrélations croisées des signatures et sélection des signatures hydrologiques adéquats par BVN

5.3.1 Stations hydrométriques visitées par bassin versant national

La Figure 13 ci-après présente les stations hydrométriques visitées et vérifiées lors des missions de terrain. Vu que l'optimisation du réseau hydrométrique est focalisée sur les stations des rivières, les missions de terrain ont privilégié les stations à débits. Les stations hydrométriques à volume répondent à des besoins spécifiques (e.g. suivi des niveaux des barrages ou lacs) et ne sont généralement pas considérés dans un réseau de base ou un réseau national dont les objectifs sont bien différents.

Dans le bassin de la Comoé, toutes les stations hydrométriques sur rivières ont été visitées. Sur les 28 stations sur rivières dans le bassin du Mouhoun, 22 stations ont été visitées. Dans le bassin du Nakanbé 6 stations sur rivières et 4 stations sur barrage, soit un total de 10 stations ont été visitées. Compte tenu des problèmes d'insécurité dans le bassin du Niger, seulement 2 stations sur barrage ont été visitées. Les informations recueillies sur les stations visitées sont présentées dans les fiches techniques jointes au Rapport Diagnostic (MEA, 2021).

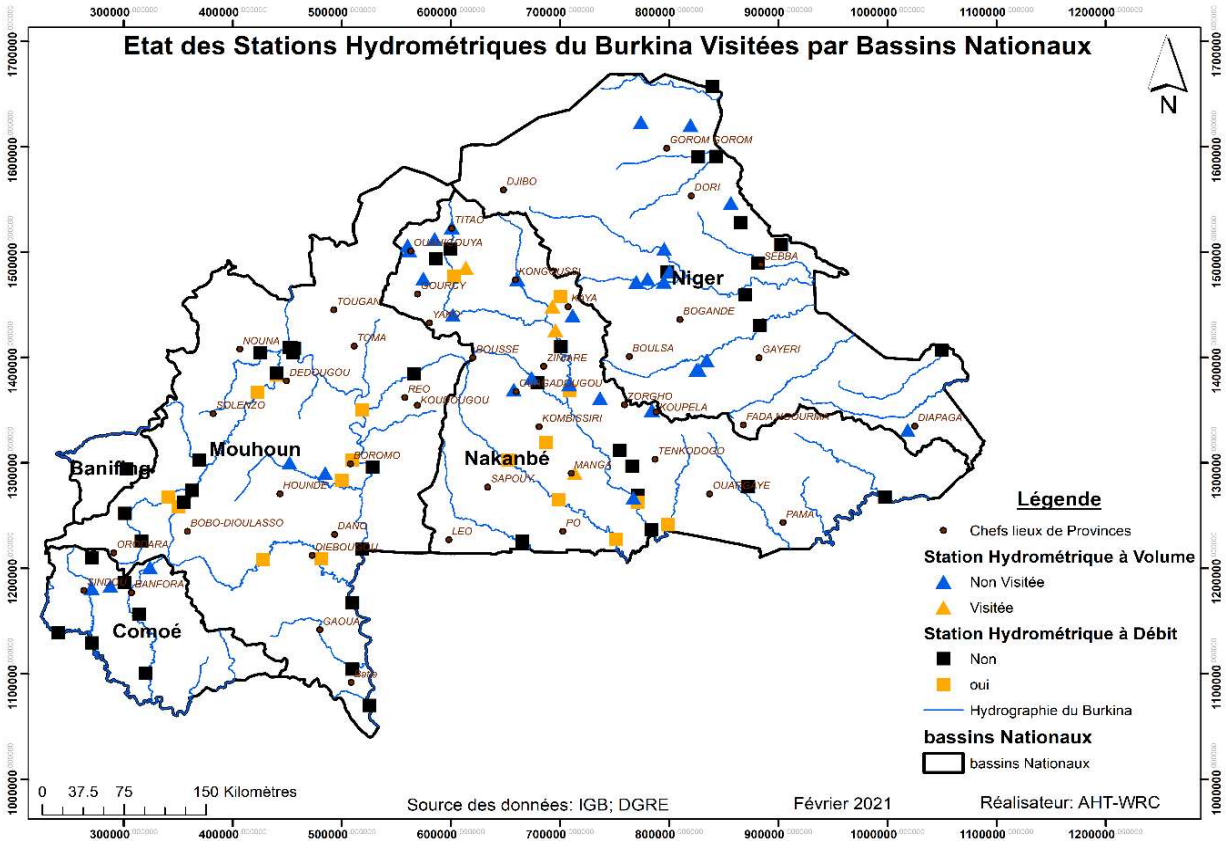


Figure 13 : Cartes des stations hydrométriques visitées ou non lors des missions de terrain (Janv. 2021)

5.3.2 Synthèse des données hydrographiques

Pour la sélection des stations hydrométriques à considérer dans l'optimisation des réseaux, une analyse topologique des données hydrographiques est nécessaire. Elle permet de déterminer l'exutoire des sous-bassins et l'ordre des rivières. L'ordre des rivières est important dans le choix des stations à considérer dans l'optimisation d'un réseau. Par exemple, une station située sur une rivière d'ordre 1 ou d'ordre 2 (selon la classification de Strahler[2]) ne devrait pas faire partie d'un réseau de base. Quant aux exutoires des sous-bassins déterminés, ils serviront de points de localisation des stations potentielles lors de l'optimisation du réseau. La Figure 14 ci-après présente la carte du réseau hydrographique du Burkina Faso avec l'ordre des rivières au sein de chaque bassin versant national. Cette carte permet de mieux apprécier la localisation de chaque station en termes des apports hydriques suivis. Par exemple une station (hydrométrique ou de qualité de l'eau) située sur une rivière d'ordre 1 ou 2, ne concerne que des petits apports. Pour les gros apports les rivières d'ordre 3 à 5 sont considérées. Seules les rivières d'ordre 4 et 5 sont pérennes. Les rivières d'ordre 1, 2, et 3 sont intermittentes. Cependant, les rivières d'ordre 3 s'assèchent plus tardivement que les rivières d'ordre 1 et 2.

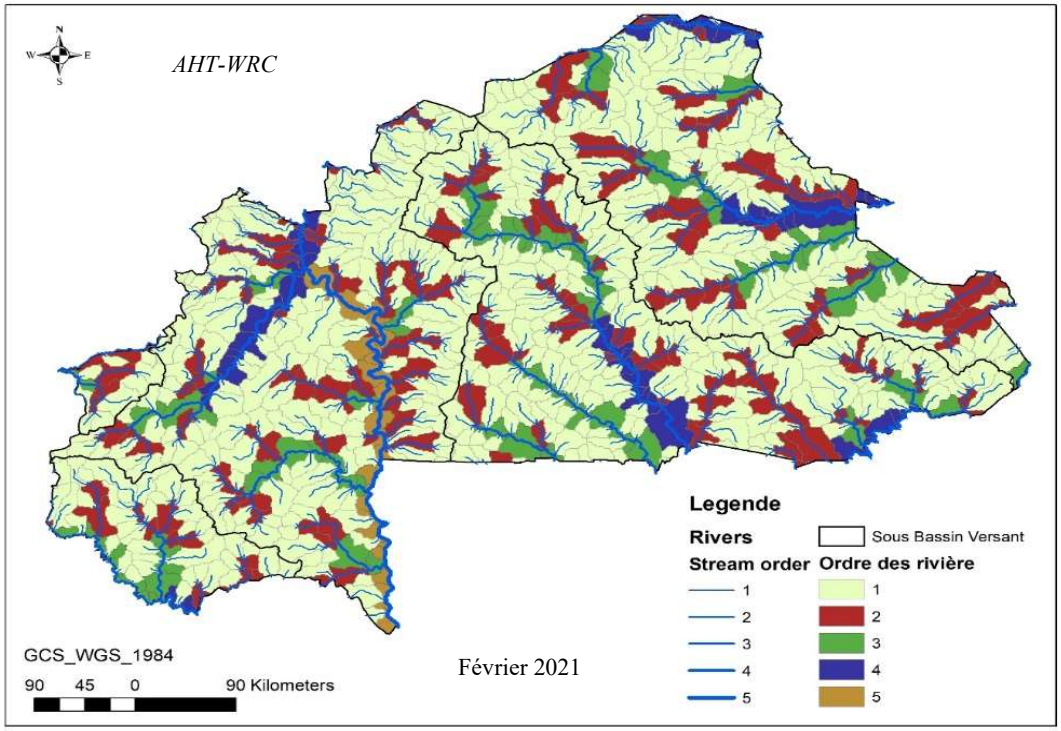


Figure 14 : Carte du réseau hydrographique avec ordre des rivières par BVN

[2] *Strahler, A. N.(1952), "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology", Geological Society of America Bulletin,* ***63*** *(11): 1117–1142.*

5.3.3 Stations hydrométriques étudiées et retenues

La Figure 15 ci-après présente les stations à débits retenues pour l'optimisation du réseau.

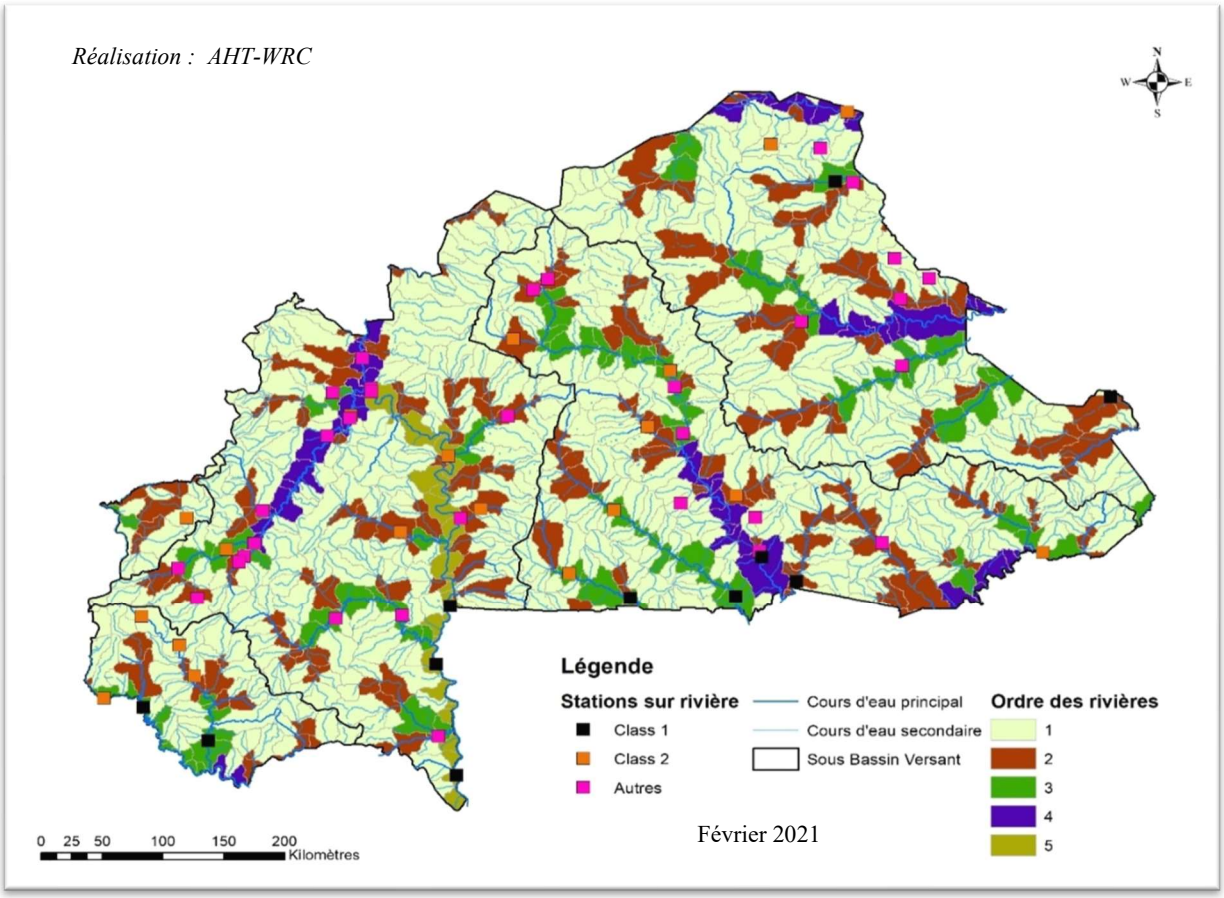


Figure 15 :Carte des stations à débits retenues pour l'optimisation du réseau (février 2021)

Ces stations sont reparties en 3 classes en fonction de leur importance et de leur utilité :

- **Classe 1** qui correspond aux stations essentielles au niveau régional. On y trouve les stations qui contrôlent les flux internationaux en entrée et en sortie des pays, les stations qui possèdent de longues périodes d'observation ainsi que les stations contrôlant le fonctionnement des barrages ayant une incidence régionale.
- **Classe 2** qui correspond aux stations essentielles au niveau national et qui permettent de calculer les principaux bilans d'écoulements au niveau du pays.
- **Autres** qui correspond aux stations d'importance secondaire permettant essentiellement d'affiner les bilans, mais elles ne sont pas des stations sur lacs/barrages.

A noter que les stations sur lacs/barrages sont considérées comme **Classe 3**. Elles répondent à des besoins locaux spécifiques. Ces stations seront maintenues dans le réseau lors de l'optimisation, mais elles ne seront pas optimisées.

5.3.4 Stations météorologiques analysées et retenues

Après analyse de la distribution spatiale des stations météorologiques, les stations qui sont les plus proches des stations hydrométriques actuels et qui assurent une bonne couverture spatiale du BVN ont été retenues. La Figure 31 ci-après présente les stations météorologiques retenues en lien avec les stations hydrométriques de chaque BVN. A noter que les stations retenues couvrent assez bien le réseau hydrographique dans chaque bassin. Toutes les stations synoptiques existantes sont retenues et leurs données serviront au calcul des indices ombrothermiques qui permettront la prise en compte du changement climatique dans l'optimisation des réseaux.

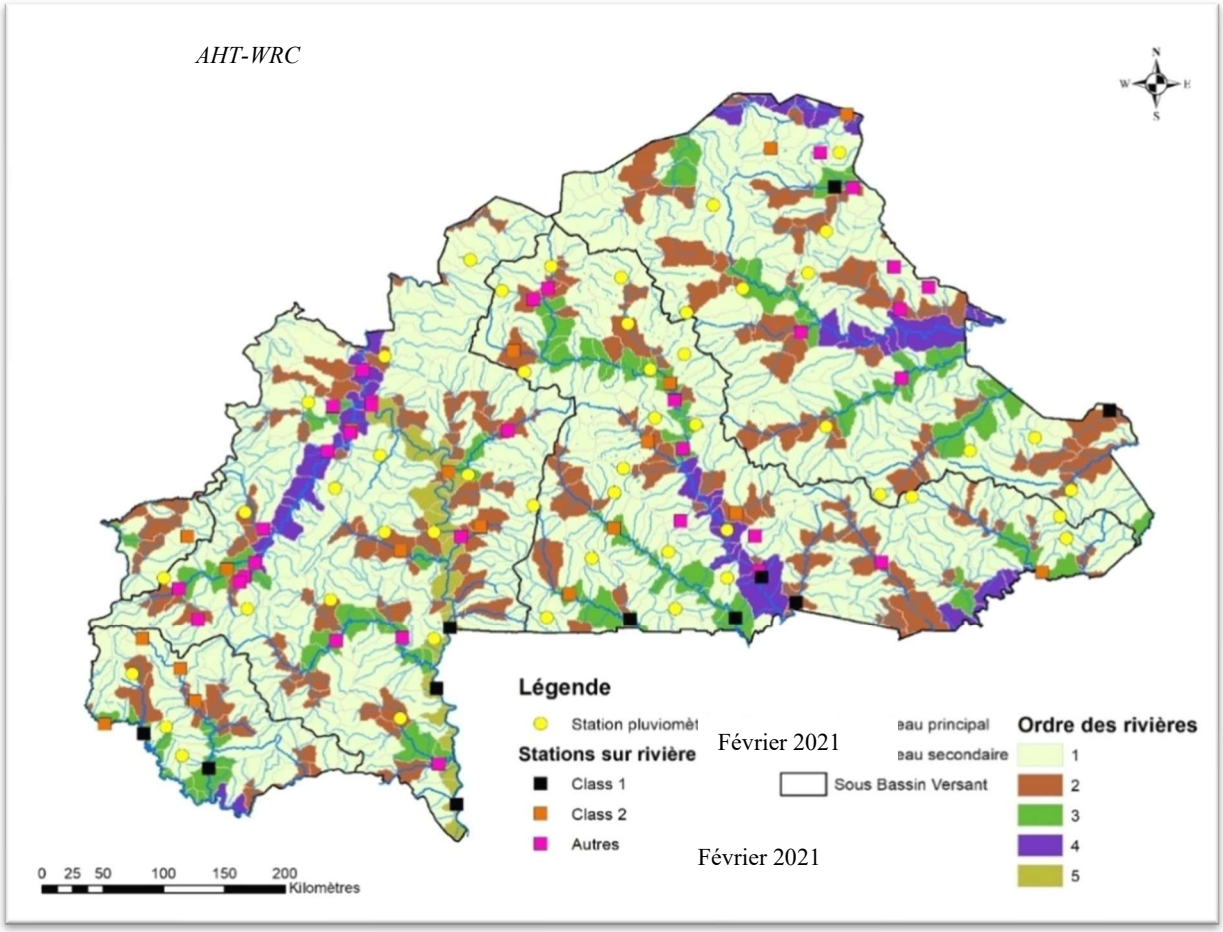


Figure 16 : Carte des stations météorologiques retenues en lien avec le réseau hydrométrique (février 2021)

5.3.5. Stations de qualité des eaux et points de prélèvements retenus

La Figure 17 ci-après présente les stations de qualité des eaux de surface retenues. Ces points de prélèvements sont associés à des stations hydrologiques. La plupart des stations (actuelles/historiques et prévues) sont situées sur des rivières d'ordre 2 ou 3. Seules 4 stations sont localisées sur des rivières d'ordre 4 ou 5. Dans la phase d'optimisation du réseau de qualité des eaux superficielles, les rivières d'ordre 4 et 5 devraient être privilégiées compte tenu de leur pérennité et interaction avec les eaux souterraines.

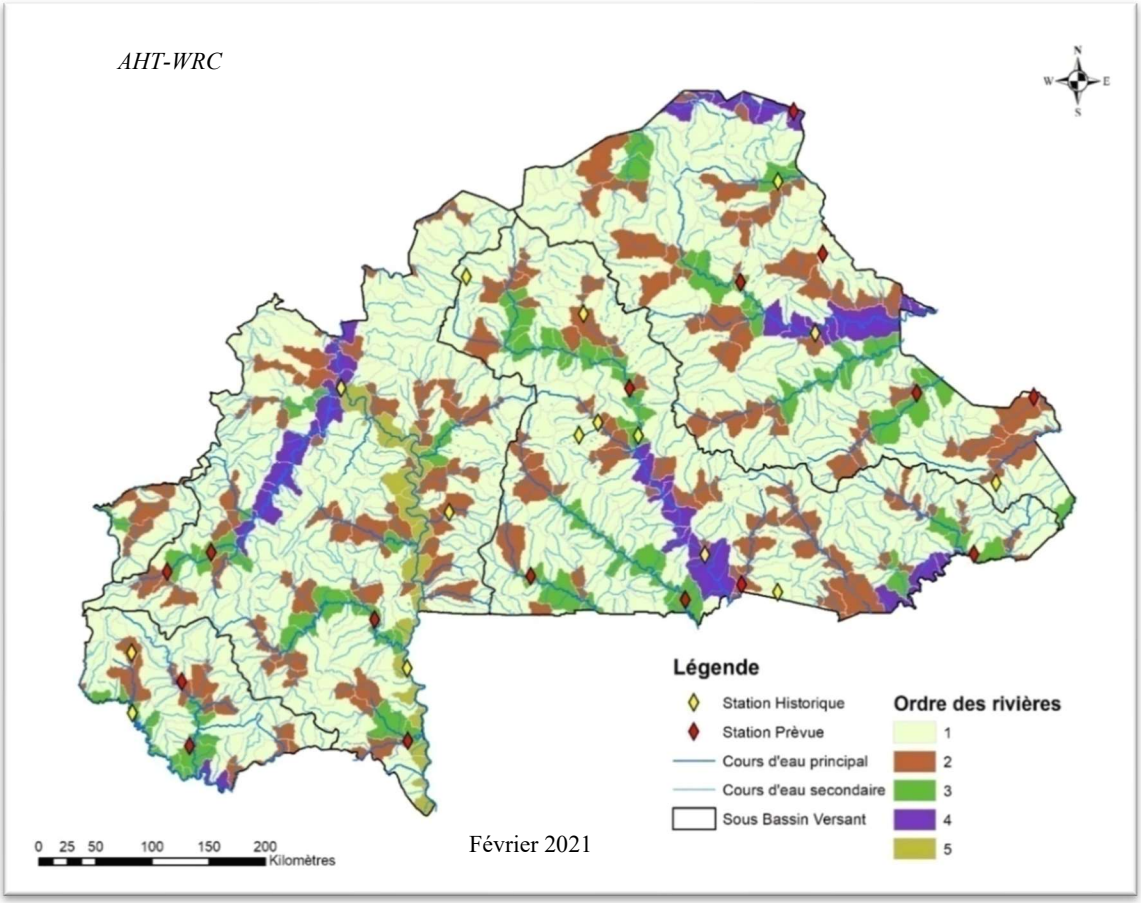


Figure 17 : Carte des stations de qualité des eaux retenues (en date de février 2021)

En plus des stations présentées dans la Figure 17, d'autres besoins d'extension du réseau ont été exprimés (voir Rapport Diagnostic, MEA 2021) et sont pris en compte.

5.3.1 Synthèse géospatiale des données sur les usages des ressources en eau de surface

Le suivi des usages des RE reste un domaine très peu opérationnalisé au Burkina Faso. Les données structurées et officielles existantes sont assez rares. Des efforts sont encore à faire dans ce sens. Néanmoins les types d'usages autour des différents plans d'eau sont assez bien connus et les informations collectées sont présentées par bassin versant.

Les Figures 18 à 25 ci-après présentent les cartes des retenues d'eau et des usages répertoriés dans chaque bassin versant national. Dans la phase d'optimisation, ces cartes seront utiles à l'identification des sites optimaux qui répondent au mieux aux besoins de connaissances sur les ressources en eau. Le Tableau 7 présente les retenues d'eau et les types d'usages sur les différents bassins nationaux. Il existe un nombre important de retenues d'eau au Burkina Faso, le Nakanbé compte à lui seul plus de 500 barrages et plus de 300 boulis. Le bassin du Niger compte plus de 140 petits barrages et plus de 180 boulis. Cette importante densité de retenues d'eau peut contribuer à modifier de façon significative les écoulements dans les sous bassins versants qui les abritent.

En outre, autour de l'ensemble des plans d'eau, qu'ils soient artificiels ou naturels, se développent différents usages notamment agricole, pastoral, AEP, minier etc. Ces usages influencent le bilan hydrique à l'échelle d'un sous bassin versant. En fonction de leur vocation, l'emplacement des stations va naturellement tenir compte des ouvrages artificiels de mobilisation de la ressource en eau et des grands usages. Ces informations seront donc utiles dans la phase d'optimisation du réseau, surtout les cartes de localisation des retenues et des usages qui permettent de définir les indices d'altération des sous-bassins.

Les données utilisées par BVN sont synthétisées dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Retenues d'eau et types d'usages sur les bassins nationaux

	Retenues d'eau					Types d'usages			
BVN	Barrages	Bouli	Lac	Mare		Agricole	AEP	Pastoral	Autres
Mouhoun	298	42	2	76		95	16	209	98
Nakanbé	531	324	5	39		248	16	494	141
Niger	147	183	1	94		122	7	234	62
Comoé	26	5	2	16		16	1	15	17
TOTAL	**1002**	**554**	**10**	**225**		**481**	**40**	**952**	**318**

Sources des données : DGRE, Agences de l'Eau (Situation en date février 2021).

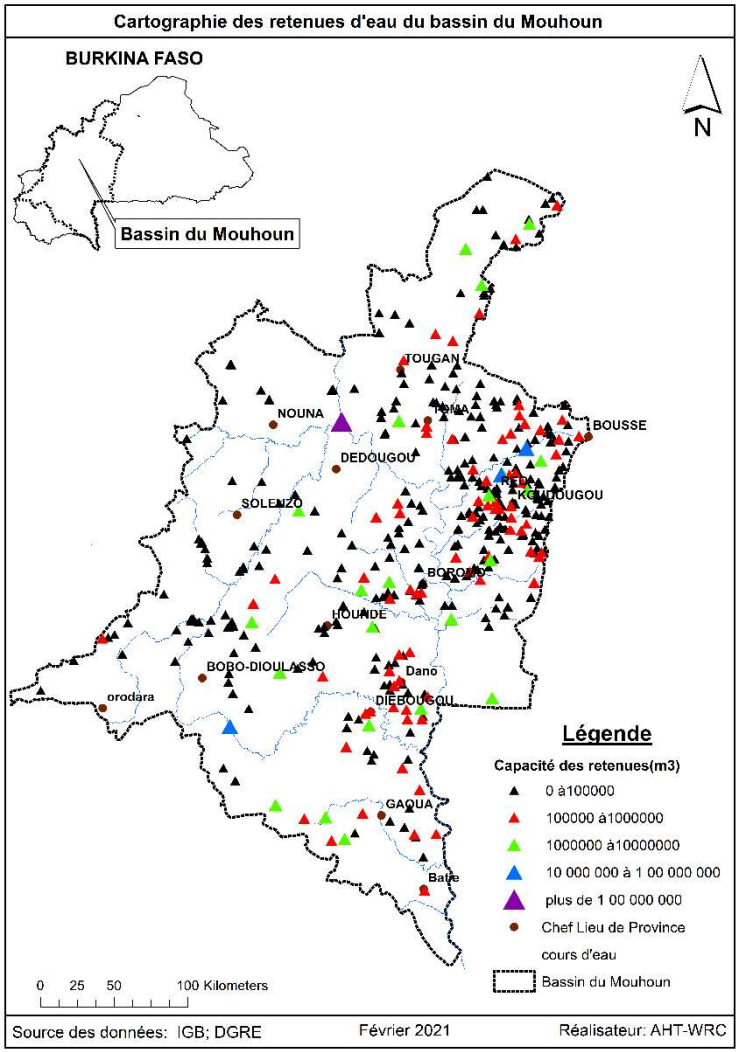


Figure 18 : Retenues d'eau du bassin national du Mouhoun

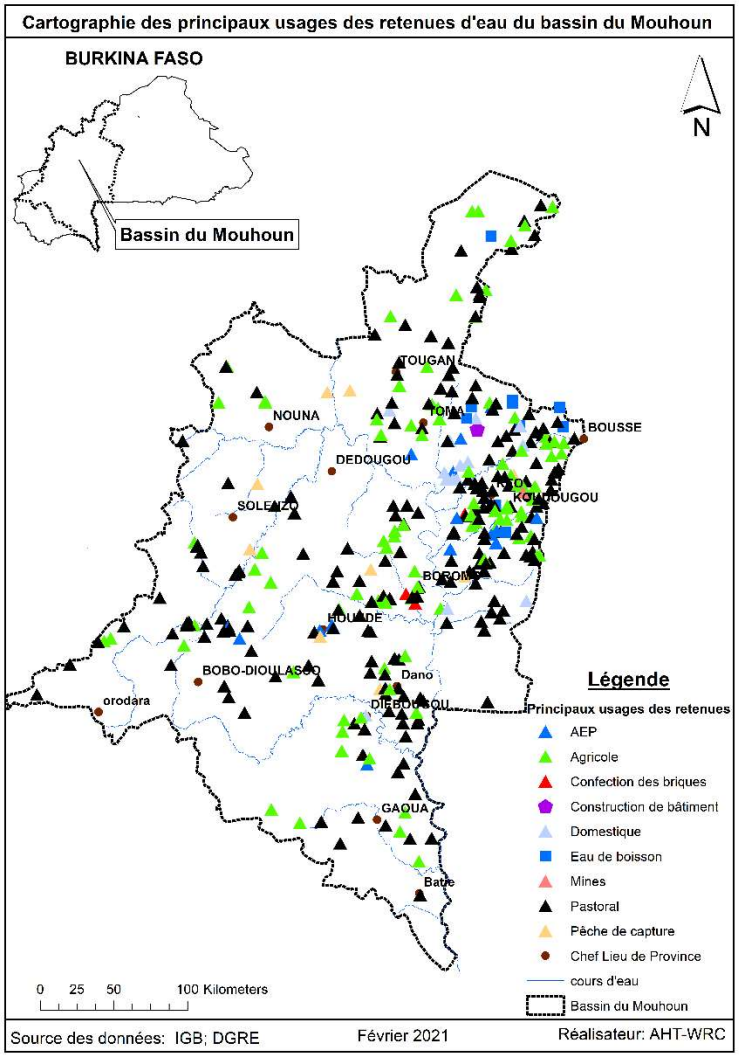


Figure 19 : Usages du bassin national du Mouhoun

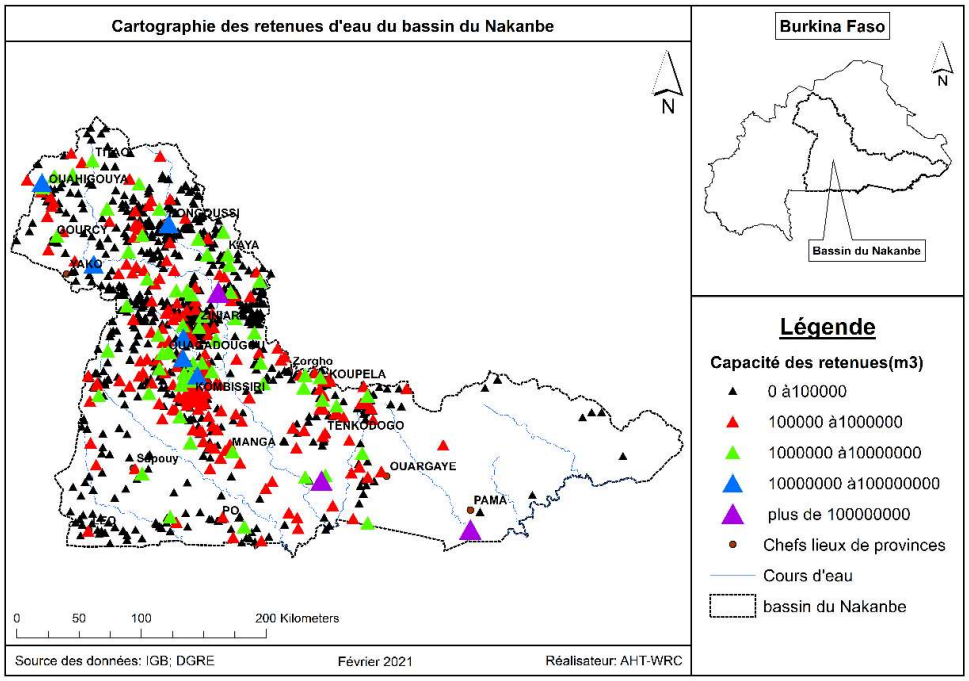


Figure 20 : Retenues d'eau du bassin national du Nakanbé

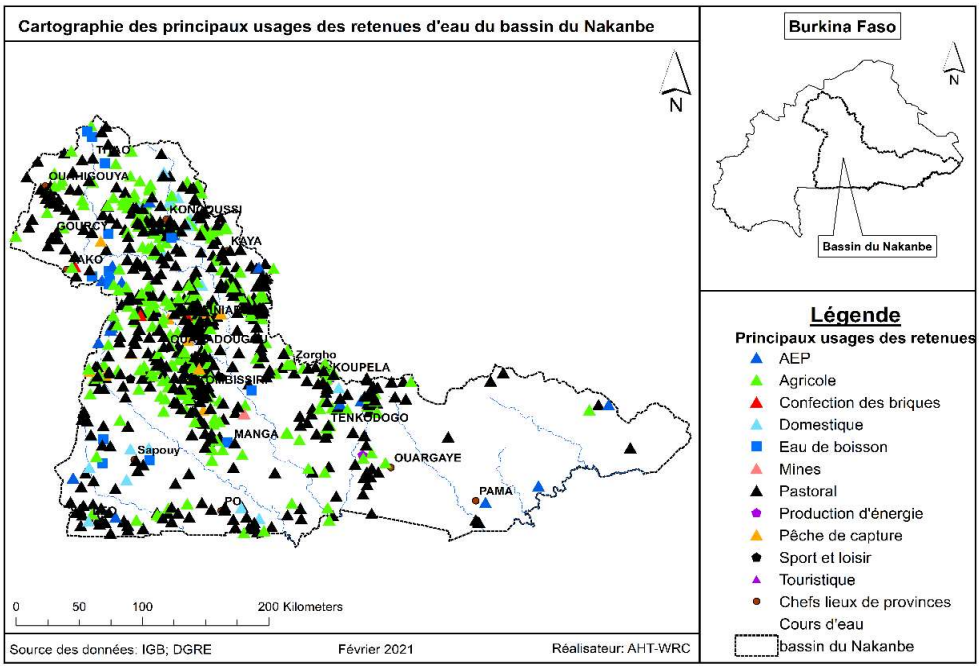


Figure 21 : Usages du bassin national du Nakanbé

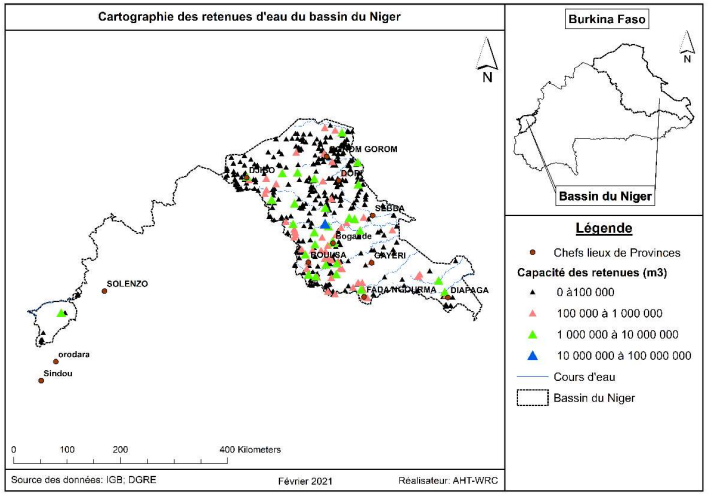


Figure 22 : Retenues d'eau du bassin national du Niger

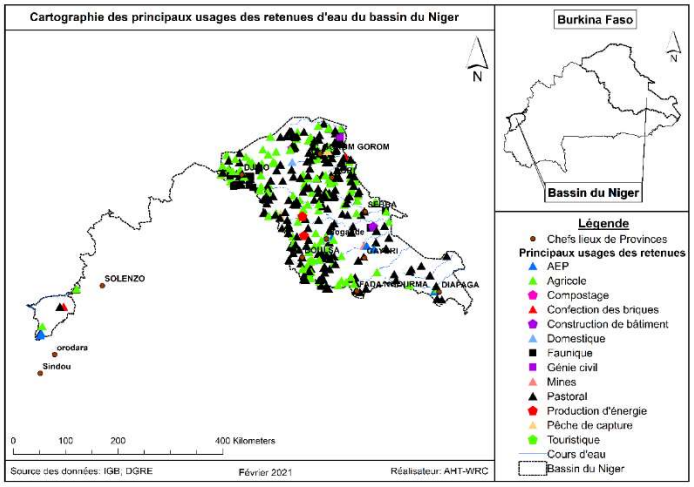


Figure 23 : Usages du bassin national du Niger

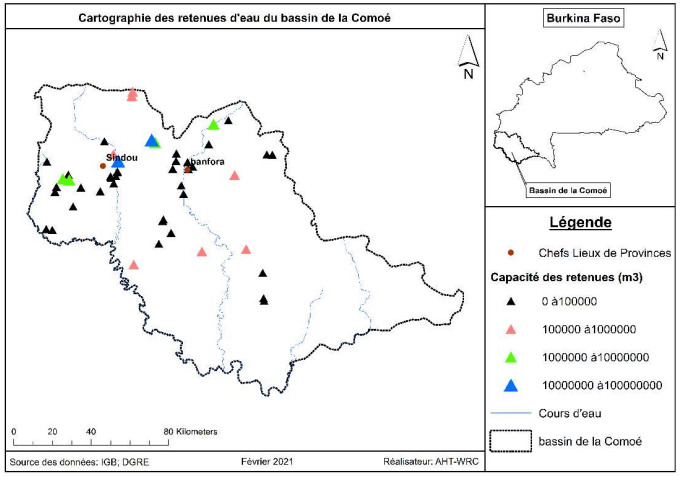


Figure 24 : Retenues d'eau du bassin national de la Comoé

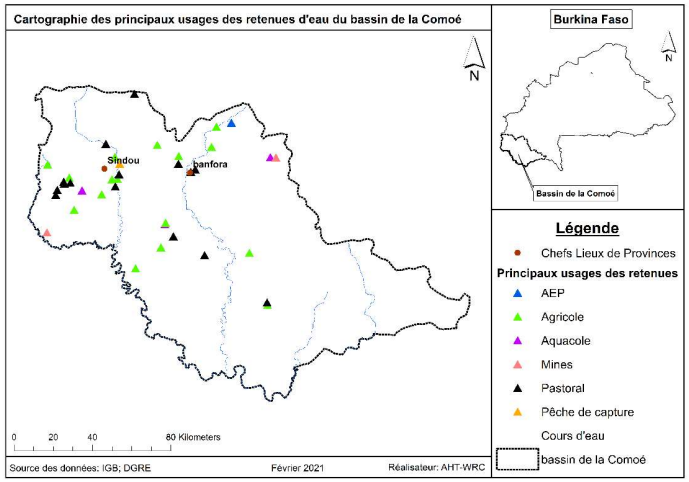
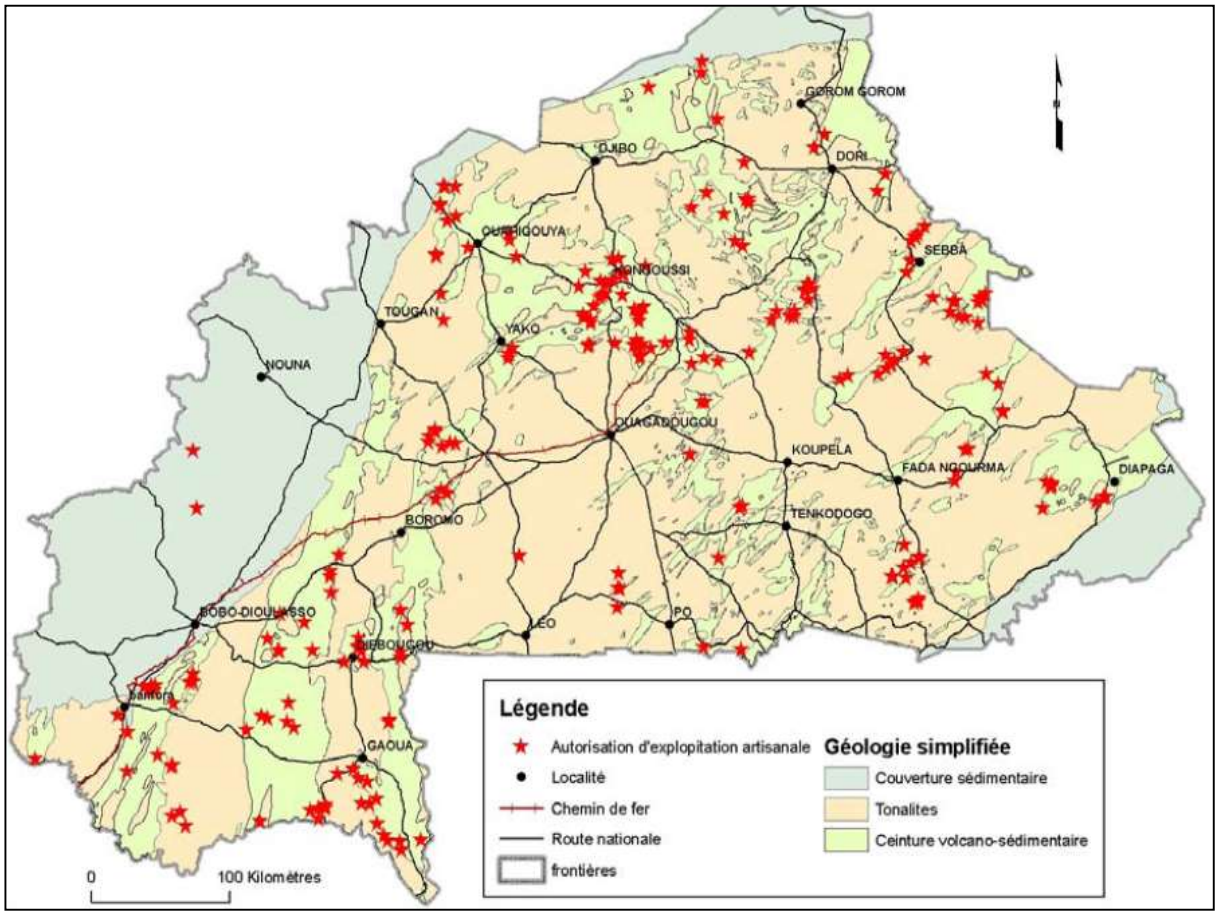


Figure 25 : Usages du bassin national de la Comoé

En plus des risques de pollution agricole et industrielle, le développement fulgurant du secteur minier au cours des deux dernières décennies, augmente les risques de pollution des eaux de surface par les produits chimiques utilisés pour l'extraction des minéraux. La Figure 26 présente une carte des sites ayant fait l'objet d'autorisations d'exploitation artisanale (opérationnels ou non). Cette carte a été élaborée en 2018.

Pour la plupart de ces sites, les autorisations ne sont plus en cours de validité. En juin 2018 il n'y en avait encore 33 en cours de validité. Actuellement il n'y a que 9 sites dont les autorisations sont en cours de validité. Cependant même abandonné, un site d'orpaillage, avec ou sans autorisation, reste toujours préoccupant pour la qualité de l'eau.

Dans l'optimisation du réseau de qualité de l'eau, une attention particulière a été portée aux sites miniers et zones d'orpaillage. Les points de prélèvements seront positionnés de manière à tenir compte de ces zones à risque de même que les paramètres déterminés en laboratoire.



Source de la carte : Ministère des Mines (2018).

Figure 26 : Sites d'orpaillage avec autorisation

5.3.2 Caractéristiques hydrologiques des bassins versants

En plus des informations recueillies sur les réseaux, les usages et les risques de pollutions, une analyse statistique des caractéristiques hydrologiques appelées signatures hydrologiques des bassins versants a été effectuée. Les signatures hydrologiques sont des indicateurs qui caractérisent la réponse hydrologique du bassin versant et qui permettent de comprendre le comportement hydrologique spécifique à chaque bassin. Ces informations sont utiles pour la connaissance des relations pluie-débit et pour l'optimisation des réseaux en tenant compte des besoins de modélisation hydrologique. Il existe plusieurs indicateurs ou signatures hydrologiques, et le choix des indicateurs se fait par analyse de corrélation-croisée (Leach et al. 2015). Les signatures sont calculées à l'aide des données de débit, précipitation et température collectées pour chaque BVN. Une analyse de corrélation-croisée est ensuite effectuée pour identifier les signatures qui sont indépendantes et celles qui sont corrélées. Le Tableau 8 ci-après présente la liste des signatures hydrologiques analysées avec une brève définition. Les résultats de l'analyse de corrélation-croisée sont présentés aux Tableaux 9 et 10.

Tableau 8 : Liste descriptive des signatures hydrologiques analysées

Signature hydrologique	Définition, rôle, et utilité
Coefficient de ruissellement (CR)	Le coefficient de ruissellement (CR) est généralement défini comme le rapport entre l'écoulement (en lame d'eau) et la hauteur d'eau précipitée ; mais de façon plus précise, il s'agit du rapport entre le débit moyen, Q_m, et les précipitations moyennes P_m, à long-terme : $CR = Q_m/P_m$ Le CR permet d'avoir un aperçu du bilan hydrique, par exemple un CR élevé indique qu'une grande partie des précipitations alimente les rivières, alors qu'un CR faible montre qu'une grande partie des précipitations s'évapore.
Pente de la courbe de durée du ruissellement (PCDR)	La courbe de durée du ruissellement (CDR) est la distribution des probabilités du ruissellement supérieur ou égal à un seuil donné. La pente de la CDR est un indicateur de variabilité du ruissellement, et est calculé entre le 33e et le 66e percentile des débits : $PCDR = \frac{(\ln(Q_{33\%}) - \ln(Q_{66\%}))}{(0.66-0.33)}$ Une valeur élevée de la PCDR indique un régime de ruissellement très variable, alors qu'une pente faible montre un régime peu varié.
Indice d'écoulement de base (IEB)	L'indice d'écoulement de base (IEB) est le rapport entre le débit de base, Q_B, et le débit total, Q, et l'indice est calculé en faisant la somme des ratios entre débit de base au temps *t* et débit total au temps *t* sur la période de temps désirée : $IEB = \sum \frac{Q_B}{Q}$ Un IEB élevé indique un bassin a forte contribution de débit de base, alors qu'un indice faible caractérise un bassin sans contribution interne au débit de base.
Elasticité du ruissellement (ER)	L'élasticité du ruissellement (ER) indique the taux de changement du débit en fonction des changements des précipitations. L'ER est ainsi calculé :

	ER = $median\left(\frac{dQ\bar{P}}{dP\bar{Q}}\right)$ A noter que dQ et DP sont les écarts interannuels entre débits annuels et précipitations annuelles respectivement ; $\bar{Q}$ et $\bar{P}$ sont le débit moyen annuel et la précipitation moyenne annuelle.
Densité des courbes de concentration (DCC)	La densité des courbes de concentration (DCC) est un descripteur de la facilité de réponse ou «flashiness» du bassin. La DCC est le rapport entre le nombre de courbes de concentrations (aussi appelées courbes de crues), N_{cc}, et la durée totale (D_t) pendant laquelle l'hydrogramme est en montée: DDC = $\frac{N_{cc}}{D_t}$ La DCC permet d'avoir un aperçu de la tendance du bassin en termes de réponse hydrologique.

Pour le bassin de la Comoé et du Mouhoun, les signatures DCC, CR, ER sont les plus indépendantes, mais PCDR et IEB sont fortement corrélées donc seulement l'une des deux peut être retenue. A noter que le seuil de corrélation retenue est de 70%. Lorsque deux signatures ont une corrélation supérieure ou égale à 70%, seulement l'une des deux signatures est retenue. Finalement, pour les bassins de la Comoé et du Mouhoun, les signatures retenues sont: **DCC, CR, ER, IEB.** Ces signatures seront utilisées comme critères additionnels dans l'optimisation des réseaux pour permettre la prise en compte des caractéristiques hydrologiques spécifiques de chaque bassin versant et des processus pluie-débits qui dépendent de ces caractéristiques.

Tableau 9 **:** Résultats de l'analyse statistique des signatures : Comoé et Mouhoun

BVN		PCDR	IEB	DCC	CR	ER
COMOE	PCDR	1.00	-0.93	-0.06	-0.27	0.56
	IEB	-0.93	1.00	0.38	0.11	-0.54
	DCC	-0.06	0.38	1.00	-0.53	-0.31
	CR	-0.27	0.11	-0.53	1.00	-0.24
	ER	0.56	-0.54	-0.31	-0.24	1.00
MOUHOUN	PCDR	1.00	-0.73	-0.16	0.04	0.32
	IEB	-0.73	1.00	-0.27	-0.01	-0.39
	DCC	-0.16	-0.27	1.00	-0.29	-0.03
	CR	0.04	-0.01	-0.29	1.00	-0.11
	ER	0.32	-0.39	-0.03	-0.11	1.00

Note : **PCDR** : Pente de la courbe de durée du ruissellement ; **DCC** : Densité des courbes de concentration ; **IEB** : Indice d'écoulement de base ; **CR** : Coefficient de ruissellement ; **ER** : Élasticité du ruissellement

Tableau 10 : Résultats de l'analyse statistique des signatures : Nakanbé et Niger

BVN		PCDR	IEB	DCC	CR	ER
NAKANBE	PCDR	1.00	-0.70	0.05	-0.12	0.02
	IEB	-0.70	1.00	-0.47	0.26	-0.39
	DCC	0.05	-0.47	1.00	-0.09	0.33
	CR	-0.12	0.26	-0.09	1.00	-0.14
	ER	0.02	-0.39	0.33	-0.14	1.00
NIGER	PCDR	1.00	-0.59	0.62	-0.48	0.19
	IEB	-0.59	1.00	-0.21	0.81	-0.15
	DCC	0.62	-0.21	1.00	0.12	0.07
	CR	-0.48	0.81	0.12	1.00	-0.09
	ER	0.19	-0.15	0.07	-0.09	1.00

Note : **PCDR** : Pente de la courbe de durée du ruissellement ; **DCC** : Densité des courbes de concentration ; **IEB** : Indice d'écoulement de base ; **CR** : Coefficient de ruissellement ; **ER** : Élasticité du ruissellement

Pour le bassin du Nakanbé, les signatures DCC, CR, ER sont les plus indépendantes, mais PCDR et IEB sont significativement corrélées donc seulement l'une des deux peut être retenue. Pour le bassin du Niger, IEB et CR sont fortement corrélées, mais PCDR, DCC, ER sont indépendantes. Finalement, pour les bassins du Nakanbé et du Niger les signatures retenues sont : **DCC, CR, ER**, et **PCDR**. Ces signatures retenues sont utilisées comme critères additionnels dans l'optimisation des réseaux. Elles permettent de tenir compte des caractéristiques hydrologiques de chaque bassin et des relations pluie-débits inhérentes.

5.4. Traitement des données utilisées

Le Tableau 11 ci-après résume les différents types de données utilisées et leurs techniques de traitement respectif. L'utilisation de chacune des données dans le processus d'optimisation des réseaux sera expliquée dans les sections suivantes.

Tableau 11 : Types de données collectées et techniques de traitement

Type de données	Variable	Période	Techniques de traitement et d'analyse
Hydrologie	Débits des rivières (journaliers et mensuels) Hauteurs d'eau des barrages (journaliers et mensuels) Débits synthétiques (du modèle HYPE)	1955-2019 1979-2019	Analyse statistique des lacunes ; Technique IDW-DAR pour comblement de petites lacunes (< 20%) ; Utilisation de données synthétiques ou simulées (HYPE).
Qualité de l'eau	Température de l'eau, pH, conductivité, Turbidité, Nitrates, Métaux lourds et autres variables.	2004-2020	Élimination des lacunes. Pas comblement de lacunes
Météorologiques	Précipitation totale journalière et mensuelle	1960-2015	Technique inverse de la distance (Inverse Distance Weighting – IDW)
Climatiques	Température journalière et mensuelle (max, min, moyenne) ; Évapotranspiration mensuelle	1960 -2015 1961-2015	Interpolation linéaire ; Modèle autorégressif d'ordre 1.
Changement climatique	Indices ombrothermiques Précipitation (totale mensuelle) synthétique des modèles régionaux de climat retenus ; Température mensuelle (moyenne, max, min) synthétique des modèles régionaux de climat retenus	1970-2100	Calcul numérique des indices ; Correction de biais des données synthétiques par l'approche dite « equiratio quantile mapping »
Caractéristiques physiques	Signatures hydrologiques ; Classes de couverture du sol (sol dénudé/urbanisé, terres agricoles, arbres, forets, eau de surface, etc.) ; Attributs physiques (topographie, position géographique, pente du terrain)	1970 - 2018	Analyse géospatiale et corrélation croisée ; Analyse par composantes principales plus K-means clustering; Classification des sous-bassins.
Usages et Retenues	Retenues d'eau (barrages, bouli, mares, lacs) et usages (AEP, agricole, pastoral, mines, et autres)	1966-2019	Analyse géospatiale ; Calcul d'indices d'altération des bassins versants.
Financières	Dépenses annuelles (hébergement, restauration, carburant) du suivi du réseau dans 3 régions ; Coût mensuel de réfection des stations dans 3 régions. Coût annuel estimatif du réseau qualité des eaux de surface.	2020-2021	Calcul pondérée et extrapolation à l'ensemble du réseau actuel pour déterminer le budget moyen annuel requis pour le suivi d'une station hydrométrique et d'une station de qualité de l'eau.

5.4.1 Données hydrologiques

Les séries de débits journaliers disponibles couvrent une longue période (1955-2019) mais elles sont truffées de lacunes de diverses tailles. Le même problème de lacunes se posent pour les séries de hauteur d'eau au niveau des barrages.

Le tableau suivant présente la taille des lacunes présentes dans les stations à débits. Il est à noter que des lacunes supérieures à 20% de la chronique observée introduisent un biais dans les données quelle que soit la technique de comblement des lacunes (Mishra and Coulibaly, 2010). Par conséquent, toutes les données de débits ne sont pas utilisées dans l'analyse préliminaire des réseaux. De même, seules les séries moins lacunaires sont retenues pour le calcul des signatures hydrologiques qui sont utilisées dans l'optimisation des réseaux.

Tableau 12 : Statistiques des lacunes dans les séries débits

BVN			Nombre de stations à débit avec lacunes				
	Années	<=10%	11% – 20%	21% - 30%	31% - 40%	41% - 50%	>=51%
COMOE	1955-2017	1	1	0	1	1	4
MOUHOUN	1955-2017	3	0	2	1	5	5
NAKAMBE	1955-2017	0	1	1	1	1	24
NIGER	1987-2017	0	1	2	3	3	4
TOTAL par classe de lacune		4	3	5	6	10	37

Pour les lacunes inferieures à 20%, différentes techniques de comblement des lacunes ont été testées et les méthodes les plus robustes dans ce contexte-ci ont été sélectionnées. Les techniques comparées incluent la régression linéaire, le modèle autorégressif d'ordre 1, la méthode dite «*forward and reverse autoregressive fitting*», l'interpolation linéaire, la méthode *des «voisins les plus proches»*, et la technique IDW-DAR «*inverse distance weighting with drainage area ratio*». Finalement la technique IDW-DAR a été retenue pour le comblement des lacunes inférieures à 20%. Pour éviter l'introduction de biais dans les données de débits utilisées dans l'optimisation des réseaux, les débits simulés du modèle HYPE ont été utilisés. Ces séries synthétiques ont fait l'objet d'évaluation à l'aide de stations bien choisies à travers l'ensemble du bassin de la Volta (voir FANFAR, 2020). Le modèle a été développé pour la prévision des crues ce qui exige du modèle une bonne performance.

5.4.2 Données météorologiques et climatiques

Précipitations et températures

Les données historiques de précipitations journalières et des températures journalières y compris les maximales et les minimales journalières, contenaient très peu de lacunes. Ces données obtenues de l'ANAM ont fait l'objet de validation. Les quelques petites lacunes présentes dans les séries de températures journalières ont été simplement comblées par interpolation linéaire après comparaison avec un modèle auto-regressif d'ordre 1 qui n'a pas montré un avantage significatif. Le comblement des petites lacunes des séries de précipitations journalières, a été effectué à l'aide de la technique IDW ou inverse de la distance.

Indices ombrothermiques

L'indice ombrothermique ou indice d'humidité/aridité de Bagnols-Gaussen (BGI) est calculé à partir des données de température et de précipitation en utilisant l'équation introduite par Bagnols et Gausen en 1957 et qui a été adaptée en 2005 par Priceputu et Greppin pour évaluer l'étendue spatiale de la vulnérabilité d'une région au changement climatique. Il s'agit d'un indicateur de vulnérabilité au changement climatique en termes de potentiel hydrique.

Les indices ombrothermiques historiques ont été calculés sur la période 1988 – 2015 où les données météorologiques sont disponibles pour les 4 bassins versants nationaux. Ces indices ont également été calculés pour le climat futur (2030-2100) en utilisant les données projetées des modèles régionaux de climat, et seront présentés dans la section suivante.

Exemples de résultats du calcul des indices ombrothermiques

Les Figures 27 à 30 présentent les indices ombrothermiques historiques et leurs variations mensuelles et annuelles en comparaison avec les variations de précipitations et de températures, pour chaque BVN. Ces figures illustrent surtout les variations saisonnières qui influencent le régime hydrologique de chaque BVN.

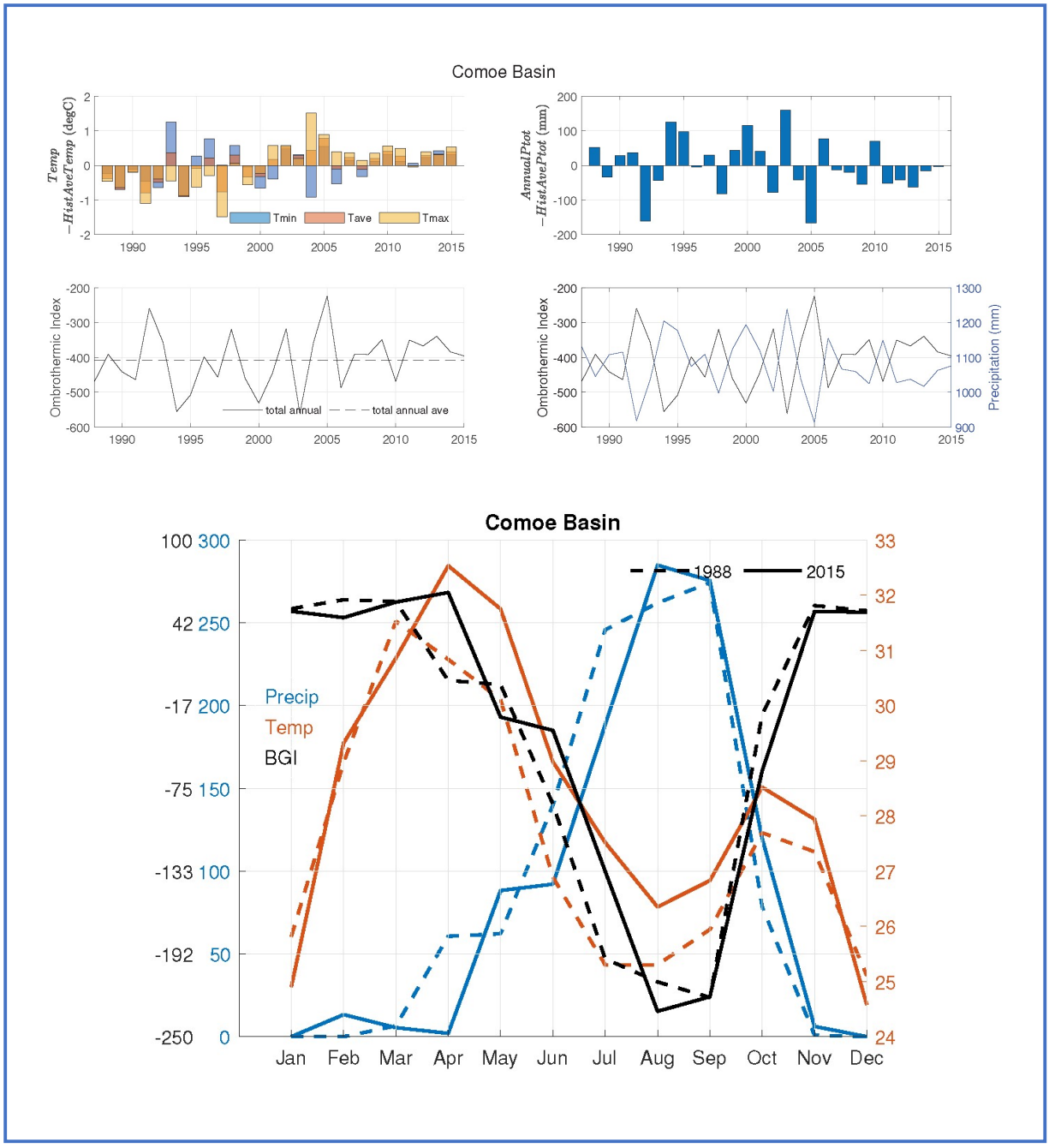


Figure 27 : Indices ombrothermiques historiques du BVN de la Comoé

La Figure 28 présente les indices ombrothermiques historiques du BVN du Mouhoun et leurs variations mensuelles et annuelles en lien avec celles des températures et précipitations

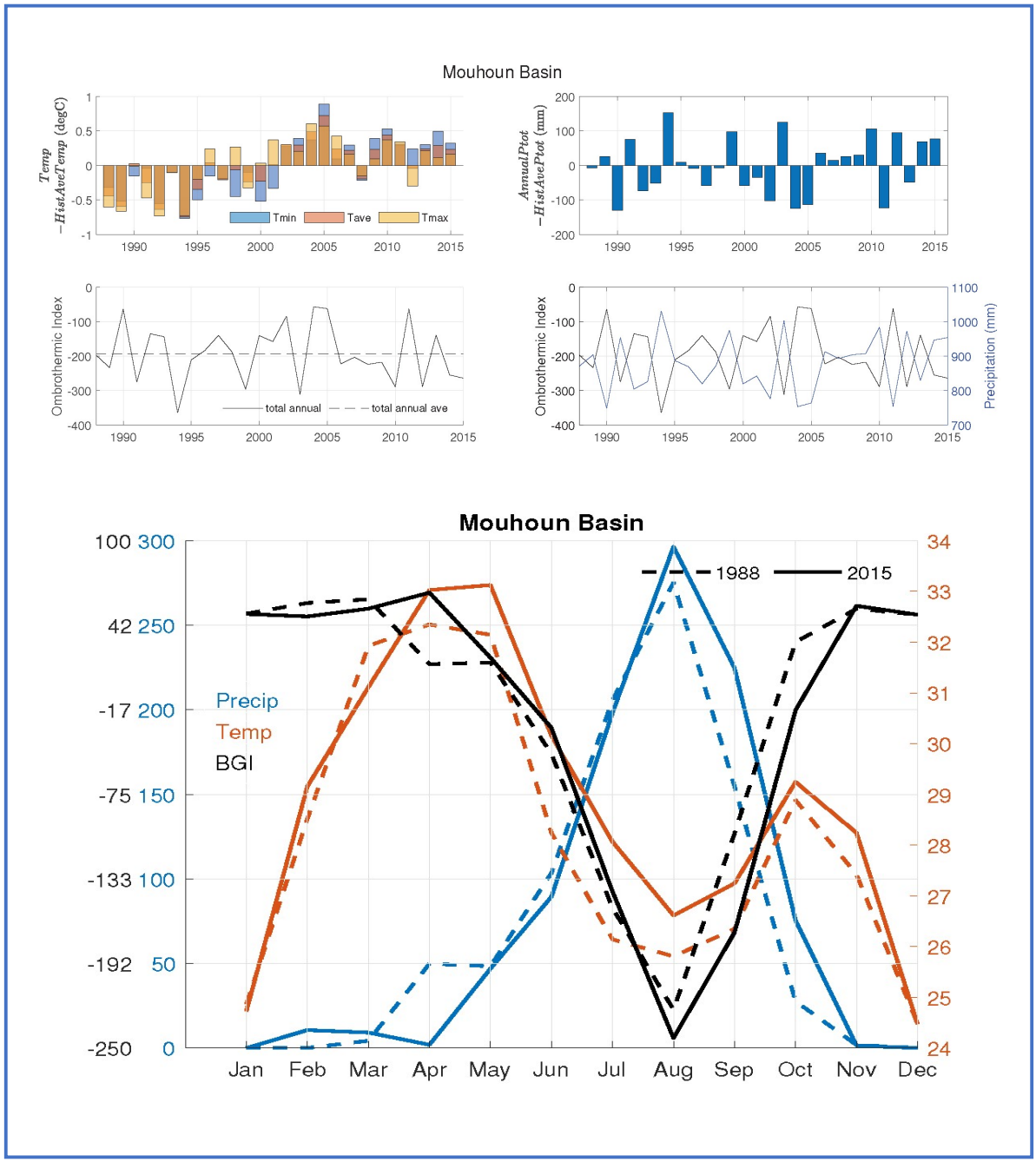


Figure 28 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Mouhoun

La Figure 29 présente indices ombrothermiques historiques du BVN du Nakanbé et leurs variations mensuelles et annuelles en lien avec celles des températures et précipitations.

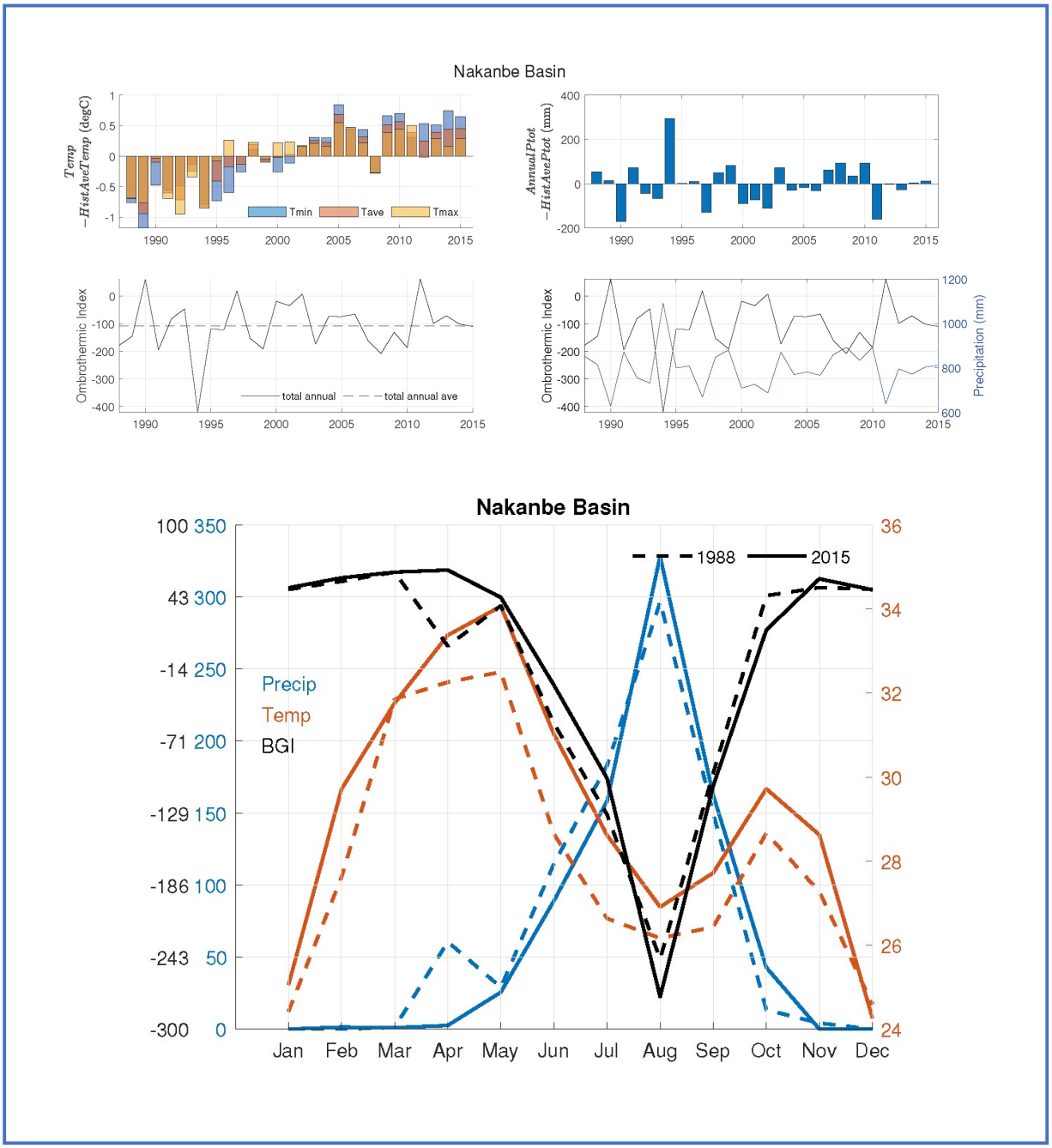


Figure 29 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Nakanbé

La Figure 30 présente les indices ombrothermiques historiques du BVN du Niger et leurs variations mensuelles et annuelles en lien avec celles des températures et précipitations.

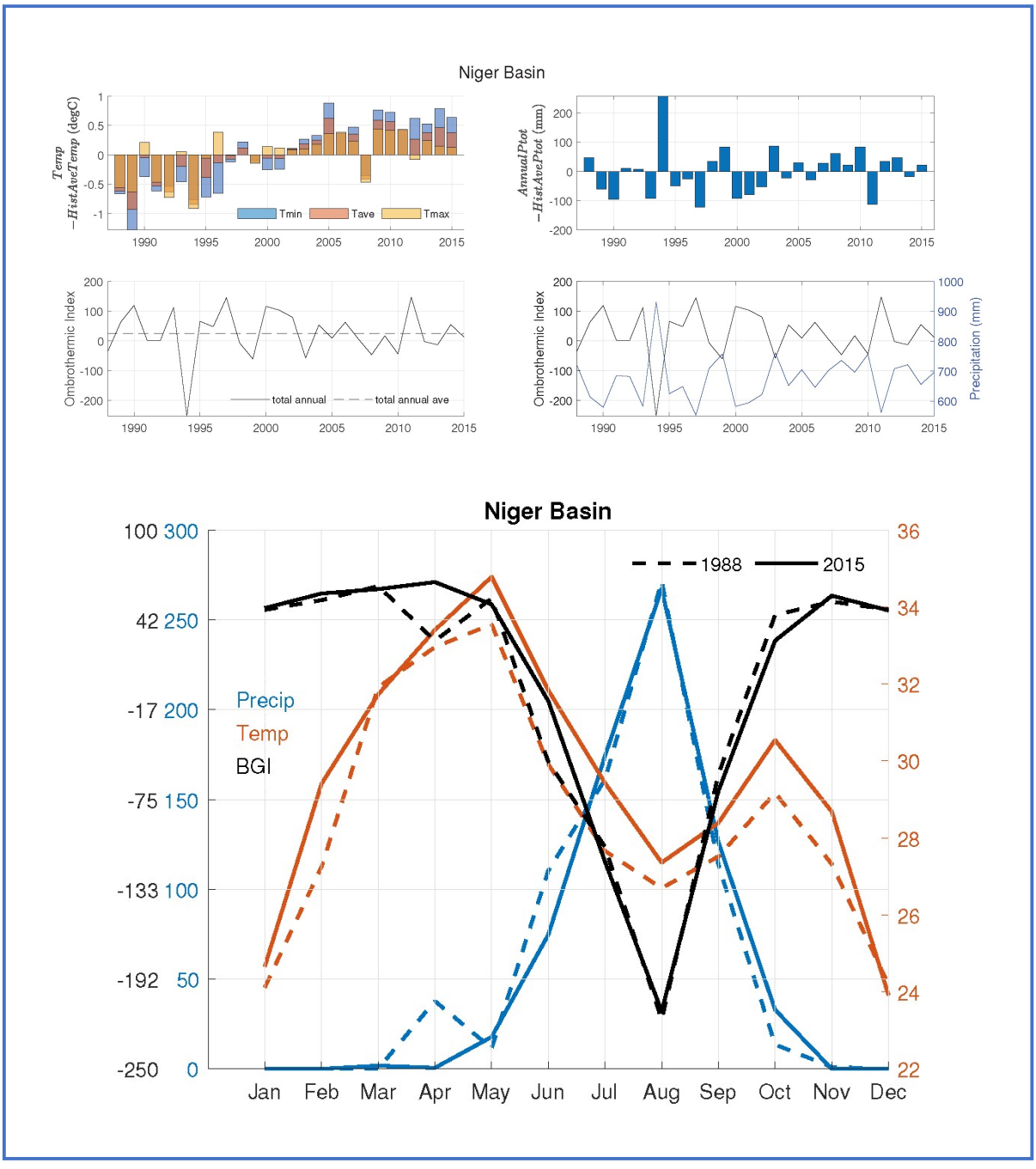


Figure 30 : Indices ombrothermiques historiques du BVN du Niger

5.4.3 Données sur les projections climatiques

Les données brutes sur les projections climatiques ont été collectées au portail du programme CORDEX (https://cordex.org/domains/region-5-africa/) pour la période 1980-2100. Les données de précipitation et de température du climat futur ont été collectées pour 36 modèles régionaux de climat (RCM) pour le scenario climatique RCP8.5 qui est maintenant considéré comme l'option la plus probable. En effet, ce scénario présume que la concentration de gaz à effet de serre continuera d'augmenter d'un taux semblable à celui actuel. Le choix de ce scenario climatique a été guidé par les récentes études qui recommandent l'utilisation du scenario RCP8.5 comme l'option la plus probable pour le climat futur (e.g. Schwalm et al. 2020; Requena et al. 2021 ; et autres). En août 2020, la National Academy of Sciences des Etats-Unis a conclu ceci dans une de ces publications sur le choix des scenarios climatiques : « *The RCP 8.5 CO2 emissions pathway, long considered a « worst-case scenario » by the International Science Community, is the most appropriate for conducting assessments of the climate change impacts by 2050* ». *(*Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020; DOI: 10.1073/pnas.2007117117).*

Les données brutes des 36 RCMs ont été comparées aux données observées sur la même période (1988-2015) pour déterminer les modèles performants pour le contexte d'étude. Les données des modèles retenus ont ensuite subi une correction de biais à l'aide d'une technique dite « *equiratio quantile mapping* » ou estimation par quantile d'équiratio qui a été récemment identifiée comme l'une des techniques les plus robustes pour la correction des biais des données des modèles climatiques (Ganguli and Coulibaly 2019).

Modèles climatiques retenus

Le Tableau 13 présente la liste des modèles climatiques considérés et ceux retenus (indiqués en bleu). Plusieurs critères recommandés dans la littérature scientifique (e.g. Khan et al. 2006 ; et d'autres) ont été considérés dans le choix des modèles climatiques. Cela inclut la durée des périodes sèches et humides («dry-spell length», «wet-spell length»), la performance des modèles lors des des études d'inter-comparaison (e.g. Dosio et al. 2020), la tendance du modèle à surestimer ou à sous-estimer les précipitations extrêmes, et les critères statistiques usuels (coefficient de corrélation, erreur quadratique moyenne, erreur moyenne absolue, biais). La Figure 31 présente la comparaison des 7 modèles retenus et dont les données corrigées ont été utilisées pour le calcul des

indices ombrothermiques du climat futur. Le choix d'un ensemble de modèles est nécessaire pour tenir compte de l'incertitude inhérente aux données des modèles climatiques.

Tableau 13: Modèles climatiques retenus

Driving Model/Modele GCM	Institute - RCM/Institut du RCM	Coefficient Correlation	RMSE	MAE	PBIAS
CCCma-CanESM2	SMHI-RCA4-v2	0.66	48.38	25.52	-1.14
CCCma-CanESM2	SMHI-RCA4	0.66	48.53	28.90	-1.65
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4-v2	0.66	49.96	27.82	-1.16
MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4	0.66	48.91	28.26	-1.54
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4-v2	0.66	49.19	28.20	-1.12
ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4	0.66	49.39	29.19	-1.67
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22T-v2	0.66	50.73	29.17	-1.41
ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22T	0.66	51.45	28.85	-1.09
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	SMHI-RCA4-v2	0.65	61.55	30.29	0.07
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	SMHI-RCA4	0.65	126.83	34.63	4.62
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4-8-17-v2	0.65	60.00	29.13	3.47
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4-8-17	0.65	79.77	30.91	1.34
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17-v2	0.63	429.42	51.01	34.70
MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17	0.63	72.13	31.39	1.26
MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4-v2	0.63	300.49	44.22	30.31
MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4	0.63	347.95	102.80	33.50
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17-v2	0.62	65.32	31.30	7.50
MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17	0.62	346.23	98.17	86.34
NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA4-v2	0.59	48.38	27.52	-2.14
NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA4	0.59	48.53	28.90	-1.65
MIROC-MIROC5	SMHI-RCA4-v2	0.58	49.96	27.82	-1.16
MIROC-MIROC5	SMHI-RCA4	0.58	48.91	28.26	-1.54
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4-v2	0.57	49.19	28.20	-1.12
IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4	0.57	49.39	29.19	-1.67
CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	SMHI-RCA4-v2	0.56	50.73	29.17	-1.41
CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	SMHI-RCA4	0.56	51.45	28.85	-1.09
MIROC-MIROC5	GERICS-REMO2009-v2	0.56	61.55	30.29	0.07
MIROC-MIROC5	GERICS-REMO2009	0.56	126.83	34.63	4.62
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009-v2	0.53	590.00	59.13	33.47
MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009	0.53	79.77	30.91	1.34
MOHC-HadGEM2-ES	GERICS-REMO2009-v2	0.47	429.42	51.01	34.70
MOHC-HadGEM2-ES	GERICS-REMO2009	0.47	72.13	31.39	1.26
NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	SMHI-RCA4-v2	0.37	300.49	44.22	30.31
NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	SMHI-RCA4	0.37	347.95	102.80	115.90
IPSL-IPSL-CM5A-LR	GERICS-REMO2009-v2	0.16	168.32	36.30	10.50
IPSL-IPSL-CM5A-LR	GERICS-REMO2009	0.16	453.23	168.17	186.34

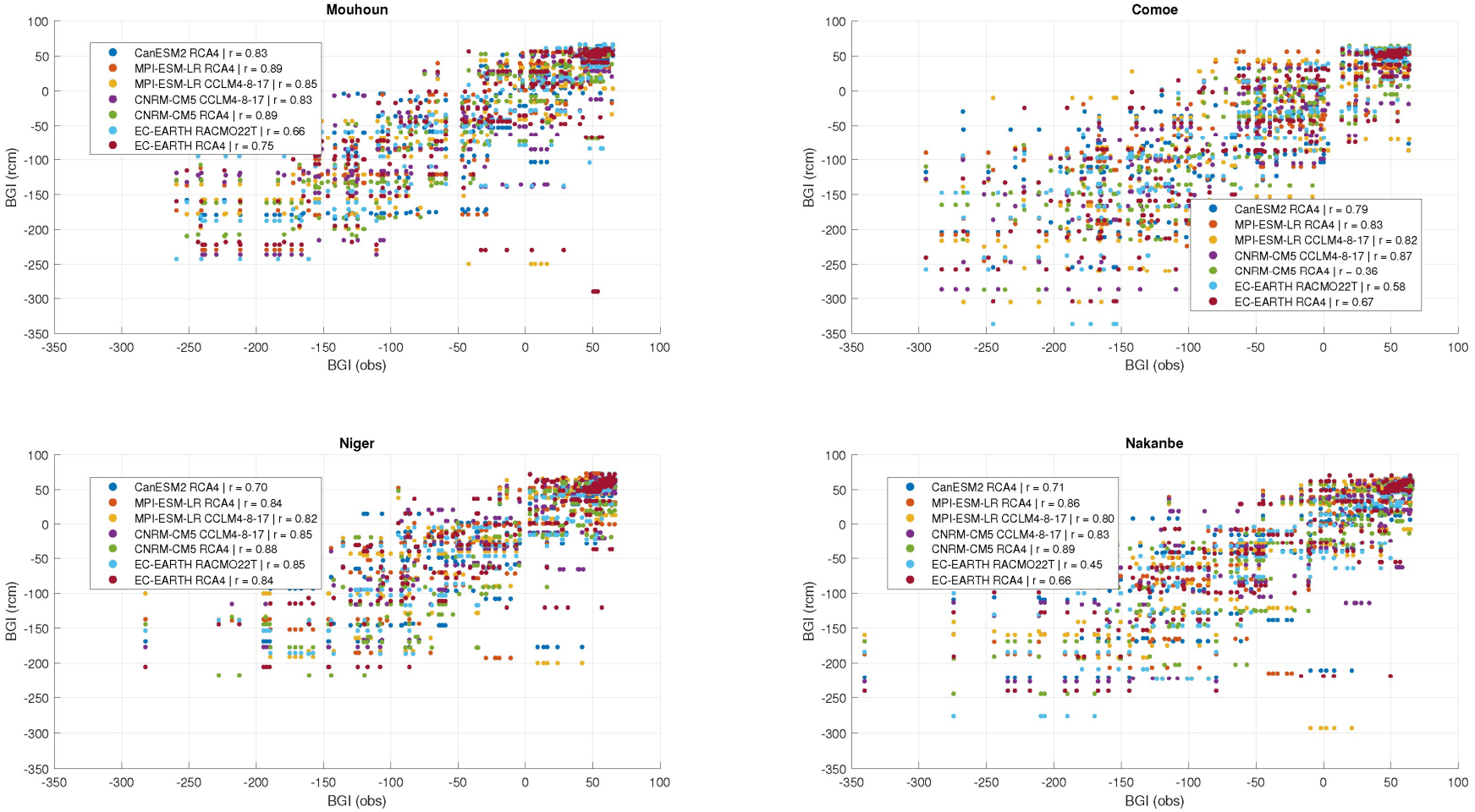


Figure 31 : Comparaison des indices ombrothermiques (BGI) des modèles (RCM) vs les observations (période 1988-2015).

Indices ombrothermiques du futur climat

La Figure 32 présente un exemple des indices ombrothermiques du climat futur (2100) versus ceux de l'année 1988 et illustre leurs variations mensuelles en lien avec les précipitations et températures futures et historiques pour les bassins de la Comoé et du Mouhoun, respectivement.

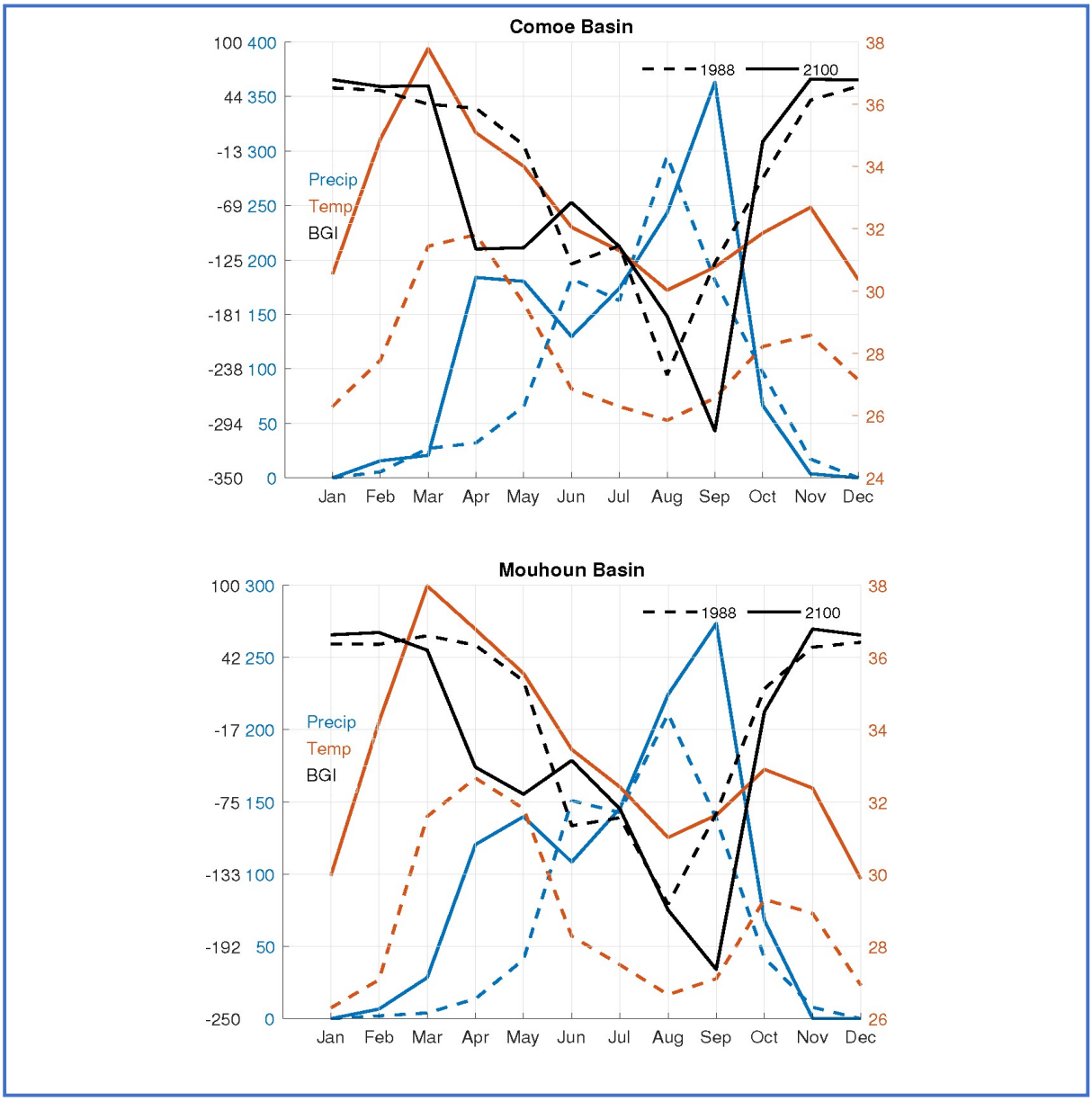


Figure 32 : Indices ombrothermiques futurs (2100) vs. historiques (1988): Comoé et Mouhoun

La Figure 33 présente un exemple des indices ombrothermiques du climat futur (2100) versus ceux de l'année 1988 et illustre leurs variations mensuelles en lien avec les précipitations et températures futures et historiques pour les bassins du Nakanbé et du Niger, respectivement.

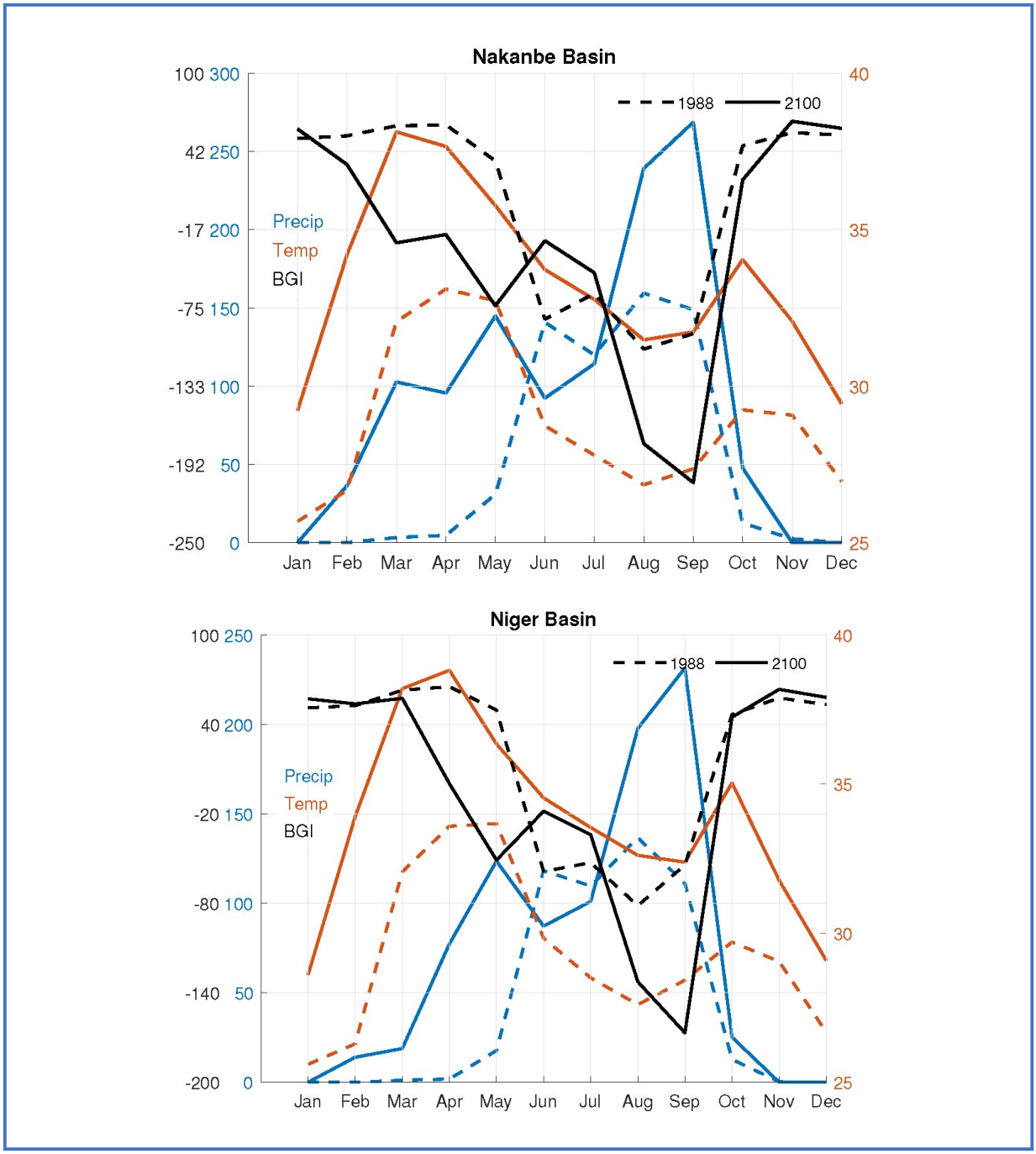
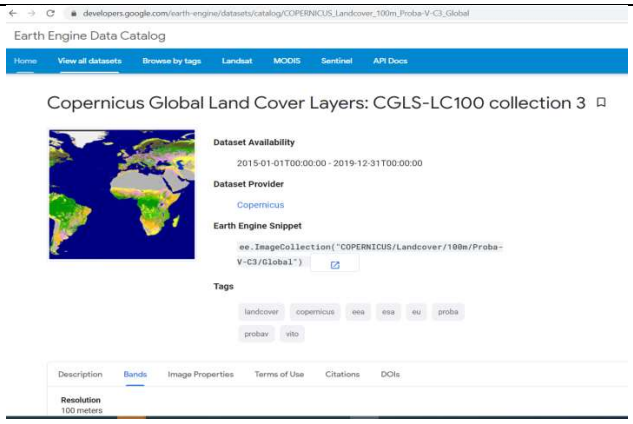


Figure 33 : Indices ombrothermiques futurs (2100) vs. historiques (1988): Nakanbéet Niger

5.4.4 Données des caractéristiques physiques des bassins

En plus des signatures hydrologiques présentées précédemment, d'autres caractéristiques physiques des bassins ont été prises en compte dans le processus d'optimisation des réseaux. Le Tableau 14 liste les paramètres/attributs physiques dont les données ont été collectées, traitées et utilisées.

Tableau 14: Liste des paramètres physiques considérés

Type / Classe	Paramètre/Attribut	Source
Topographie	Elévation	DGRE/ESRI/GPS
Position géographique	Latitude, longitude	DGRE / ESRI/GPS
Couverture du sol	Sol dénudé/urbanisé, terres agricoles, arbres, forets, herbacés, eau de surface permanente.	

Compte tenu de la diversité des paramètres et de leurs données, une analyse par composantes principales a été effectuée pour identifier les principales composantes qui ont ensuite fait l'objet d'un « *clustering* » ou regroupement par classe pour permettre une meilleure régionalisation des sous-bassins à l'aide d'un cluster au lieu des paramètres individuels.

La Figure 34 présente les résultats de l'analyse par composantes principales. Les principales composantes identifiées sont utilisées dans la régionalisation (section 4.6).

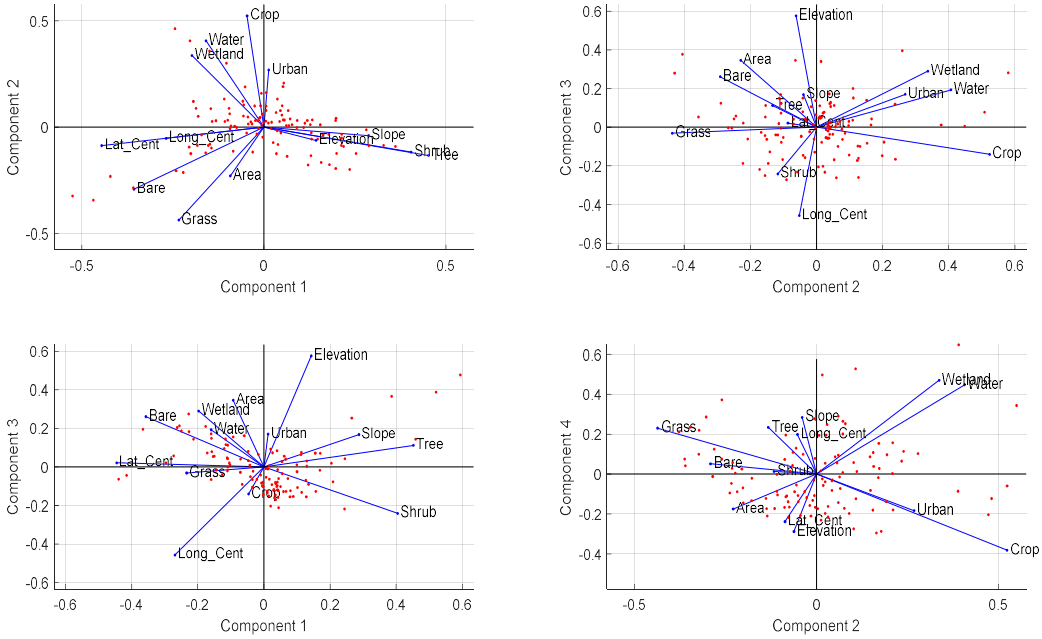


Figure 34 : Résultats de l'analyse par composantes principales des paramètres physiques.

5.4.5 Données de qualité des eaux de surface

Les données de qualité des eaux de surface étant très limitées en termes de longueur de séries, les seules données traitées et utilisées dans la régionalisation sont les températures de l'eau. Ces résultats sont présentés dans la section 4.6 et permettent de minimiser le nombre de sites potentiels à considérer dans l'optimisation des réseaux.

Les autres paramètres (pH, Conductivité, Turbidité) ont fait l'objet d'analyse géospatiale présentée dans la section 2.3.

5.1.6 Utilisation des données des usages et retenues d'eau

Les données des usages ont fait l'objet d'analyse géospatiale dont les résultats sont présentés dans la section 4.3. La densité des retenues et des usages est un indicateur du degré d'altération du bassin

versant. Cet indice est calculé à l'aide de la méthode proposée par Environnement Canada et validée par Leach et al. 2015. Ce critère est pris en compte dans l'optimisation des réseaux.

5.4.7 Données financières

L'analyse des données financières disponibles est détaillée dans le rapport diagnostic (MEA, 2021). Pour l'optimisation des réseaux, l'information essentielle est le coût annuel du suivi d'une station hydrométrique et d'une station de qualité de l'eau. Le Tableau 15 présente le coût annuel estimé pour le suivi des réseaux actuels (hydrométrique et qualité des eaux de surface). Ce montant y compris le coût estimé de réfection des stations varie entre 54,28 millions FCFA et 95,02 millions FCFA avec une moyenne de 63.08 millions FCFA.

Sur cette base, le coût moyen annuel de suivi d'une station hydrométrique est estimé à **0.63 million**, tandis que celui d'une station de qualité de l'eau est estimé à **0.43 million.**

Tableau 15 : Coût annuel estimé pour le suivi des réseaux actuels

Item	Coût Annuel Estimé (millions FCFA)		
	Minimum	Moyen	Maximum
Réseau hydrométrique	22,5	31.3	63,24
Réseau qualité eaux de surface	15		
Réfection des stations	16,78		
Total estimé pour suivi des réseaux actuels*	**54,28**	**63,08**	**95,02**

Source : (MEA, Rapport Diagnostic 2021).

Il est à noter que ces estimations n'incluent pas le suivi du réseau piézométrique, les pièces de rechange des appareils, et les coûts éventuels des systèmes de télétransmission (e.g. accès au serveur ou au réseau GSM).

5.5. Méthode d'analyse préliminaire des réseaux

5.5.1 Séries de débits utilisées

Pour une meilleure évaluation du réseau hydrométrique actuel en termes de sa capacité de fournir une information représentative des bassins observés, deux options ont été considérées.

- Option 1 : Les données des stations de débits dont les lacunes peuvent être comblées sans biaiser les séries de débits, sont utilisées dans l'analyse préliminaire. Cela permet d'évaluer le réseau en termes de son contenu d'information actuel.
- Option 2: Les débits simulés par le modèle hydrologique HYPE sont utilisés pour toutes les stations du réseau hydrométrique actuel. Cela permet d'évaluer le potentiel du réseau si toutefois toutes les stations existantes disposaient de données.

Dans cette analyse, les débits ont été convertis en écoulement de surface « runoff » par normalisation spatiale en utilisant la superficie du bassin versant. Compte tenu du fait que la technique d'analyse par entropie requiert des mesures d'entropie discrètes, les séries de données ont été transformées à l'aide de la technique dite «*rounding method*» qui est communément utilisée dans le domaine des systèmes de communication pour convertir les signaux continus en pulsations discrètes. Cette méthode de transformation a été retenue sur la base des travaux d'Alfonso et al. 2010 qui ont démontré la supériorité de la technique de «*rounding*» dans le contexte de l'analyse des réseaux.

5.5.2 Théorie de l'entropie et technique de «transinformation»

Notion de l'entropie

La *théorie de l'entropie* aussi connue sous le nom de *théorie de l'information* a émergé dans la dernière décennie comme la méthode la plus robuste pour le dimensionnement de réseau à cause de sa capacité à mesurer le contenu de l'information intrinsèque d'une station ou d'un réseau entier. La forme basique de l'entropie est appelée *entropie marginale* qui représente la quantité

d'information inhérente à une série de données d'une variable X (selon Shannon, 1948), est ainsi formulée:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (1)$$

H(X) est l'entropie marginale d'une station *X* (exprimée en *bits*), $p(x_i)$ est la probabilité d'occurrence de x_i à la station *X* pour la i^{ieme} observation, et *n* est le nombre total des observations (exprimées en *bins*) dans une distribution sous forme d'histogramme. La variable *X* dans l'équation de l'entropie de Shannon (Équation 1) est équivalente à une station *X* quelconque d'un réseau (hydrométrique, piézométrique, etc…). Par conséquent, le contenu total de l'information d'un réseau (hydrométrique par exemple) est défini comme *entropie conjointe* qui est exprimée à l'aide de probabilité conjointe sous la forme suivante:

$$H(X_1, X_2, \cdots, X_N) = \sum_{i_1=1}^{n_1} \sum_{i_2=1}^{n_2} \cdots \sum_{i_N=1}^{n_N} p\left(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, \cdots, x_{N,i_N}\right) \log_2 p(x_{1,i_1}, x_{2,i_2}, \cdots, x_{N,i_N}) \quad (2)$$

$H(X_1, X_2, \ldots, X_N)$ est *l'entropie conjointe* de *N* stations, $n_1, n_2, \ldots, n_N$ représentent le nombre d'observations (ou *bins*) d'un réseau de *N* stations (Kristanovic and Singh, 1992).

Bien que l'entropie conjointe représente le contenu total de l'information provenant de multiples stations, elle demeure égale ou inférieure à la somme de l'entropie marginale de chaque station. La corrélation totale de l'information au niveau d'un réseau est définie comme la différence entre la somme de l'entropie marginale et l'entropie conjointe, formulée comme suit:

$$C(X_1, X_2, \cdots, X_N) = \sum_{i=1}^{n} H(X_i) - H(X_1, X_2, \cdots, X_N) \quad (3)$$

$C(X_1, X_2, \ldots, X_N)$ est la *corrélation totale* de *N* stations. Si les stations *X* et *Y* sont corrélées, une partie de l'information de la station *X* peut être obtenue à partir de la station *Y*. Mais l'autre partie de l'information de la station *X* qui est indépendante de la station *Y*, est définie sous forme *d'entropie conditionnelle* de *X* étant donné *Y*, et est formulée mathématiquement de la façon suivante :

$$H(X|Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} p(x_i, y_j)\log_2 p(x_i|y_j) = H(X,Y) - H(Y) \quad (4)$$

Avec n et m observations pour la station X et Y respectivement. Pour expliquer de façon conceptuelle les termes de l'entropie présentés ci-dessus, nous utilisons les diagrammes de Venn suivants (voir Figure 35) qui illustrent: (a) *l'entropie marginale*; (b) *l'entropie conjoin*te; (c) *la corrélation totale* des 3 stations (A, B, C); et (d) *l'entropie conditionnelle* de la station A étant donné les stations B et C.

La taille du cercle de chaque variable (ou station) de la Figure 35a, correspond à son *entropie marginale* qui est la quantité d'information provenant de chaque station. La surface totale du diagramme de la Figure 35b, correspond à *l'entropie conjointe* qui représente l'information totale du réseau entier (composé de 3 stations dans cet exemple illustratif). Le diagramme de la Figure 35c représente la corrélation totale (entre les 3 stations), qui est simplement la somme des duplications d'information entre les stations. L'entropie conditionnelle de la station A étant donné l'information provenant des stations B et C, est illustrée par la Figure 35d.

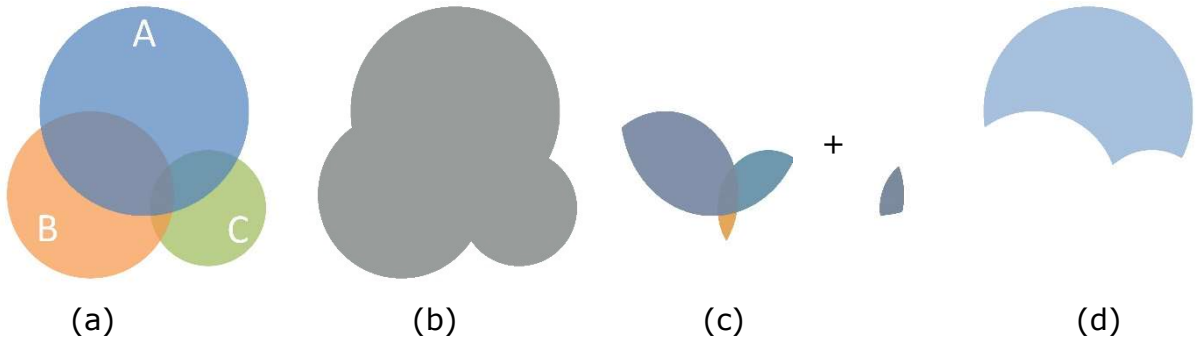


Figure 35 : - Diagramme de Venn illustrant: (a) entropie marginale, (b) entropie conjointe; (c) corrélation totale (en terme de duplication de l'information), et (d) entropie conditionnelle (de A étant donné B et C) d'un réseau composé de 3 stations.

Méthode d'analyse entropique basée sur l'information mutuelle (ou «transinformation»)

L'analyse entropique dite «*Transformation analysis*» est basée sur *l'information mutuelle* (entre deux variables ou deux stations) calculée comme suit:

$$T(X,\hat{X}) = H(X) - H(X|\hat{X}) = H(\hat{X}) - H(\hat{X}|X) \quad (5)$$

$T(X,\hat{X})$ est la «*transinformation*» (ou *information mutuelle*) entre les variables *X* et $\hat{X}$, et $H(X|\hat{X})$ est l'entropie conditionnelle de la variable *X* étant donné la variable $\hat{X}$. Dans l'analyse par «*transinformation*», l'entropie marginale *H(X)* de chaque station existante est calculée sur la base des séries observées et des données estimées à l'aide de régression multiple sur les observations des autres stations. $H(\hat{X})$ est l'entropie marginale estimée pour l'ensemble des autres stations. *H(X)* représente la quantité d'information inhérente à chaque station, tandis que $H(\hat{X})$ est la quantité d'information provenant des autres stations. Par conséquent, les stations présentant un bas niveau de transinformation, sont les stations les plus indépendantes les unes des autres, et donc les plus importantes. Par contre, celles qui ont un fort niveau de transinformation, sont redondantes car dupliquant la même information.

L'analyse entropique de l'information mutuelle (ou transinformation) permet donc d'une part de classer les stations par ordre d'importance, et d'autre part de générer des cartes en interpolant les indices de transinformation à l'aide de technique telle que IDW («*Inverse Distance Weighting*»). Les cartes ainsi générées permettent d'identifier les zones où le réseau est adéquat, moyen, ou déficient. Dans le contexte des réseaux hydrométriques, cette technique d'analyse préliminaire du réseau permet d'identifier les zones où le réseau a besoin d'être renforcé, et les zones où les stations sont redondantes. Cette analyse permet de fournir l'information de base nécessaire pour une bonne optimisation du réseau. Elle constitue l'étape préliminaire de l'optimisation de réseau.

5.6 Conception des réseaux

Approche par étude comparative

Selon le Guide de l'OMM (2012), la conception du réseau consiste à déterminer les variables à observer, la fréquence des observations, la précision désirée, et les lieux d'observations. Étant donné qu'il existe déjà des stations hydrométriques et de qualité des eaux, des éléments tels que les variables à observer, la fréquence des observations, la précision désirée sont déjà connus. Par conséquent *la conception des réseaux est concentrée sur l'identification des zones et sites d'observations.* L'approche classique utilisée dans la conception des réseaux pour définir les zones homogènes d'observations, est la *régionalisation* sur la base des paramètres physiographiques, hydro-climatiques, et écologiques. La régionalisation peut se faire à l'aide de différentes techniques géostatistiques, de régression multiple, et d'interpolation.

Plusieurs revues de littérature extensives ont montré qu'il existe diverses méthodes de régionalisation avec des performances variables selon le contexte hydro-climatique, le type et la qualité des données utilisées. De plus il n'y a pas de méthode bien établie pour déterminer à l'avance quelle approche de régionalisation utilisée dans un contexte donné. C'est pourquoi l'OMM recommande l'utilisation de *l'étude comparative* pour identifier la méthode de régionalisation appropriée au contexte d'étude et aux données disponibles. C'est cette approche communément appelée approche de détermination des techniques robustes ou adéquates, qui est suivie dans cette étude. L'étude comparative est certes plus onéreuse mais permet d'éviter les raccourcis au niveau technique et d'identifier les méthodes de régionalisation les plus appropriées pour chaque type de variable dans le contexte d'étude.

Étant donné que le contexte hydrologique de la zone d'étude est caractérisé par un stress hydrique, des données lacunaires, des séries de débits influencées par la régulation et l'exploitation des eaux de rivières, des problématiques de pollutions à sources multiples (ex. agriculture, mines, industries), l'approche comparative se doit de reposer sur un choix exhaustif des techniques à évaluer. C'est pourquoi, les *techniques géostatistiques, les méthodes statistiques de régression multiple, et les approches plus avancées dites techniques hybrides* ont été comparées tel qu'illustré par la Figure 36 ci-après.

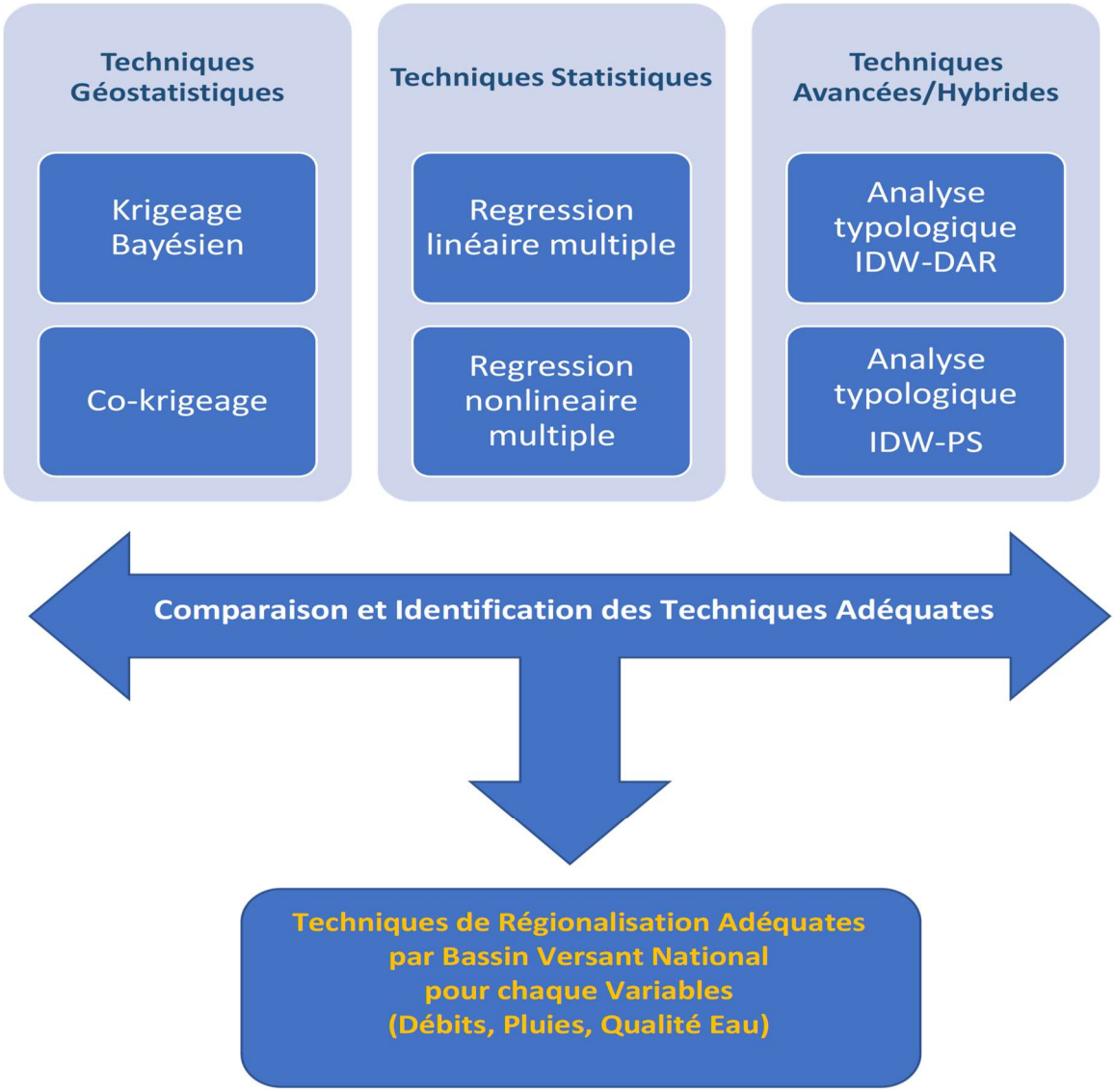


Figure 36 : Illustration de l'approche comparative d'identification des techniques de régionalisation robustes et adéquates.

Les avantages, limites, et justification du choix de chaque technique considérée dans l'étude comparative, sont présentés dans le Tableau 16 ci-après.

Tableau 16 : Avantages, limites et justification des techniques de régionalisation retenues pour l'étude comparative.

Techniques	Avantages	Limites	Justification
Techniques Géostatistiques			
Krigeage Bayésien	La fonction de variation considérée est aléatoire plutôt que déterministe, ce qui permet l'utilisation de variables aléatoires et de connaissances à priori dans le krigeage qui est alors dit Bayésien.	Le krigeage Bayésien souffre des mêmes limites que le krigeage ordinaire. Quelle que soit la procédure de krigeage, la fonction de variation (aléatoire ou déterministe) associée au variogramme reste stationnaire, ce qui limite la robustesse de la méthode pour les variables telles que les débits et pluies.	Parmi les techniques géostatistiques classiques, le krigeage Bayésien est l'une des approches les plus prometteuses. Cependant, en pratique elle ne performe pas toujours mieux que le co-krigeage pour les variables telles que les débits et pluies, mais reste plus prometteuse pour les paramètres de qualité de l'eau.
Co-krigeage	Pour une meilleure utilisation des variables auxiliaires (ex. topographie, végétation, etc.), la technique de co-krigeage est recommandée car elle est la seule méthode géostatistique multivariable qui permet de tenir compte du comportement spatial des variables auxiliaires.	Comme toutes les techniques de kigreage, le co-krigreage souffre des hypothèses de stationnarité et de linéarité. Ce qui limite sa performance lorsque les variables régionalisées sont non-linéaires et/ou non-stationnaires.	Dans la littérature, le co-krigeage a été identifié comme la technique la plus pratique et plus efficace comparée aux autres techniques de krigeage (krigeage ordinaire, krigeage universel, krigeage avec dérive externe, etc.) surtout pour les variables hydrologiques (débits) et climatiques (pluies).
Techniques Statistiques			
Régression linéaire multiple	C'est l'une des méthodes statistiques les plus simples d'application, et l'une des plus utilisées dans les études de régionalisation à cause de sa simplicité. Lorsqu'elle donne des résultats satisfaisants, elle permet de ne pas recourir aux méthodes plus complexes et couteuses en temps.	L'estimation est faite sur la base d'une combinaison linéaire des données. Elle souffre aussi des hypothèses de linéarité et de stationnarité, ce qui limite sa robustesse pour les variables hydrologiques (débits) et climatiques (pluies).	En plus de sa simplicité, la régression linéaire multiple a été recommandé pour la régionalisation des variables de qualité de l'eau à l'échelle de petits et moyens bassins versants. Elle est aussi utile pour servir de base de comparaison avec les techniques plus complexes.
Régression non linéaire multiple	L'utilisation de la fonction non-linéaire telle qu'une fonction de régression logistique permet de prendre en compte la non-	L'estimation des paramètres de la fonction de régression est plus complexe. De plus, l'hypothèse de stationnarité n'est pas levée à moins que la fonction non-linéaire	Il existe plusieurs types de fonctions non-linéaires qui peuvent être utilisées dans la régression, cela donne une flexibilité de choix face au

	linéarité entre les variables explicatives.	utilisée est un réseau de neurones artificiels.	type de variables à régionaliser.
Techniques Avancées ou Techniques Hybrides			
Technique de l'inverse de la distance, dite **IDW-DAR (***Inverse Distance Weighting with Drainage Area Ratio*) aussi appelée **Analyse typologique**	IDW-DAR est une approche hybride d'interpolation spatiale qui utilise à la fois les notions de proximité et de dimension relative des sous-bassins dans le transfert de l'information d'un point à l'autre. L'information transférée est pondérée par des poids qui sont inversement proportionnels aux distances et aux dimensions relatives des sous bassins donneurs. Elle permet donc de prendre en compte le contexte local et sous régional.	La mise en œuvre de la technique IDW-DAR est plus complexe car elle nécessite des outils d'interpolation spatiale robustes et une cartographie détaillée à l'échelle des sous-bassins. La détermination du nombre de voisins pour le calcul des poids requiert de l'expertise et une bonne connaissance du bassin versant.	De nombreuses études comparatives ont montré la supériorité de la technique IDW-DAR par rapport aux techniques géostatistiques et de régression multiple. C'est l'une des techniques les plus recommandées dans la littérature pour la régionalisation des variables hydrométéorologiques (débits, pluies) et des paramètres de qualité de l'eau.
Technique de l'inverse de la distance, dite **IDW-PS** (Inverse Distance Weighting with Physical Similarity)	Dans la technique IDW-PS la notion de dimension relative des sous-bassins est remplacée par celle de la similarité physique entre les sous-bassins. Elle requiert la définition des attributs (ex. coefficient de ruissellement, densité du drainage, couvert végétal, etc.) pour déterminer la similarité des sous bassins. Ensuite le transfert de l'information pondérée est fait sur la base des sous-bassins similaires.	La technique IDW-PS partage les mêmes limites que la précédente (IDW-DAR). Elle est même plus onéreuse en temps à cause du besoin de déterminer et d'estimer les attributs de similarité. La mise en œuvre requiert donc une bonne maitrise des outils d'analyse spatiale et du logiciel ArcGIS.	La performance de la technique IDW-PS dépend des caractéristiques du bassin versant. Elle peut être aussi performante que la technique IDW-DAR pour certains bassins versants pour la régionalisation des débits. Elle demeure l'une des méthodes les plus prometteuses pour la régionalisation des paramètres de qualité de l'eau.

Les meilleures techniques identifiées à travers l'étude comparative, sont utilisées pour définir les zones homogènes d'observations pour les réseaux hydrométrique et de qualité des eaux pour chaque bassin versant national. Ces zones sont utiles lors de la phase d'optimisation car elles permettent de minimiser le nombre de sites potentiels en privilégiant les sites situés dans des zones homogènes différentes.

Méthodes de régionalisation choisies et exemples de résultats.

Les techniques de régionalisation sont sensibles à la qualité des données utilisées. Aussi les méthodes identifiées dans cette étude peuvent être considérées comme des approches robustes compte tenue de la qualité limitée de certaines données. Les techniques retenues par variable ou paramètres physiques sont présentées dans le Tableau 17. Des exemples de résultats des techniques retenues sont présentés dans la section suivante. La comparaison des résultats des méthodes de régionalisation est faite à l'aide d'un indice de similarité et d'une mesure de discordance (Hosking et Wallis, 1997 ; Razavi et Coulibaly, 2013). Ces 2 indicateurs permettent d'identifier les techniques les plus robustes et adéquates pour la variable considérée.

Tableau 17 : Méthodes de régionalisation retenues

Variable/Paramètre	Technique retenue
Composantes principales des paramètres physiques (élévation, pente de terrain, type couverture végétal : sol dénudé/urbanisé, terres agricoles, arbres, forets, eau de surface, etc.)	IDW-PS "*Inverse Distance Weighting with Physical Similarity*" Technique de l'inverse de la distance
Précipitation	IDW *"Inverse Distance Weighting"* Technique de l'inverse de la distance
Température de l'air	IDW *"Inverse Distance Weighting"* Technique de l'inverse de la distance
Ruissellement (débits normalisés)	IDW-DAR *"Inverse Distance Weighting with Drainage Ratio"* Technique de l'inverse de la distance
Température de l'eau	IDW *"Inverse Distance Weighting"* Technique de l'inverse de la distance

La Figure 37 présente d'une part les résultats de régionalisation des cinq premières composantes principales des paramètres physiques à l'aide de l'approche IDW-PS, et d'autre part les résultats de régionalisation des précipitations totales annuelles moyennes à l'aide de la technique IDW.

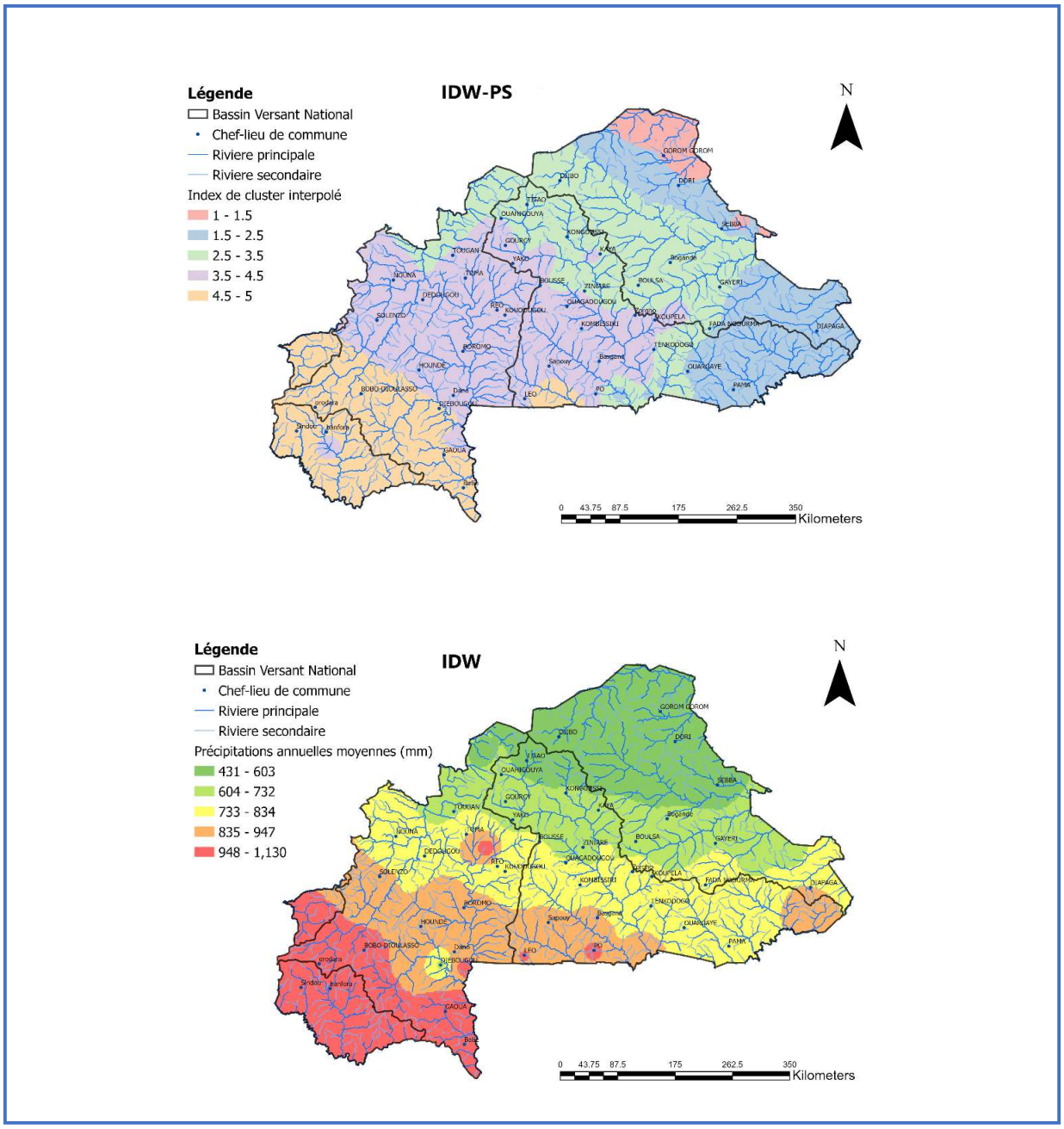


Figure 37 : Exemples de résultats de régionalisation des attributs physiques (1970-2018) et des précipitations (1960-2015)

La Figure 38 présente les résultats de régionalisation des températures moyennes annuelles de l'air et des températures moyennes annuelles des eaux de surface à l'aide de la technique IDW.

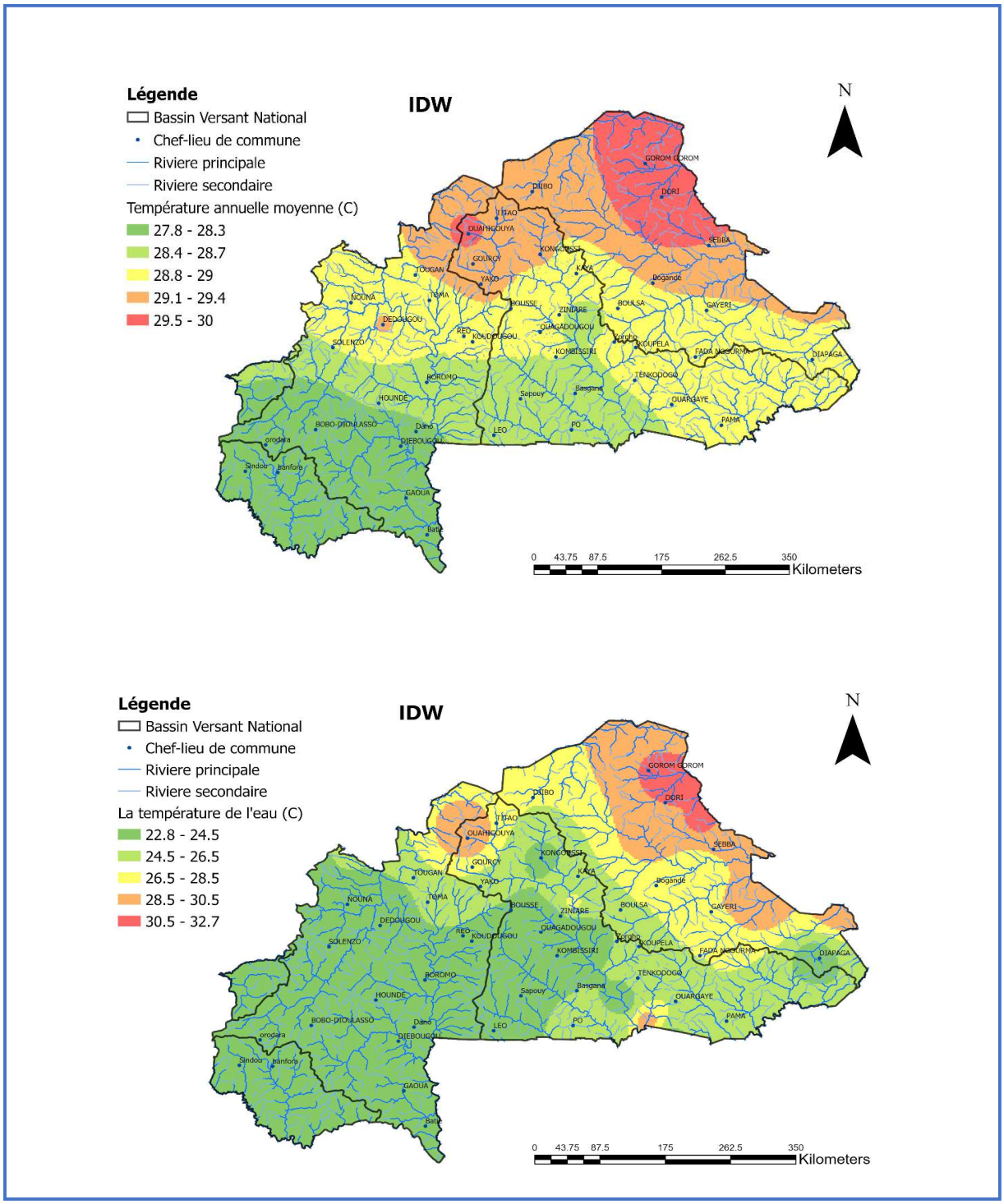


Figure 38 : Exemples de résultats de régionalisation des températures de l'air (1960-2015) et de l'eau de surface (2005-2019)

La Figure 39 présente les résultats de régionalisation des moyennes des températures maximales annuelles et des températures minimales annuelles à l'aide de la technique IDW.

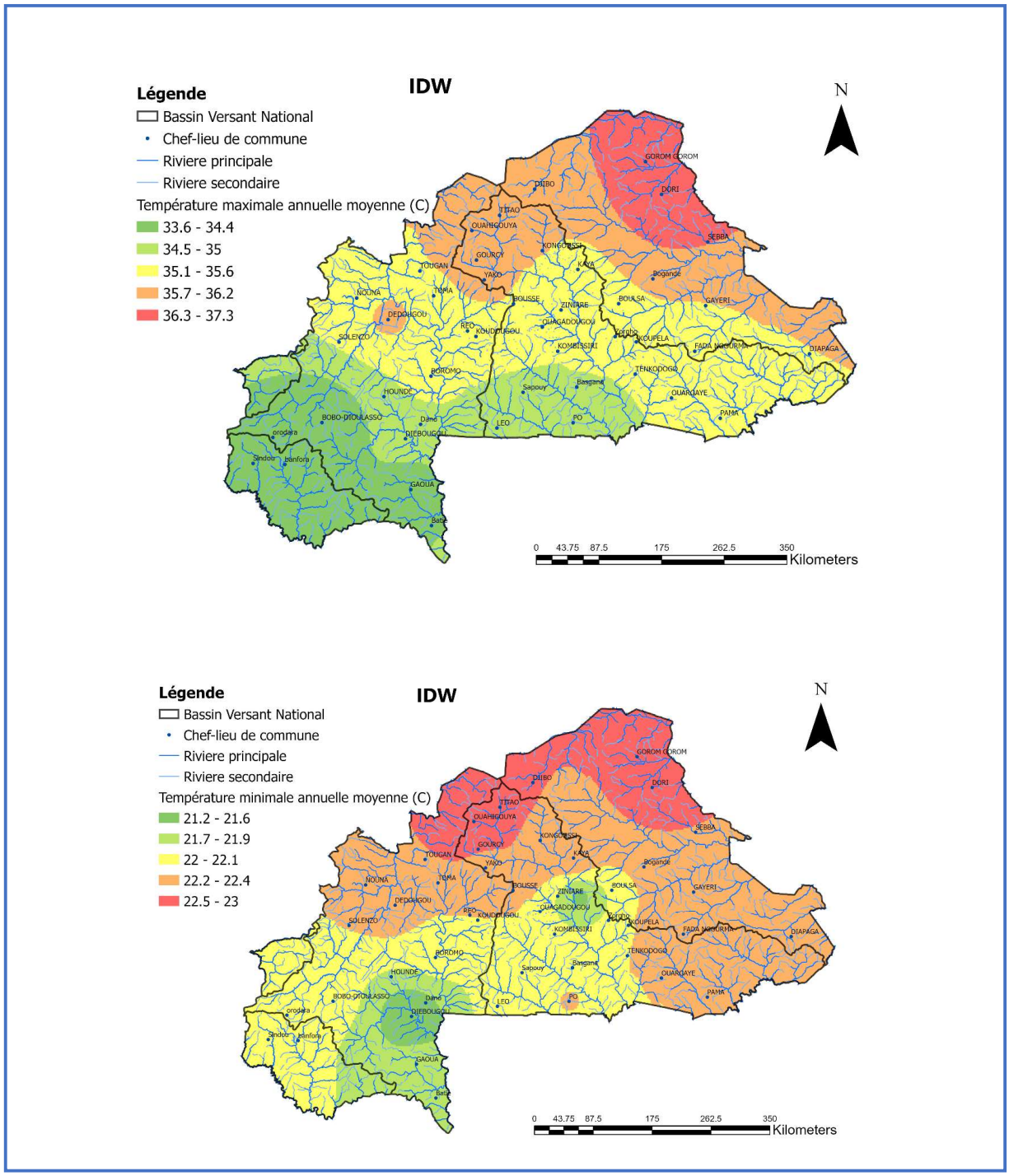


Figure 39 : Exemples de résultats de régionalisation des températures maximales et minimales (1960-2015)

5.7 Critères d'optimisation des réseaux

La prise en compte des besoins spécifiés nécessite l'ajout de critères additionnels dans l'algorithme d'optimisation. Le tableau 18 ci-dessous présente les critères d'optimisation utilisés et leurs intérêts respectifs.

Tableau 18 : Critères d'optimisation utilisés

Critère	Intérêt
Termes de l'entropie : Entropie conjointe et corrélation totale	Minimisation du coût du réseau ; Maximisation du contenu en information.
Signatures hydrologiques : Résultant de l'analyse corrélation croisée	Prise en compte des processus pluies-débits ; Essentiel pour la modélisation hydrologique.
Indicateurs du degré d'altération (IDA) des bassins versants	Impact anthropologique : pression des activités humaines sur les bassins
Zones homogènes des bassins : Résultant de la régionalisation	Réduction du nombre de points d'observation
Indices ombrothermiques (Bagnouls-Gaussen Index - BGI)	Prise en compte de la variabilité et du changement climatique

5.8 Algorithme d'optimisation multicritère

Le choix de l'algorithme d'optimisation aussi bien pour les réseaux de base (hydrométrique et qualité des eaux) que pour les réseaux nationaux (hydrométrique et qualité des eaux) se doit d'être guidé par la nécessité de prendre en compte les objectifs et besoins spécifiés pour chaque type de réseau.

Rappelons que selon les directives techniques de l'OMM, « *le réseau de base devrait procurer sur n'importe quel emplacement situé dans sa région d'observation, un niveau d'information hydrologique suffisant pour éviter que des erreurs grossières soient commises lors de la prise de décisions concernant les ressources en eau* ». Cela veut dire que le *réseau de base doit être optimisé pour répondre à cet objectif*.

De même, *le réseau national qui est une extension progressive du réseau de base en fonction de divers besoins* (ex. développement d'outils de prévision et de décision pour la gestion des ressources en eau et des ouvrages, la mise au point de modèles pluie-débit et hydrodynamiques ; la gestion des conflits, la gestion des problèmes de pollutions, la prise en compte du changement climatique*) doit nécessairement être optimisé en tenant compte de ces besoins.* Par conséquent, l'algorithme d'optimisation choisi, doit être capable d'intégrer différents besoins dans ses critères d'optimisation y compris ceux qui permettent de minimiser les coûts du réseau. *C'est cette nécessité qui justifie le choix de l'approche de type «Dual entropy-multiobjective optimization, DEMO».* Il s'agit d'une approche d'optimisation multicritère avancée qui a été utilisée avec succès pour l'optimisation de différents types de réseaux pour des objectifs et besoins spécifiques à travers le monde (e.g. Alfonso et al. 2010; Samuel et al. 2013; Leach et al. 2015; Keum et Coulibaly 2017). Elle peut être facilement couplée avec toute méthode de régionalisation, ce qui est un avantage important dans l'optimisation des réseaux. C'est aussi l'une des rares techniques d'optimisation des réseaux qui est capable de prendre en compte (i) le degré d'altération ou développement du bassin versant, (ii) l'impact du changement climatique, (iii) les stations pluviométriques existantes sur le bassin versant.

Le génie de l'approche DEMO est qu'elle exploite la puissance de la théorie de l'entropie pour guider l'algorithme d'optimisation dans la recherche des solutions optimales (ou réseaux optimaux). La Figure 40 ci-après donne une illustration simplifiée de l'approche DEMO

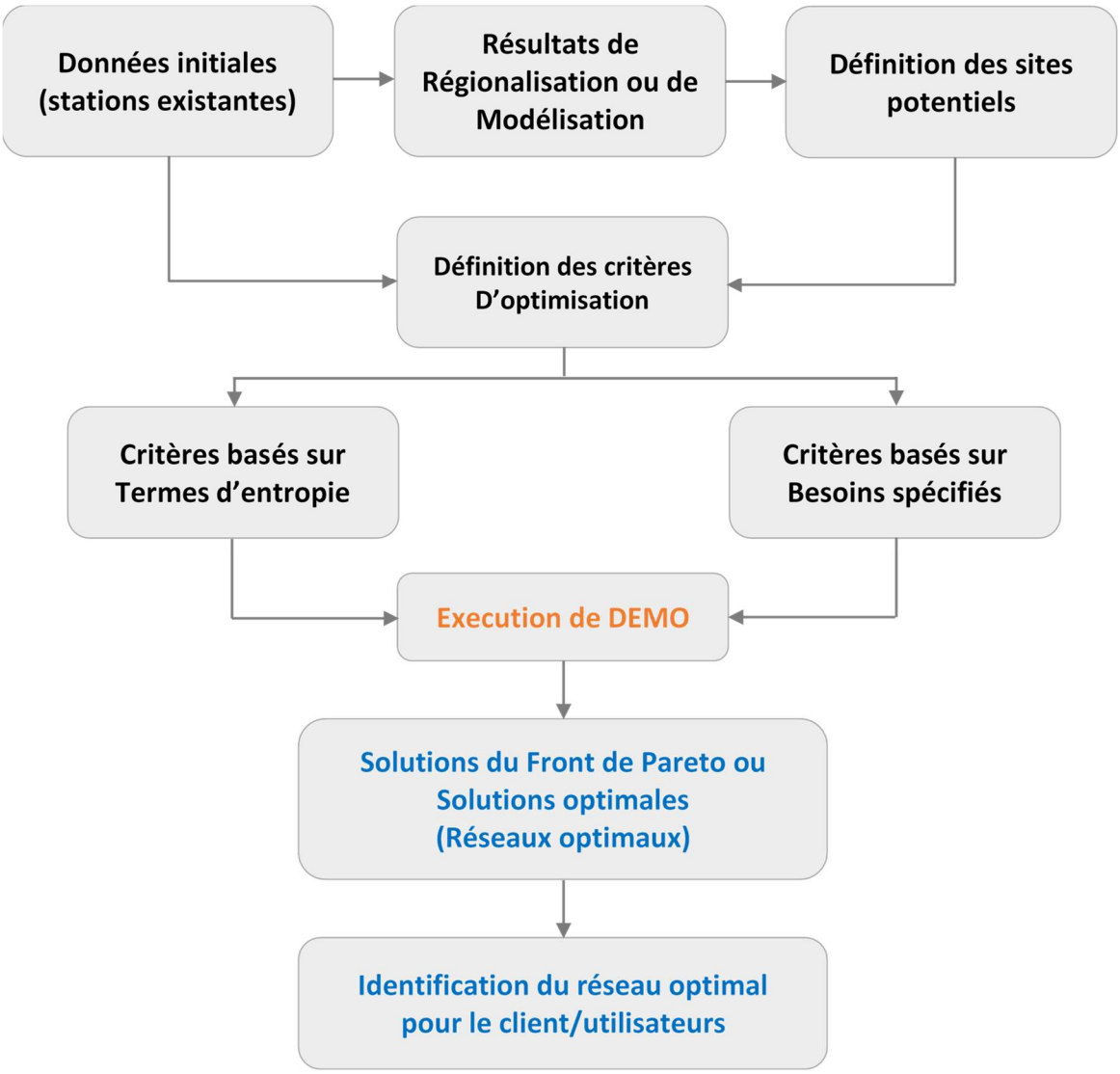


Figure 40 : Illustration simplifiée de l'approche DEMO

Les termes de l'entropie utilisés dans l'approche DEMO

Dans l'approche DEMO, les termes de l'entropie sont utilisés comme critères d'optimisation du réseau, en plus des critères utilisés pour tenir compte des besoins spécifiés. Il existe plusieurs formes de l'entropie, mais les termes utilisés dans l'approche DEMO sont : *l'entropie marginale*, *l'entropie conjointe, la corrélation totale,* et *l'entropie conditionnelle.* Ces notions ont été présentées en section 4.5 du rapport.

Le calcul des termes de l'entropie requiert des données aussi bien pour les stations existantes que pour les sites potentiels. L'identification des sites potentiels se fait sur la base des résultats de la régionalisation mais aussi en tenant compte de l'ordre des rivières. Par exemple, la Figure 41 ci-après présente l'ordre des rivières du bassin du Mouhoun tandis que la Figure 42 illustre les sites potentiels. Notons que tout site d'intérêt particulier peut aussi être ajouté à la liste des sites potentiels qui seront évalués par l'approche DEMO. Étant donné que les sites potentiels n'ont pas de données historiques, le calcul des termes de l'entropie se fait généralement à l'aide des données estimées à chaque site. Dans cette étude, les données estimées par le modèle HYPE seront utilisées.

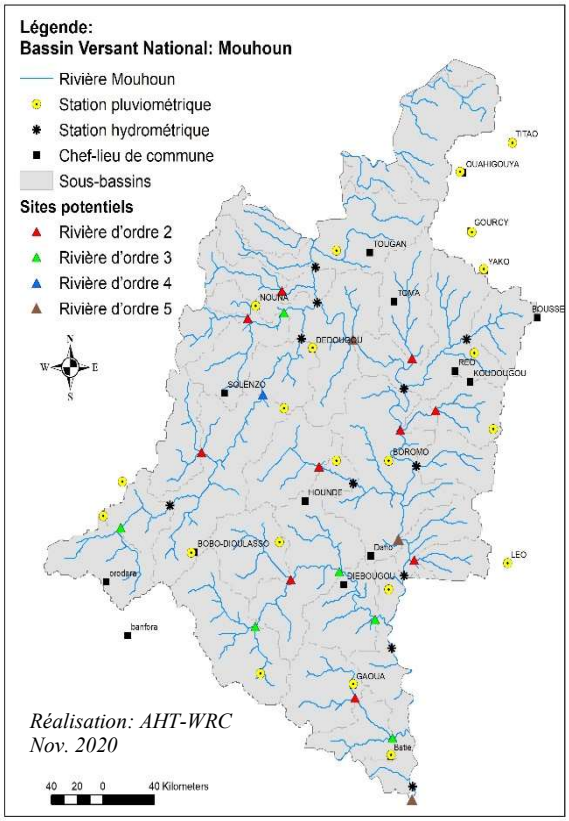


Figure 41 : Ordre des rivières du bassin versant du Mouhoun

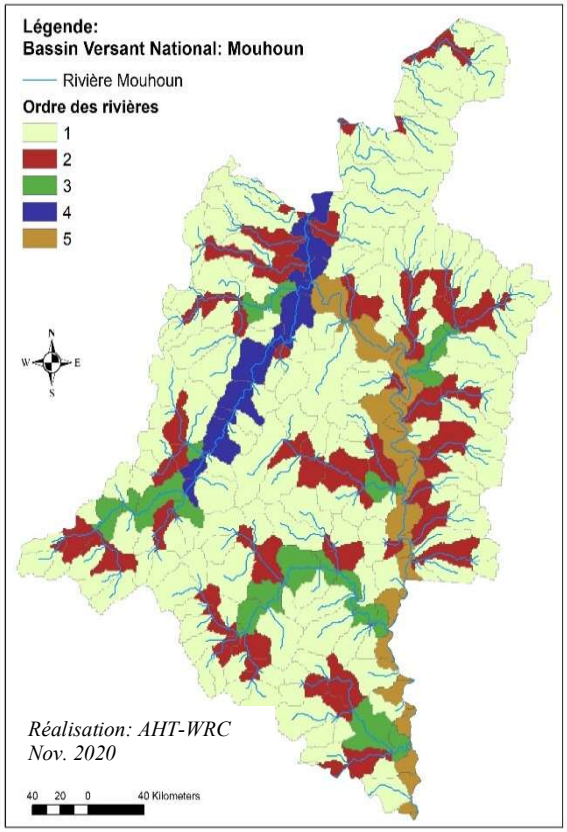


Figure 42 : Exemple de sites potentiels évalués dans le bassin versant du Mouhoun

L'Algorithme d'optimisation multicritère

L'algorithme de base utilisée dans la l'approche DEMO est appelé «*epsilon-dominance hierarchical Bayesian (Ɛ-hBOA) optimization algorithm*» (Kollat et. 2008). Il repose sur la théorie de l'évolution génétique qui permet la génération de plusieurs modèles de réseaux qui sont évalués itérativement en appliquant la règle dite «*survival of the fittest*» (c'est à dire seuls les meilleurs survivent). Cet algorithme a fait l'objet de plusieurs études comparatives (Reed et al. 2013), et s'est avéré le plus robuste pour l'optimisation des réseaux de suivi des ressources en eau.

En résumé, DEMO combine le grand potentiel de l'entropie et celui de l'algorithme *Ɛ-hBOA* dans la recherche des solutions optimales sur la base des critères spécifiés dans sa fonction de coût (ou équations d'optimisation). Dans le processus d'optimisation, DEMO maximise l'entropie marginale tandis que la corrélation totale est minimisée. La maximisation de l'entropie marginale permet d'obtenir des solutions (ou réseaux optimaux) dont le contenu en information est optimal. Tandis que la minimisation de la corrélation totale permet de réduire le coût des réseaux optimaux.

Lorsque l'entropie conditionnelle est utilisée, elle est maximisée pour la variable principale. Par exemple l'optimisation d'un réseau hydrométrique en tenant compte des stations météorologiques sur le bassin versant, fait appel à l'utilisation de l'entropie conditionnelle. Dans ce cas, la variable principale est la station hydrométrique.

En plus des termes de l'entropie, l'approche DEMO intègre les critères spécifiés (e.g. signatures hydrologiques, indices BGI ou ombrothermiques, indicateurs d'homogénéité) comme fonctions objectives ou contraintes additionnelles imposées à l'algorithme *Ɛ-hBOA.* Cela complexifie énormément les calculs et la recherche des solutions optimales et nécessite le recours à un calculateur parallèle. Dans cette étude, le calculateur parallèle SHARCNET "*Shared Hierarchical Academic Research Computing Network*" qui dispose de 35 000 CPU et de 320 GPU a été utilisé pour effectuer les calculs.

Les avantages de l'approche DEMO

Les principaux avantages de l'approche DEMO dans l'optimisation des réseaux sont :

- Sa capacité à intégrer de nombreux critères dans l'algorithme d'optimisation, ce qui est essentiel dans le contexte des réseaux hydrométriques nationaux au vu du grand nombre de besoins à satisfaire.
- Sa capacité à tirer profit des termes de l'entropie pour réduire le coût du réseau car la minimisation de la corrélation et la maximisation de l'entropie marginale visent à réduire la taille du réseau.

- L'identification de toutes les solutions optimales (ou réseaux optimaux) pour les critères spécifiés. Le fait d'obtenir plusieurs réseaux optimaux donne une flexibilité aux décideurs dans le choix du réseau optimal qui répond au mieux à leurs besoins.
- Sa capacité à identifier les sites optimaux pour l'ajout de nouvelles stations tout comme les sites où les stations pourraient être retirées ou relocalisées.
- La possibilité d'utiliser l'entropie conditionnelle pour optimiser un réseau hydrométrique en tenant compte des stations pluviométriques sur le bassin versant.
- La possibilité de tenir compte du changement climatique en intégrant les indices ombrothermiques dans les critères d'optimisation du réseau.

Les limites de l'approche DEMO

Les limites sont essentiellement liées à la puissance de calculs requise pour son exécution à l'échelle du bassin versant. Dans les années 1980, il était impossible d'utiliser efficacement de tels algorithmes multicritères à l'échelle d'un bassin versant. Mais au 21^{e} siècle, avec la puissance des calculateurs actuels (ex. GPU – Graphics Processing Units), l'approche DEMO est opérationnelle même pour de grands bassins versants comme ceux du Canada ou du Brésil où la technique a été largement utilisée dans la dernière décennie (Reed et al. 2013, Samuel et al. 2013, Leach et al. 2015, Keum et Coulibaly 2017, et d'autres). Dans cette étude, compte tenu du grand nombre de critères additionnels pris en compte dans l'algorithme, l'utilisation d'un calculateur parallèle a été requise pour effectuer les calculs.

5.9 Scenarios d'optimisation considérés

Réseau hydrométrique

Tel que recommandé par le Guide pratique de l'OMM (2012), l'optimisation des réseaux a été réalisée par bassin versant national (BVN). Les trois scenarios résumés dans le tableau suivant ont été considérés:

- **Scenario 1** : Pour chaque BVN, le nombre maximum de stations à considérer dans l'optimisation correspond au nombre de stations existantes. Il s'agit d'un scenario où l'objectif est d'optimiser le réseau existant sans changer le nombre de stations dans le réseau. Il s'agit d'une réorganisation des stations existantes en identifiant les sites optimaux pour ces stations.
- **Scenario 2** : Pour chaque BVN, les stations existantes sont maintenues à leurs positions actuelles, puis le nombre maximum de stations à considérer correspond au nombre de sites potentiels. Il s'agit d'un scénario d'extension de réseau où l'objectif est d'identifier des sites optimaux pour l'ajout de nouvelles stations.
- **Scenario 3** : Pour chaque BVN, le nombre maximum de stations à considérer dans l'optimisation correspond au nombre total de stations existantes et de sites potentiels. Les stations existantes peuvent être relocalisées à des sites optimaux. Il s'agit d'un scenario d'optimisation complète du réseau où toutes les stations (existantes ou potentielles) sont considérées dans la recherche de solutions optimales.

Il faut noter que le scenario consistant à identifier le nombre de stations proche de celui recommandé par le Guide pratique de l'OMM pour un réseau de base (Samuel et al. 2013), n'est pas utile dans ce contexte car le nombre de sites potentiels pour le réseau de base est très petit puisque le réseau de base doit privilégier les rivières d'ordre 3 et plus. Pour chaque BVN du Burkina Faso, le nombre de sites potentiels du réseau de base est inférieur au nombre recommandé par l'OMM, donc ce scenario basé sur le nombre minimum de stations suggéré par le Guide OMM n'est pas utilisable. Ce scenario est utile pour de grands bassins où le nombre de sites potentiels est énorme et supérieur au nombre minimum de stations recommandé par le Guide OMM. Par conséquent, ce scenario n'est pas considéré dans cette étude.

Tableau 19 : Différents scenarios considérés dans l'optimisation

Scenario	BVN	# Stations Existantes	# Sites Potentiels	Relocation?	# Maximum	Remarks
1	Comoé	6	5	Oui	6	# Existing
	Mouhoun	8	19	Oui	8	# Existing
	Nakanbé	11	4	Oui	11	# Existing
	Niger	5	16	Oui	5	# Existing
2	Comoé	6	5	Non	5	# Potential
	Mouhoun	8	19	Non	19	# Potential
	Nakanbé	11	4	Non	4	# Potential
	Niger	5	16	No	16	# Potential
3	Comoé	6	5	Oui	11	# E + # P
	Mouhoun	8	19	Oui	27	# E + # P
	Nakanbé	11	4	Oui	15	# E + # P
	Niger	5	16	Oui	21	# E + # P

Les calculs ont été effectués pour tous ces scenarios et pour chacun des quatre bassins versants nationaux. Cependant les résultats retenus pour la phase de choix des réseaux optimisés, sont ceux du scenario 3 qui correspond mieux aux objectifs de la mission.

À noter que l'optimisation porte seulement sur les stations à débits. Les stations à volume étant associées à des structures inamovibles, elles sont généralement exclues du processus d'optimisation, mais peuvent être rajoutées à la fin au réseau national optimisé selon les besoins du client.

Réseau de qualité des eaux de surface

Dans l'optimisation du réseau de qualité de l'eau, le principe considéré est que : *à toute station du réseau hydrométrique optimisé doit être associée une station de qualité d'eau.* Ceci implique que chaque station hydrométrique doit également comporter une station qualité des eaux. Ainsi toutes les stations du réseau hydrométrique de base constituent un réseau de départ (ou de base) pour le réseau qualité des eaux de surface. En effet si l'on met une station pour vérifier l'augmentation ou la diminution de la quantité des eaux de surface, il est normal qu'une station qualité soit associée pour caractériser cet apport ou cette diminution d'eau en termes de qualité.

A ce réseau de base, viendront ensuite s'ajouter des stations en rapport avec la protection de cette qualité, puis des stations de suivi et de surveillance de risques de pollution ou d'utilisation spécifique. Ainsi l'optimisation du réseau national hydrométrique contribue en même temps à l'optimisation du réseau national de suivi de la qualité des eaux de surface.

La Figure 43 suivante illustre le couplage des stations de qualité des eaux aux réseaux hydrométriques (base et national) optimisés. Rappelons que les stations des réseaux hydrométriques optimisés sont situées aux exutoires principaux des sous-bassins où convergent les eaux polluées ou non des sous-bassins. Par conséquent, toutes les stations des réseaux hydrométriques optimisés sont à priori pertinentes pour le suivi des risques de pollution. Cela n'empêche pas l'ajout de stations spécifiques si besoin dans les zones de risques de pollution documentées. C'est l'approche suivie dans cette étude, elle comprend les étapes suivantes illustrées par la Figure 44 ci-après. Il s'agit d'une approche bien établie et largement utilisée dans l'optimisation des réseaux de suivi de la qualité des eaux de surface. Rappelons que le rôle du réseau national de suivi de la qualité des eaux est de fournir des informations représentatives sur la qualité des eaux suivies quantitativement. Son rôle est général et donc différent de celui du réseau de suivi des usages aussi appelé réseau spécifique. Ce dernier permet de surveiller les risques de pollution dus aux usages spécifiques (industries, décharges, etc.).

En résumé, la méthodologie de choix des stations de la qualité des eaux de surface comprend 2 volets :

1) Le premier volet concerne la prise en compte de toutes les stations hydrométriques (débit et volume) du réseau hydrométrique national optimisé. Ceci signifie que tous les calculs, représentations, et procédures utilisés pour le choix des stations hydrométriques sont aussi pris en compte pour les stations qualité des eaux. En effet à toute station hydrométrique doit être associée une station qualité des eaux de manière à pouvoir caractériser la qualité de l'eau évaluée en quantité à cette station

hydrométrique. Ce volet concerne donc les stations qualité des eaux couplées aux stations hydrométriques.

2) Le second volet concerne les stations spécifiquement dédiées à la qualité des eaux et utilisées pour la surveillance de diverses sources potentielles de pollution des eaux. Ces stations sont identifiées par analyse multicritère:

a) Le premier groupe de stations provient des besoins d'extension exprimés pour gérer des problèmes documentés de pollution (industrielle, agricole, minière, urbaine). Ces besoins d'extension ont été exprimés lors des visites de terrain des experts et à travers les fiches d'enquêtes (Annexe **A3**) par les différents acteurs de terrain (DREA, AE) (voir Rapport Diagnostic, MEA 2021). Ces acteurs connaissent plus dans le détail, les problèmes de pollution auxquels ils doivent faire face. D'ailleurs la plupart d'entre eux gèrent déjà un ou plusieurs réseaux spécifiques (voir Rapport Diagnostic, MEA 2021) dont les stations les plus préoccupantes font partie des besoins d'extension exprimés qui ont été intégrés provisoirement au réseau national optimisé de la qualité des eaux de surface. Ces stations spécifiques devraient faire partie du futur réseau national de suivi des usages recommandé dans cette étude.

b) Le deuxième groupe de stations provient des besoins de surveillance des risques de pollution relevés par le consultant au regard des activités de développement menées sur les bassins versants et autour des retenues d'eau. Il s'agit des zones minières, sites d'orpaillages avec permis, zones agricoles documentées, et les sous-bassins où l'indice d'altération du bassin est très élevé à cause des impacts anthropiques.

Cette approche permet la prise en compte, dans le réseau national optimisé de la qualité des eaux de surface, des deux aspects essentiels du besoin de suivi de la qualité des eaux : besoin de suivi des zones de pollution documentées et besoin de suivi pour la surveillance de différentes sources potentielles de pollution.

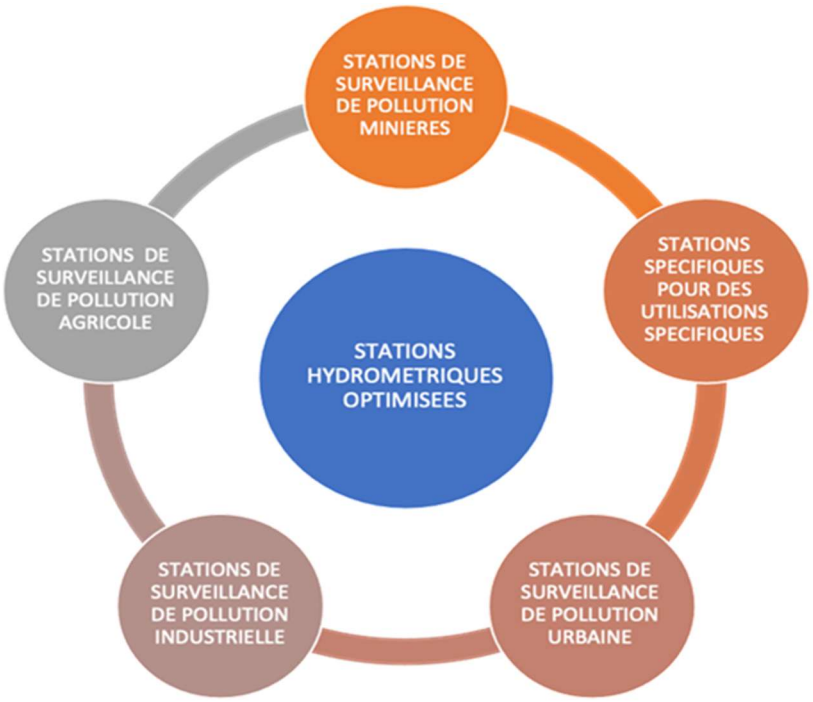


Figure 43 : Illustration du couplage réseaux hydrométriques optimisés et stations de qualité des eaux.

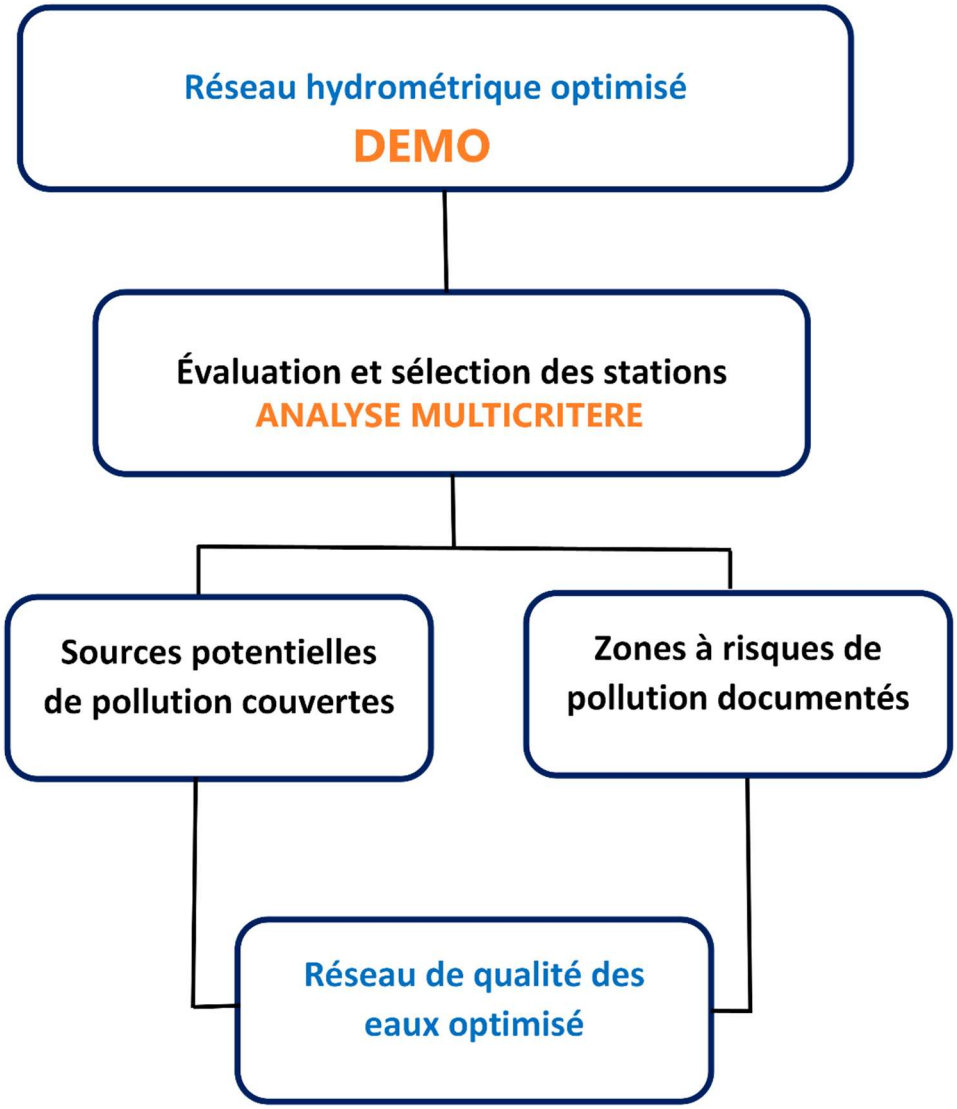


Figure 44 : Illustration de l'approche d'optimisation du réseau de qualité des eaux de surface

5.10 Procédure de choix des réseaux optimisés

Rappelons qu'il s'agit précisément d'identifier et de proposer :

(i) Un réseau hydrométrique de base et un réseau de base de qualité des eaux, optimisés.

(ii) Un réseau national hydrométrique et un réseau national de qualité des eaux, optimisés.

L'approche DEMO tout comme toute méthode d'optimisation multicritère à fonctions objectives multiples, *ne livre pas une solution unique ou un réseau optimal unique, mais plusieurs réseaux optimaux* qui correspondent en fait à *toutes les solutions optimales identifiées* par l'algorithme d'optimisation sur la base des critères utilisés. Cela est propre à tous les algorithmes d'optimisation multicritère ayant plusieurs fonctions objectives. Cela constitue d'ailleurs un avantage en donnant une flexibilité de choix aux décideurs. Par conséquent la dernière phase est celle du choix des réseaux optimisés qui répondent au mieux aux besoins identifiés.

Cette phase permet de prendre en compte d'autres considérations importantes non-inclues dans les critères d'optimisation du réseau (ex. la sécurité, la proximité d'une frontière, la présence d'un barrage d'intérêt national ou d'un site minier/industriel, etc.). Le tableau suivant résume le processus de choix des réseaux optimisés qui a été suivi dans cette étude. Les résultats proposés pour le choix des réseaux optimisés sont présentés à la section 6 tandis que les réseaux optimisés choisis sont présentés aux sections 7 à 11.

Tableau 20 : Procédure de choix des réseaux optimisés

Date	Activité	Structures	Taches effectuées
22 juillet 2021	Atelier d'échanges sur le choix des réseaux optimisés	DGRE, DREA, ANAM, UNIVERSITES	Présentation des réseaux optimaux par BVN. Échanges sur les options proposées. Discussion et adoption d'un planning permettant une évaluation approfondie des options avant le choix des réseaux optimisés.
29 et 30 juillet 2021	Séances de travail sur le choix des réseaux optimisés	DGRE, DREA	Échanges sur les options proposées. Revue des stations par BVN. Choix du réseau hydrométrique de base optimisé par BVN. Choix du réseau hydrométrique national optimisé par BVN. Choix du réseau de base de qualité des eaux de surface, optimisé. Choix du réseau national de qualité des eaux de surface, optimisé.

6. RESULTATS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RESEAUX

La Figure 45 ci-après présente les résultats de l'option 1 de l'analyse entropique basée sur l'information mutuelle ou transinformation. Rappelons que dans cette option, seules les stations de débits dont les lacunes peuvent être comblées sans biaiser les séries, sont utilisées dans l'analyse préliminaire. Le but étant d'évaluer le réseau en termes de son contenu d'information sur la base des données utilisables disponibles.

La Figure 45 présente la carte d'interpolation spatiale des indices de transinformation pour les stations hydrométriques ayant des données utilisables sur l'ensemble du réseau actuel. Les indices de transinformation sont catégorisés en 4 niveaux :

- «High Deficit» ou Très Déficient (en rouge, quantile: 0% à 30%);
- «Deficit» ou Déficient (en orange, quantile: 30% à 60%);
- «Average» ou Moyen (en vert clair, quantile: 60% à 80%).
- «Above Average» ou Bon (en vert foncé, quantile: 80% à 100%).

Les zones où le contenu en information fourni par le réseau est élevé ou moyen, les indices de transinformation se situent dans la catégorie Bon et Moyen, respectivement ; tandis que dans les zones où le contenu de l'information est faible ou très faible, les indices de transinformation sont de la catégorie Déficient ou Très Déficient, respectivement. En d'autres termes, les zones en orange ou rouge indiquent les sous-bassins où le réseau est Déficient ou Très Déficient ; tandis que les zones en vert clair ou vert foncé indiquent les sous-bassins où le réseau est Moyen ou Bon, en termes de sa capacité à fournir de l'information représentative des bassins observés.

La Figure 45 montre que le réseau est Déficient ou Très Déficient dans le Mouhoun supérieur, dans la partie centrale et sud du Nakanbé, la partie Nord-Ouest de la Comoé, ainsi que dans la partie Nord et Est du Niger. Dans le Mouhoun inférieur, dans la partie Ouest du Nakanbé, ainsi que la partie centrale de la Comoé, le réseau est soit moyen ou bon par endroit.

A noter que les zones non-évaluées sont celles où les données de débits disponibles ne sont pas utilisables dans l'analyse entropique.

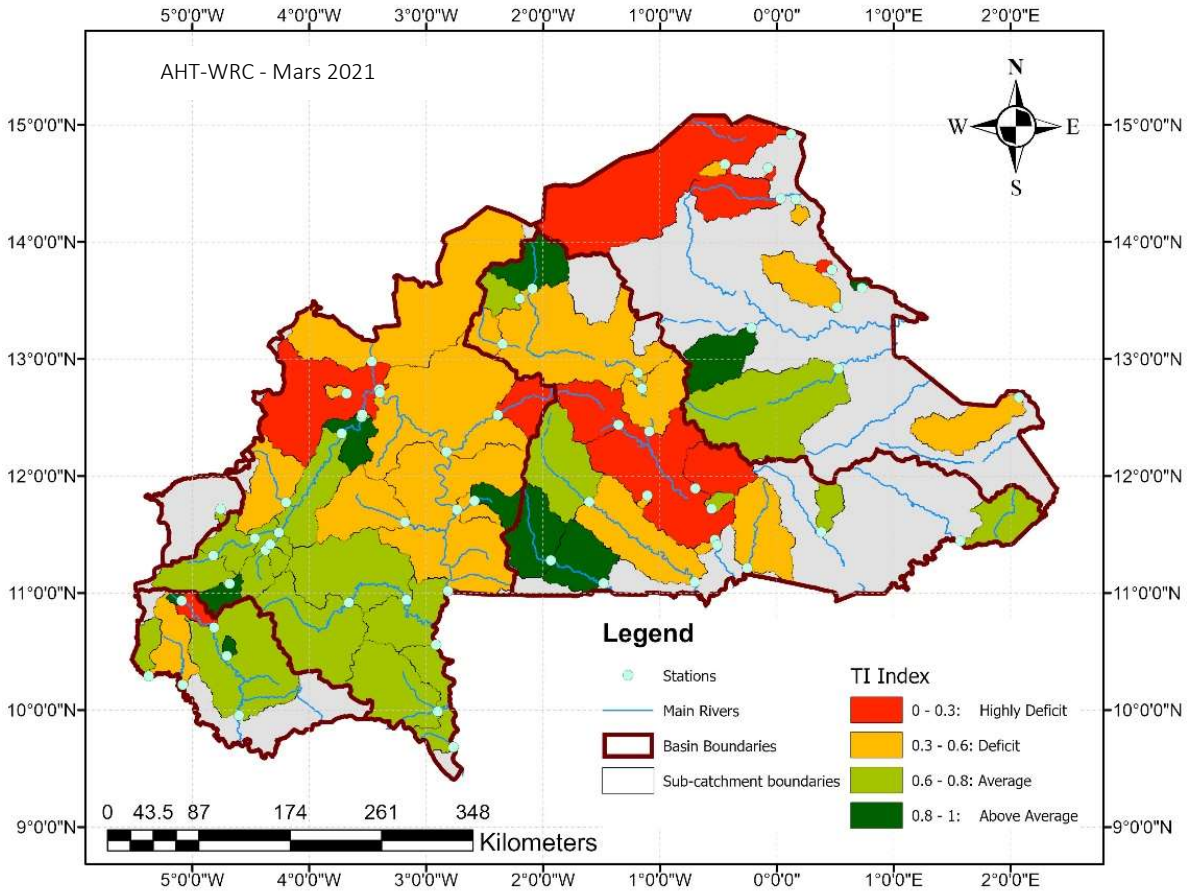


Figure 45 : Carte d'interpolation spatiale des indices de Transinformation basés sur les débits historiques utilisables (option 1) dans l'analyse entropique.

La Figure 46 ci-après présente les résultats de l'option 2 de l'analyse préliminaire basée sur l'information mutuelle ou Transinformation. Rappelons que dans cette option les débits synthétiques du modèle hydrologique HYPE sont utilisés pour toutes les stations du réseau hydrométrique actuel. Cela permet d'évaluer le potentiel du réseau si toutefois toutes les stations existantes disposaient de données utilisables.

La Figure 46 montre que si le réseau actuel disposait de données utilisables à toutes les stations, il serait Déficient ou Très Déficient dans la partie Est du Mouhoun supérieur, la partie Nord-Ouest de la Comoé et presque dans tout le Nakanbé et le Niger à l'exception de quelques sous-bassins. Dans la partie sud de la Comoé et presque dans tout le Mouhoun le réseau serait soit moyen ou bon si toutes les stations étaient opérationnelles et disposaient de données utilisables.

En général, les résultats de l'analyse préliminaire indiquent clairement que le réseau hydrométrique national actuel nécessite d'être optimisé pour être apte à fournir une information représentative des zones ou bassins d'observation.

A noter que le réseau de qualité des eaux de surface n'a pu être évalué par analyse entropique par manque de données nécessaires. L'analyse entropique nécessite une chronique de données (journalières ou mensuelles) d'une longueur de 10 ans minimum. Cependant, vu que le réseau actuel de qualité des eaux de surface compte 35 stations sur l'ensemble du pays (voir Figure 11, section 3), il est clair que la densité du réseau nécessite une amélioration pour fournir une information représentative sur les eaux de surface du pays.

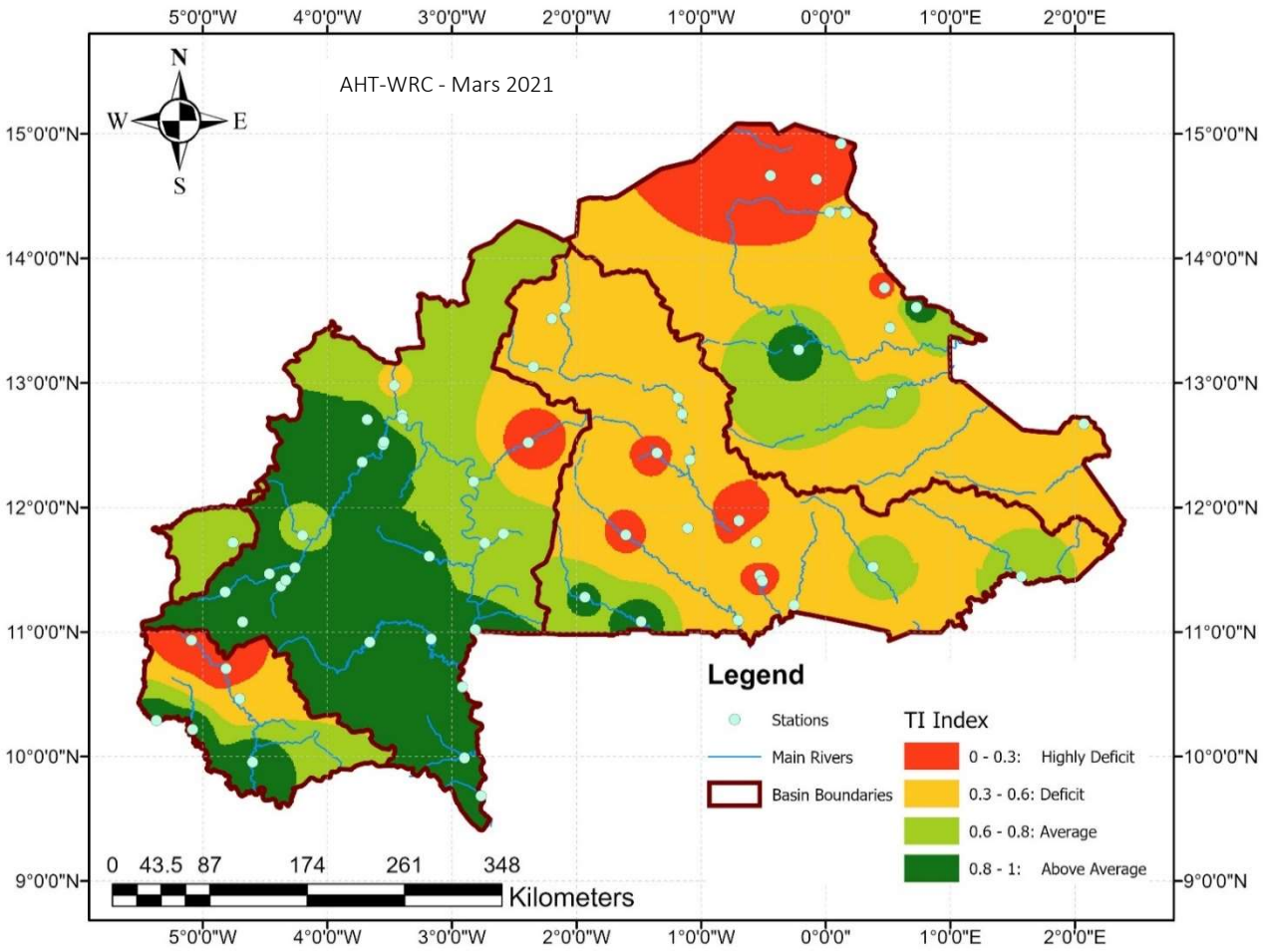


Figure 46 : Carte d'interpolation spatiale des indices de Transinformation basés sur les débits synthétiques (option 2) dans l'analyse entropique.

7. RESULTATS CONSIDERES DANS LE CHOIX DES RESEAUX OPTIMISES

7.1. Solutions du Front de Pareto ou Réseaux Optimaux

Les résultats de l'algorithme d'option d'optimisation (DEMO) sont des solutions optimales dites solutions du Front de Pareto, ce qui signifie qu'elles sont les meilleures solutions possibles aux vues des critères assignés à l'algorithme.

La Figure suivante présente un exemple de Front de Pareto. Chaque point dans le graphique correspond à une solution optimale ou réseau optimal. Comme indiqué précédemment, DEMO fourni plusieurs solutions (ou réseaux optimaux) et le choix du réseau optimisé qui répond au mieux aux besoins est effectué en concertation avec le client.

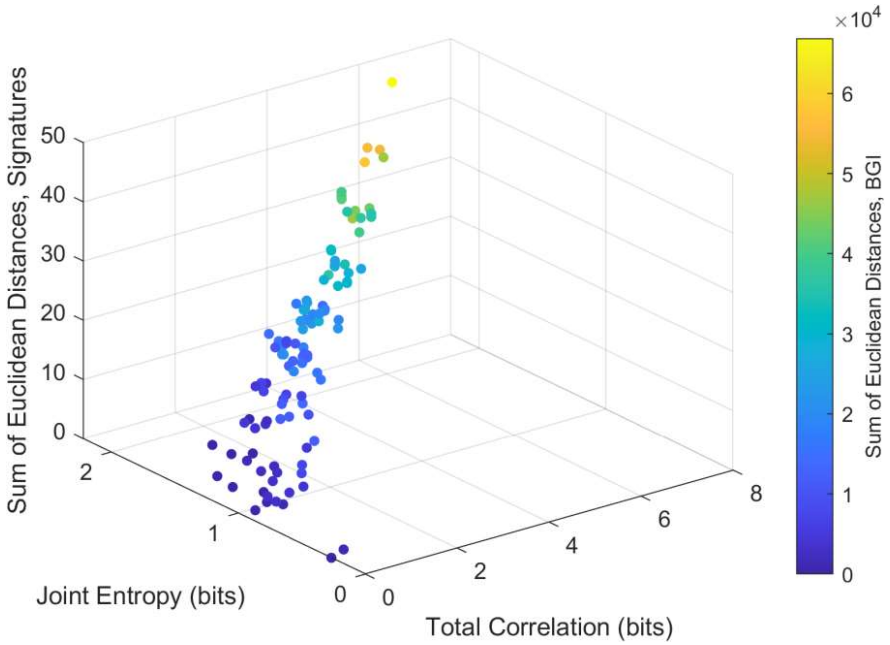


Figure 47 : Exemple de Front de Pareto (bassin de la Comoé)

Chaque solution optimale ou réseau optimal peut être représenté graphiquement pour visualiser la distribution spatiale des stations (existantes et potentielles) faisant partie de ce réseau optimal. La Figure suivante présente en exemple la carte brute d'un réseau de base optimal du BVN de la Comoé. Les triangles rouges indiquent les stations existantes retenues tandis que les gouttes d'eau rouges indiquent les stations potentielles retenues. Les stations non retenues sont indiquées en noir.

À noter que la localisation des stations n'est pas très précise sur ce type de carte globale, c'est pourquoi les réseaux optimisés retenus ont été reproduits sur des cartes à plus petite échelle et seront présentés dans la section 7 du rapport.

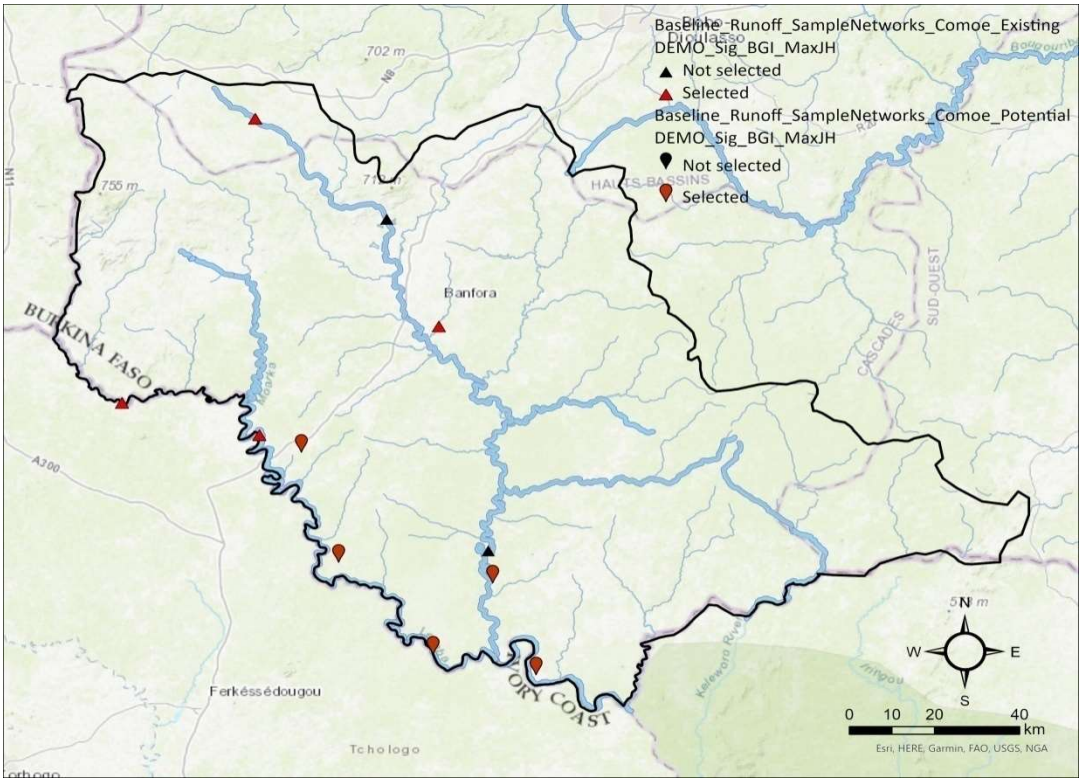


Figure 48 : Example de réseau de base optimal de la Comoé

7.2. Cartes de Probabilité DEMO

Afin de guider le choix des réseaux optimisés, une analyse statistique des solutions optimales est généralement faite. Elle permet de déterminer la probabilité d'appartenance de chaque station (existante ou potentielle) à un réseau optimal. En d'autres termes, il s'agit de déterminer combien de fois chaque station est choisie pour faire partie d'un réseau optimal. L'ensemble des probabilités permet de créer une carte appelée «DEMO Probability Map» ou carte de probabilité DEMO facilitant ainsi la visualisation des stations avec leur importance relative. Cette information peut être très utile dans le choix des réseaux optimisés.

La Figure suivante présente en exemple la carte de probabilité DEMO du bassin du Mouhoun. Les stations (existantes ou potentielles) ayant des probabilités de 80-100% sont les plus importantes car elles sont

retenues dans plus de 80% des réseaux optimaux ; tandis que les stations ayant des probabilités inférieures à 20% sont celles retenues dans moins de 20% des réseaux optimaux.

En dehors d'autres besoins spécifiques du client, une station ayant une probabilité de plus de 80% devrait être préférée à celle dont la probabilité est inférieure à 20%.

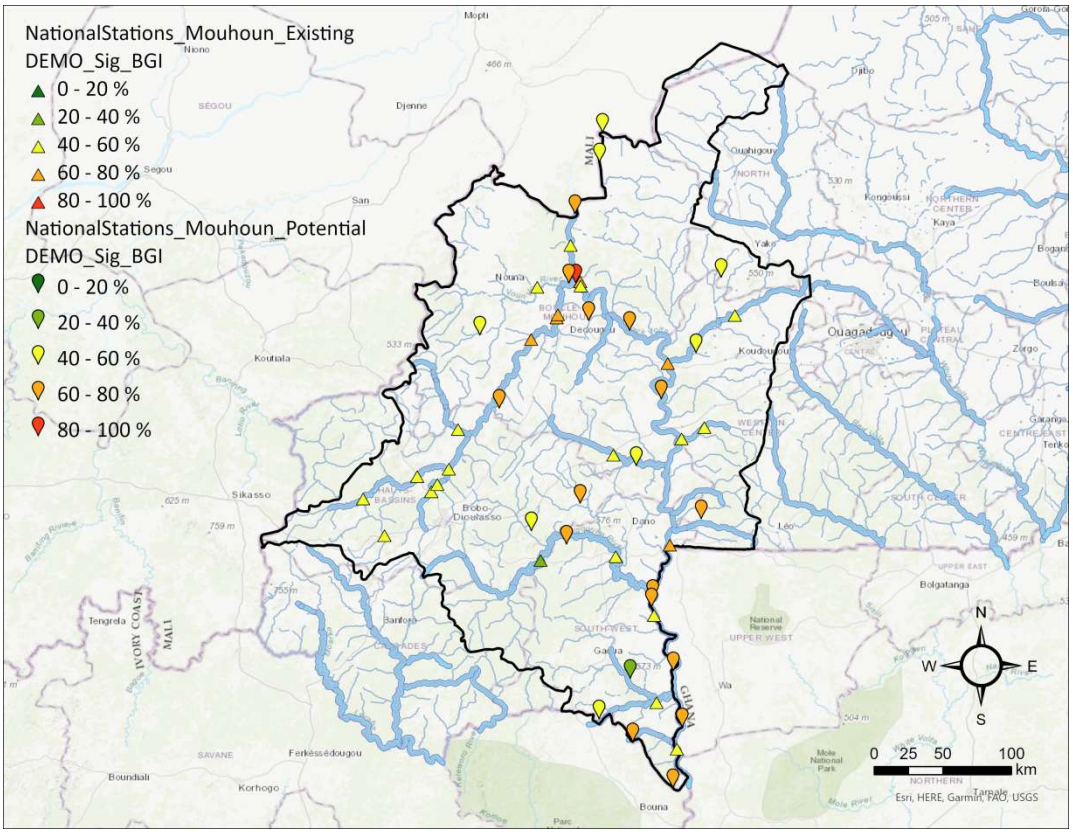


Figure 49 : Example de carte de probabilité DEMO du réseau national du Mouhoun.

L'optimisation des réseaux ayant été faite par bassin versant national (BVN), les résultats par BVN ont été proposés aux techniciens concernés du MEA pour le choix des réseaux optimisés. Les informations ayant servi au choix des réseaux optimisés sont présentées par BVN dans la section suivante. En plus de ces informations, un état détaillé des stations existantes (voir **Annexe A1**) a également été fourni pour aider au choix des réseaux optimisés.

La synthèse des travaux des techniciens sur le choix des réseaux optimaux est présentée au Tableau 21. Des échanges additionnels avec la DGRE/DEIE ont permis de finaliser cette phase de choix des réseaux optimisés.

7.3. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé de la Comoé

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau de base optimisé de la Comoé. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

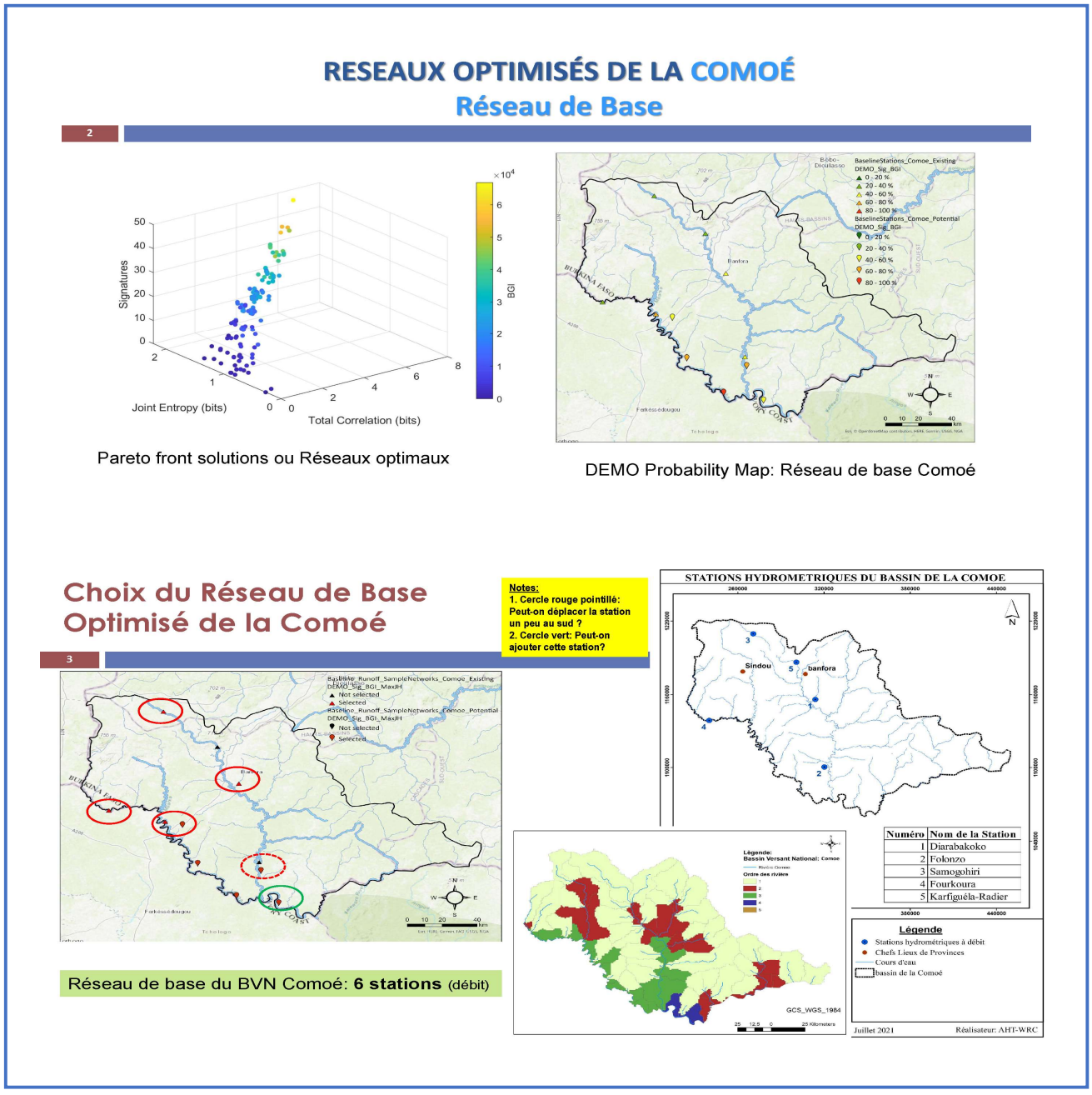


Figure 50 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN de la Comoé

7.4. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométrique optimisé de la Comoé

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau national optimisé de la Comoé. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

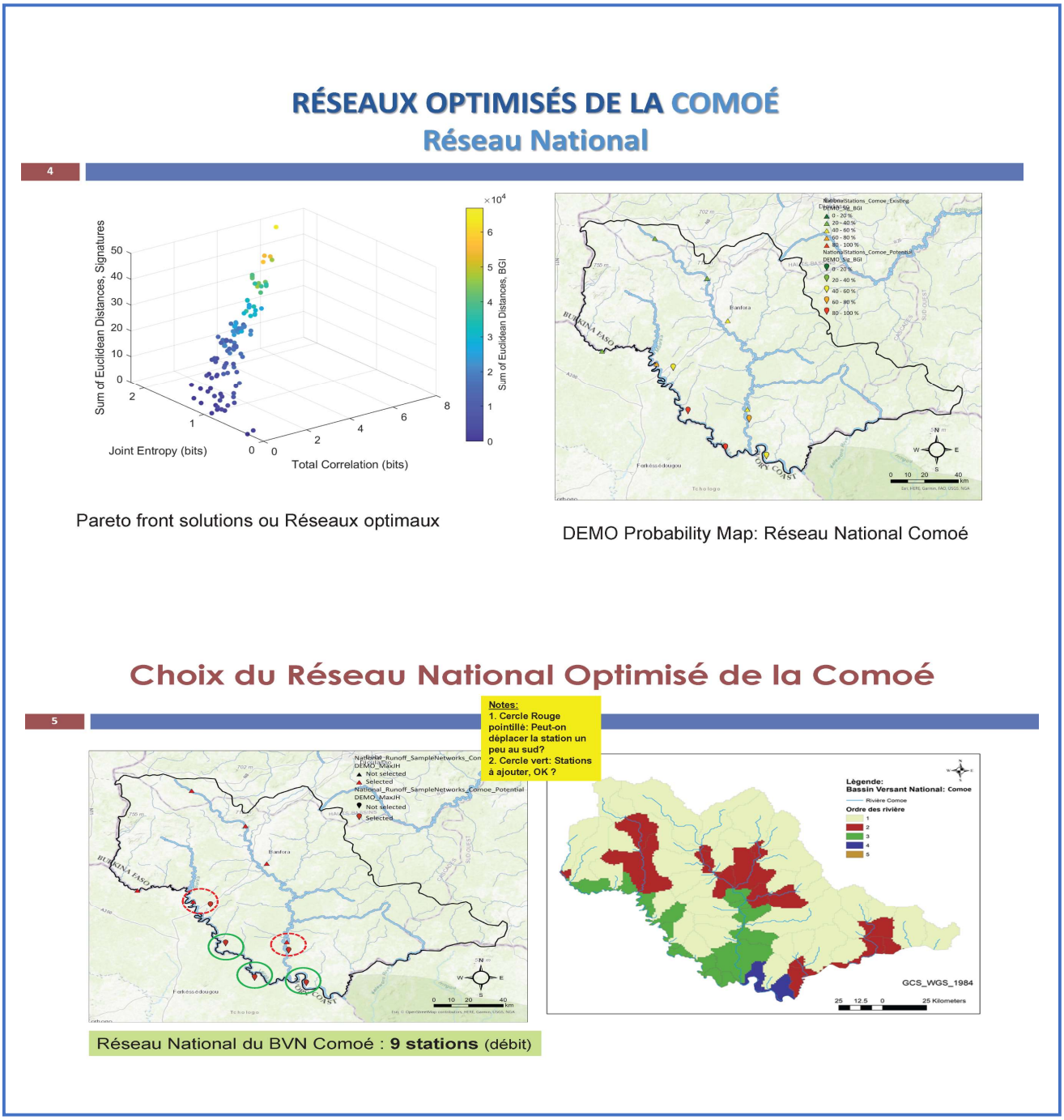


Figure 51 :Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN de la Comoé

7.5. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Mouhoun

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du Mouhoun. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

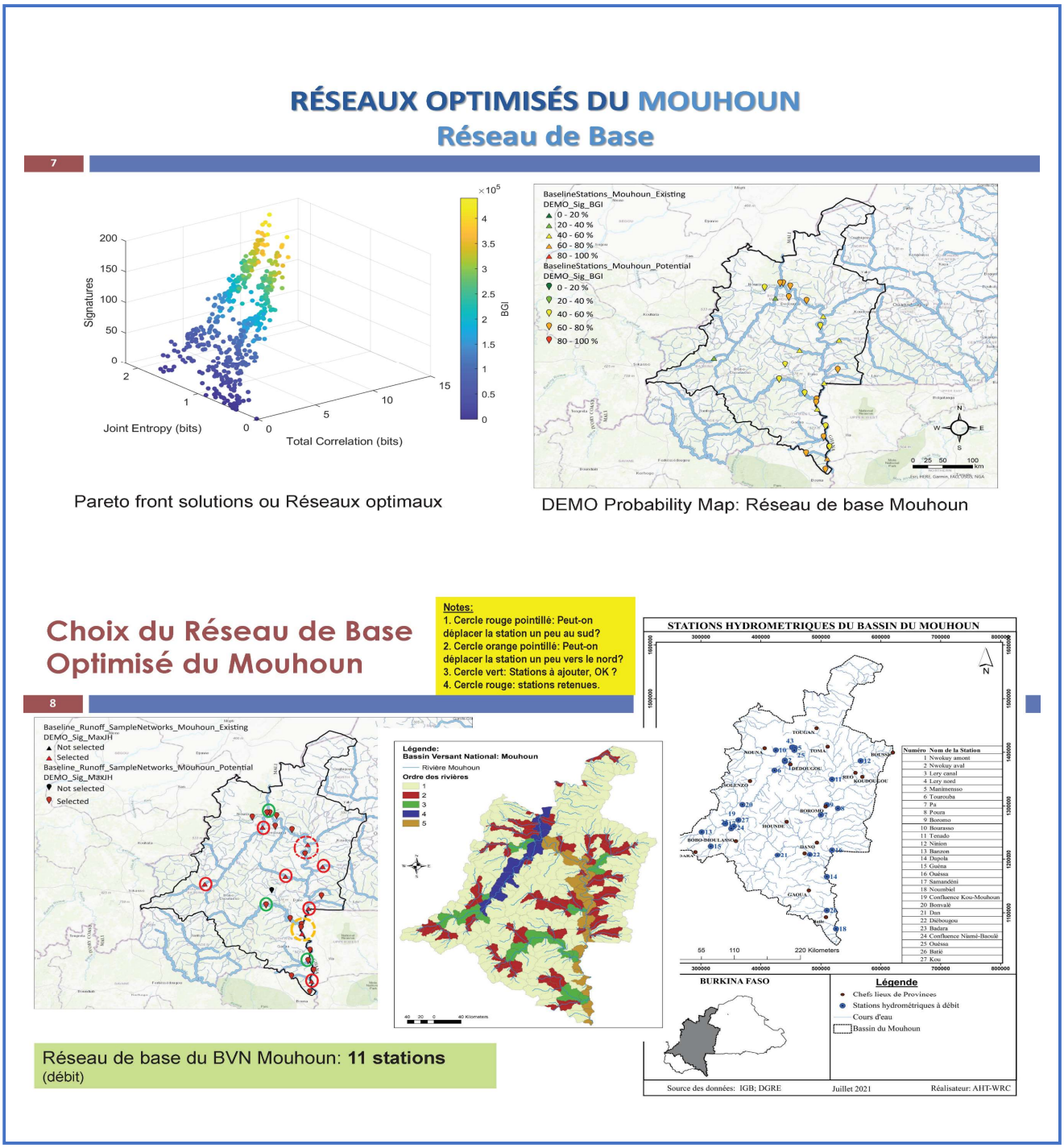


Figure 52 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Mouhoun

7.6. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Mouhoun

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau national optimisé du Mouhoun. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

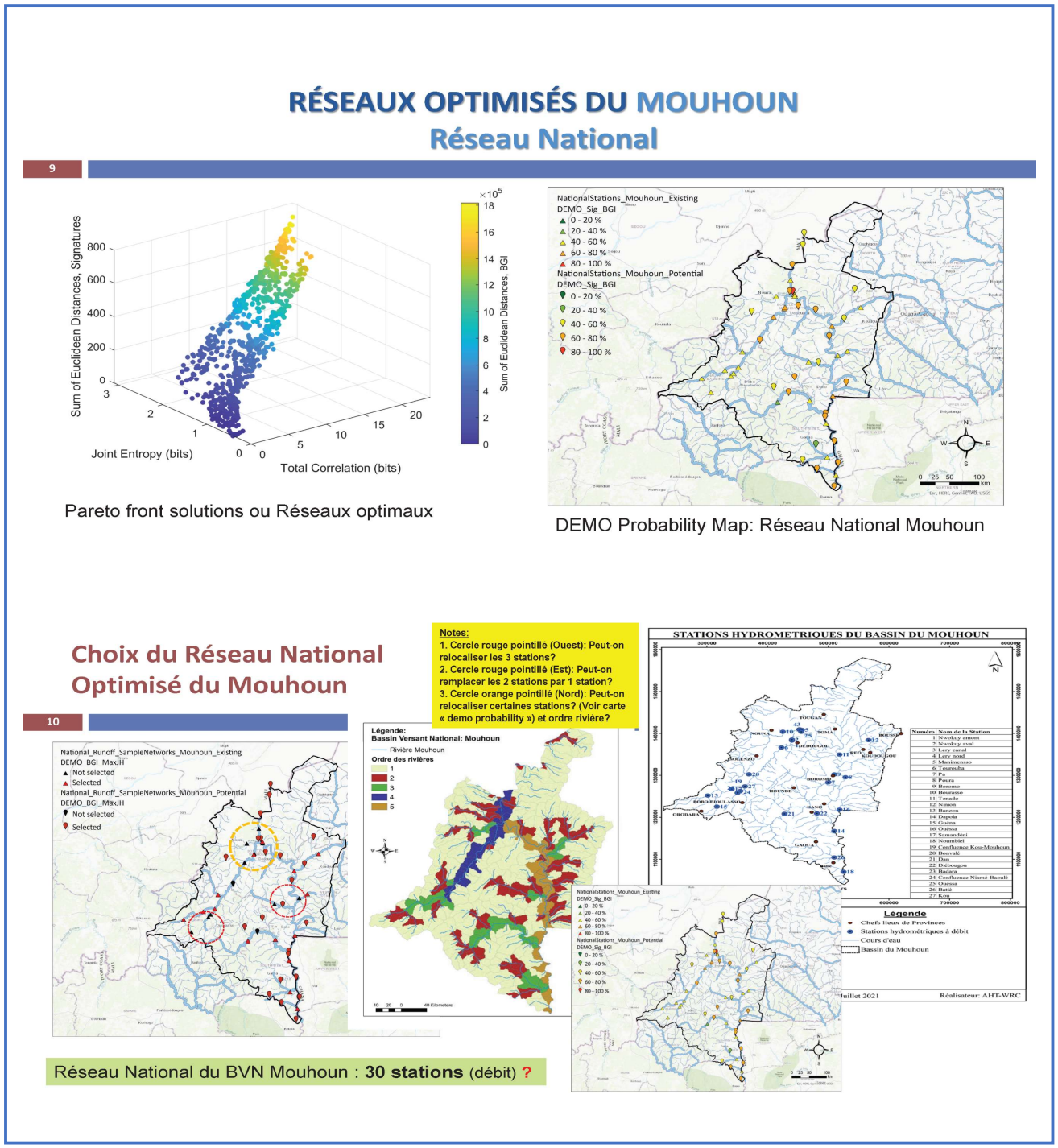


Figure 53 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Mouhoun

7.7. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Nakanbé

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du Nakanbé.

Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

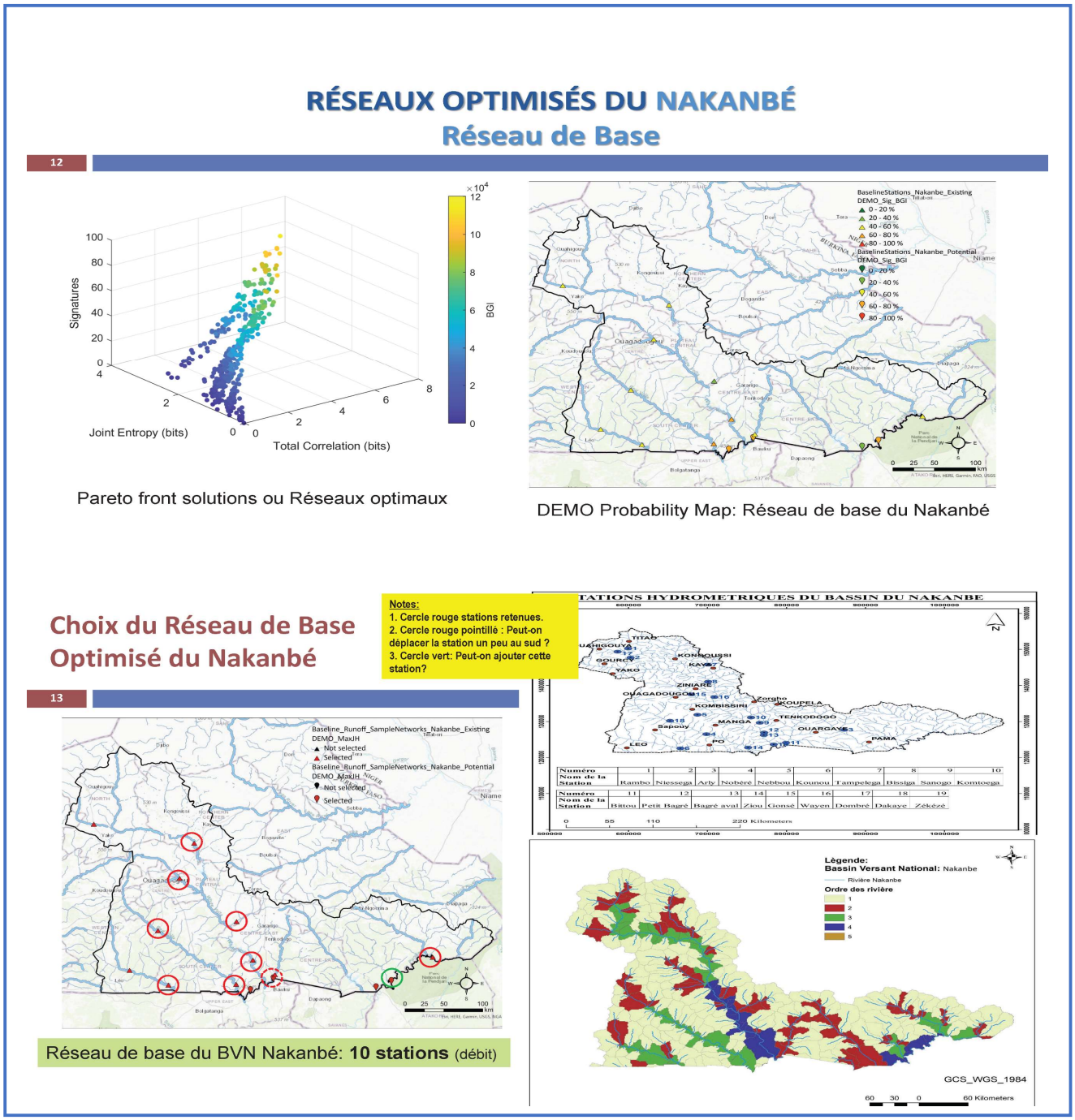


Figure 54 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Nakanbé

7.8. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Nakanbé

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau national optimisé du Nakanbé. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

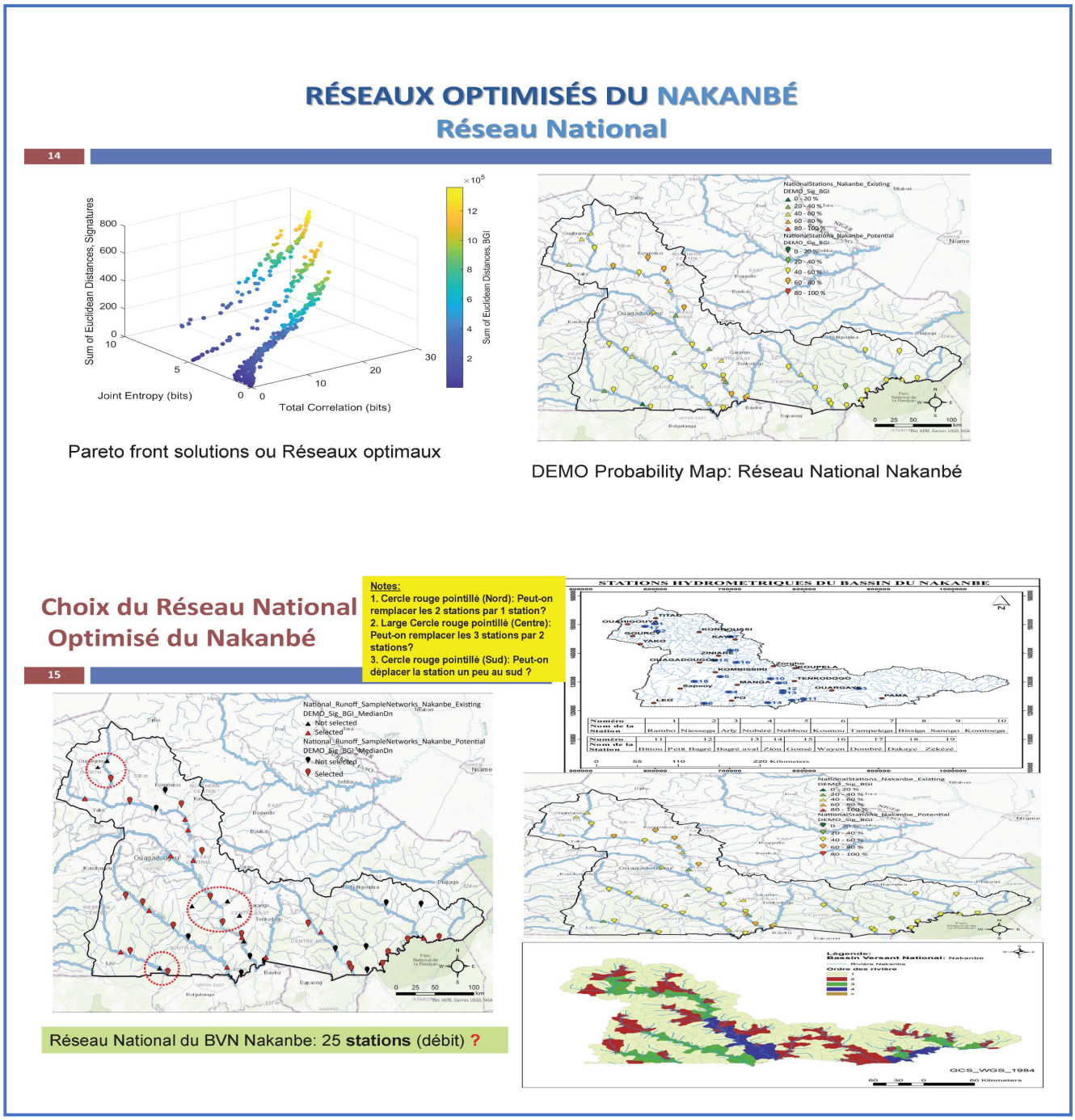


Figure 55 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Nakanbé

7.9. Information ayant servi au choix du réseau hydrométrique de base optimisé du Niger

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du Niger. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

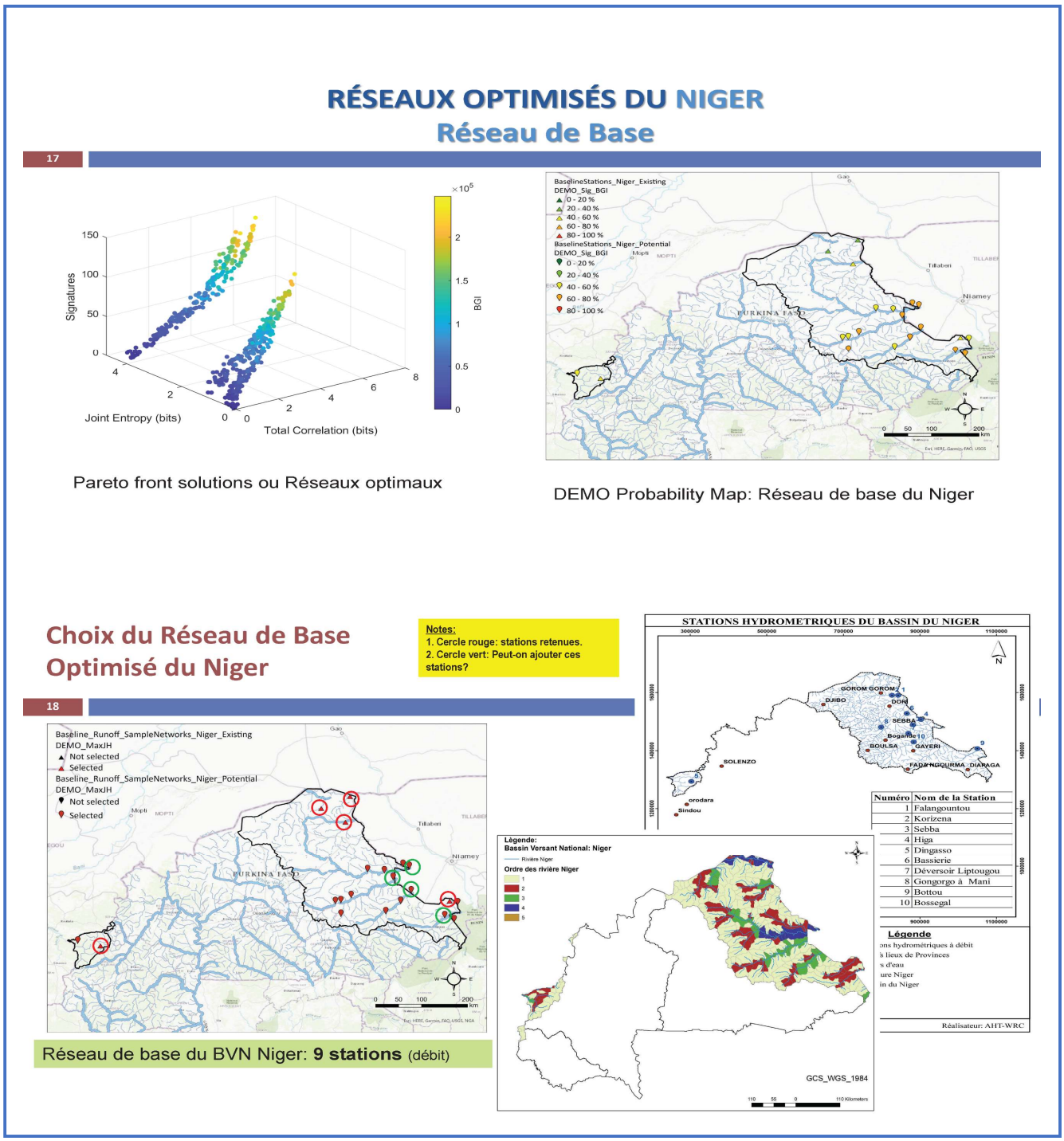


Figure 56 : Information ayant servi au choix du réseau de base optimisé du BVN du Niger

7.10. Information ayant servi au choix du réseau national hydrométriqueoptimisé du Niger

La Figure suivante présente l'information ayant servi au choix du réseau national optimisé du Niger. Les réponses aux questions posées aux techniciens sont résumées dans le Tableau 21.

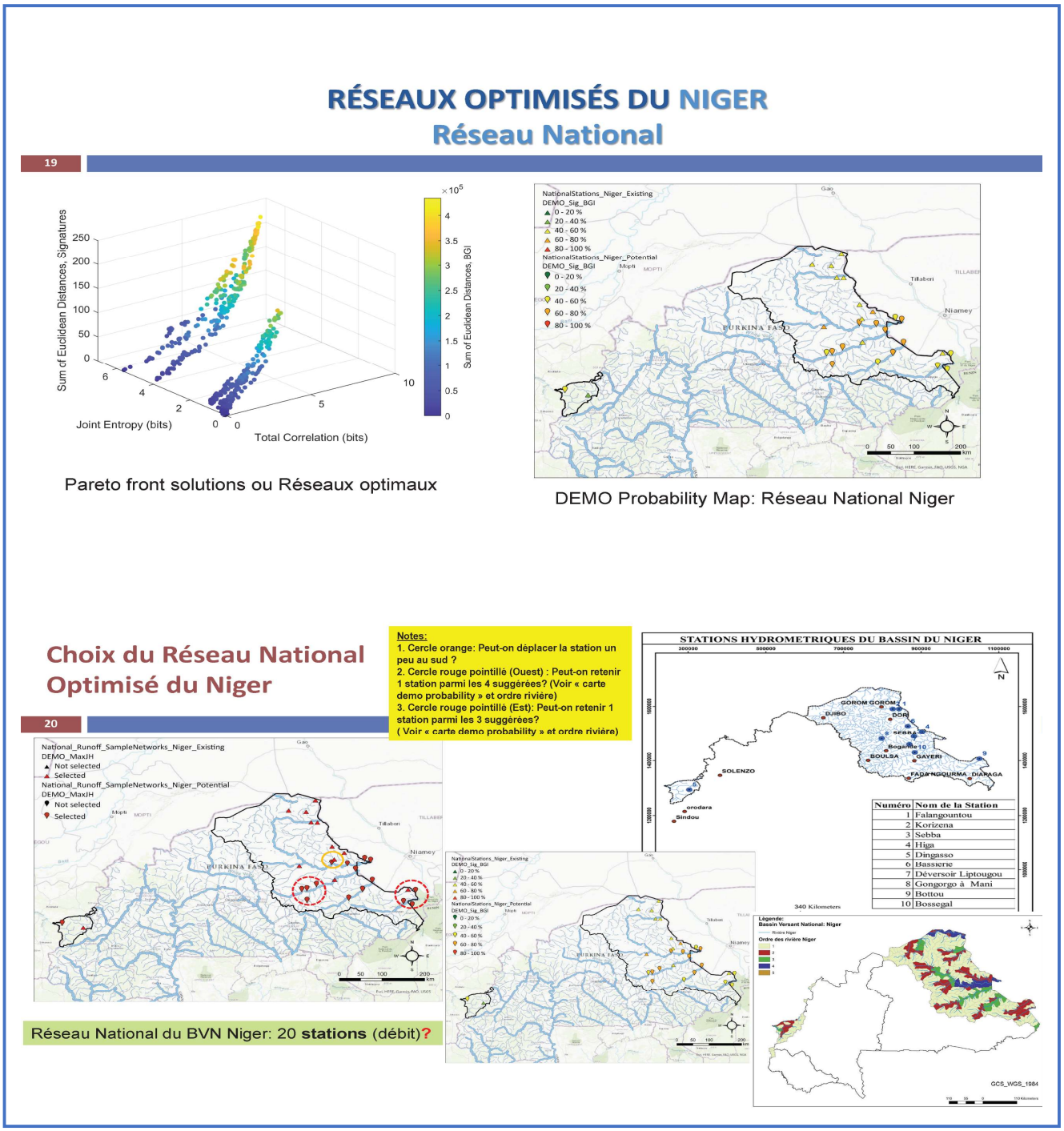


Figure 57 : Information ayant servi au choix du réseau national optimisé du BVN du Niger

7.11. Synthèse des travaux sur le choix des réseaux optimaux

Tableau 21 : Synthèse des travaux des techniciens du MEA sur le choix des réseaux optimaux (MEA, 2021)

BVN	TYPE DE RESEAUX	RESPONSES AUX QUESTIONS/OBSERVATIONS
COMOE	RESEAU DE BASE OPTIMISE	1. Cercle rouge pointillé : déplacement non pertinent. Position actuelle optimale. Bonne section de jaugeage avec pont à proximité Cercle vert : l'ajout est pertinent mais voir la possibilité d'amener la station plus en aval après la confluence Comoé-Léraba
	RESEAU NATIONAL OPTIMISE	1. Cercle rouge pointillé : ne pas déplacer ; les positions actuelles des stations sont adéquates 2. Cercles verts : les deux nouvelles stations proposées en plus de la nouvelle station inclue dans le réseau de base optimisé pourraient être économisées. Ajouter trois stations dans la zone frontalière sur le CODOUM, le BAOUE et IRINGOU pour le suivi des écoulements sortants du pays. **Autres commentaires** L'ajout de la station du SINLO à Boulon est pertinent
MOUHOUN	RESEAU DE BASE OPTIMISE	1. Cercle rouge pointillé : la position actuelle de la station de Tenado est adéquate 2. Cercle orange : la position de la station de Dapola est à maintenir 3. Cercles verts : Ajouts non validés. Des stations sont déjà existantes pour le suivi à ces points proposés et seront intégrés dans le réseau de base 4. Cercles rouges : Ok pour les stations retenues **Autres commentaires** - Intégrer la station de Bonvalé (le positionner au niveau du pont) et le Kou à Badara dans le réseau de base - Nwokuy aval : station fortement influencée par les remous du barrage de Léry. A supprimer du réseau de suivi Bourassoest une mare. Pas de possibilité d'étalonnage. A supprimer
	RESEAU NATIONAL OPTIMISE	1. Cercle rouge pointillé (Ouest) : Guéna, Badara et la confluence Kou-Mouhoun est à maintenir, et la confluence Niamé-Baoulé est à supprimer 2. Cercle rouge pointillé (Est) : les deux stations (Pa et Poura) seront maintenues. Les stations de Poura, Pa, Boromo seront donc inclues dans le réseau. 3. Cercle orange pointillé (Nord) : Maintenir toutes les stations à leur position actuelle et supprimer les stations de Bourasso et Nwokuy aval. Les nouvelles stations ne sont pas retenues. **Autres commentaires** - Maintenir la station de Lanviera

		Déplacer la station de Banzon un peu plus en amont sur le bras principal du Mouhoun et l'intégrer au réseau national
NAKANBE	RESEAU DE BASE OPTIMISE	1. Cercle rouge stations retenues : ok, ces stations peuvent être retenues 2. Cercle rouge pointillé : maintenir la station à son emplacement actuel 3. Cercle vert : ok pour l'ajout de la station. Par contre, ne pas le positionner à la frontière. Réhabiliter l'ancienne station de Singou à Samboali (les coordonnées seront transmises au consultant) **Autres commentaires** - Intégrer une station à Kompienga aval (considérer la position de l'ancienne station) Ajouter la station de Niessega dans le réseau de base
	RESEAU NATIONAL OPTIMISE	1. Cercle rouge pointillé (Nord) : Ne pas remplacer les deux stations. Les deux stations doivent être maintenues mais déplacées en amont car influencées par le barrage de Guitti. 2. Large cercle rouge pointillé (Centre) : les trois stations seront maintenues à leur position actuelle car elles sont positionnées sur des affluents qui alimentent le barrage de Bagré 3. Cercle rouge pointillé (Sud) : la station doit être maintenue à sa position actuelle. **Autres commentaires** Réhabiliter la station de Malou
NIGER	RESEAU DE BASE OPTIMISE	1. Cercle rouge : ok pour les stations retenues Cercle vert : ok pour l'ajout des stations. Toutefois, le positionnement sur le terrain devra être vérifier
	RESEAU NATIONAL OPTIMISE	1. Cercle orange : Ne pas déplacer la station. 2. Cercle rouge pointillé (Ouest) : il n'est pas nécessaire d'ajouter de nouvelles stations dans cette zone. Maintenir la station de Bossegal située à l'aval et qui contrôle la zone. Elle est retenue provisoirement 3. Cercle rouge pointillé (Est) : on peut retenir la nouvelle station inclue dans le réseau de base ainsi que la station de Bottou. **Autres commentaires** - Positionner la nouvelle station dans le Banifing sur le cours d'eau principal un plus vers la frontière - Les coordonnées de la station de Bassiéri sont à corriger et la station sera maintenue
QUESTIONS 1.Faut-il ajouter toutes les stations sur barrages au réseau national optimisé ou bien seulement les stations sur les grands barrages d'intérêt national?		**Réponses aux questions :** 1. Les stations sur les grands barrages d'intérêt national seront intégrées au réseau national optimisé. 2. Des stations ont été sélectionnées. La liste vous sera transmise. 3. La proposition est pertinente. On associera prioritairement aux stations du réseau de base des enregistreurs automatiques avec télétransmission.

2. Il est suggéré d'associer à toutes les stations sur barrages des stations qualité des eaux de surface, qu'en pensez-vous? 3.Ilestsuggéré d'associer prioritairement aux stations du réseau de base des enregistreurs automatiques avec télétransmission, qu'en pensez-vous? 4.Si vous avez des préoccupations majeures non-prises en compte, veuillez les partager.	

8. RESEAUX HYDROMETRIQUES OPTIMAUX IDENTIFIES PAR BVN

8.1. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN de la Comoé

Le réseau hydrométrique de base optimisé du bassin de la Comoé est présenté à la Figure 58.

Ce réseau contient 6 stations dont une nouvelle station.

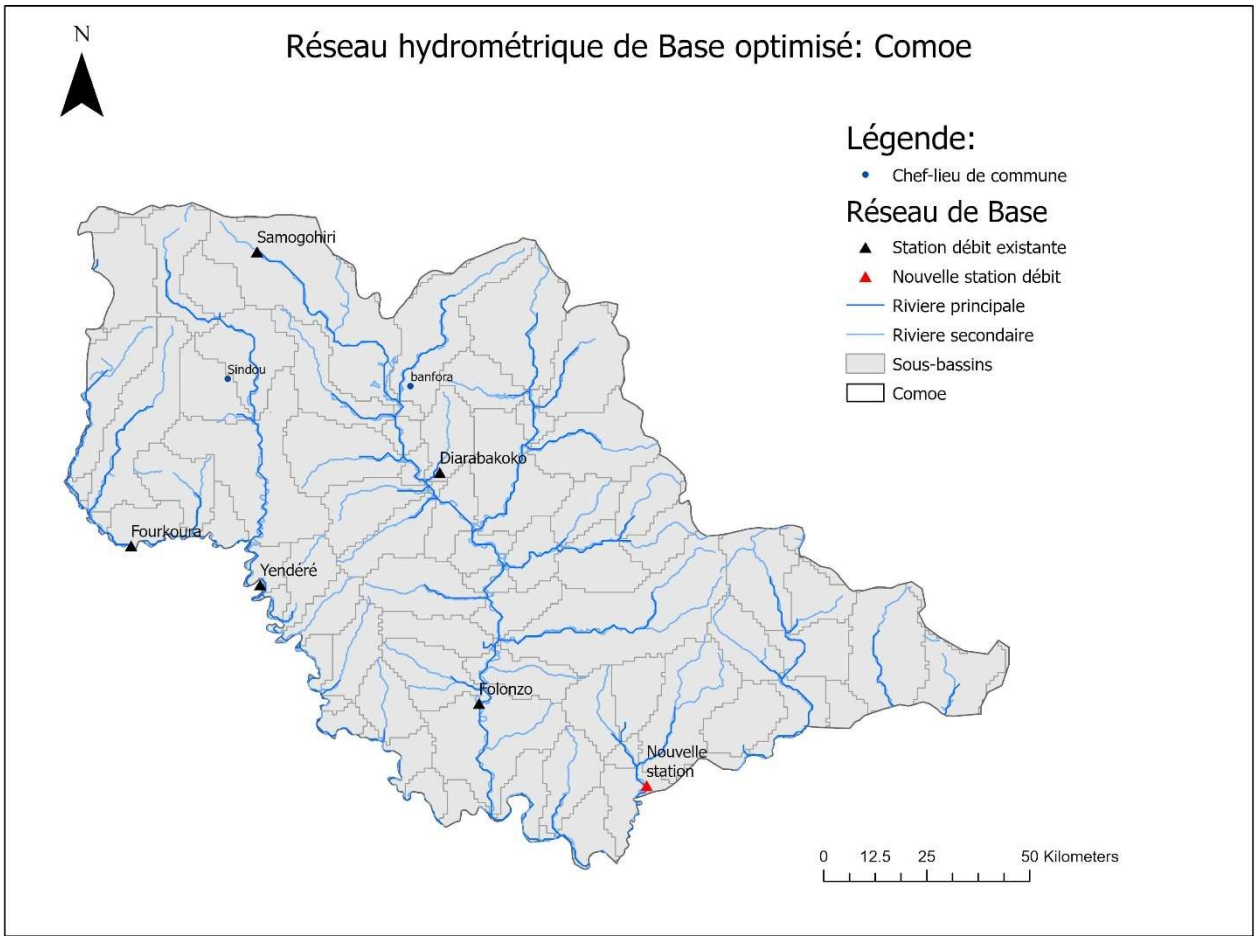


Figure 58 : Réseau hydrométrique de base optimisé de la Comoé

Le réseau hydrométrique national optimisé du bassin de la Comoé est présenté à la Figure 59.

Ce réseau contient 11 stations à débits dont 5 nouvelles stations et 4 stations à volume, soit un total de 15 stations.

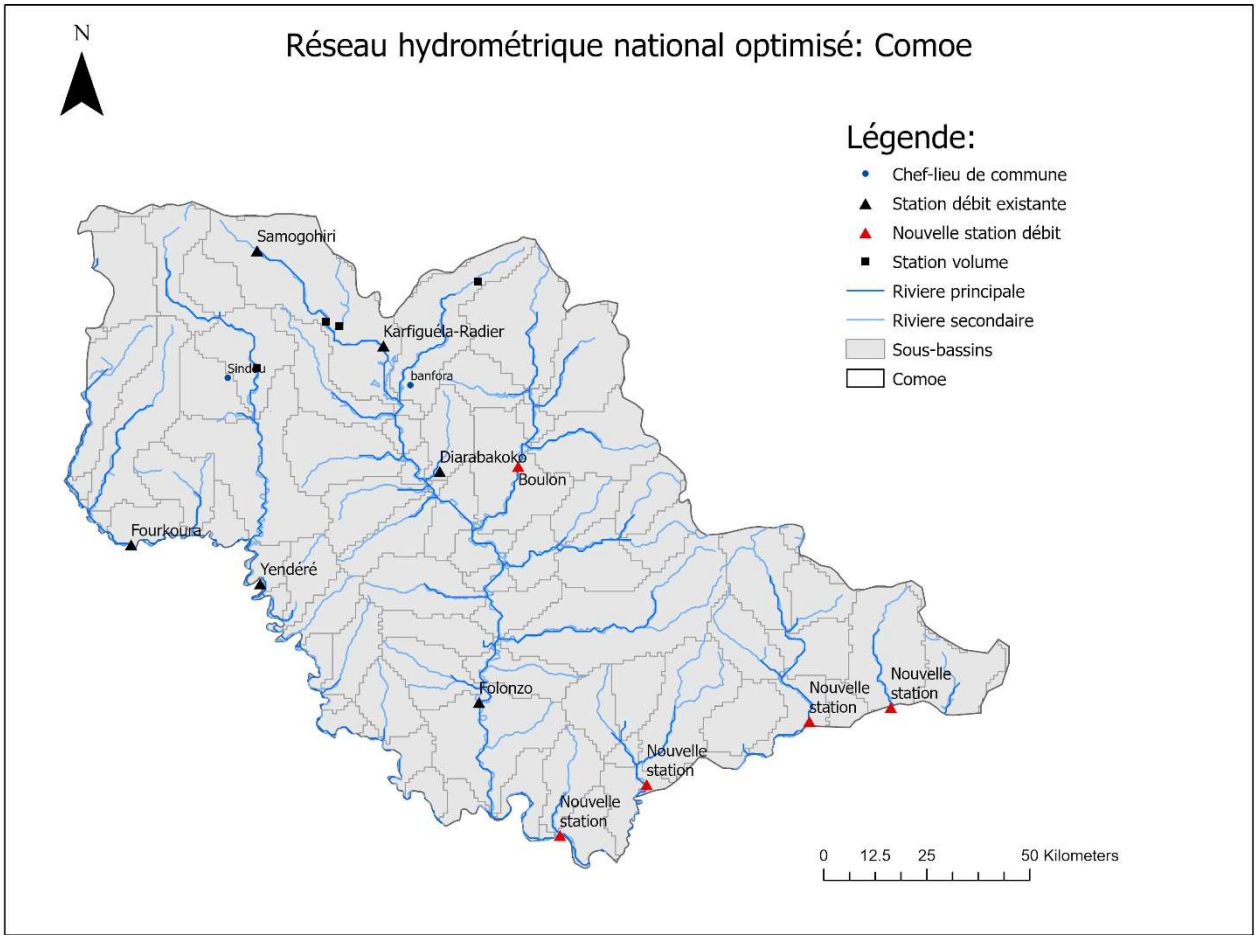


Figure 59 : Réseau hydrométrique national optimisé de la Comoé

8.2. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN du Mouhoun

La Figure 60 présente le réseau hydrométrique de base optimisé du bassin du Mouhoun.

Ce réseau comprend 12 stations, aucune nouvelle station n'est jugée nécessaire à ajouter au réseau de base.

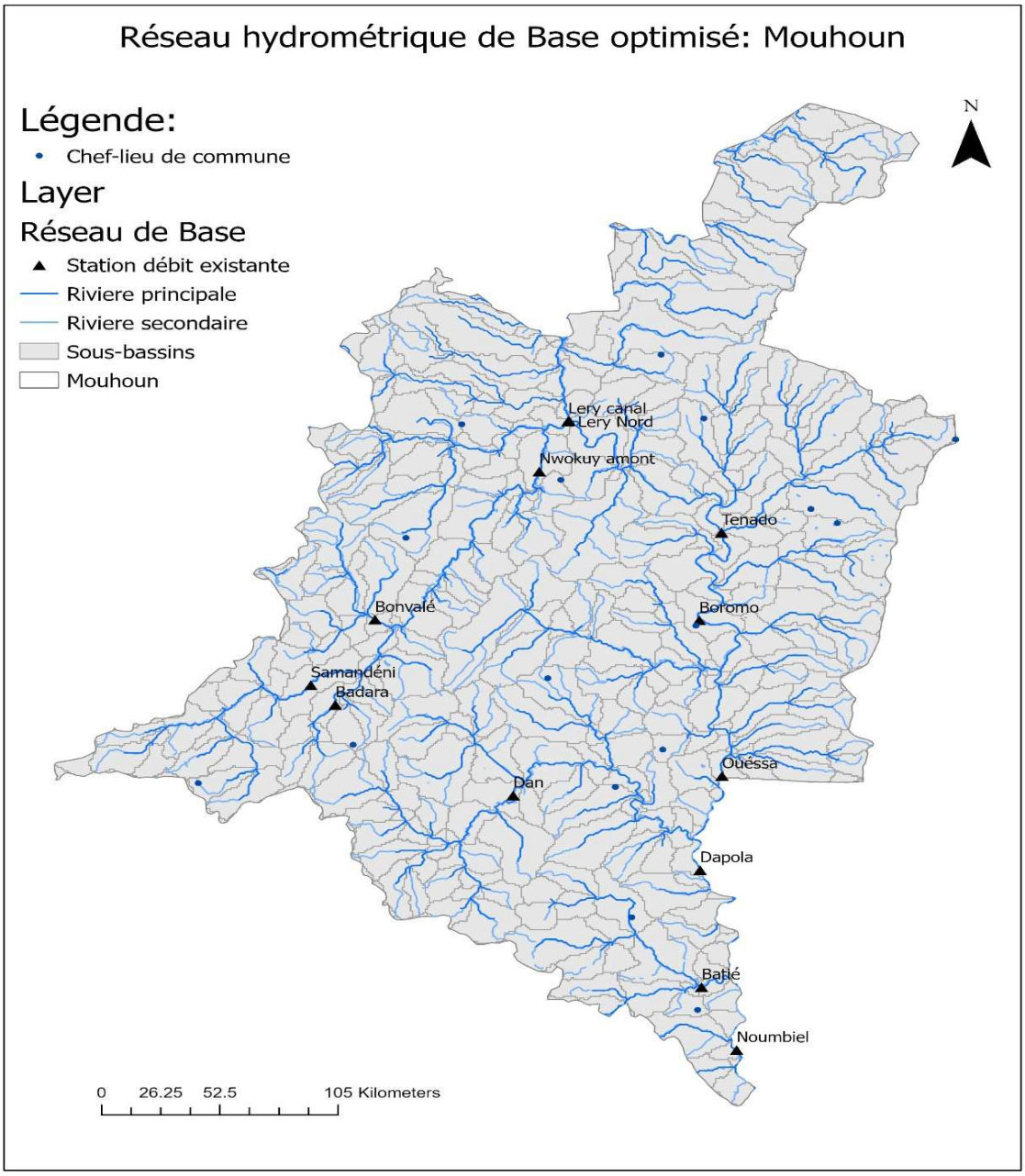


Figure 60 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Mouhoun

Le réseau hydrométrique national optimisé du bassin du Mouhoun est présenté à la Figure 61.

Ce réseau contient 24 stations à débits dont une existante délocalisée en amont, et 6 stations à volume, soit un total de 30 stations.

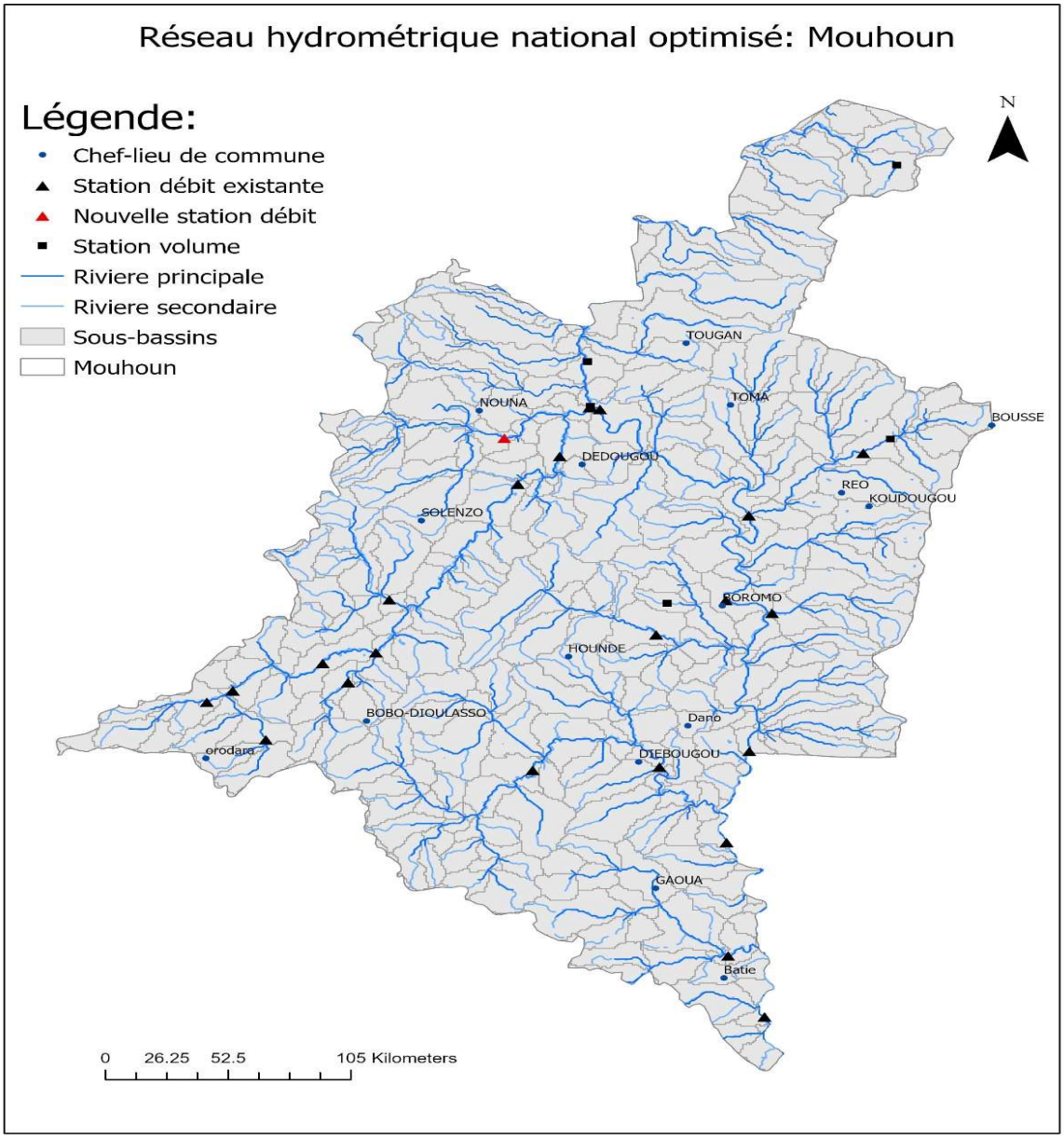


Figure 61 : Réseau hydrométrique national optimisé du Mouhoun

8.3. Réseaux hydrométriques optimisés du BVN du Nakanbé

La Figure 62 présente le réseau hydrométrique de base optimisé du bassin du Nakanbé.

Ce réseau comprend 13 stations dont 2 nouvelles stations.

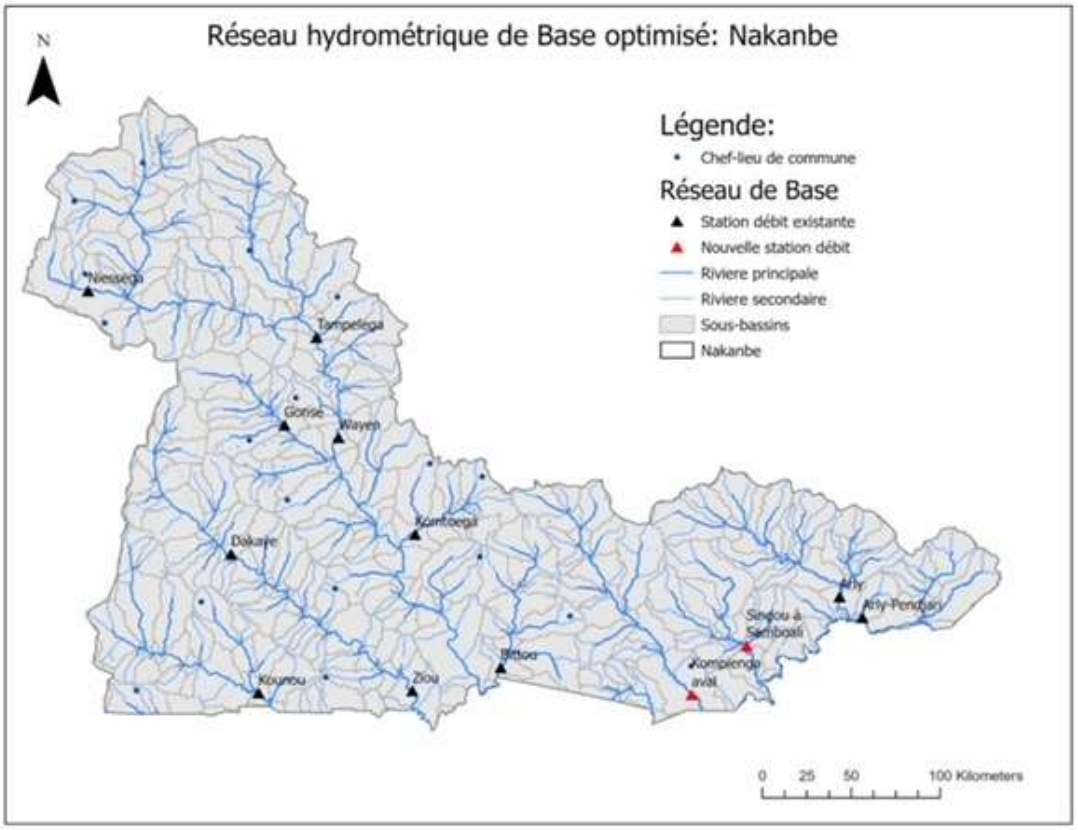


Figure 62 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Nakanbé

Le réseau hydrométrique national optimisé du bassin du Nakanbé est présenté à la Figure 63.

Ce réseau contient 22 stations à débits dont 3 nouvelles stations, et 18 stations à volume, soit un total 40 stations.

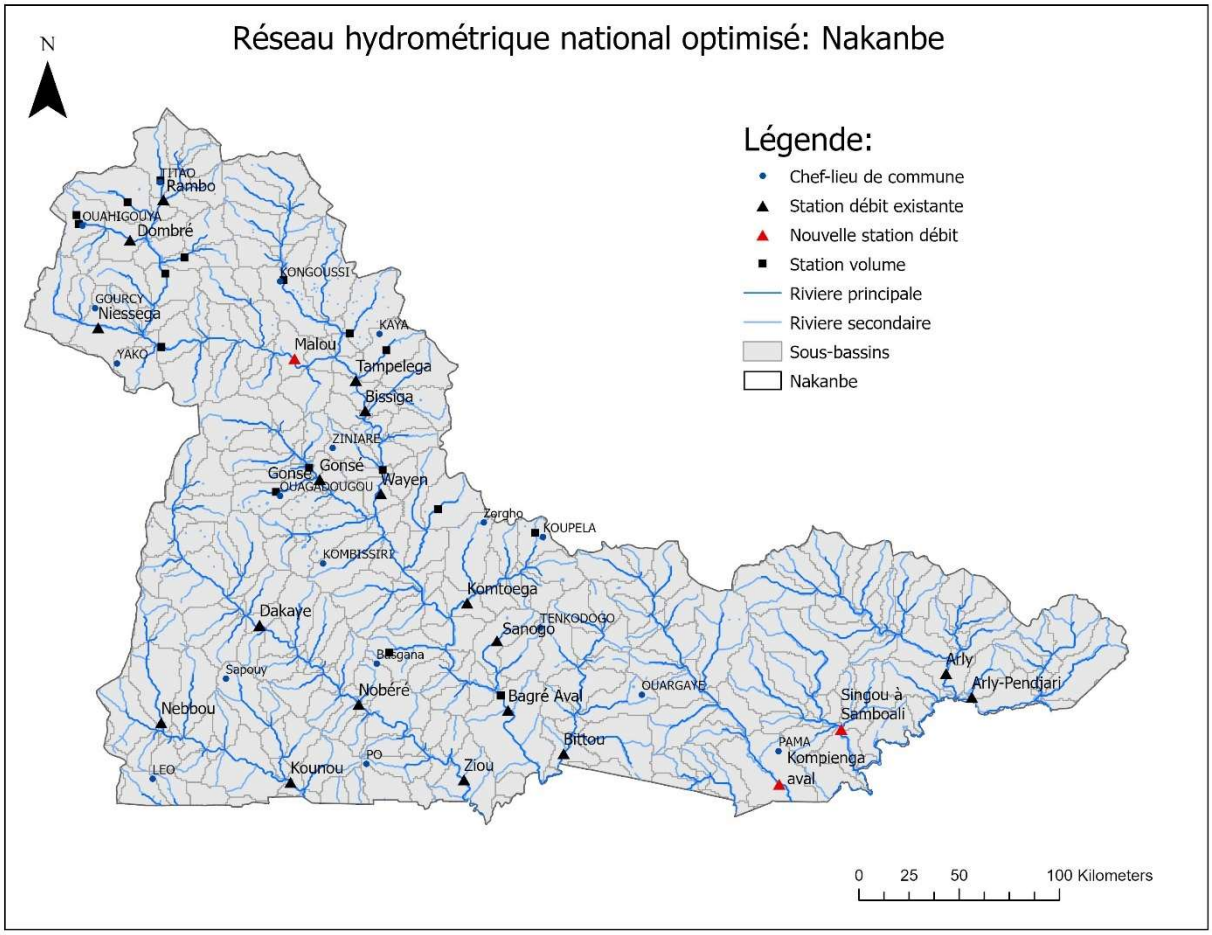


Figure 63 : Réseau hydrométrique national optimisé du Nakanbé

8.4. Réseaux hydrométriques optimisésdu BVN du Niger

La Figure 64 présente le réseau hydrométrique de base optimisé du bassin du Niger.

Ce réseau comprend 9 stations dont 5 nouvelles stations.

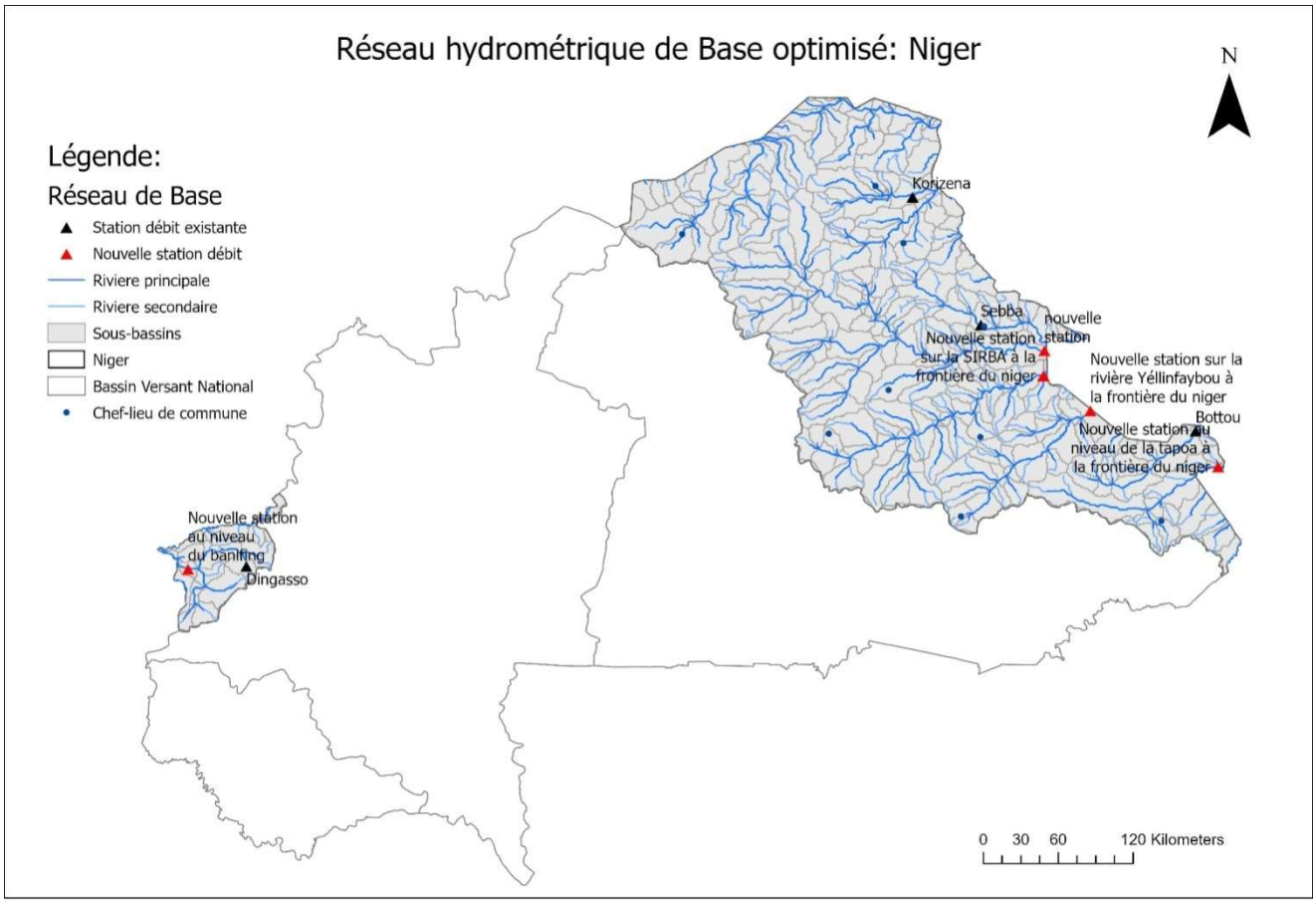


Figure 64 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Niger

Le réseau hydrométrique national optimisé du bassin du Niger est présenté à la Figure 65.

Ce réseau contient 14 stations à débits dont 5 nouvelles stations, et 14 stations à volume, soit un total de 28 stations.

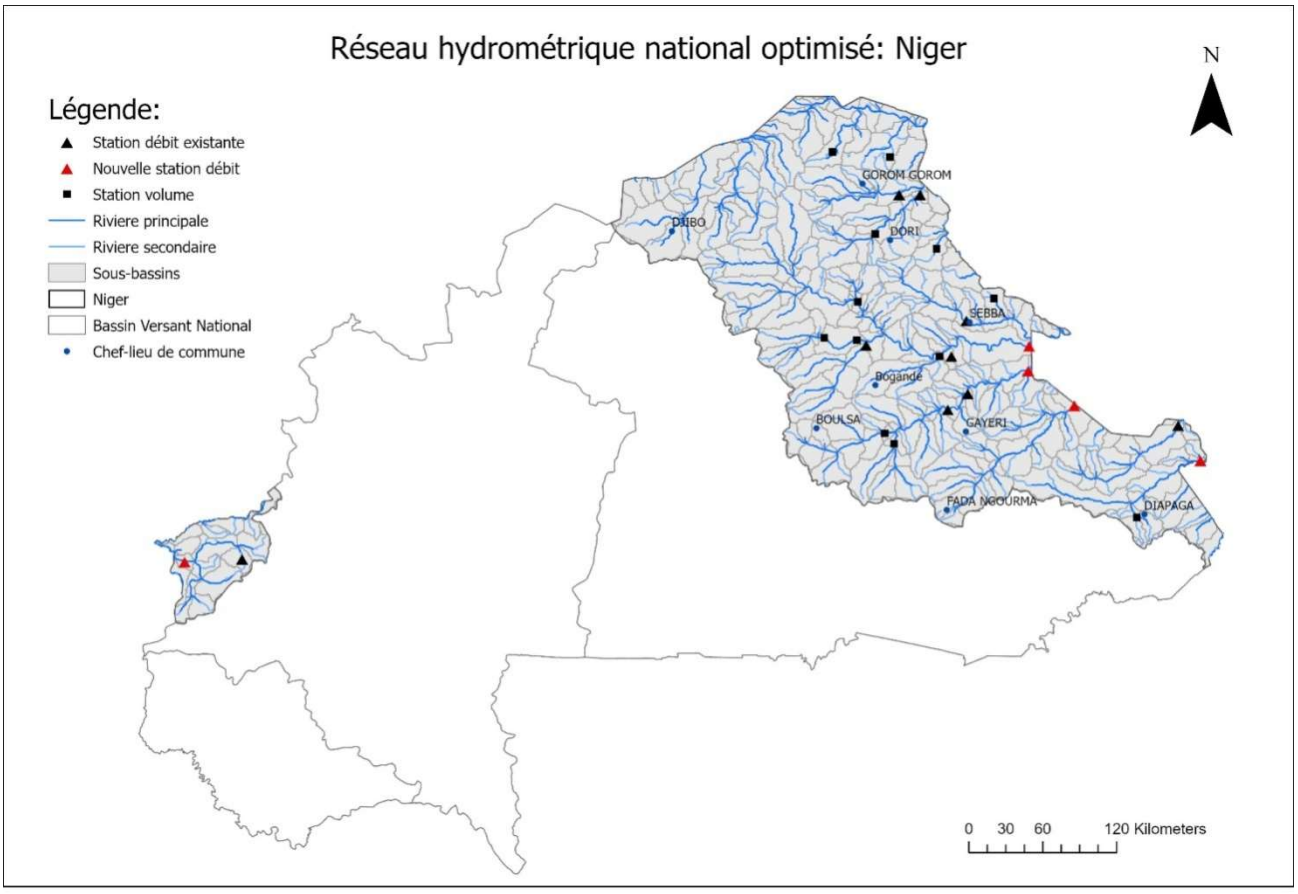


Figure 65 : Réseau hydrométrique national optimisé du Niger

9. RESEAU HYDROMETRIQUE DE BASE OPTIMISE

La Figure 66 présente le réseau hydrométrique de base optimisé qui comprend au total 40 stations dont 32 stations existantes et 8 nouvelles stations. Rappelons que le réseau de base est constitué uniquement de stations à débits. Le nombre de stations retenues par BVN est donné dans le Tableau 22 de la section 9 et les détails des stations sont donnés dans l'**Annexe A2**. Les stations du réseau de base optimisé ont une bonne distribution spatiale et couvrent toutes les zones homogènes et presque toutes les rivières pérennes (ordre 3 à 5) du pays. L'opérationnalisation et le suivi régulier de ce réseau de base optimisé permettra d'obtenir un niveau d'information hydrologique suffisant pour éviter que des erreurs grossières soient commises lors de la prise de décisions concernant les ressources en eau. Ce réseau d'une quarantaine de stations constitue une bonne base pour le réseau national hydrométrique.

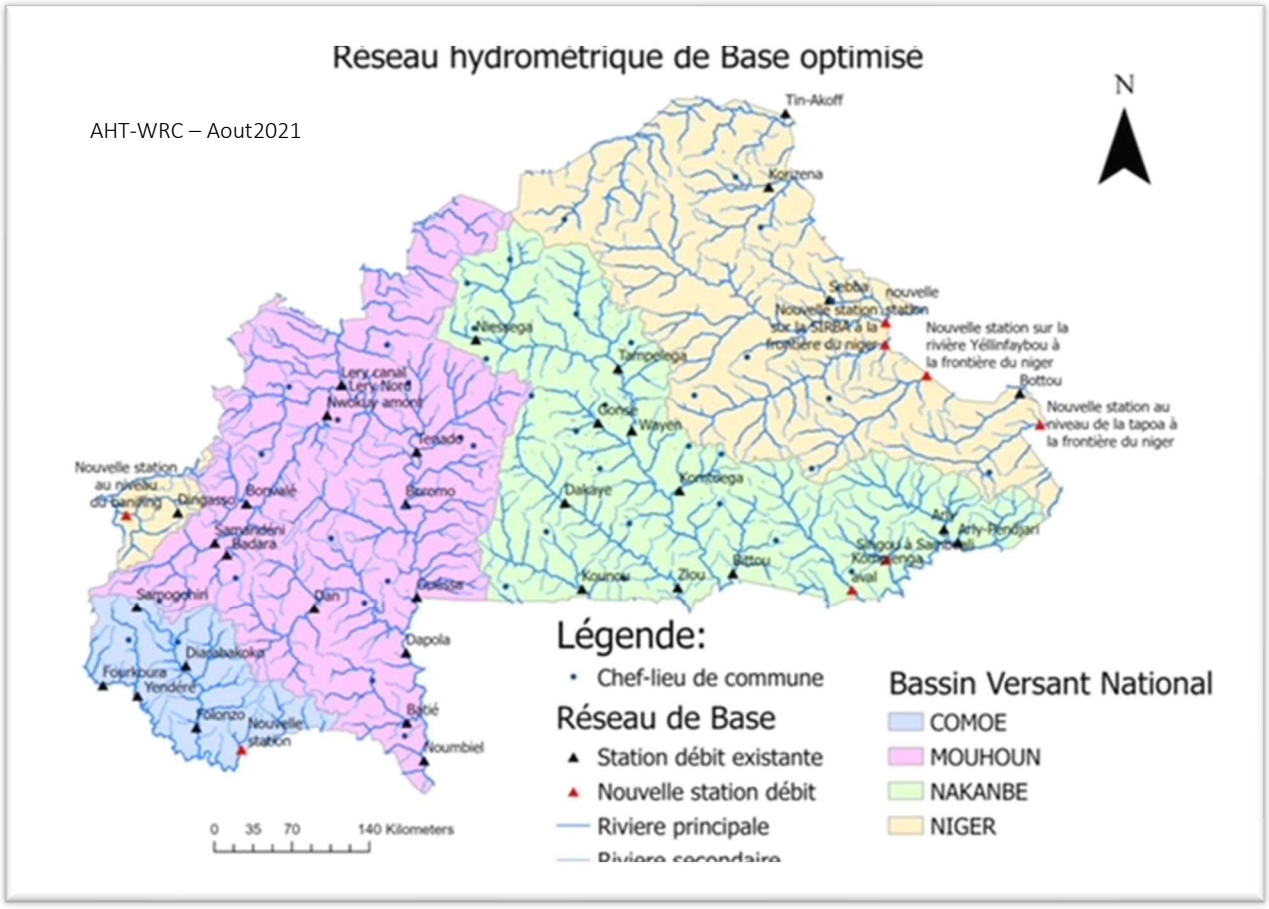


Figure 66 : Réseau hydrométrique de base optimisé du Burkina Faso

10. RESEAU HYDROMETRIQUE NATIONAL OPTIMISE

La Figure 67 présente le réseau hydrométrique national optimisé sur la base des stations à débits. Ce réseau est une extension du réseau de base optimisé afin de répondre aux besoins spécifiés. A ce réseau (Figure 67), sont ajoutées les stations à volume sélectionnées pour obtenir le réseau hydrométrique national optimisé présenté à la Figure 68. Ce réseau national optimisé comprend 58 stations à débits existantes, 14 nouvelles stations à débits et 42 stations à volume, soit un total de 114 stations.

Le nombre de stations retenues par BVN est donné dans le Tableau 22 tandis que les détails des stations sont donnés dans l'**Annexe A2.**

Rappelons que le réseau hydrométrique actuel (en date de février 2021) compte 100 stations contre 114 pour le réseau national hydrométrique optimisé, soit une petite augmentation de 14% imputable à l'ajout de 42 stations à volume au réseau optimisé. L'optimisation a donc été effective dans la minimisation du nombre de stations vue le nombre de sites potentiels évalués.

L'opérationnalisation et le suivi régulier de ce réseau national optimisé permettra d'obtenir un niveau d'information hydrologique suffisant pour répondre aux divers besoins spécifiés y compris la prise en compte de l'impact du changement climatique. Ce réseau pourra être renforcé au fils du temps en fonction de l'évolution des besoins.

Le réseau national hydrométrique optimisé devrait être actualisé au moins tous les 10 ans pour prendre en compte l'évolution des besoins.

Un plan d'actions est livré en Section 16 du rapport pour faciliter l'opérationnalisation des réseaux optimisés et le renforcement des capacités techniques pour une bonne maintenance et un suivi durable des réseaux optimisés.

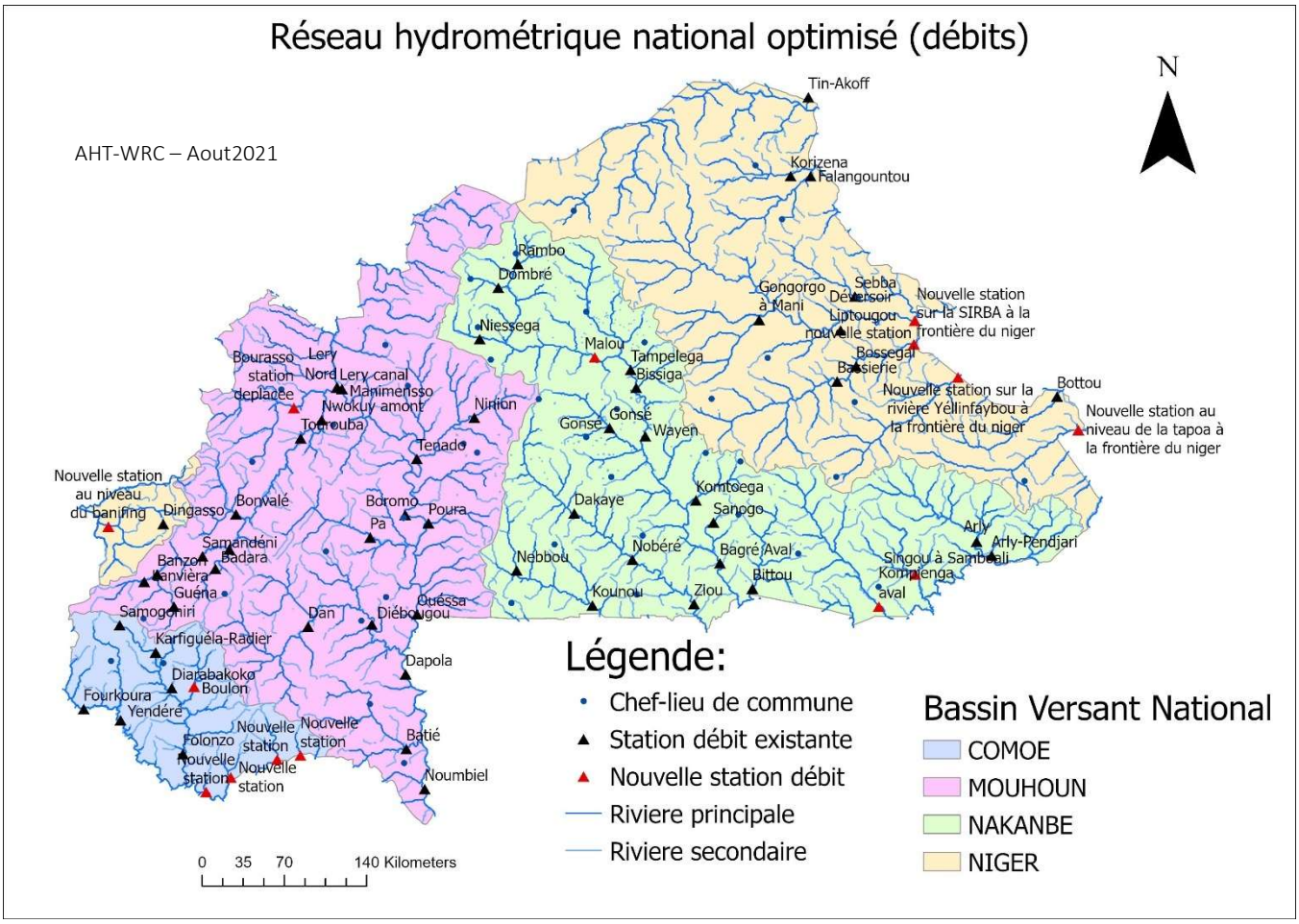


Figure 67 : Réseau hydrométrique national optimisé sur la base des stations à débits.

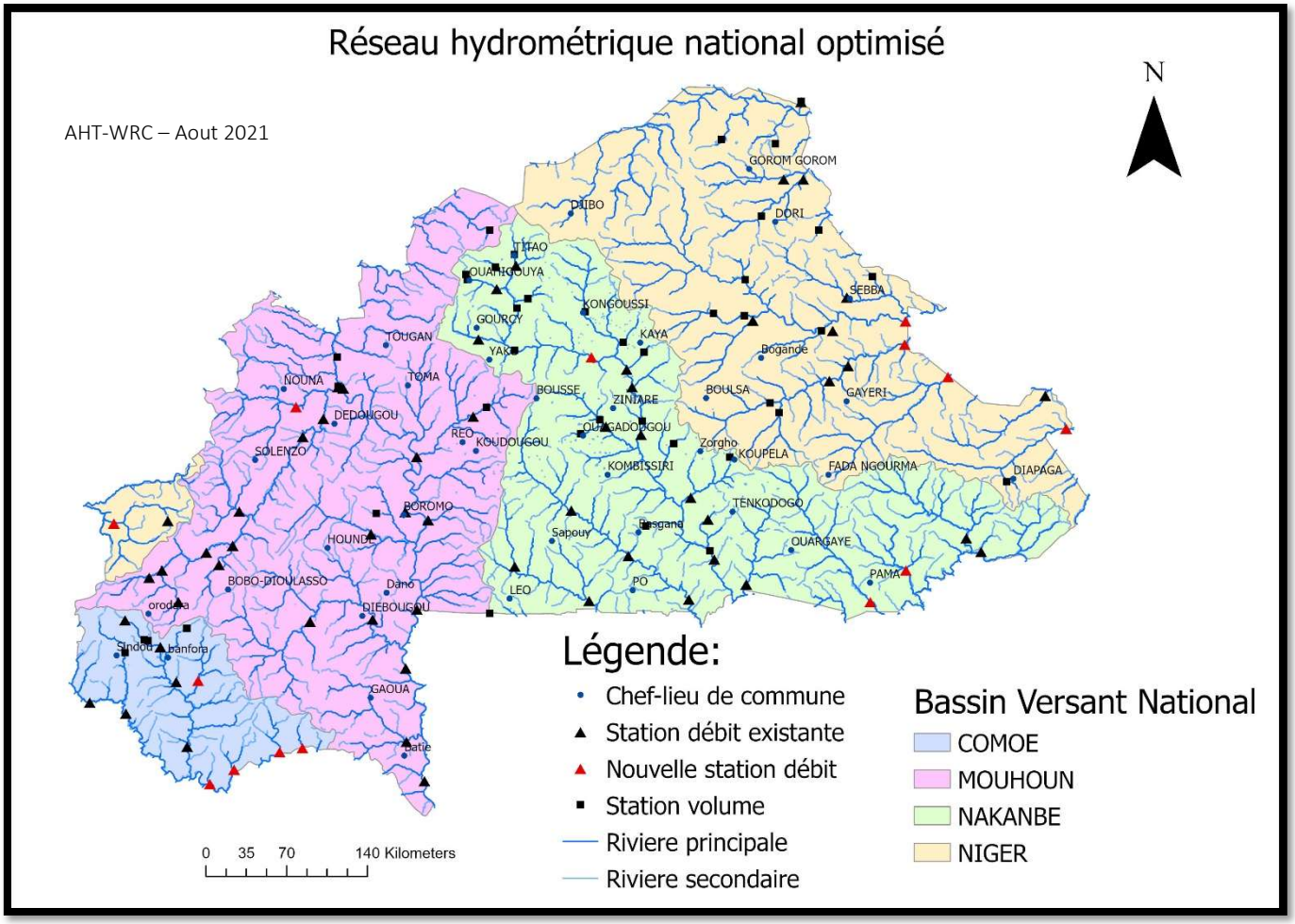


Figure 68 : Réseau hydrométrique national optimisé du Burkina Faso.

Tableau 22: Nombre de stations des réseaux hydrométriques optimisés

BVN	Réseau de Base Optimisé				Réseau National Optimisé			
	Stations existantes	Nouvelles stations	Total		Stations existantes	Nouvelles stations	Stations volume	Total
COMOE	5	1	6		6	5	4	15
MOUHOUN	12	0	12		23	1	6	30
NAKANBE	11	2	13		19	3	18	40
NIGER	4	5	9		10	5	14	29
National	**32**	**8**	**40**		**58**	**14**	**42**	**114**

Rappelons que dans l'optimisation du réseau de qualité de l'eau, le principe adopté est que « *à toute station du réseau hydrométrique optimisé doit être associée une station de qualité d'eau ».* Ceci implique que chaque station hydrométrique doit également comporter une station qualité des eaux. Par conséquent, le nombre stations pour les réseaux optimisés hydrométriques et de qualité de l'eau est le même. Cependant, il est à noter que si l'emplacement de la station hydrométrique ne permet pas de suivre les risques de pollution éventuels ou avérés, un site de prélèvement supplémentaire sera déterminé uniquement pour le suivi de la qualité des eaux . Ainsi à cette station hydrométrique correspondra deux stations de qualité des eaux : l'une pour caractériser la qualité des eaux à la station hydrométrique et l'autre pour suivre la qualité des eaux dans la zone à risque de pollution. Lors des visites de terrain des stations, certains sites avaient déjà été identifiés et consignés dans les fiches de station de la qualité des eaux. De même, suite aux demandes d'extension du réseau de suivi de la qualité des eaux exprimées par les DREA et les AE, 10 sites géoréférencés ont été regroupés dans le Tableau 26 du rapport diagnostic de la présente étude.

11. RESEAU DE BASE DE QUALITE DES EAUX OPTIMISE

La Figure 69 présente le réseau de base de qualité des eaux optimisé qui comprend au total 40 stations dont 32 stations existantes et 8 nouvelles stations. A ce réseau de base s'ajoutent trois nouvelles stations spécifiques pour le suivi des risques de pollution (Bougouriba à Diébougou, Mouhoun à Boromo et

Folonzo). La localisation de ces stations spécifiques est indiquée sur les cartes (Figures 72-74) documentant les risques de pollution.

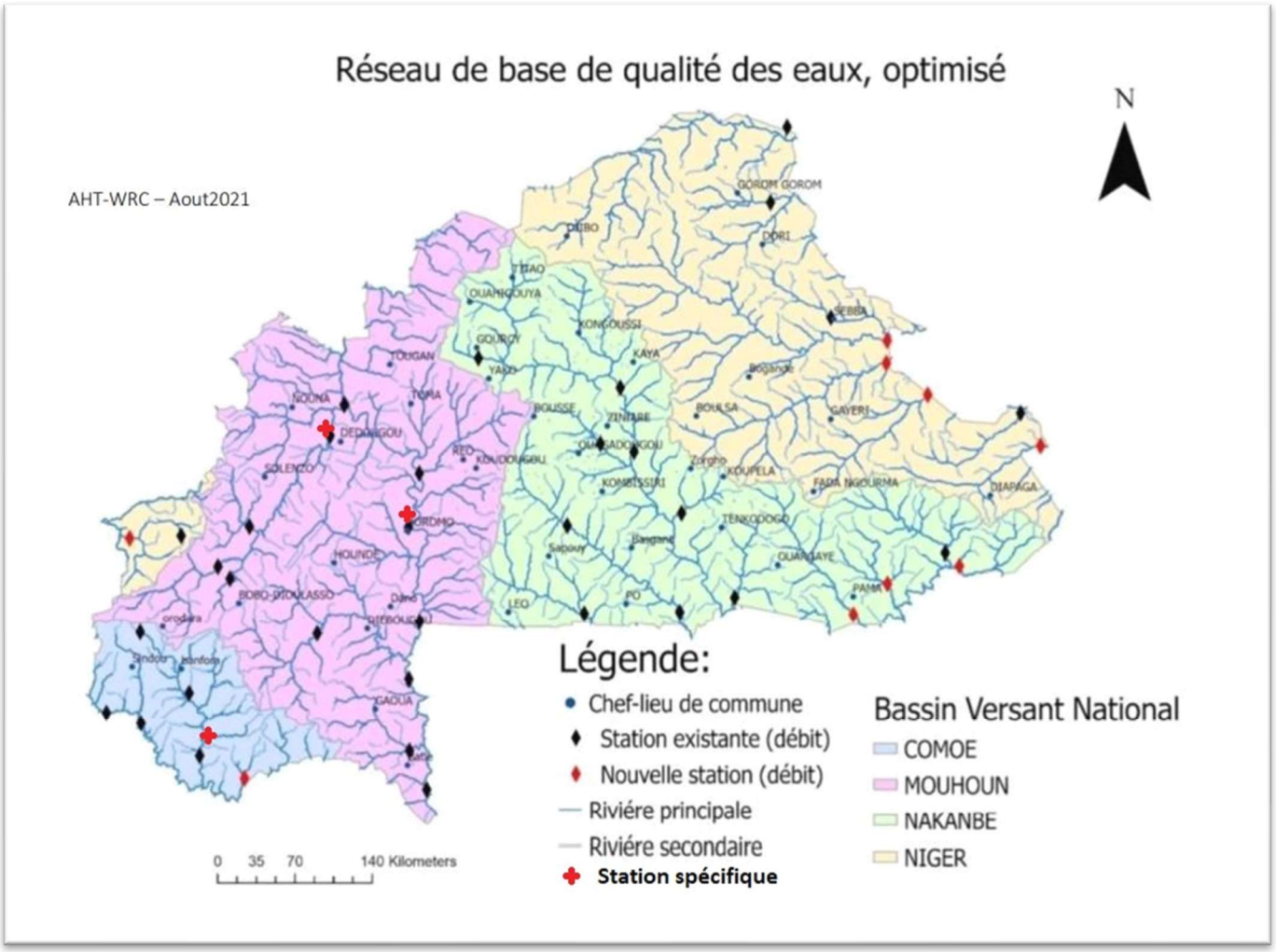


Figure 69 : Réseau de base de qualité des eaux optimisé du Burkina Faso.

12. RESEAU NATIONAL DE QUALITE DES EAUX OPTIMISE

La Figure 70 présente le réseau national de qualité des eaux optimisé associé uniquement aux stations sur rivières ; tandis que la Figure 71 présente le réseau national de qualité des eaux optimisé qui comprend au total 114 stations. A ce réseau s'ajoutent 14 stations spécifiques de suivi de la qualité des eaux dans les zones à risques de pollution documentés. La localisation de ces stations spécifiques de suivi de la qualité des eaux est indiquée sur les cartes (Figures 72-74) illustrant les risques de pollution. Les détails de ces stations spécifiques de suivi de la qualité des eaux, sont donnés à l'**Annexe A3**.

Ce réseau national optimisé contient 89 stations de plus que le réseau sommaire actuel de suivi de la qualité de l'eau. L'opérationnalisation du réseau national de qualité des eaux optimisé permettra d'obtenir des informations plus représentatives de l'état de la qualité des eaux de surface à travers le pays.

Figure 70 : Réseau national de qualité des eaux optimisé associé aux stations sur rivières

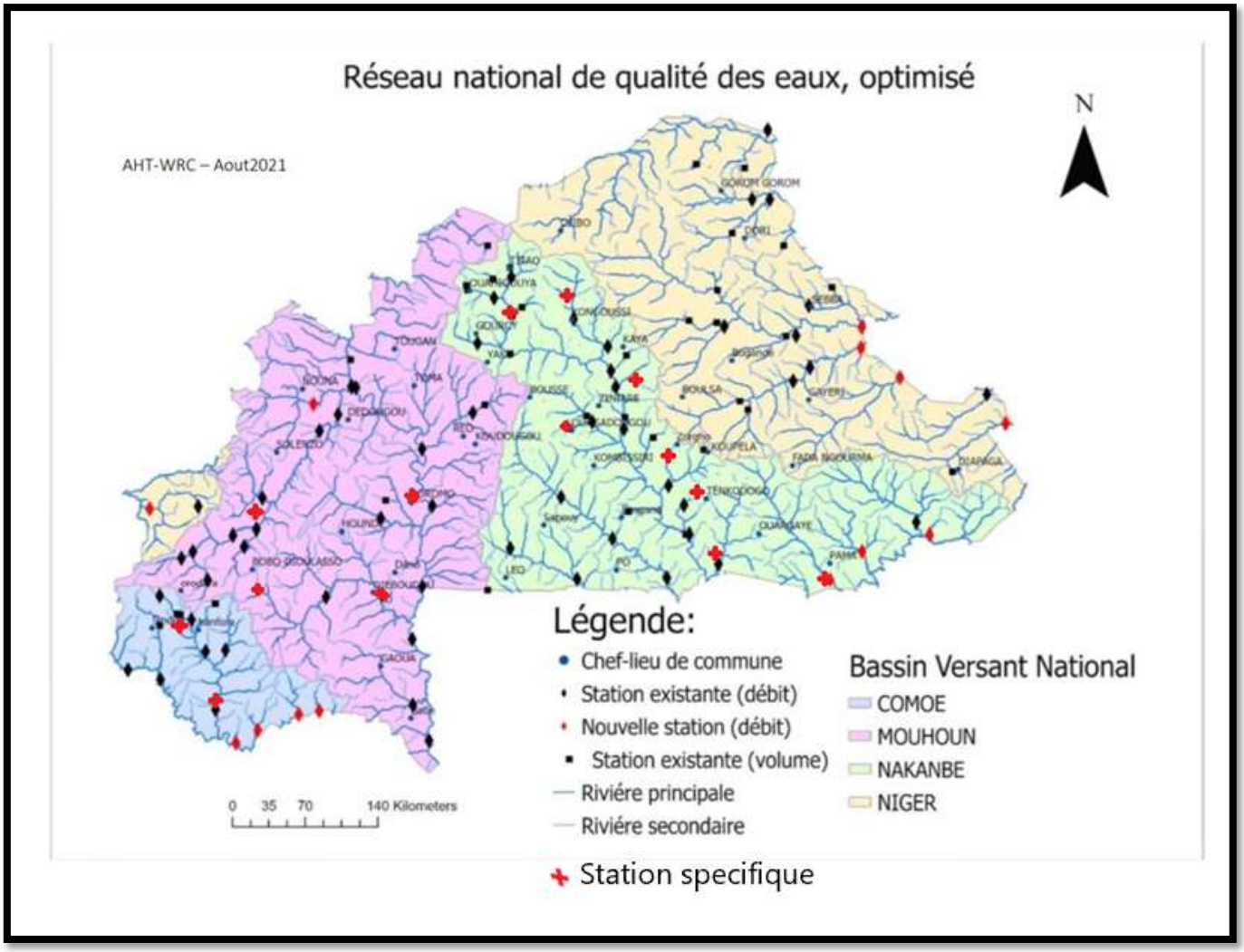


Figure 71 : Réseau national de qualité des eaux optimisé du Burkina Faso

Du fait qu'à toute eau caractérisée en quantité il soit nécessaire d'associer une caractérisation en qualité, la démarche pour le choix des stations des réseaux optimisés de la qualité des eaux se trouve facilitée. En effet toute station du réseau hydrométrique optimisé devient, de facto, une station du réseau optimisé de la qualité des eaux. Dans leur conception complète et étendue, les réseaux optimisés de la qualité des eaux devront comporter aussi, des stations uniquement destinées à la surveillance des différents types de pollutions comme l'indique clairement la Figure 43 (dans la section 4.9). C'est pour surveiller ces risques de pollution qu'il a été suggéré de créer de nouvelles stations spécifiques dans des zones à risque de pollution proche de certaines stations hydrométriques et de les équiper avec des systèmes complets de mesure in-situ de 8 paramètres. Ces 14 stations comprennent 9 stations sur barrages (Bagré, Samendéni, Louré, Guitti, Ziga, Ouaga 3, Kompienga, Moussodougou, Zéguézé), 4 stations sur cours d'eau (Kou à

Nasso, Bougouriba à Diébougou, Mouhoun à Boromo et Comoé à Folonzo) et une station sur lac (Lac Sian).

Le choix actuel de n'ajouter les stations purement qualité des eaux, qu'à 14 stations hydrométriques, peut paraitre peu au vu des différents types de pollution mais ceci n'est qu'en apparence. Dans la réalité l'aspect surveillance des types de pollution est également prise en compte par les stations qualité associées au réseau hydrométrique. Le couplage des stations quantité et qualité doit tenir compte des risques de pollution documentés. Le raffinement du couplage des stations quantité et qualité en suivant l'exemple des 14 stations spécifiques, permettra une bonne surveillance des différents types de pollution.

Actuellement dans les stations de la qualité des eaux de surface, les points de prélèvement ne sont pas matérialisés, ainsi sur le terrain, les points de prélèvement devront être matérialisés et placés de manière à permettre la surveillance des risques de pollution existants. L'exemple suivant permettra de mieux comprendre la situation réelle : le barrage de Guitti a fait l'objet, deux saisons successives, de pollution avec mort de poissons. Une mission conjointe a été effectuée et des rapports ont été élaborés. Aux environs du barrage, à plusieurs kilomètres de la station hydrométrique, il y a une zone maraichère, un site d'orpaillage et une zone de pêche dont les utilisateurs se rejettent mutuellement les causes des pollutions. Il est clair que le point idéal de prélèvement d'eau qui permettra de surveiller les risques de pollutions sera matérialisé et placé, non pas à la station hydrométrique, mais proche de la zone à risque et ce faisant on aura deux stations de suivi de la qualité des eaux : une pour suivre la qualité des eaux à la station hydrométrique et l'autre pour surveiller la zone de pollution.

Ce qui sera fait pour l'exemple de Guitti se fera pour toutes les stations de la qualité des eaux. Ainsi pour chaque station sur le terrain les points de prélèvement seront matérialisés et placés de manière à pouvoir surveiller les risques de pollution. S'il n'y a pas de zone à risque dans les environs, le point de prélèvement sera fixé aux environs immédiats des appareils de la station hydrométrique associée. C'est ainsi que se préciseront au fur et à mesure du temps les caractéristiques des stations de la qualité des eaux. Il est prévu d'équiper d'appareils avec sondes multi-paramètres de mesure in-situ de 5 paramètres hydrochimiques (Température, Conductivité, pH, Oxygène dissout et Turbidité), toutes les 40 stations du réseau de base optimisé de la qualité des eaux.

Le deuxième aspect de prise en compte de la surveillance des pollutions se situe dans le choix des paramètres analytiques (au laboratoire de la DGRE), qui devra tenir compte de chaque type de zone à risque (voir Tableau 27, section 14).

En ajoutant les stations spécifiques aux réseaux optimisés de qualité des eaux, le nombre total de stations est de 43 et 128 stations respectivement pour les réseaux de base et national optimisés. Ce choix obéit à un souci de maîtrise réelle de la matérialisation et du suivi, avant une montée progressive en puissance du réseau dans les prochaines années. Les 128 stations du réseau national de la qualité des eaux optimisé comprennent 75 stations sur cours d'eau et 53 stations sur barrages et réservoirs y compris 7 stations qualité des eaux demandées en extension par des DREA et des AE. Comparé au réseau actuel qui contient 35 stations, le nombre de stations a augmenté de 93 soit environ 150%.

Cependant, le réseau national de qualité des eaux optimisé ne peut jouer le rôle d'un réseau national de suivi des usages. Il est donc recommandé d'initier un réseau national de suivi des usages. Ce réseau devra reposer sur une cartographie détaillée des usages, des risques de pollution industrielle, agricole et minière. La mise en place du réseau de suivi des usages devra être accompagnée d'une législation sur le suivi des rejets industriels et miniers et la responsabilité des pollueurs dans le suivi de leurs rejets.

Rappelons qu'un réseau national de suivi de la qualité des eaux de surface a pour vocation principale de permettre d'avoir des connaissances sur la qualité des ressources en eau de surface du pays et de suivre l'évolution de cette qualité dans le temps afin de permettre une gestion éclairée des dites ressources. A toute quantité d'eau il est nécessaire d'associer la qualité pour permettre à l'administration de l'eau de mieux gérer la ressource et conseiller les usagers dans leurs activités de développement. Voilà pourquoi toute station hydrométrique est aussi une station qualité des eaux.

La pollution est un fait accidentel et localisé. Son suivi et sa remédiation est de la responsabilité du pollueur. Au Burkina Faso, l'état a mis des dispositifs en cas de défaillance du pollueur. Il y a d'abord les directions régionales DREA qui, avec les UCDIEau et les polices de l'eau doivent interpeler le pollueur et au besoin le verbaliser. Au-delà de l'interpellation du pollueur, il a été constaté lors des visites des stations par les consultants, que chaque DREA avec ou sans UCDIEau et Police de l'Eau, dispose d'un réseau spécifique pour suivre les pollutions de leur espace de compétence (cf. Tableau 26 du rapport diagnostic de la présente étude).

En plus des DREA, les Agences de l'Eau (AE) ont également des réseaux spécifiques pour entre autres le suivi des zones à risque de pollution. Certains grands usagers ont leur réseau de suivi de la qualité des eaux. C'est le cas de l'ONEA, la SONABEL, de SOSUCO et certaines grandes sociétés minières.

La mise en place d'un réseau spécifique de suivi des usages permettra de coordonner et centraliser toutes ces activités de suivi des usages et de la pollution. Les défis à relever sont d'une part d'appuyer les DREA

et les Agences de l'Eau dans le suivi de la qualité des eaux, et d'autres part, d'engager toutes ces structures de suivi à envoyer les données à la DGRE qui devra les stocker, capitaliser et valoriser.

Vérification de la pertinence du réseau national optimisé de la qualité de l'eau par rapport à la surveillance des risques de pollution.

Étant donné qu'un grand nombre d'activités socio-économiques sont susceptibles d'entrainer des pollutions importantes des ressources en eau en générale et plus particulière la ressource en eau de surface, il convient d'analyser l'occupation des sols dans le but de vérifier la pertinence du réseau optimisé de la qualité de l'eau. Dans le cadre de la présente étude, l'ensemble des zones/sites potentiels de pollution (Figures 71, 72 et 73) ont été considérés notamment les (i) grandes industries (usines, société de production d'électricité, etc.), (ii) les centres commerciaux (marchés et parcs au bétail) (iii) les équipements et infrastructures publiques (centres hospitaliers, universités et grandes écoles, lycées professionnels etc.) (iv) mines industrielles et sites d'orpaillage (v) les aménagements agricoles. Ces sites potentiels de pollutions ont été superposés avec le réseau national optimisé et le réseau hydrographique dans le but d'apprécier l'efficacité de ce réseau dans le suivi de la qualité de l'eau en termes de surveillance des différents risques de pollution.

L'intérêt du couplage des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux a déjà été justifié précédemment, mais il est utile de vérifier si le réseau hydrométrique optimisé est bien efficace pour le suivi de la qualité de l'eau et des risques de pollution. En rappel le réseau hydrométrique national optimisé, prend en considération le système de drainage dans les différents sous bassins versants. Les points de suivi retenus sont aussi des exutoires où convergent l'ensemble des eaux polluées des sous-bassins versants. Toutes les stations hydrométriques optimisées sont donc à priori pertinentes pour le suivi des pollutions. La question qu'on pourrait se poser est donc la suivante : *Les stations du réseau national optimisé suffisent-elles à elles seules pour le suivi de la qualité des eaux de surface ?* Les figures suivantes permettent de répondre à cette question. En général, le réseau national optimisé, de par sa bonne couverture spatiale des BVN, permet de suivre les risques de pollution puisque les stations sont situées aux exutoires principaux des sous-bassins. Cependant, pour les zones de pollution documentées, l'ajout des stations spécifiques permet de mieux suivre l'évolution de la pollution.

Rappelons que les stations du réseau de suivi de la qualité des eaux de surface sont les sites ou points de prélèvements et de mesure in-situ de la qualité des eaux.

La Figure 72 présente le couplage des sites de prélèvements (ou stations qualité des eaux) avec les sites potentiels de pollution et la conductivité spatialisée des eaux de surface. Il est clair que les stations du réseau national optimisé y compris les 14 stations spécifiques, permet un bon suivi des différents risques de pollution. De même, la Figure 73 illustre le couplage des sites de prélèvements (ou stations qualité des eaux) avec les sites potentiels de pollution et le pH spatialisé des eaux de surface**.** En général, les sites potentiels de pollution sont couverts par des stations de suivi de la qualité des eaux, ce qui indique une bonne pertinence du réseau optimisé.

Il faut noter que la spatialisation des paramètres de qualité des eaux a pour but de faire ressortir les anomalies indicatrices de risques de pollution. Vu le nombre limité des stations actuelles de qualité des eaux de surface, la spatialisation est donc limitée par le manque de données.

La Figure 74 qui présente le couplage des sites de prélèvements (ou stations qualité des eaux) avec les sites potentiels de pollution et les aménagements hydro-agricoles autour des retenues d'eau de surface, permet également de de confirmer l'efficacité du réseau national optimisé de la qualité des eaux de surface.

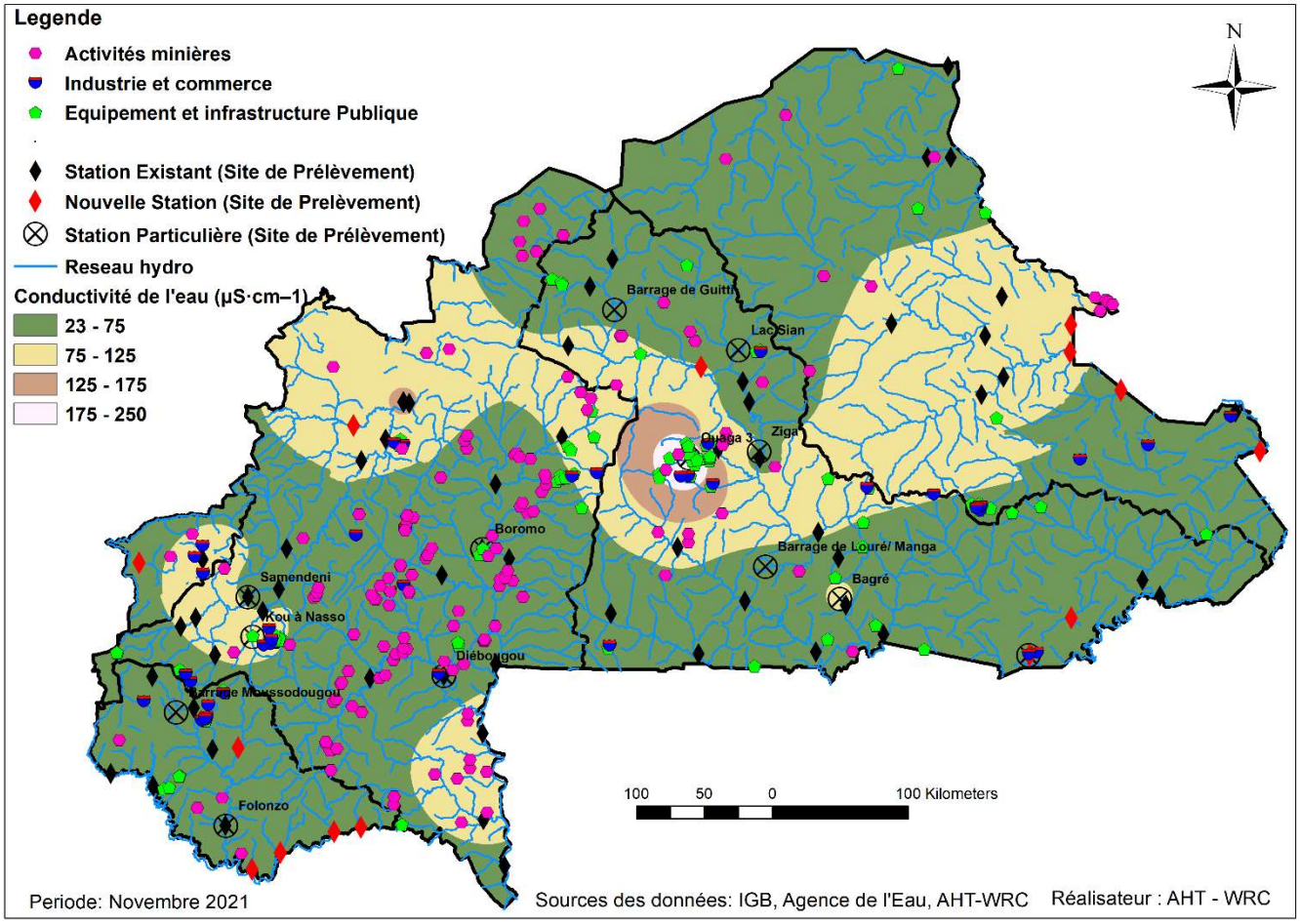


Figure 72- Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et la spatialisation de la conductivité des eaux de surface.

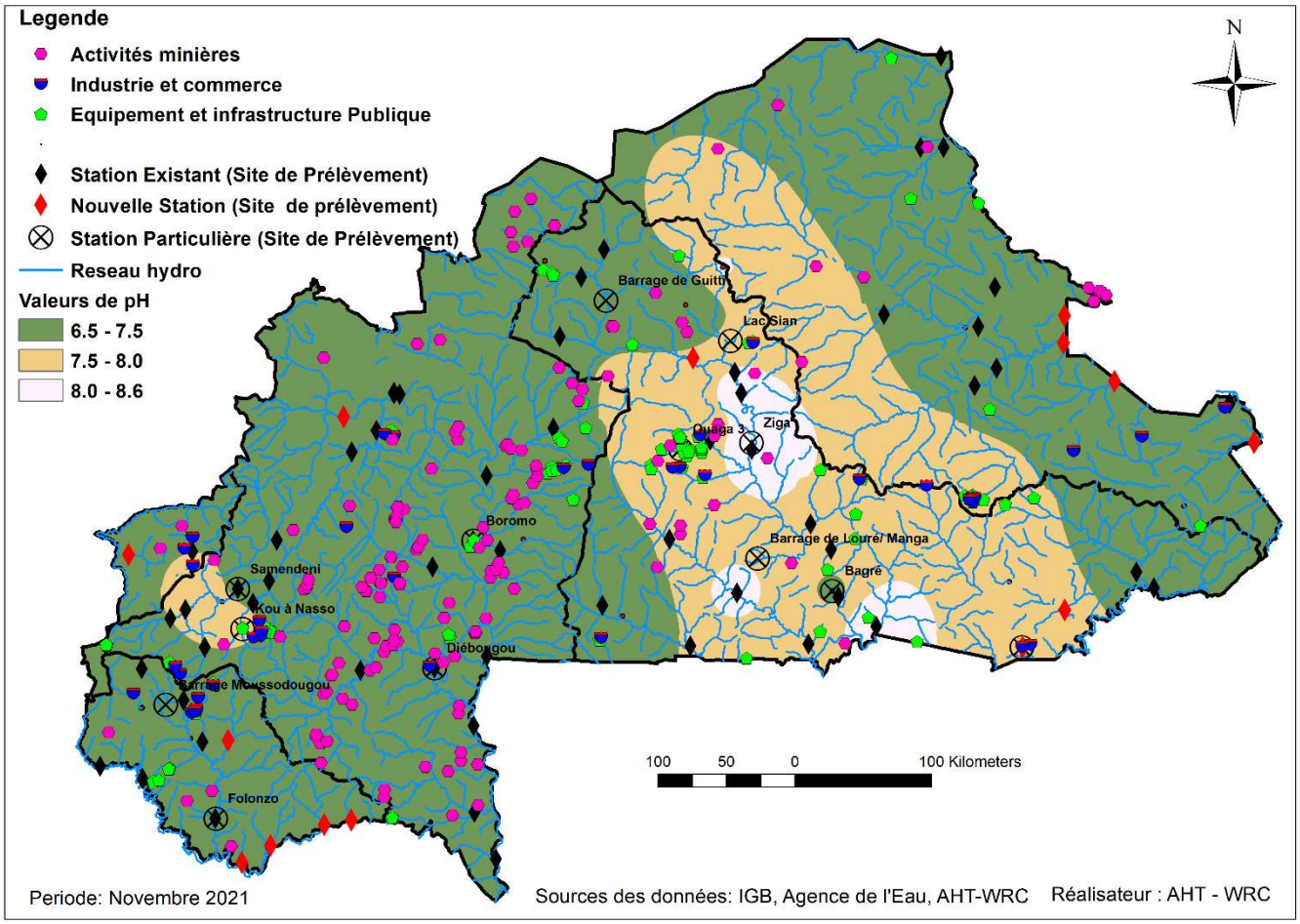


Figure 73 : Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et la spatialisation du pH des eaux de surface.

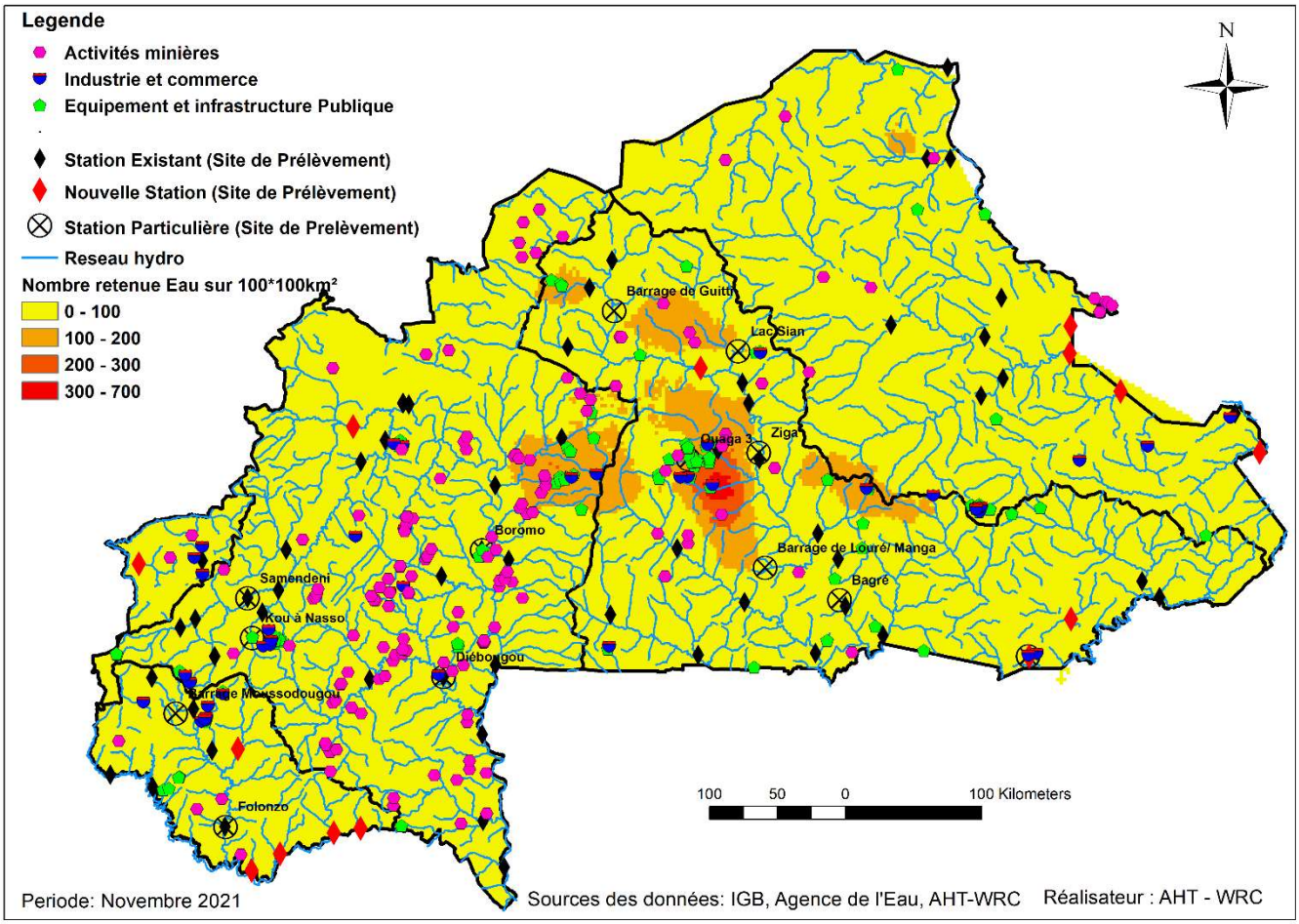


Figure 74 : Couplage des sites de prélèvements (stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et les aménagements hydro-agricoles autour des retenues d'eau de surface.

13. COUTS ESTIMATIFS DE L'OPERATIONALISATION ET DU SUIVI DES RESEAUX OPTIMISES

L'évaluation détaillée des coûts liés à la mise en place des réseaux optimisés et leur suivi, nécessite d'abord un inventaire des équipements requis pour les nouvelles stations et la réhabilitation des stations défectueuses. D'autres coûts associés tels que ceux de la télétransmission, des nouveaux lecteurs, de la maintenance des équipements sont à prendre en compte. Les estimations effectuées sont faites sur la base des informations reçues de la DGRE et des fabricants des équipements. Les détails des informations utilisées dans l'estimation des coûts sont fournis à l'**Annexe A5.**

13.1 Equipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés

Le tableau suivant résume les différents équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés. Les détails des équipements requis par station sont joints à l'**Annexe A4** et leurs spécifications techniques sont spécifiées dans le DAO en **Annexe A10.**

Tableau 23 : Liste des équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés

Item	Quantité	Spécifications/Notes
Échelles limnimétriques et accessoires (nouvelles stations et stations à réhabiliter)	400	Échelles limnimétriques avec support IPN 180 (voir détails dans DAO – Lot 2).
Équipements hydrométriques et accessoires (serveur et disques backups, adresse IP)	variable	25 enregistreurs automatiques à réhabiliter 40 nouveaux enregistreurs (OTT Net DL 500) (voir détails dans DAO – Lot 1)
Équipements hydro-chimiques	variable	Voir DAO Lot 3 pour quantité et spécifications.
Télétransmission (GMS/GPRS)	65	Forfait mensuel pour chaque station du réseau de base optimisé et des stations à réhabiliter (inclus dans Lot 1 du DAO pour 2 ans).

13.2 Coûts estimatifs de l'opérationnalisation et du suivi des réseaux optimisés

Sur la base des informations financières collectées auprès de la DGRE, le tableau suivant présente les coûts estimatifs des différents volets et activités nécessaires pour la mise en place des réseaux et leur suivi.

Tableau 24 : Coûts estimatifs de mise en œuvre et du suivi des réseaux optimisés

Volet/ Activités	Coût Estimatif Annuel ou Coût Total (millions FCFA)
Dépenses annuelles	
Inspection et maintenance des stations hydrométriques, et maintenance préventive des enregistreurs automatiques	31
Suivi du réseau hydrométrique de base optimisé	25.2
Suivi du réseau national hydrométrique optimisé	71.82
Suivi du réseau de base de qualité des eaux optimisé	17,2
Suivi du réseau national de qualité des eaux optimisé	49.02
Rémunération des lecteurs (90) et déplacements pour paiement des lecteurs	23.6
Travaux de réhabilitation des stations hydrométriques	13
Mécanisme de suivi et formation continue du personnel	20.5
Sous-total	250.94
Investissements	
Équipements : Échelles limnimétriques et accessoires (Lot 2 du DAO)	151
Équipements : Enregistreurs automatiques avec télétransmission (Lot 1 du DAO)	1250
Équipements hydrochimiques divers (Lot 3 du DAO)	600
Sous-total	2001
BUDGET ESTIMATIF TOTAL	2251.94

L'estimation des coûts du suivi annuel des réseaux optimisés est basée sur un coût annuel moyen de 0.63 million FCFA par suivi d'une station hydrologique et de 0.43 million par station de qualité de l'eau. Le coût annuel du suivi du réseau hydrométrique de base optimisé est estimé à 25,2 millions tandis que celui du réseau national hydrométrique optimisé est de 71,82 millions. Le coût annuel estimatif du suivi du réseau de base de qualité des eaux est de 17,2 millions, tandis que celui du réseau national de qualité des eaux optimisé s'élève à 49,02 millions. En tenant compte de besoins de maintenance et rémunération des lecteurs d'échelles, le coût annuel estimatif du suivi des réseaux optimisés, est de 175,6 millions.

Comparé au coût moyen annuel de suivi du réseau actuel (non-optimisé), l'augmentation du coût est essentiellement due au 73% d'augmentation du nombre de stations du réseau national de qualité des eaux qui n'était qu'un réseau sommaire de 35 stations et qui passe à 128 stations. Rappelons que le coût moyen

annuel du suivi des réseaux actuels (non optimisés) varie de 75 à 115 millions avec une moyenne de 95 millions en tenant compte de la rémunération des lecteurs d'échelles.

De façon globale, le budget estimatif requis pour la mise en place des réseaux optimisés et leur suivi s'élève à environ 2252 millions. Une large partie (environ 90%) de ce budget est dédiée aux équipements requis pour la mise place et l'opérationnalisation des réseaux optimisés. Le coût annuel estimatif du suivi et maintenance des réseaux représente environ 8% du budget estimatif global (Figure 75). Les coûts estimatifs de la réhabilitation des stations défectueuses et de la formation du personnel représentent seulement 2% du budget.

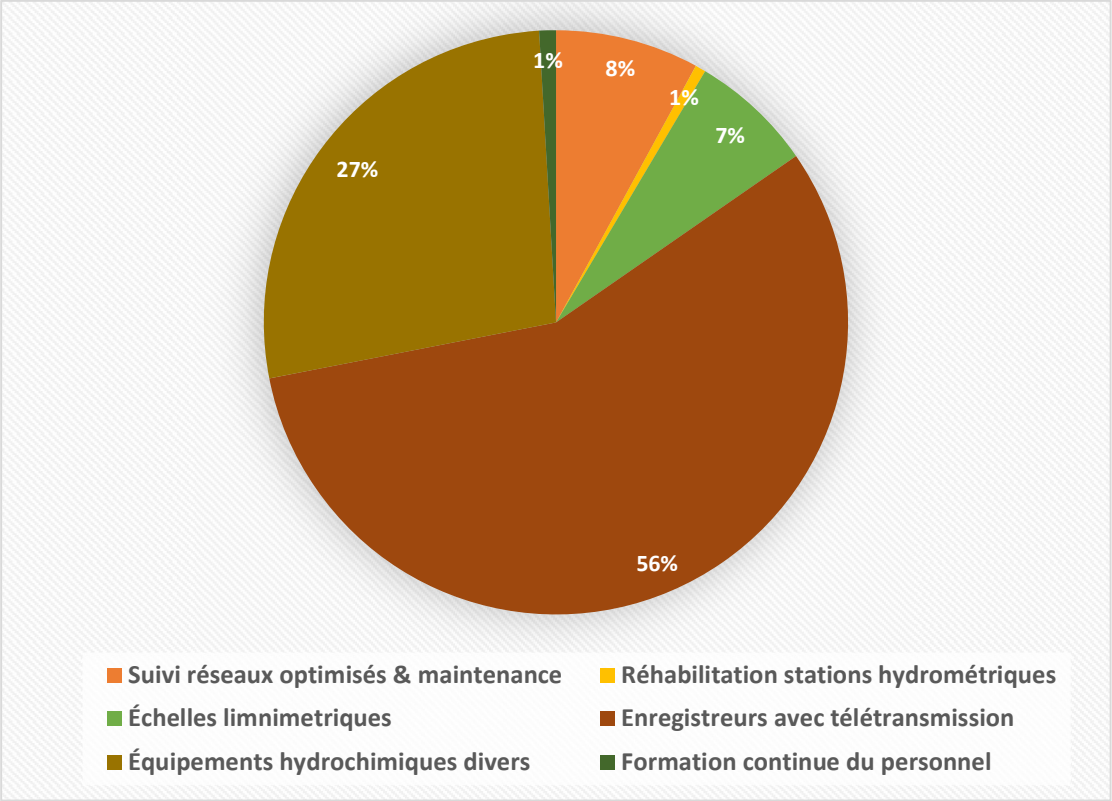


Figure 75 : Répartition des coûts estimatifs de mise en œuvre et de suivi des réseaux optimisés

14. CHOIX DES EQUIPEMENTS RECOMMANDÉS DANS LE DAO

14.1. Équipements hydrométriques

14.1.1. Équipements hydrométriques utilisés au Burkina Faso ou dans la sous-région

Le Burkina Faso a une longue expérience en matière d'utilisation des équipements hydrométriques. Dans le cadre de cette étude, **le choix des équipements** à installer sur les différents réseaux tient compte de cette **expérience** et même celle de la sous-région sans occulter **les objectifs visés par l'optimisation des réseaux**. Les stations hydrométriques sont en général équipées de batteries d'échelles permettant à un lecteur de déterminer le niveau d'eau (stations de rivière et stations-lac/barrage). Au-delà des échelles, des appareils numériques ou purement mécaniques sont aussi utilisés. On pourrait classer ces appareils en trois générations :

(i) **Une première génération** constituée d'enregistreurs mécaniques appelés limnigraphes permettant l'enregistrement continu des variations du niveau d'eau. Depuis le début du suivi hydrométrique, dans **les années 50**, des limnigraphes de marque OTT, notamment l'appareil OTT X ont été utilisés avec succès. C'est un appareil très robuste muni d'un flotteur qui suit les variations du niveau de l'eau et les enregistre sur papier à l'aide d'une plume liée au flotteur par un câble. Le résultat est que les appareils OTT X nécessitent des visites relativement fréquentes aux stations. En plus, le traitement des données prend beaucoup de temps, étant basé sur le dépouillement manuel des informations à partir de graphiques enregistrés sur papier. Cette génération d'appareil n'est plus fabriquée, de même que le matériel nécessaire à son fonctionnement.

(ii) **La deuxième génération** d'appareils utilisés par le Service Hydrologique au Burkina Faso est de type enregistreur numérique. Ces appareils de la firme OTT sont de deux types, les Thalimèdes et les OTT CBS permettent également des mesures directes des niveaux d'eau. Cet appareil s'est montré très robuste et fiable, et d'une autonomie adéquate. Malheureusement une bonne partie données collectées par ces types d'équipements n'ont pas pu être exploitées. En effet les données enregistrées sont récupérées par un appareil appelé le VOTA. Le transfert des données du VOTA vers les ordinateurs est souvent impossible pour des raisons d'incompatibilité des câbles du VOTA avec les nouveaux ordinateurs avec interface Windows.

(iii) **La troisième génération** d'appareils utilisé au Burkina Faso, sont des enregistreurs automatiques dotés des possibilités de télétransmission. Il s'agit essentiellement des appareils OTT Net DL acquis et installés de 2016 à 2017 par le projet Système d'Alerte Précoce et Impacts Climatiques (SAP-IC), des appareils SUTRON installés par le projet Volta Hycos 2015 et ceux installées en janvier 2021 par le Centre Régional AGRHYMET de marque SEBA GSM/GPRS. Ces appareils qui s'accommodent très bien avec les technologies actuelles et qui favorisent l'alerte précoce à travers la possibilité d'acquérir les données en temps réel, ont été installées sans aucune précaution concernant l'acquisition des données par la DGRE. Comme cela a été mentionné dans le rapport diagnostic qui précède le présent rapport, la télétransmission exige un fonctionnement correct et permanent de la connexion INTERNET pour le téléchargement des données du site en temps réel. On note que la connexion internet fait défaut à la DGRE et des structures déconcentrées en charge du suivi des ressources en eau jusqu'à nos jours.

Le Tableau 25 ci-après présente une comparaison des équipements expérimentés au Burkina Faso et dans la sous-région, avec leurs avantages, limites et justification de choix.

Tableau 25 : Comparaison des équipements expérimentés au Burkina Faso et dans la sous-région

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
Thalimède	Simple avec une pile ordinaire de 1.5V	Pas de transfert des données du VOTA vers les ordinateurs pour des raisons d'incompatibilité des câbles OTT livrés avec les nouveaux ordinateurs	Ne pas recommandable, du moment où le transfert des données vers les Postes de Travail est une difficulté réelle	Flotteur (système poids contre poids)
	Coût modéré	Ne prend pas en charge des capteurs de mesure de la qualité de l'eau	De plus le réseau de la qualité de l'eau étant couplé au réseau hydrométrique il sera pertinent d'utiliser des équipements qui prennent à la fois en charges des capteurs de mesures de hydrométriques et de la qualité de l'eau.	
	Possible d'installer en association avec les limnigraphes classiques	Non associé un logiciel pour le paramétrage à distance		
	Possibilité d'adjoindre un modem pour l'acquisition des données à distance	La compatibilité ou l'adaptabilité avec la 4G ou supérieur n'est pas vérifiée		
OTT CBS (codeur) + Duosens (enregistreur)	Flexibilité dans la conception des stations	Pas de port USB, possibilité d'avoir des contraintes pour la récupération des données in-situ	Ne pas recommandable car la récupération facile des données sur le terrain n'est pas vérifiée. De plus le réseau de la qualité de l'eau étant couplé au réseau hydrométrique il sera pertinent d'utiliser des équipements qui prennent à la fois en charges des capteurs de mesures de hydrométriques et de la qualité de l'eau.	Capteur à pression avec système bulle à bulle)

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
	Bonne protection (enterrer tube de mesure)	Non associé un logiciel pour le paramétrage à distance La compatibilité ou l'adaptabilité avec la 4G ou supérieur n'est pas vérifiée Ne prend pas en charge des capteurs de mesure de la qualité de l'eau		
SEBBA PS-light-2	Peut prendre en charge des électrodes de mesures de la qualité de l'eau	Aucun problème particulier reporté	Non disponible (Acquisition à travers projet)	Le système en place est un Capteur à pression avec système bulle à bulle) Possibilité de brancher un capteur radar et tout type de capteur de Type SEBA
SUTRON SATLINK 1 et 2	Actuellement les seuls avantages semblent être la récupération aisée (sur le terrain) des données via port USB	Le premier problème recensé sur ces stations est que le lien d'accès au site de EumetSat et le mot de passe pour accéder à la plateforme de téléchargement des données ont été changés en 2018 et les gestionnaires des stations ne pouvaient plus accéder aux données. Outre ce problème nous avons remarqué que sur toutes les stations, l'heure du GPS ne pouvais plus se synchroniser automatiquement et par conséquent, il est impossible de faire une télétransmission des données. Du diagnostic fait, il ressort qu'il y a un	Non disponible (Acquisition à travers projet)	Le capteur en place est un flotteur mais il peut prendre tous les capteurs (Capteurs Bulle à Bulle, sonde de pression relative à cellule de mesure en céramique, capteur radar)

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
		problème potentiel qui est survenu le 7 avril 2019 et qui a entraîné l'arrêt de la transmission des anciens émetteurs Satlink 1 et 2. En effet, les satellites GPS utilisent un compteur de 10 bits pour synchroniser l'heure et la date du GPS permettant une plage de 1024 semaines avant que le compteur ne bascule. La semaine zéro du GPS a commencé le 6 janvier 1980, puis s'est déroulée le 21 août 1999 et le prochain renversement a lieu le 6 avril 2019. Par conséquent pour que les anciens Satlink 1 et 2 puissent transmettre les données il faut les mettre à jour. Cependant il est souligné dans le rapport de EmetSat que la plupart des mises à jour des anciennes Satlink ont échoué et cela a endommagé pour la plupart des stations toutes les installations. La solution préconisée est le remplacement du Satlink 1 et 2 par le Xlink.		

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
SUTRON Xlink500 (dernière génération des SUTRON)	Mémoire jusqu'à 1 million de données	Nécessite d'une bonne connexion internet pour la récupération des données	Il existe plusieurs générations de SUTRON. Le SUTRON Xlink500 est un système adapté à la technologie actuelle et facilement adaptable à son évolution. Il semble une excellente option pour disposer d'un réseau efficace et durable. L'investissement de départ peut être conséquent mais avec les possibilités de paramétrage à distance et de la communication bidirectionnelle avec les appareils, le système devient efficient en coût avec le temps. Il offre une grande facilité pour la récupération des données sur le terrain et permet une gestion en réseau à distance des différentes stations. Il permet de prendre en charge des capteurs hydrométriques, météorologiques et de la qualité de l'eau.	
	Données facilement téléchargeables sur le terrain (Port USB hôte type A pour lecteur flash).	Sécurité du matériel (plaque solaire et batterie à sécuriser		
	Mesures analogiques et numériques haute résolution	Le retour d'expérience indique que le support du capteur n'est pas suffisamment stable. Le DAO devra indiquer clairement les améliorations à apporter.		
	Prise en charge des protocoles Internet HTTP, TCP/IP et FTP.			
	Transmission des données sécurisées via HTTPS et FTPS avec modem.			
	Transmission possible par GPRS et adaptée aux technologies actuelles (Cellular-Mod-5).			
	Large couverture des mesures (hauteurs d'eau, Conductivité de l'Eau, PH, Température, Turbidité, à travers l'association des électrodes indiqués).			
	Réduction du temps de paramétrage avec reconnaissance automatique du modem.			
	Passage aisé d'un type de transmission ou d'un opérateur de services à un autre.			Peut prendre tous les types de capteurs (Capteurs Bulle à Bulle, sonde de pression relative à cellule de mesure en céramique, capteur radar et flotteur
	En phase avec l'évolution rapide des technologies dans le domaine des télécommunications cellulaires (par exemple, passage de 3G à 4G).			

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
	Possibilité de prendre en charge des codes personnalisés avec la version Xlink 500. Prend en charge les applications au-delà de la configuration standard, y compris les mesures personnalisées, les formats de transmission et les calculs définis par l'utilisateur.			
	Langage de script moderne, facile à apprendre, avec une communauté de développeurs solide et en pleine croissance.			
	Communications bidirectionnelles notamment pour la configuration à distance (Toutes les fonctions de l'enregistreur de données et options de configuration sont accessibles à distance).			
	Réduisez le temps et le coût des visites effectuées sur le terrain pour inspecter, modifier ou télécharger la configuration, et activer désactiver des instruments sur les stations de mesure.			
	Améliorez l'accès aux données et demandez les données manquantes en cas d'échec des transmissions.			
	Une gestion complète du réseau est possible – ne soyez plus limité à la gestion de stations individuelles (Logiciel simple et intuitif) .			
	Un logiciel commun, réduisant les besoins de formation - Prise en main très simple.			

Équipement	Avantages	Limites	Justification	Type de capteur
	Configuration simple en Wi-Fi à l'aide d'un smartphone, d'une tablette ou d'un PC.			
	Compatible avec Hydromet Cloud, logiciel hébergé sur le Web, pour consulter et gérer les données et les alertes en temps réel.			
	Collectez plus de données, et plus souvent, pendant les alarmes			
	Réduisez les coûts de transmission en envoyant des données plus fréquemment, uniquement lorsque vous en avez besoin à intervalles plus brefs			
	Raccordez sans difficulté des modems ou des écrans externes.			
	Prend en charge les formats courants, y compris : ASCII, CSV, SHEF, pseudo binaire, OTT MIS.			
OTT net DL 500	Présente globalement les mêmes avantages que SUTRON Xlink500. En outre sur la base des stations à télétransmission au Burkina Faso, les station OTT NetDL 500 semble être les plus importantes.	Idem que le SUTRON Xlink500	En plus de ce qui a été dit pour le SUTRON Xlink500, dans le souci d'harmoniser la gestion des équipements, il serait préférable de se pencher vers OTT net DL 500. Cependant les stations sur lesquels sont déjà installées les appareils de type SUTRON, on peut envisager leur réhabilitation par migration vers Sutron Xlink.	Les capteurs en place sont des sondes de pression relative à cellule de mesure en céramique, mais peut prendre les autres capteurs (Capteurs Bulle à Bulle, capteur radar et flotteur)

14.1.2. Propositions retenues pour les équipements hydrométriques

Chaque génération d'appareils expérimentés par le Burkina Faso, présente des avantages et des inconvénients ou plutôt des contraintes. La **première génération** d'appareils malgré leur robustesse a été abandonnée et n'est plus fabriquée parce qu'elle présente beaucoup d'exigences en termes de présence sur le terrain, de traitements des données enregistrées et surtout ne répondent pas aux attentes hydrologiques vis-à-vis de l'alerte précoce à travers l'acquisition des données en temps réel. Quant à la **seconde génération** d'appareils OTT expérimentés par le Burkina Faso (Thalimède et CBS), la question de transfert des données vers les postes de travail pour exploitation se pose avec acuité par les techniciens. Cette génération de composantes fait progressivement place à d'autres types d'enregistreurs munis de ports USB comme les SUTRON et NetDL 500 classées ici dans une **troisième génération**. La contrainte principale avec cette dernière génération, elle exige la disponibilité d'une bonne connexion à Internet pour la télégestion de la plateforme et la récupération des données à distance. Le Tableau 25 ci-dessus présente des avantages et des contraintes rencontrés dans l'utilisation ces appareils déjà expérimentés au Burkina Faso ou dans la sous-région.

La solution retenue consiste à mettre en place un système qui permet non seulement la collecte des données et la gestion des équipements via des ondes radio (GPRS) ou satellitaire mais qui facilite aussi le téléchargement des données sur le terrain. Il convient en effet d'utiliser des équipements qui s'adaptent aux avancées technologiques (port USB, connexion 4G, sécurité de la transmission, etc). Le réseau de base étant composé de quarante stations à débits, il convient d'équiper l'ensemble de ces stations avec le type d'appareil susmentionné. Il est également pertinent que ces appareils soient dotés de la possibilité de prendre en charge des capteurs de mesure de la qualité de l'eau compte tenu du fait que chaque point de mesure hydrométrique est associé un point de mesure de la qualité de l'eau. Dans le souci d'harmoniser la gestion des équipements, **il serait donc préférable de se pencher vers OTT net DL 500** (plus nombreux sur le terrain actuellement). Cependant les stations sur lesquels sont déjà installées les appareils de type SUTRON, il faudra envisager leur réhabilitation par migration vers Sutron Xlink 500. **Ces appareils seront associés à des électrodes ou capteurs pertinents permettant à la fois le suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau. Aussi il est prévu dans le DAO (en Annexe A10) la prise en charge des frais de transmission des données (GPRS ou satellite) pendant au moins deux ans, pour**

permettre une appropriation du système par les techniciens en charge du suivi des ressources en eau.

Pour les autres stations du réseau national optimisé, les nombreux Thalimèdes installés sur le terrain pourront y être redéployés en plus des échelles limnimétriques. Des démarches sont aussi à entreprendre avec OTT pour envisager un moyen de récupérer les données stockées dans les VOTA.

Pour les anciennes stations non fonctionnelles de type NetDL 500, le problème principal du non-fonctionnement de la télétransmission est lié essentiellement au manque de l'adresse IP et de la connexion internet. Quant au serveur, la DEIE dispose en son sein deux appareils neufs. L'acquisition d'une adresse IP au niveau avec les services de Télécommunication nécessite d'abord une investigation pour voir s'il y a un accès disponible à proximité de la DEIE. Le coût moyen de ces investigations a été estimé à un million cinq cent. L'abonnement annuel de l'adresse IP avec une connexion haut débit est d'environ quinze millions de francs CFA. Pour chaque station à télétransmission GSM/GPRS, il faut alimenter le système avec une connexion internet de façon permanente (1 Giga de connexion par mois devrait être suffisant par station). Pour quarante stations automatiques à télétransmission, il faut en moyenne quatre cent mille franc par an pour toutes les stations.

Dans le système à mettre en place, il y a **les capteurs** (hydrométriques ou de mesures de qualité de l'eau). Les capteurs jouent un rôle déterminant dans le processus de collectes des données. Ils permettent d'effectuer la mesure. Cependant la plupart des cours d'eau sont saisonniers et cet état laisse la plupart des capteurs hors eau pendant une bonne période de l'année. Ils sont par conséquent soumis aux actes de vandalismes. Les capteurs radars apparaissent comme une solution alternative pour palier à cette insuffisance. **Aussi la plupart des accumulateurs** ont une durée moyenne de vie égale à cinq ans. La réhabilitation des stations existantes nécessitera un remplacement de tous les accumulateurs (batteries). LA DEIE dispose pour le suivi des ressources en eau de surface 25 stations à télétransmission non fonctionnelles dont 15 enregistreurs NetDL 500 de type OTT avec capteur à pression PLS, 6 enregistreurs PS-light2 de type Seba avec capteur à pression et quatre Satlink 2 avec capteur à flotteur. Les deux enregistreurs (NetDL 500 et PS-Light 2 de Seba) ont pratiquement les mêmes caractéristiques et peuvent être associé avec des capteurs de la qualité de l'eau. Les enregistreurs Satlink 1 et 2 sont obsolètes et doivent être remplacé par les sutron XLink.

L'ensemble des besoins pour la réhabilitation des enregistreurs à télétransmission est consigné dans le Tableau 26 ci dessous.

Le coût des équipements et de leurs entretiens a été sollicité directement aux fabricants, et tient aussi compte des taxes et des frais d'installation: Matériel hydrométrique et de la qualité de l'eau destiné à la télégestion y compris deux ans d'abonnement IP et l'installation sur le terrain 1.25 milliards(dont 885 millions pour l'achat des équipements); celui des échelles limnimétriques globalement 151 millions (51 millions pour l'achat); le matériel complémentaire de la qualité de l'eau globalement 600 millions de FCFA (voir détails dans le DAO) en Annexe 10.

Tableau 26 : Les équipements des besoins en réhabilitation

Station	Type d'enregistreur installé	Type de capteur installé	Proposition de réhabilitation
Doudodo	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Arly	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence câble de liaison radar-enregistreur de 200 m de long**
Sebba	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Liptougou	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Niessega	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Dourou	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Guitti	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Tourouba	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**capteur PLS, Batterie, tube PCV pressions de 12mm et 100 m de long**
Yaran	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison radar-enregistreur de 100 m de long**
Kounou	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison de 100 m de long**
Noberé	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison 100 m de long**
Boromo	NetDL 500/ PS-light 2/ Talimed	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar puls, une batterie, une potence câble de liaison 300 m de long**
Dapola	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur PLS DE 100 m de long, une batterie**
Folonzo	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison 100 m de long**
Yendéré	NetDL 500	Capteur PLS de niveau d'eau	**Capteur radar RLS, une batterie, une potence, câble de liaison 100 m de long**
Wayen	PS-Ligth 2	capteur de niveau Bulle à Bulle	**Capteur Radar SEBA puls, une potence, câble de liaison 200 m de long**

Station	Type d'enregistreur installé	Type de capteur installé	Proposition de réhabilitation
Gonsé	PS-Ligth 2	capteur de niveau Bulle à Bulle	**Capteur Radar SEBA puls, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Ziou	PS-Ligth 2	capteur de niveau Bulle à Bulle	**Capteur Radar SEBA puls, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Pa	PS-Ligth 2	capteur de niveau Bulle à Bulle	**Capteur Radar SEBA puls, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Diebougou	PS-Ligth 2	capteur de niveau Bulle à Bulle	**Capteur Radar SEBA puls, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Tampèlga	Satlink 2	flotteur contrepoids	**Enregistreur Xlink, Capteur Radar, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Bagré Aval	Satlink 2	Flotteur contrepoids	**Enregistreur Xlink, Capteur Radar, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Nowkuiy	Satlink 2	flotteur contrepoids	**Enregistreur Xlink, Capteur Radar, une potence, câble de liaison 200 m de long**
Samendeni	Satlink 2	flotteur contrepoids	**Enregistreur Xlink, Capteur Radar, une potence, câble de liaison 200 m de long**

14.2. Équipements supplémentaires pour les mesures de la qualité de l'eau

Les équipements de laboratoire sont classés en quatre types :

- Les sondes à insérer dans les appareils des stations hydrométriques ;
- Les gros équipements de laboratoire qui nécessitent installation, mise en service et formation à leur utilisation ;
- Petits appareils et matériels de laboratoire nécessitant une simple mise en service pour montrer leur état de fonctionnement ;
- Les produits chimiques et autres consommables.

Des quatre types, seuls les deux premiers types nécessitent une justification compte tenu de leur coût et de leur choix. Les deux autres types répondre à la justification générale de "nécessité de compléter l'équipement du laboratoire pour améliorer le champ de ses prestations".

(i) Les sondes à insérer dans les appareils des stations hydrométriques

Les sondes à insérer dans les appareils des stations hydrométriques sont au nombre de 2 : il s'agit de sondes multi-élémentaires permettant de mesurer 5 paramètres pour la HL4 (température, pH, conductivité, oxygène dissout et turbidité) et 8 paramètres pour la HL7 (température, pH, conductivité, oxygène dissout , turbidité, cyanure, chlorophylle A, et nitrates). Ce sont des paramètres susceptibles de

changer au cours du conditionnement, du stockage et de l'acheminement des échantillons au laboratoire. Ils font partie généralement des paramètres à déterminer in situ.

(ii) Les gros équipements de laboratoire

Spectromètre de masse à plasma inductif couplé (ICP – MS)

C'est une technique d'analyse en solution qui consiste à injecter l'échantillon dans un plasma excité au niveau des radios fréquence (8000 °K) avec un système de détection couplé à un quadrupôle permettant l'analyse des masses. Cette technique permet l'analyse de nombreux éléments dans l'eau : les ions majeurs, les ions mineurs, les terres rares, les éléments traces et ultra traces nécessaires pour les analyses chimiques des eaux. Il permet également de faire les analyses isotopiques des eaux ouvrant la voie à la datation et à l'étude des recharges et des origines des eaux.

Les principaux avantages de cette technique sont sa sensibilité, sa limite de détection suffisamment basse, sa possibilité d'analyser simultanément plus de 70 éléments dans les échantillons. Elle permet d'abaisser notablement les coûts d'analyses multi-élémentaires et elle est particulièrement recommandée pour les Laboratoires d'analyse chimique.

Chromatographie ionique haute pression à colonne capillaire

C'est une méthode d'analyse qui utilise la technique de la chromatographie en phase liquide. Et la haute pression permet d'utiliser des colonnes de petits diamètres, ou capillaires. Cette technique permet l'analyse de nombreux ions majeurs, anions comme cation, monoatomiques ou polyatomiques dans l'eau: nitrates, sulfates, phosphates, nitrites, chlorures, fluorures, cyanures, sodium, potassium, calcium, magnésium, ammonium…).

Le principal avantage de la méthode est qu'elle est normalisée, et le système à double capillaire utilisé dans cet appareil permet d'effectuer deux analyses différentes simultanément sur un seul échantillon, ou analyser deux échantillons en parallèle. On peut également exécuter la même analyse sur les deux canaux pour doubler le débit.

Cet équipement permet d'élargir le champ des prestations du laboratoire de la DGRE

(iii) Les petits appareils et matériels de laboratoire

Ces appareils et petits équipements sont commandés pour compléter l'équipement du laboratoire et lui permettre d'augmenter le nombre de paramètres déterminés en son sein.

(iv) Les produits chimiques et autres consommables

Quant aux produits chimiques et autres consommables ils rentrent dans le fonctionnement courant du laboratoire tant pour les nouveaux que pour les anciens équipements.

15. MECANISMES DE SUIVI DES RESEAUX OPTIMISES

15.1 Mécanisme de suivi du réseau hydrométrique

15.1.1. Généralités

Le renforcement et l'amélioration durable du réseau hydrométrique se traduisent par un meilleur suivi dans la surveillance et l'entretien des équipements utilisés sur le réseau. Pour pouvoir définir une stratégie en vue d'atteindre ces objectifs, il est nécessaire de disposer d'un plan d'exploitation et d'entretien bien défini.

Ce plan constitue en effet l'une des composantes d'un ensemble de plans de gestion du réseau et portant sur : les activités à mettre en œuvre, les ressources financières ainsi que la formation des intervenants sur les aspects d'opérationnalisation et de maintenance (O&M) du réseau. Le plan O&M constitue un recueil permanent des observations sur le terrain (difficultés, anomalies, mesures immédiates prises pour y pallier, y compris des documents photographiques pris), d'instructions, de calendriers d'activités qui doivent régulièrement être mis à jour pour servir de référence et de guide.

L'un des éléments principaux du plan peut être constitué par un manuel comportant les rubriques traitant de chaque activité et de chaque fonction.

15.1.2. Risque de dégradation du réseau hydrométrique à la phase d'exploitation

Pour le démarrage de l'exploitation, il est indispensable de mettre au point un programme d'exécution tel que la description d'un calendrier précis des tâches à accomplir et la fréquence des inspections visuelles sur le terrain. Les principaux facteurs de risque de dégradation du réseau encourus sont :

- absence de communication et d'échange d'information entre le personnel responsable et celui chargé de l'entretien et de la surveillance (absence des données provenant des rapports d'inspection de terrain et d'évaluation à posteriori des résultats d'enquête);
- budget insuffisant pour exécuter le programme d'O&M;
- insuffisance de personnel qualifié et en nombre suffisant.

15.1.3. Rôle de la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) et des Directions Régionales de l'Eau et de l'Assainissement (DREA)

Le Service Hydrologie de la DGRE et les UCDIEau des DREA ont deux domaines fondamentaux d'activités complémentaires bien précis, à savoir:

- l'installation, l'opérationnalisation et la maintenance des stations;
- l'entretien du matériel de mesure.

Les intervenants et responsables du réseau ont la charge de le maintenir en bon état.

À ce titre, ils doivent :

- continuer et tenir à jour le dossier contenant tous les documents relatifs au réseau hydrométrique;
- assurer la surveillance continue du réseau;
- entretenir et maintenir les différents matériels du réseau en bon état de fonctionnement.

En matière de suivi et d'entretien, les tâches à exécuter sont les suivantes :

- inspection visuelle régulière du réseau;
- vérification périodique du bon fonctionnement des matériels d'enregistrement;
- rédaction du rapport de visite et mise à jour des registres des visites précédentes.

15.1.4. Principes généraux de la surveillance

Les principes généraux de surveillance peuvent être résumés comme suit :

- le but essentiel est de connaitre et si possible de prévenir toute dégradation de l'équipement installé sur la station afin de le maintenir en bon état;
- le suivi doit fournir les moyens de détecter les anomalies à temps et de décider de la nature, de la pertinence et de l'urgence des interventions

La surveillance comporte généralement deux méthodes : (i) inspection visuelle et (ii) test de fonctionnement des équipements de mesures.

Ainsi, le plan de surveillance doit être clairement défini avant chaque visite (par exemple, point à surveiller particulièrement concernant le comportement de fonctionnement d'appareils de mesure).

Lors de la visite, les fiches de la visite précédente, les dossiers photographiques (pour le support visuel) ainsi que la périodicité recommandée doivent être consultés.

15.1.5. Procédures de saisie, transmission et gestion des données

Les règles à suivre porteront sur les principes clés suivants :

i) s'assurer d'une bonne marche des appareils d'enregistrement pour toutes les stations hydrométriques considérées;
ii) il est impératif d'effectuer périodiquement de nouveaux jaugeages et de vérifier la cote du « zéro » de l'échelle (au moins une fois par an) ;
iii) sensibiliser les observateurs à réaliser des lectures justes et continus;
iv) programmer des tournées régulières de manière à ne pas perdre des données pour cause d'arrêt d'appareil de mesure;
v) vérifier immédiatement et systématiquement les données récupérées sur le terrain afin de détecter d'éventuelles anomalies;
vi) mettre en place d'un système efficace pour le contrôle, le traitement, la transmission et le stockage des données;
vii) publier et diffuser les informations recueillies en temps voulu, notamment les évènements critiques ;
viii) instituer un système de suivi-évaluation de l'intérêt et des critiques émanant des usagers des données afin de détecter sur cette base, d'éventuels besoins d'amélioration. Un registre de suivi des clients et usagers pourrait être ouvert à cet effet.

Saisie des hauteurs limnimétriques

Les hauteurs d'eau à entrer dans la base de données proviennent généralement des sources suivantes :

- les fichiers de la station de réception Météosat;
- les mémoires des plates-formes hydrologiques (PCD);
- les diagrammes générés par les limnigraphes;
- les carnets des observateurs. Dans la banque de données, un code « capteur » permet de repérer l'origine des données.

Pour la station à télétransmission, les balises Météosat comportent un système d'enregistrement adapté à un codeur associé à un limnigraphe. L'information est reçue du satellite Météosat et transmise à une plate-forme de réception de données généralement installée dans le centre de réception et de traitement des données. Elle est en même temps enregistrée au limnigraphe dont le bon fonctionnement conditionne celui du codeur lui-même. Les données télétransmises stockées sont transférées vers la banque de données.

Une visualisation graphique permet d'exclure les éventuels points aberrants causés par une mauvaise transmission et qui n'auraient pas détectés par la station de réception Météosat. A noter que le *Le Burkina*

dispose de quatre (4) stations à télétransmission Météosat : Samendéni, Nwokuy Amont, Tampelga et Bagré Aval.

Les données stockées dans la mémoire sont récupérées au cours de chaque tournée via une plateforme mobile type Pocket PC. Les relevés des stations limnimétriques ayant un observateur sont collectés lors de chaque visite, puis saisis dans la base de données HYDROMET.

Jaugeages et tarages

Les jaugeages au moulinet sont dépouillés à l'aide d'un logiciel approprié (HYDROMET, Tarjau, etc..) dès le retour de chaque tournée. Cependant, aujourd'hui la plupart des jaugeages sont faits par l'ADCP.

Les courbes de tarage sont ajustées visuellement et éventuellement extrapolées par une fonction « puissance » à partir d'un tracé sur un papier bi-logarithmique. Ces courbes sont ensuite numérisées manuellement en une série de points hauteur/débit de telle façon qu'entre deux points successifs la courbe puisse être assimilée à un segment de droite.

C'est sous cette forme que les courbes de tarage sont ensuite intégrées à la base de données HYDROMET.

Une mise à jour du logiciel est recommandée.

Vérification et calcul de données produites

Le logiciel HYDROMET comporte des sorties graphiques qui sont utilisées pour une critique visuelle des données :

- Contrôle des hauteurs instantanées :
- Superposition des limnigrammes de la station pour un même mois sur différentes années ;
- Superposition et comparaison des limnigrammes à 2 stations proches ;
- Contrôle et critique des jaugeages : visualiser le jaugeage sur la courbe d'étalonnage ;
- Affichage d'un jaugeage sur une courbe de tarage. Ainsi, un écart du point de jaugeage peut provenir d'un jaugeage erroné ou signifier qu'il y a eu détarage de la station ;
- Comparaison de l'hydrogramme de la crue et du pluviogramme au niveau du bassin (caractéristiques de l'hydrogramme unitaire).

À partir des données de base saisies, HYDROMET peut calculer diverses données élaborées : débits instantanés, débits moyens journaliers, débits caractéristiques, hauteurs et débits maxima et minima, hauteurs moyennes journalières, etc.

Mise à disposition des données

Les données sont accessibles aux utilisateurs dès l'instant où elles existent dans la base de données. Cette mise à disposition se fait à la fois systématiquement par production de documents standards (annuaires hydrologiques, bulletins hydrologiques mensuels, etc.) et sur demande d'intérêt ciblé de la part de chaque client ou usager. Une formule de contribution des clients et usagers à l'amélioration des ressources du service hydrologique national pourrait être recherchée et mise en application.

A ce propos, il existe l'arrêté conjoint 2000-0015/MEF/MEE du 26 juin 2000, portant tarification des redevances pour services rendus en matière hydraulique qui précise les modalités d'application du Décret n° 97-213/PRES/PM/MEF/MEE du 28/04/1997 portant redevances pour services rendus en matière hydraulique. Cet arrêté était appliqué jusqu'en 2008. Il faut tout simplement l'actualiser (relire) ou l'insérer dans la Contribution financière en matière d'eau (CFE).

Une copie de l'arrêté est jointe en **Annexe A6**.

15.1.6. Procédures d'entretiens et règles à suivre

Les procédures et règles à suivre pour l'entretien du réseau sont :

- Établissement d'un manuel d'entretien préventif définissant la nature des interventions et leur périodicité relative aux points particuliers et déterminants pour le fonctionnement du réseau (y compris l'analyse de comportement de chaque matériel);
- Entretien et vérification du fonctionnement de l'équipement d'enregistrement utilisé pour la station;
- Vérification de la stabilité de la section de contrôle (envasement ou affouillement de la section de jaugeage) et de la modification possible dans la situation des échelles limnimétriques en crue;
- Vérification de l'état de submersion des échelles limnimétriques notamment en étiage;
- Enlèvement de la végétation autour des dispositifs de mesures. La maintenance et l'étalonnage des stations sont assurés au cours des tournées. Les stations doivent être visitées de façon régulière, au moins 3 fois par an :
- En début d'hivernage (mai, juin) pour des jaugeages de basses eaux et le nettoyage des abords et des sections de jaugeage et, en même temps pour la remise en état des stations si requise ;
- En milieu d'hivernage (juillet, août, septembre) pour des jaugeages de hautes eaux ;

- À l'amorce des décrues (septembre, octobre) pour des jaugeages de moyennes eaux. Les dates exactes des tournées, surtout de celles d'hivernage, sont arrêtées en fonction des conditions hydrologiques qui prévalent dans le pays.

Cependant, à côté de ces tournées régulières, des interventions peuvent avoir lieu si la télésurveillance de la station permet de détecter un mauvais fonctionnement de la station.

15.2 Mécanisme de suivi du réseau de la qualité des eaux et procédures de maintenance des équipements

15.2.1 Mécanisme de suivi des réseaux optimisés de la qualité des eaux

Un bon suivi de la qualité des eaux de surface du Burkina Faso, implique un bon réseau représentatif et un bon suivi de ce réseau. Le bon réseau représentatif, c'est ce que l'optimisation du réseau a tenté de fournir ; il s'agit alors d'avoir un bon suivi de ce réseau. En matière de qualité des eaux, un bon suivi du réseau nécessitera la mise en place d'un bon mécanisme de collecte et de traitement de données ; ceci implique :

- Un mécanisme de collecte d'échantillons (prélèvement périodique régulier d'échantillons dans chaque station) ;
- Une bonne condition d'analyse des échantillons pour obtenir des données de suivi fiables ;
- Et un bon système de traitement et de valorisation des données.

Mécanisme de collecte d'échantillons

Le réseau de suivi des eaux de surface comportait 14 stations qui été portés 35 stations en 2018. Malgré ce petit nombre le suivi a été très irrégulier (cf. rapport diagnostic annexe1). L'optimisation du réseau établit à 114 le nombre de stations pour le réseau national optimisé, soit 3 fois plus. C'est dire le défi à relever pour espérer avoir un suivi de qualité acceptable.

Il va donc falloir mettre en place un bon mécanisme pour la collecte des échantillons. Pour cela, quatre créneaux sont utilisables : le laboratoire de la DGRE, les directions régionales, les autres structures centrales et déconcentrées du ministère, les structures homologues des autres ministères. Il y a aussi quelques structures d'accompagnement.

Le laboratoire de la DGRE (SQE)

Le suivi de la qualité des eaux et particulièrement des eaux de surface est une mission régalienne de la DGRE. Ainsi avec son Service de la Qualité des Eaux (SQE) elle s'est évertuée à suivre tant bien que mal le réseau embryonnaire jusque-là : le laboratoire organisait, au gré des financements et des moyens, des missions de collecte d'échantillons sur toute l'étendue du territoire national, tâchant de répondre aux exigences de 2 prélèvements annuels (en hautes eaux et en basses eaux) sur chaque station du réseau.

Ce créneau restera le créneau principal qui en plus gèrera les échantillons collectés par les autres créneaux, effectuera les analyses, valorisera et diffusera les données. Ainsi le laboratoire de la DGRE continuera d'organiser des missions de prélèvement cependant plus régulièrement, s'associant quelques fois aux missions hydrométriques. Il organisera aussi des missions de supervision dans les autres créneaux au besoin.

Deuxième créneau : les directions régionales

Toutes les directions régionales où est passée la mission d'optimisation ont exprimé, en plus de leurs besoins en données qualité des eaux, leur besoin d'être impliquées dans le suivi de la qualité des eaux surtout sur les stations qui sont dans leur territoire spatial. Ceci est légitime car pour tout problème régional impliquant la qualité des eaux, elles sont les premières à être sollicitées par les gouverneurs et autre administration régionale.

Les directions régionales utiliseront leur UCDIEau : il est prévu que toutes les 13 directions régionales en aient, dont 8 seront particulièrement bien équipées et les 5 autres légèrement équipées. Ainsi, au temps fixé par la DGRE, chaque direction régionale fera la collecte d'échantillons sur les stations qui sont dans son territoire. Cette collecte comprendra le prélèvement d'échantillon, le conditionnement, le transport ainsi que la détermination des paramètres in situ. Aussi la direction régionale devra être équipée des matériels nécessaires à cette tâche : préleveurs, perches, glacières, réfrigérateurs, des flacons de prélèvement et des kits pour la détermination paramètres in situ.

Pour l'acheminement au laboratoire de la DGRE, avec une bonne coordination, le transport public pourrait être utilisé.

De plus certaines de directions régionales suivent un réseau spécifique ou des stations isolées pour leurs propres besoins : il leur est recommandé d'effectuer les analyses chimiques au laboratoire de la DGRE pour un besoin d'homogénéité des résultats et de faire parvenir les données à la DGRE.

Troisième créneau: les autres structures centrales et déconcentrées du MEA

Il s'agit particulièrement des Agences de l'eau, de l'ONEA, de la DGAE et la DGEP.

Les Agences de l'eau (AE) ont grand besoin du suivi de la qualité pour la gestion des usages et l'application de la CFE. Pour ce faire elles suivent un ou plusieurs réseaux spécifiques. Il est recommandé d'une part, que les stations du réseau national dans leur espace de compétence soient intégrées aux dits réseaux spécifiques, et d'autre part que les analyses soient effectuées dans le laboratoire de la DGRE pour un besoin d'homogénéité et de fiabilité des résultats qu'il leur est également demandé de faire parvenir à la DGRE.

L'ONEA gère un réseau spécifique pour ses besoins propres, notamment sur les plans d'eau utilisés pour l'alimentation en eau des villes. Il dispose également d'un laboratoire bien équipé et fiable. Il est recommandé qu'un protocole d'accord soit signé avec cette structure pour que les stations identifiées sur ces plans d'eau soient intégrés dans le réseau spécifique géré par l'ONEA et que les résultats soient communiqués à la DGRE.

Quatrième créneau : les structures homologues des autres ministères

Il s'agit particulièrement des structures suivant des réseaux spécifiques ou des stations spécifiques telles que SONABEL et la SOSUCO ou des structures impliquées dans la protection de la qualité des eaux de surface telles que le Laboratoire d'analyse de la qualité de l'environnement (LAQE).

La SONABEL dispose au niveau des barrages hydroélectriques, des réseaux spécifiques pour le suivi de la qualité des eaux. Ces réseaux font déjà partie du réseau national optimisé. Il a été dit aux experts à Bagré que les échantillons étaient prélevés et envoyés à Ouagadougou niveau central. Il sera donc demandé que les échantillons prélevés dans les deux (et bientôt trois) barrages hydroélectriques soient analysés par un laboratoire utilisant des méthodes normalisées, et que les résultats soient communiqués à la DGRE.

La SOSUCO dispose également d'un petit réseau pour le suivi des barrages de Moussodougou et de Toussiana. Certaines stations de ce réseau font partie du réseau national optimisé. Il sera donc demandé là aussi que les échantillons prélevés dans les deux barrages soient analysés par un laboratoire utilisant des méthodes normalisées, et que les résultats soient communiqués à la DGRE.

Le laboratoire d'analyse de la qualité de l'environnement (LAQE) dispose d'un réseau de suivi de la pollution. Il s'agira d'établir un protocole d'accord pour des partages de données sur la qualité des eaux.

De même, le laboratoire national de santé public (LNSP), le laboratoire du Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), le Bureau National des Sols(BUNASOL) qui sont bien équipés pour l'analyse des eaux peuvent faire l'objet de protocole d'accords de partage de données.

Pour tous ceux qui disposent d'un réseau spécifique, une approche devrait être faite pour valider la conformité des stations afin de pouvoir pleinement en utiliser les données dans la valorisation des données de suivi.

Fréquence ou périodicité de prélèvement

Pour un bon suivi des réseaux, deux périodes d'échantillonnage par an ont été retenues :

- Saison sèche (Avril-Juin) ;
- Saison pluvieuse (Juillet-Septembre).

Condition d'analyse des échantillons

Des paramètres de qualité des eaux déterminés par le SQE dans le suivi des réseaux, seulement 4 sur les 23, sont déterminés sur le terrain. Les autres paramètres sont déterminés au laboratoire d'analyse. C'est dire que la performance et la qualité du laboratoire d'analyse seront déterminants pour le suivi de la qualité des eaux des réseaux optimisés tant de base que national. Aussi, seront d'abord considérés les différents paramètres d'analyse avec les méthodes d'analyse recommandées, ensuite seront considérés les laboratoires potentiels d'analyse.

Paramètres d'analyses

Les Tableaux 27 et 28 regroupent respectivement, les paramètres communs à tous les échantillons et les paramètres complémentaires selon la situation de la station de suivi et le type de pollution encouru par les eaux. Le Tableau 29 liste des paramètres spécifiques à utiliser en cas de besoin (exemple; datation, analyse isotopique…).

Tableau 27 : Liste des paramètres communs à analyser

Catégories	Paramètres	Faisabilité (Labo DGRE)	Méthode d'analyse
1- Paramètres in-situ			
Paramètres physico-chimiques	pH	Oui	Electrochimie
	Conductivité	Oui	Electrochimie
	Oxygène dissout	Oui	Electrochimie
	TAC; TA	Oui	Titrimétrie
	Turbidité	Oui	Néphelométrie
Paramètres organoleptiques	Coloration	Oui	Sens
	Odeur	Oui	Sens
	Goût	Oui	Sens
2- Paramètres en laboratoire			
Paramètres physico-chimiques	Température	Oui	Electrochimie
	pH	Oui	Electrochimie
	Conductivité	Oui	Electrochimie
	TAC ; TA	Oui	Titrimétrie
	Calcium	Oui	Titrimétrie
	Magnésium	Oui	Titrimétrie
	TH	Oui	Titrimétrie
	Potassium	Oui	Titrimétrie
	Sodium	Oui	Titrimétrie
	Chlorures	Oui	Chromatographie ionique
	Nitrates	Oui	Chromatographie ionique
	Nitrites	Oui	Chromatographie ionique
	Ortho phosphates	Oui	Chromatographie ionique

Catégories	Paramètres	Faisabilité (Labo DGRE)	Méthode d'analyse
1- Paramètres in-situ			
	Sulfates	Oui	Chromatographie ionique
	Ammonium	Oui	électrochimie
	Fluorures	Non	Electrochimie
	Carbonate	Oui	Titrimétrie
	Bicarbonate	Oui	Titrimétrie
	Borates	Non	Titrimétrie Colorimétrie
	Iodures	Non	Electrochimie
	MES	Oui	Filtration
	Cyanures libres	Non	Electrochimie
	Cyanures totaux	Non	Electrochimie
	Silice	Non	Spectrométrie UV-VIS
Métaux et metalloïdes	Aluminium	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
	Arsenic	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Cadmium	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Chrome	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Cuivre	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Zinc	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Fer	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Mercure	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
	Sélénium	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
	Nickel	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Plomb	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique

Catégories	Paramètres	Faisabilité (Labo DGRE)	Méthode d'analyse
1- Paramètres in-situ			
	Argent	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Antimoine	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
	Manganèse	Oui	Spectrométrie d'absorption atomique
	Baryum	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
Bactériologie	Escherichia Coli	Oui	Filtration incubation
	Coliformes fécaux	Oui	Filtration incubation
	Streptocoques fécaux	Non	Filtration incubation

Tableau 28: Liste des paramètres complémentaires à analyser selon la zone

Environnement De la Station	Paramètres	Faisabilité (Labo DGRE)	Méthode d'analyse
Zone Agricole	Chlorophylle a	Oui	Spectrométrie UV-VIS
	Matière en suspension	Oui	Filtration
	Phosphates (PO_4)	Oui	Chromatographie Ionique
	Fluor (F)	Non	Electrochimie
	Organochlorés totaux	Oui	Chromatographie phase Gazeuse (CPG)
	PCB	Non	CPG
	Hydrocarbures Totaux	Non	CPG
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Non	HPLC
	Sulfates	Oui	Chromatographie Ionique
Zone Industrielle	DBO 5	Non	DBOmétrie (oxitop)
	DCO	Non	Titrimétrie
	COT	Non	Spectrométrie IR
	Huile et graisse	Non	Extraction et gravimétrie
	Phénol	Non	Iodométrie
	Matières en suspension totale	Oui	Filtration Gravimétrie
	Sulfure d'Hydrogène	Non	iodométrie
	Fluor	Non	ionométrie
	Hydrocarbures	Non	CPG
	Dioxines et furanes	Non	
Zone minière	Cyanures	Non	ionométrie
	Mercure	Non	Spectrométrie d'absorption atomique
	Argent	Oui	
	Antimoine	Non	
	Uranium	Non	ICP
Zone urbaine	DBO5	Non	DBOmétrie
	DCO	Non	Titrimétrie
	Coliformes totaux	Oui	Filtration incubation
	Escherichia Coli	Oui	
	Coliformes fécaux	Oui	
	Streptocoques fécaux	Non	

Tableau 29: Liste d'autres paramètres complémentaires en cas de nécessité

Catégories	Paramètre	Faisabilité Laboratoire DGRE
Métaux et metalloïdes	Tellium	Non
	Polonium	Non
	Vanadium	Non
	Molybdène	Non
	Uranium	Non
	Thallium	Non
	Titane	Non
	Etain	Non
	Béryllium	Non
	Lithium	Non
Isotopes	Oxygène 18	Non
	Deutérium	Non
	Tritium	Non
	Carbone 14	Non
	L'Azote 15	Non
	Le Soufre 34, 36, 33	No n

Les structures d'analyse

Le suivi de la qualité des eaux est une mission majeure de la DGRE. Aussi son laboratoire qui est bien équipé et qui utilise des méthodes normalisées sera le lieu privilégié pour l'analyse des échantillons collectés. Ainsi, tous les échantillons collectés par les directions régionales, seront acheminés au laboratoire de la DGRE pour analyse. L'ONEA pourra analyser les échantillons qu'il aura collectés. Pour une bonne homogénéité des données, il est souhaitable que les agences de l'eau et les autres structures du MEA qui n'ont pas de laboratoire privilégient le laboratoire de la DGRE pour l'analyse des échantillons collectés de leurs réseaux spécifiques ou non. Quant aux structures homologues des autres ministères tels que SONABEL, SOSUCO, BUMIGEB, LNSP, etc. il est surtout attendu d'elles, un partage de données. L'analyse des échantillons qu'elles auront collectés devra se faire dans un laboratoire utilisant des méthodes normalisées.

Système de traitement et de valorisation des données

Les données de suivi produites par la DGRE, à travers son laboratoire ainsi que celles reçues des différentes structures, devront être traitées et validées avant leur valorisation.

Traitement des données de suivi de la qualité des eaux de surface

En principe, chaque laboratoire devrait disposer de procédures de validation des résultats avec un système de contrôle qualité et d'assurance qualité (QC/QA), de sorte que la fiabilité des résultats soit garantie. Dans certains laboratoires, ces procédures sont inclues dans leur Système de Gestion de l'information (LIMS). Dans la pratique, peu de laboratoires au Burkina Faso disposent d'un LIMS (présentement un seul parmi les laboratoires de l'État). La plupart d'entre eux se contentent des procédures de contrôle de sorte qu'il devient nécessaire de valider les données avant de les prendre en compte.

La validation des données implique :

- La vérification physique pour éliminer les erreurs de saisie, assurer l'homogénéité des données et examiner l'intégralité des paramètres analysés par échantillon ;
- L'application des méthodes de contrôle de la fiabilité des analyses chimiques, pour le cas présent, la balance ionique pour s'assurer de l'équilibre ionique des paramètres parfois à l'aide de logiciels ;
- L'étude de quelques calculs statistiques pour vérifier la variabilité des paramètres.

Valorisation des données

La valorisation des données de la qualité des eaux est l'un des principaux objectifs du suivi de la qualité des eaux. Elle permet notamment :

- La constitution d'une base de données;
- La mise en place de véritables outils de gouvernance des eaux tels que :
  a) Les cartes de teneur en paramètres de la qualité des eaux ;
  b) L'indice de Ryznar ou indice d'agressivité de l'eau ;
  c) Schéma d'alerte et de prévision.
- Elaboration de documents périodiques de la qualité des eaux : bulletins, annuaires etc.

Conclusion de la partie

Ainsi donc, la collecte des échantillons se fera par le laboratoire de la DGRE et les directions régionales à travers leurs UCDIEau qui feront acheminer les échantillons au Laboratoire de la DGRE. Le laboratoire recevra également les échantillons d'eau prélevés dans les réseaux optimisés par les agences de l'eau et les autres structures centrales et déconcentrées du MEA. L'ensemble de ces échantillons seront analysés par le laboratoire ; les résultats avec les données reçues des structures des autres ministères et des structures privées et non gouvernementales (ONG) seront traitées et valorisées par la DGRE.

15.2.2 Procédure de maintenance des équipements

Pour que le suivi de la qualité des eaux de surface soit opérationnel, il faut des équipements toujours en bon état. Aussi il est nécessaire de mettre en place une bonne procédure de maintenance des équipements. Dans le cas du suivi de la qualité, il y a deux sortes d'équipements : les équipements de prélèvement et d'analyse in situ, et les équipements d'analyse en laboratoire.

Les équipements de prélèvement et d'analyse in situ :

Les équipements de prélèvement sont des équipements de terrain robustes ; ils doivent être vérifiés avant et après chaque mission et soigneusement rangés.

Les équipements d'analyse in situ comprennent les sondes intégrées aux équipements des stations hydrométriques de télétransmission, et les kits d'analyse de terrain qui seront distribués au laboratoire de la DGRE et aux directions régionales pour leurs équipes de prélèvement. Ces kits devront être vérifiés et calibrés par une équipe compétente du laboratoire. Une formation à la maintenance courante devra être dispensée périodiquement en début et à la fin de chaque campagne.

Une équipe compétente du laboratoire se joindra aux missions de maintenance des appareils des stations hydrométriques et des stations qualité des eaux pour la maintenance et la calibration des sondes HL4 intégrées aux appareils des stations hydrométriques et des sondes HL7.

Maintenance des équipements de laboratoire

Cette maintenance devra se faire dans les règles de l'art comme tout équipement important de laboratoire. Elle doit comprendre :

- L'établissement d'un cahier de vie pour chaque équipement ;
- L'élaboration et la mise en œuvre d'un plan annuel de maintenance incluant des contrats de maintenance pour les plus gros équipements (Spectromètres d'absorption atomique, Chromatographes etc…).

16. RENFORCEMENT DES CAPACITES

16.1 Renforcements des capacités des agents en charge du suivi hydrométrique

Renforcement des capacités en ressources humaines

Le personnel normalement requis pour l'opérationnalisation des UCDIEau, maillon clé du suivi hydrométrique est le suivant, ce personnel est présenté plus exhaustivement dans le rapport diagnostic (MEA, 2021).

➢ Pour chacune des 8 DREA qui auront des UCDIEau complètes :

- Un (1) Ingénieur Hydrologue à temps partiel ;
- Un (1) Technicien Supérieur Hydrologue à temps plein,
- Un (1) Agent Technique de l'Hydraulique à temps plein,
- Un (1) chauffeur, dont le travail à temps plein,
- Un (1) Ouvrier) dont le travail à temps plein.

➢ Pour les 5 autres DREA :

- Un (1) Ingénieur Hydrologue à temps partiel
- Un (1) Technicien Supérieur ou Agent Technique de l'Hydraulique,
- Un (1) chauffeur.

Soit un besoin en personnel de 13 Ingénieurs, 13 techniciens, 13 Agents Techniques de l'Hydraulique, 13 chauffeurs et 8 ouvriers pour les 13 DREA.

Ainsi depuis ces cinq (5) dernières année, des efforts sont fournis par l'État pour renforcer les effectifs du personnel chargé du suivi des ressources en eau par:

L'affectation en 2020 :

- De 10 Techniciens supérieurs et 15 Ingénieurs hydrologues formés au Centre AGRHYMET.
- Des Ingénieurs du génie rural et des Techniciens supérieurs venant des 2iE et d'autres instituts de formation dans le domaine de l'eau.

D'ici l'année 2022, il y a une perspective de renforcement du personnel avec la promotion de 15 élèves techniciens supérieurs en hydrologie en cours de formation au Centre AGRHYMET.

Il faut noter aussi que 9 Techniciens Supérieurs en hydrologie ont fait leur rentrée en avril 2021.

La prise en charge d'un réseau de 90 lecteurs d'échelles spécialisés, personnel clé aussi dans la collecte des données.

On peut affirmer que les perspectives sont bonnes pour le renforcement des ressources humaines des DREA.

Toutefois il faut noter que :

- Le personnel impliqué dans le suivi des ressources en eau est très mobile ;
- Le manque de personnel en maintenance et entretien des équipements classiques et numériques ;
- Le manque de plans de formation à court et moyen terme du personnel.

Importance de la formation des hydrologues de terrain

Aucun investissement dans la technologie ne peut compenser des choix erronés en matière de collecte et de traitement des données ou des problèmes dus à de mauvaises manipulations des équipements. Les erreurs dues à des procédures fautives sont les plus difficiles à détecter et corriger lors du post-traitement des données. La meilleure réponse à ces problèmes réside dans la formation technique des agents en charge des réseaux de suivi des ressources en eau. La formation permet d'accroître le taux d'acquisition des compétences, tout en réduisant la fréquence des erreurs commises. Elle permet d'avoir une aisance dans le travail et la capacité d'améliorer au fils du temps les procédures de collecte et de traitement des données. Dans le cadre cette étude, une formation sur l'optimisation des réseaux a été livre aux agents techniques de la DGRE, DREA, AE, SP-GIRE. Le programme de la formation est présenté en **Annexe A8** du rapport. Cette formation a permis un transfert de compétence sur les techniques d'optimisation et conception des réseaux en général, et en particulier sur la méthodologie établie pour l'optimisation des réseaux hydrométrique et qualité des eaux de surface du Burkina Faso. Il est recommandé que cette formation soit réitérée en présentiel avec un volet pratique pour permettre une meilleure maitrise des outils utilisés.

La distribution démographique de la DGRE et des DREA présente actuellement un fort taux de nouvelles recrues, ce qui engendre un besoin urgent de compenser la perte d'expérience des retraités par une amélioration des connaissances. Les hydrologues doivent exceller dans plusieurs disciplines s'ils veulent être vraiment efficaces. La mesure de l'écoulement est une application complexe de principes scientifiques et techniques. Les décisions prises sur le terrain et aux fins d'interprétation des données nécessitent une connaissance élémentaire de la physique, de la chimie, de la biologie, de l'hydrologie, de l'hydrodynamique, de la géomorphologie fluviale, des mathématiques et des statistiques.

De plus, l'installation et l'exploitation du matériel de surveillance hydrométrique requièrent des compétences en matière de plomberie, de câblage et de programmation.

Le jaugeage nécessite l'interprétation éclairée de protocoles de gestion de la qualité quant au choix et à l'application des méthodes, tout en tenant compte du contexte spécifique des conditions de mesure.

L'hydrologue doit prendre des décisions afin de limiter les effets néfastes sur l'environnement et de préserver la sécurité personnelle et publique.

Les investissements dans la formation permettent d'améliorer la qualité des données, d'accroître la productivité, d'améliorer la fiabilité des instruments de mesure et de renforcer la sécurité. La formation en matière d'hydrologie doit être un processus continu permettant de rester au fait des meilleures pratiques qui s'appliquent aux nouvelles technologies émergentes.

16.2 Modules de formation proposés

- Jaugeages à l'ADCP et mesure des débits.
- Installation et gestion des PCD électroniques (avec ou sans télétransmission)
- Gestion de bases de données hydrologiques par le logiciel HYDROMET.
- Utilisation d'information par satellite pour la planification et la gestion de ressources en eau
- Modélisation hydrologique et prévision des crues
- Validation des données hydrologiques et de qualité des eaux et comblement des données
- Conception et optimisation des réseaux hydrométriques et de qualité des eaux
- Exploitation et publication des données

Contenu des modules de formation

Ces modules comportent des enseignements théoriques et des travaux pratiques d'application mis en œuvre directement sur le terrain. Les modules de formation s'adressent donc aux hydrologues de terrain ou en charge du traitement des données.

Module n°1: Jaugeages à l'ADCP et mesures des débits au moulinet

- Les jaugeages au moulinet hydrométrique ;
- Jaugeages de crues au bateau ;
- Jaugeages d'étiages ;
- Jaugeages à la cyclopotence et téléphérique ;
- Dépouillement des jaugeages ;
- Dépouillement manuel graphique ;
- Dépouillement automatique ;
- Jaugeages aux flotteurs ;

- Jaugeages d'étiages ;
- Jaugeage avec une ADCP
- Présentation de la méthode, limites d'utilisation ;
- Présentation du matériel ;
- Différents modes d'installation ;
- Initialisation ;
- Mise en œuvre ;
- Interprétation des images sur le terrain ;
- Récupération des données de terrain ;
- Exploitation des données avec le logiciel WinRiver ;
- Recherche du niveau maximum de crue et calcul du débit à partir des paramètres de terrain ;
- Emploi de la formule de Manning Strickler.

Module n°2: Installation et gestion des PCD électroniques (avec ou sans télétransmission)

- Principe de fonctionnement ;
- Rappel des notions de bases en électricité avec travaux pratiques et mesures ;
- Démontage et remontage complet d'un appareil ;
- Contrôle des émetteurs et paramétrages ;
- Recherche des pannes et dépannage ;
- Choix du site d'installation ;
- Installation des appareils sur le terrain ;
- Présentation et utilisation des fiches de gestion de terrain ;
- Dépouillement des cartes mémoires et restitution des données ;
- Initiation à la gestion et au suivi du matériel et des composants ;
- Récupération des données télé-transmises via Internet ;
- Configuration d'un site ftp pour la réception automatique des données.

Module n°3: Gestion des bases de données hydrologiques à l'aide du logiciel HYDROMET

- Notions de bases de données ;
- Structure d'une base de données hydrologiques ;
- Principe de fonctionnement d'une base de données ORACLE ;
- Installation et utilisation du logiciel de gestion et de traitement des données hydrologiques ;

- Acquisition des données à partir des transmissions des appareils enregistreurs ;

<u>Module n°4</u>: Utilisation d'information par satellite pour la planification et la gestion des ressources en eau

- Application de la télédétection spatiale à l'estimation des stocks d'eau (eau des sols et eau des réservoirs) et de l'évapotranspiration.
- Utilisation de l'altimétrie spatiale pour la mesure des niveaux d'eau (fleuves, lacs, plaines inondées).
- Autres applications de l'observation spatiale dans l'étude des grands bassins fluviaux (transport de sédiments, évapotranspiration, cartographie des zones humides).

<u>Module n° 5</u>: Modélisation hydrologique et prévision des crues

Cette formation à la modélisation répond aux objectifs suivants:

- Contribuer à la production de nouveaux produits hydrologiques pour la surveillance hydrologique des bassins versants à travers l'utilisation des modèles hydrologiques et plus spécifiquement par l'adaptation d'un modèle hydrologique ou tout autres modèles déjà appliqués au Burkina.
- La formation contribuera également à fournir un modèle pour la prévision saisonnière des écoulements à intégrer dans un système de prévision des crues dans les différents bassins.
- Doter les bassins d'un modèle de prévision des crues, qui pourra être utilisé pour la gestion des barrages importants (barrages de Bagré, Kompienga, Samendéni etc.).

Ce module couvrira les éléments suivants :

- Critères de choix d'un modèle hydrologique
- Calibration du modèle hydrologue retenu (pour la formation)
- Validation du modèle hydrologue
- Test du modèle pour la prévision des crues.

Cette formation peut être ouverte au personnel d'autres institutions nationales (Agences de l'Eau, gestionnaire de barrages, etc.).

Module n0 6 : Conception et optimisation des réseaux hydrométrique et de qualité des eaux

Ce module de formation couvrira les éléments suivants:

- Introduction aux types de réseaux de suivi des ressources en eau ;
- Aperçu sur les stations et leurs équipements

- Critères de choix du type de réseau ;
- Méthodes de conception des réseaux ;
- Méthodes d'optimisation des réseaux ;
- Les critères d'optimisation ;
- L'optimisation multicritère ;
- Procédure de choix du réseau optimum.

Module n° 7 : Validation des données hydrologiques et comblement des lacunes

- Différents types de techniques de validation des données ;
- Identification de méthodes robustes de validation des données ;
- Application et évaluation des techniques retenues ;
- Limites des techniques de validation ;
- Méthodes de comblement des lacunes d'une série ;
- Identification d'une méthode de comblement de lacunes ;
- Vérification de la validité de la méthode retenue.

16.3 Proposition de renforcement des capacités pour le suivi des réseaux optimisés de la qualité des eaux de surface

L'exécution d'un bon suivi des réseaux optimisés de la qualité des eaux implique un renforcement important des capacités du laboratoire en moyens matériels, humains et en capacités techniques. Il implique également, dans une certaine mesure, le renforcement des capacités des directions régionales qui seront un canal important pour la collecte des échantillons.

Renforcement des capacités institutionnelles

La situation institutionnelle du laboratoire de la DGRE, en tant que service d'une direction technique, ne lui permet pas d'être visible. Il va falloir d'abord en faire une direction technique. Le rapport de l'étude de la stratégie du suivi et de l'évaluation des ressources en eau du Burkina Faso (en 2019) préconisait une révision des textes organisationnels internes du ministère. L'un des objectifs de cette relecture des textes est d'autonomiser le laboratoire, quitte à lui donner un statut particulier.

Renforcement des capacités en moyens matériels

Tout devra être mis en œuvre pour produire des résultats fiables et complets par l'utilisation de méthodes d'analyse normalisées, tout en élevant le niveau technique du laboratoire de la DGRE.

Les équipements, matériels, verreries, consommables et produits chimiques complémentaires font l'objet d'un DAO (voir **Annexe A10**) qui accompagne le présent rapport.

Il s'agira en particulier:

- Des sondes de mesures in situ (paramètres de terrain) intégrés dans les appareils des stations hydrométriques des réseaux optimisés ;
- D'équipements pour compléter la détermination de quelques paramètres analytiques déterminants ;
- De matériels et de verreries pour le prélèvement, le conditionnement et le transport des échantillons ;
- Des produits chimiques et consommables nécessaires pour le prélèvement et l'analyse des échantillons.

Il s'agira donc d'acquérir ces équipements et matériels et de les opérationnaliser dans le laboratoire.

Renforcement des capacités en ressources humaines

Le besoin en personnel de laboratoire est si crucial qu'il pourrait constituer une condition nécessaire pour le renforcement en équipements. Il serait inutile d'acquérir des équipements s'il n'y a personne pour les faire fonctionner, ou de les renforcer si le nombre d'agents n'est pas suffisant. Ainsi une augmentation du nombre d'agents est indispensable, tant au niveau des ingénieurs, des techniciens supérieurs que des techniciens.

A l'état actuel, un bon fonctionnement du laboratoire de la DGRE nécessite au moins 3 ingénieurs chimistes ou équivalents dont au moins un ingénieur chimiste confirmé, au moins 3 techniciens supérieurs chimistes, 9 techniciens chimistes et du personnel d'appui. Ce personnel peut être obtenu par recrutement direct et par formation d'agents déjà en place.

Compte tenu du fait que les directions régionales seront sollicitées pour des prélèvements d'échantillons et des analyses in situ, une formation adéquate devra être dispensée aux agents des directions régionales commis à cette tâche. Leur formation pourra être dispensée par le laboratoire de la DGRE.

Renforcement des capacités techniques

Le renforcement des capacités techniques du laboratoire de la DGRE devrait commencer par un accompagnement de trois à six mois dans la démarche qualité par un qualiticien chimiste afin d'améliorer ses performances et la fiabilité de ses résultats.

Des formations de courtes et moyennes durées en techniques d'analyse des eaux et en management de laboratoires, dans des laboratoires d'analyse des eaux de la sous-région, en Europe ou au Canada, doivent être prévues pour le personnel existant.

Un plan de formation devra être élaboré pour constituer un cadre de référence pour la formation du personnel. Il permettra d'identifier, de valoriser et de développer les compétences des individus et de l'ensemble de l'équipe du laboratoire, en tenant compte des besoins en formation et des demandes de chacun.

17. PLAN D'ACTION

Le **plan d'action** (Tableau 30) est proposé dans le but d'orienter les acteurs en charge de l'opérationnalisation des réseaux optimisés sur les étapes essentielles du processus. De même il permet aux acteurs de se faire une idée sur les moyens financiers et humains à mobiliser pour travailler efficacement. Il convient donc de préciser que ce plan d'action n'est pas un tableau de bord trimestriel, encore moins un tableau de bord mensuel. La colonne commentaire permet de donner des détails à chaque fois que nous pensons que les techniciens peuvent ne pas percevoir aisément l'action ou l'activité proposée. Le coût du plan d'action est estimé sur cinq ans à deux milliards trois cent trois millions deux cent mille (2 355 700 000) FCFA. Ce coût est légèrement supérieur à celui requis pour la mise en œuvre et le suivi des réseaux optimisés (Tableau 24) à cause des autres activités telles que les formations du personnel. Les sources de financements espérées sont celles de l'État burkinabè à travers ces différents canaux (PAEA, Agences de l'Eau, MINEFID etc.). Bien que les ONG et autres PTF n'ont pas été cités dans le souci de ne pas être vague dans les propositions, leurs contributions sont attendues dans certaines activités. Pour la mise en œuvre du plan d'action, les 10 actions proposées dans le Tableau 30 ci-dessous peuvent être échelonnées comme suit :

Court-terme (1 à 2 ans) : Actions 1, 2, 4, 8

Moyen-terme (2 à 3 ans) : Actions 3, 5, 6, 9

Long-terme (3 à 5 ans) : Actions 7, 10

En fonction des disponibilités financières, certaines actions peuvent être menées en parallèle. Le plan d'action peut être exécuté en entier sur 5 ans à partir de 2022. Bien que toutes les actions proposées soient essentielles pour une bonne mise en place des réseaux optimisés et de leur maintenance et suivi durables, les actions 1, 2, 3 et 5 sont prioritaires. Il est donc recommandé aux acteurs de mettre en œuvre prioritairement les activités proposées sous ces quatre actions.

Cependant, compte tenu de la situation sécuritaire dans certaines régions du pays, le plan d'action ne peut en réalité être mis en œuvre sur l'ensemble du territoire tel que prévu. Par conséquent une analyse de la situation a été sollicitée auprès des DREA pour déterminer les sites accessibles sur le plan sécuritaire. L'Annexe **A9** présente la liste des stations accessibles en Mars 2022. Sur les 114 stations du réseau hydrométrique national optimisé, 45 stations sont jugées accessibles. Afin de permettre de commencer la mise en œuvre des réseaux optimisés dans les régions où les sites sont accessibles, un **plan d'action opérationnel** est proposé (voir Tableau 32). Ce plan inclut l'acquisition et l'installation des équipements hydrométriques et hydrochimiques pour les 45 stations accessibles et les activités réalisables dans le contexte actuel.

Tableau 30 : Activités du plan d'action

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
Action 1	**Acquisition et installation des équipements hydrométriques et de la qualité de l'eau**	**PAEA**	**DMP, DGRE**	**2022**			**Équipements hydrométriques et de qualité de l'eau acquis et installés**	Prioritaire
Activité 1	Acquérir le matériel	DGRE	DMP, PAEA	2022	**2001**	PAEA	Équipements hydrométriques et de qualité de l'eau	Lancer le DAO, choisir le prestataire, réceptionner les équipements
Activité 2	Installer et mettre en route les équipements et former le personnel	DGRE	PAEA, DREA, AE	2022		PAEA	PV de réception; Equipements installés et mis en route ; Personnel formé	Par le fournisseur
Activité 3	Opérationnaliser l'acquisition des données par Télégestion	DGRE	DREA, AE	2022		PAEA	Données disponibles sur le serveur de la DGRE	
Activité 4	Acquérir des pièces de rechange et des consommables.	DGRE	DMP, DREA	2022		PAEA	Pieces de rechange et consommables disponibles	
Action 2	**Maintenance et entretien du réseau hydrométrique et de la qualité de l'eau**	**DGRE**	**DREA, AE**	**Continue**				Prioritaire
Activité 1	Inspecter et maintenir les stations automatiques hydrométriques	DGRE	DREA, AE	Continue	**20**	Etat, AE	Taux de fonctionnalité des réseaux optimisés	A distance compléter par les sorties de terrain au besoin
Activité 2	Inspecter visuellement et de façon régulière les installations	DREA	DGRE, AE	Continue		Etat, AE		Lecteurs d'échelles, pendant leurs lectures quotidiennes
Activité 3	Effectuer la maintenance préventive des stations automatiques hydrométriques; Planifier l'acquisition des pièces de rechange et les consommables	DGRE	DREA, AE	Continue	**90**	Etat, AE		Techniciens maintenanciers
	Suivre régulièrement l'ensemble des réseaux optimisés	DREA	DGRE, AE	Continue		Etat, AE		Personnel du suivi des réseaux
	Superviser le réseau hydrométrique	DGRE				Etat, AE		Hydrologues DEIE et DREA
Action 3	**Renforcement des capacités**	**DGRE**	**DREA, AE**	**Continue**				Prioritaire
Activité 1	Recruter le personnel complémentaire requis pour le suivi des réseaux de qualité des eaux optimisés et pour le laboratoire	DGRE		2023		PAEA	3 ingénieurs hydrochimistes; 3 techniciens supérieurs chimistes ou hydrochimistes; 5 techniciens chimistes ou hydrochimistes	A recruter si disponibles ou à former en partenariat avec des universités compétentes.

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
Activité 2	Recruter le personnel complémentaire requis pour le suivi des réseaux optimisés	DGRE		2023	**8**	PAEA	5 maintenanciers; 10 nouveaux lecteurs d'échelles	Formation à Agrhymet et formation des lecteurs. Ces maintenanciers sont chargés d'accompagner chaque UCDIEau pour la maintenance de leurs équipements
Activité 3	Formation de tous les agents du suivi, sur les nouveaux équipements acquis	DGRE	DREA, AE	2022	**14.2**	PAEA	22 maintenanciers formés (13 (DREA), 4 (DGRE), 5 (AE))	Un mois de formation intense avec la certification du fournisseur. Équipements hydrométriques et chimiques. Installation et entretien. Les agents formés viennent en appuis aux 5 maintenanciers
Activité 4	Assurer le recyclage bi-annuel des maintenanciers	DGRE	DREA, AE	Continue	**10**	AE	22 maintenanciers formés (13 (DREA), 4 (DGRE), 5 (AE))	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 5	Former les lecteurs d'échelles aux diagnostics et aux entretiens mineurs/courant des installations	DGRE	DREA, AE	2022	**5**	AE	90	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 6	Recyclage bi-annuel des lecteurs d'échelles aux diagnostics et l'entretien mineurs/courant des installations	DGRE	DREA, AE	Continue	**5**	AE	90	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 7	Former les techniciens à l'utilisation du matériel de jaugeage	DGRE	DREA, AE	2022	**50**	PAEA	30 personnes formées (DGRE, DREA, AE)	Pour les formations certifiantes, la DGRE pourra mieux préciser le nombre de participants, y compris pour les formations plus pointues à l'extérieur du Burkina Faso
Activité 9	Former les agents à l'utilisation des bases données hydrologiques, à la validation des données et au comblement des données	DGRE	DREA, AE	2023		PAEA		
Activité 10	Former les agents en modélisation hydrologique et SIG pour la valorisation des données	DGRE	DREA, AE	2022				
Activité 11	Former les agents en conception et optimisation des réseaux	DGRE	DREA, AE	2022				
Activité 12	Former les agents sur l'utilisation d'information par satellite pour la planification et la gestion des ressources en eau	DGRE	DREA, AE	2023				
Activité 13	Établir un plan de maintenance des enregistreurs automatiques et des appareils d'analyse installés au labo	DGRE	DREA, AE	2022			Existence d'un guide de maintenance	
Action 4	**Mettre en place un mécanisme de sauvegarde des installations contre les actes de vandalisme**	**DGRE**	DREA, AE					
Activité 1	Sensibiliser et confier la sécurité des stations aux autorités locales et coutumières	DGRE	DREA, AE	2022	**11**	AE	Absence de vandalisme	Frais de mission pour campagne de sensibilisation
Action 5	**Dynamiser et coordonner la collecte des données**	**DGRE**						Prioritaire

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
Activité 1	Mettre en place une équipe de veille sur la continuité de la transmission des données au sein de la DEIE	DGRE	DREA, AE	Continue			Note de service de DEIE ou de DGRE	
Activité 2	Équiper chaque agent récepteur de données avec un Poste de Travail sécurisé	DGRE	DREA, AE	Continue	**30**	PAEA	20 Postes de Travail	
Activité 3	Améliorer l'accès à internet dans les centres de réception des données	DGRE	DREA, AE	Continue	**15**	PAEA	Internet haut débit à la DEIE, les 13 régions, les 5 AE	
Activité 4	Assurer la mise à niveau régulière des logiciels utiliser pour faciliter la réception et la gestion des données	DGRE	DREA, AE	Continue	**2**	AE	Logiciel de réception des données mis à jour	
Action 6	**Assurer la sécurité informatique des postes et des données**	**DGRE**	**DREA, AE**					
Activité 1	Automatiser le backup régulier des données et mettre à jours régulièrement les anti-virus des postes de travail	DGRE	DREA, AE	Continue	**1,5**	État- AE	Système opérationnel de backup des données	Le server doit avoir des disques parallèles pour le backup des données.
Activité 2	Élaborer et instaurer un protocole de protection et sécurité des données avec les prestataires utilisés.	DGRE	DREA, AE	Continue			Entente de confidentialité	Il s'agit de s'assurer que les données appartiennent au Burkina Faso et qu'aucune utilisation de ces données ne peut se faire sans aval
Activité 3	Sécuriser les données en dehors de la plateforme en ligne	DGRE	DREA, AE	Continue	**20**	PAEA	13 postes de travail sécurisant les données de chaque région, 5 postes de travail sécurisant les données dans les Agences de l'Eau et 2 postes de travail sécurisant les données nationales à la DEIE	Chaque poste de travail sécurisé a aussi un accès sécurisé à la base données du server au niveau national.
Action 7	**Valorisation des données**	**DGRE**	**DREA, AE**					
Activité 1	Assurer le traitement, le stockage, la diffusion des données, ainsi que l'élaboration des produits de diffusion (annuaires, bulletins, note d'information, synthèse, cartes thématiques etc.)	DGRE	DREA, AE	Continue	**10**	État- AE	Annuaires et bulletins hydrologiques disponibles	
Activité 3	Assurer le suivi, le traitement, la gestion et l'exploitation des données transmises	DGRE	DREA, AE	Continue		État, AE	Qualité des séries de données disponibles	
Action 8	**Matérialisation des points de prélèvements**	**DGRE**						
Activité 1	Matérialisation des points de prélèvements des échantillons d'eau	DGRE		2022	**50**	PAEA	Points de prélèvements matérialisés	Visites de terrain pour identification des sites en suivant les recommandations du rapport;

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
								Travaux de génie civil pour matérialisation des points.
Action 9	**Élaboration des fiches techniques pour la standardisation du suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau**	**DGRE**		**2023**		**PAEA**		
Activité 1	Élaborer un guide technique de procédures et standards pour le suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau.				**5**		Manuel de procédures et standards	Un tel guide permet de standardiser les pratiques et facilite la transmission du savoir-faire.
Action 10	**Donner de la visibilité au laboratoire de la DGRE et clarifier le rôle de chaque acteur de suivi de la qualité des eaux de surface**	**DGRE**	**MEA**	**2023**		**État**	**Laboratoire de la DGRE érigé en direction technique**	
Activité 1	Relire l'arrêté organisant le MEA en ce qui concerne la DGRE pour faire du laboratoire une direction technique de la DGRE	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 2	Définir des mécanismes règlementaires pour l'intégration des structures non étatiques (ONG/Associations, particuliers, industries publiques et parapubliques…) menant des activités de suivi de la qualité des eaux de surface	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 3	Mettre à disposition une partie de la CFE et l'appui budgétaire obtenu de l'État et des partenaires techniques et financiers pour suivi de la qualité des eaux	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 4	Définir les modalités d'ouverture d'un guichet d'opération du laboratoire pour le suivi de la qualité des eaux	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 5	Procéder à l'ouverture du dit guichet d'opération pour les activités du laboratoire et mettre en œuvre la stratégie d'opérationnalisation du laboratoire.	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 6	Prélever et analyser les échantillons avec les méthodes existant dans le laboratoire et sous-traités certains échantillons pour les paramètres n'existant pas encore au laboratoire	DGRE	DREA, AE	Continue	**8**	État		
Activité 7	Collecter les données des autres structures partenaires du laboratoire	DGRE	DREA, AE	Continue		PAEA		

Rappelons que le **plan d'action opérationnel** a pour but de faciliter la mise en œuvre des réseaux optimisés en commençant par les sites accessibles sur le plan sécuritaire. Les coûts estimatifs de la mise en œuvre et du suivi des 45 stations accessibles s'élèvent à 888,95 millions FCFA (Tableau 31). A ces coûts s'ajoutent ceux de toutes les activités qui peuvent être réalisées (e.g. maintenance et entretien des équipements accessibles, renforcement des capacités, etc.) dans le contexte actuel. Au total, le coût du plan d'action opérationnel s'élève à 1,147 milliard FCFA. La plupart des activités prévues dans le plan d'action initial peuvent être réalisées dans le contexte actuel et sont donc maintenues dans le plan d'action opérationnel.

A noter que chacune des 45 stations accessibles fait partie également du réseau national de qualité des eaux optimisé. Des équipements hydrochimiques (électrodes multi paramètres) sont associés à ces stations. Rappelons que les spécifications techniques des équipements sont données dans le DAO en Annexe **A10** (soumis séparément).

Tableau 31 : Coûts estimatifs de mise en œuvre et du suivi des stations accessibles des réseaux optimisés

Volet/ Activités	Coût Estimatif Total en situation normale (millions FCFA)	Coût Estimatif Total actualisé en tenant compte de la situation sécuritaire (millions FCFA)
Dépenses annuelles		
Inspection et maintenance des stations hydrométriques, et maintenance préventive des enregistreurs automatiques	31	12.24
Suivi du réseau hydrométrique de base optimisé	25.2	9.95
Suivi du réseau national hydrométrique optimisé	71.82	28.35
Suivi du réseau de base de qualité des eaux optimisé	17.2	6.79
Suivi du réseau national de qualité des eaux optimisé	49.02	19.35
Rémunération des lecteurs (90) et déplacements pour paiement des lecteurs	23.6	9.32
Travaux de réhabilitation des stations hydrométriques	13	5.13
Mécanisme de suivi et formation continue du personnel	20.5	8.09
Sous-total	250.94	99.05
Investissements		
Équipements : Échelles limnimétriques et accessoires (Lot 2 du DAO)	151	59.61
Équipements : Enregistreurs automatiques avec télétransmission (Lot 1 du DAO)	1250	493.42
Équipements hydrochimiques divers (Lot 3 du DAO)	600	236.84
Sous-total	2001	789.87
BUDGET ESTIMATIF TOTAL	2251.94	888.92

Tableau 32 : Plan d'action opérationnel

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
Action 1	**Acquisition et installation des équipements hydrométriques et de la qualité de l'eau pour les 45 stations accessibles**	**PAEA**	**DMP, DGRE**	**2022**			**Équipements hydrométriques et de qualité de l'eau acquis et installés**	Prioritaire
Activité 1	Acquérir le matériel	DGRE	DMP, PAEA	2022	888.92	PAEA	Équipements hydrométriques et de qualité de l'eau	Lancer le DAO, choisir le prestataire, réceptionner les équipements
Activité 2	Installer et mettre en route les équipements et former le personnel	DGRE	PAEA, DREA, AE	2022		PAEA	PV de réception; Equipements installés et mis en route ; Personnel formé	Par le fournisseur
Activité 3	Opérationnaliser l'acquisition des données par Télégestion	DGRE	DREA, AE	2022		PAEA	Données disponibles sur le serveur de la DGRE	
Activité 4	Acquérir des pièces de rechange et des consommables.	DGRE	DMP, DREA	2022		PAEA	Pieces de rechange et consommables disponibles	
Action 2	**Maintenance et entretien du réseau hydrométrique et de la qualité de l'eau (stations accessibles)**	**DGRE**	**DREA, AE**	**Continue**				Prioritaire
Activité 1	Inspecter et maintenir les stations automatiques hydrométriques	DGRE	DREA, AE	Continue	8	Etat, AE	Taux de fonctionnalité des réseaux optimisés	A distance compléter par les sorties de terrain au besoin
Activité 2	Inspecter visuellement et de façon régulière les installations	DREA	DGRE, AE	Continue		Etat, AE		Lecteurs d'échelles, pendant leurs lectures quotidiennes
Activité 3	Effectuer la maintenance préventive des stations automatiques hydrométriques; Planifier l'acquisition des pièces de rechange et les consommables	DGRE	DREA, AE	Continue	35.5	Etat, AE		Techniciens maintenanciers
	Suivre régulièrement l'ensemble des réseaux optimisés	DREA	DGRE, AE	Continue		Etat, AE		Personnel du suivi des réseaux
	Superviser le réseau hydrométrique	DGRE				Etat, AE		Hydrologues DEIE et DREA
Action 3	**Renforcement des capacités**	**DGRE**	**DREA, AE**	**Continue**				Prioritaire
Activité 1	Recruter le personnel complémentaire requis pour le suivi des réseaux de qualité des eaux optimisés et pour le laboratoire	DGRE		2023		PAEA	3 ingénieurs hydrochimistes; 3 techniciens supérieurs chimistes ou hydrochimistes;	A recruter si disponibles ou à former en partenariat avec des universités compétentes.

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
							5 techniciens chimistes ou hydrochimistes	
Activité 2	Recruter le personnel complémentaire requis pour le suivi des réseaux optimisés	DGRE		2023	**8**	PAEA	5 maintenanciers; 10 nouveaux lecteurs d'échelles	Formation à Agrhymet et formation des lecteurs. Ces maintenanciers sont chargés d'accompagner chaque UCDIEau pour la maintenance de leurs équipements
Activité 3	Formation de tous les agents du suivi, sur les nouveaux équipements acquis	DGRE	DREA, AE	2022	**14.2**	PAEA	22 maintenanciers formés (13 (DREA), 4 (DGRE), 5 (AE))	Un mois de formation intense avec la certification du fournisseur. Équipements hydrométriques et chimiques. Installation et entretien. Les agents formés viennent en appuis aux 5 maintenanciers
Activité 4	Assurer le recyclage bi-annuel des maintenanciers	DGRE	DREA, AE	Continue	**10**	AE	22 maintenanciers formés (13 (DREA), 4 (DGRE), 5 (AE))	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 5	Former les lecteurs d'échelles aux diagnostics et aux entretiens mineurs/courant des installations	DGRE	DREA, AE	2022	**5**	AE	90	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 6	Recyclage bi-annuel des lecteurs d'échelles aux diagnostics et l'entretien mineurs/courant des installations	DGRE	DREA, AE	Continue	**5**	AE	90	La DGRE pourra mieux déterminer le nombre final
Activité 7	Former les techniciens à l'utilisation du matériel de jaugeage	DGRE	DREA, AE	2022	**50**	PAEA	30 personnes formées (DGRE, DREA, AE)	Pour les formations certifiantes, la DGRE pourra mieux préciser le nombre de participants, y compris pour les formations plus pointues à l'extérieur du Burkina Faso
Activité 9	Former les agents à l'utilisation des bases données hydrologiques, à la validation des données et au comblement des données	DGRE	DREA, AE	2023				
Activité 10	Former les agents en modélisation hydrologique et SIG pour la valorisation des données	DGRE	DREA, AE	2022		PAEA		
Activité 11	Former les agents en conception et optimisation des réseaux	DGRE	DREA, AE	2022				
Activité 12	Former les agents sur l'utilisation d'information par satellite pour la planification et la gestion des ressources en eau	DGRE	DREA, AE	2023				
Activité 13	Établir un plan de maintenance des enregistreurs automatiques et des appareils d'analyse installés au labo	DGRE	DREA, AE	2022			Existence d'un guide de maintenance	
Action 4	**Mettre en place un mécanisme de sauvegarde des installations contre les actes de vandalisme** (stations accessibles)	**DGRE**	DREA, AE					
Activité 1	Sensibiliser et confier la sécurité des stations aux autorités locales et coutumières	DGRE	DREA, AE	2022	**11**	AE	Absence de vandalisme	Frais de mission pour campagne de sensibilisation

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
Action 5	**Dynamiser et coordonner la collecte des données**	**DGRE**						Prioritaire
Activité 1	Mettre en place une équipe de veille sur la continuité de la transmission des données au sein de la DEIE	DGRE	DREA, AE	Continue			Note de service de DEIE ou de DGRE	
Activité 2	Équiper chaque agent récepteur de données avec un Poste de Travail sécurisé	DGRE	DREA, AE	Continue	**30**	PAEA	20 Postes de Travail	
Activité 3	Améliorer l'accès à internet dans les centres de réception des données	DGRE	DREA, AE	Continue	**15**	PAEA	Internet haut débit à la DEIE, les 13 régions, les 5 AE	
Activité 4	Assurer la mise à niveau régulière des logiciels utiliser pour faciliter la réception et la gestion des données	DGRE	DREA, AE	Continue	**2**	AE	Logiciel de réception des données mis à jour	
Action 6	**Assurer la sécurité informatique des postes et des données**	**DGRE**	**DREA, AE**					
Activité 1	Automatiser le backup régulier des données et mettre à jours régulièrement les anti-virus des postes de travail	DGRE	DREA, AE	Continue	**1,5**	État- AE	Système opérationnel de backup des données	Le server doit avoir des disques parallèles pour le backup des données.
Activité 2	Élaborer et instaurer un protocole de protection et sécurité des données avec les prestataires utilisés.	DGRE	DREA, AE	Continue			Entente de confidentialité	Il s'agit de s'assurer que les données appartiennent au Burkina Faso et qu'aucune utilisation de ces données ne peut se faire sans aval
Activité 3	Sécuriser les données en dehors de la plateforme en ligne	DGRE	DREA, AE	Continue	**20**	PAEA	13 postes de travail sécurisant les données de chaque région, 5 postes de travail sécurisant les données dans les Agences de l'Eau et 2 postes de travail sécurisant les données nationales à la DEIE	Chaque poste de travail sécurisé a aussi un accès sécurisé à la base données du server au niveau national.
Action 7	**Valorisation des données**	**DGRE**	**DREA, AE**					
Activité 1	Assurer le traitement, le stockage, la diffusion des données, ainsi que l'élaboration des produits de diffusion (annuaires, bulletins, note d'information, synthèse, cartes thématiques etc.)	DGRE	DREA, AE	Continue	**10**	État- AE	Annuaires et bulletins hydrologiques disponibles	
Activité 3	Assurer le suivi, le traitement, la gestion et l'exploitation des données transmises	DGRE	DREA, AE	Continue		État, AE	Qualité des séries de données disponibles	
Action 8	**Matérialisation des points de prélèvements des sites accessibles**	**DGRE**						
Activité 1	Matérialisation des points de prélèvements des échantillons d'eau pour les sites accessibles	DGRE		2022		PAEA	Points de prélèvements matérialisés	Visites de terrain pour identification des sites en suivant les

		Responsabilité	Structures associées	Échéance	Coût estimatif (million FCFA)	Source de financement	Indicateurs de Résultat attendu	Commentaire
					20			recommandations du rapport; Travaux de génie civil pour matérialisation des points.
Action 9	**Élaboration des fiches techniques pour la standardisation du suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau**	**DGRE**		**2023**		**PAEA**		
Activité 1	Élaborer un guide technique de procédures et standards pour le suivi hydrométrique et de la qualité de l'eau.				**5**		Manuel de procédures et standards	Un tel guide permet de standardiser les pratiques et facilite la transmission du savoir-faire.
Action 10	**Donner de la visibilité au laboratoire de la DGRE et clarifier le rôle de chaque acteur de suivi de la qualité des eaux de surface**	**DGRE**	**MEA**	**2023**		**État**	**Laboratoire de la DGRE érigé en direction technique**	
Activité 1	Relire l'arrêté organisant le MEA en ce qui concerne la DGRE pour faire du laboratoire une direction technique de la DGRE	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 2	Définir des mécanismes règlementaires pour l'intégration des structures non étatiques (ONG/Associations, particuliers, industries publiques et parapubliques…) menant des activités de suivi de la qualité des eaux de surface	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 3	Mettre à disposition une partie de la CFE et l'appui budgétaire obtenu de l'État et des partenaires techniques et financiers pour suivi de la qualité des eaux	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 4	Définir les modalités d'ouverture d'un guichet d'opération du laboratoire pour le suivi de la qualité des eaux	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 5	Procéder à l'ouverture du dit guichet d'opération pour les activités du laboratoire et mettre en œuvre la stratégie d'opérationnalisation du laboratoire.	DGRE	DREA, AE	2023		État		
Activité 6	Prélever et analyser les échantillons avec les méthodes existant dans le laboratoire et sous-traités certains échantillons pour les paramètres n'existant pas encore au laboratoire	DGRE	DREA, AE	Continue	**8**	État		
Activité 7	Collecter les données des autres structures partenaires du laboratoire	DGRE	DREA, AE	Continue		PAEA		

18. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de cette mission d'étude est de doter le Burkina Faso d'un réseau national hydrométrique et d'un réseau national de qualité des eaux de surface, optimisés conformément aux directives techniques de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Cela a d'abord nécessité l'établissement de réseaux de base optimisés tel que recommandé par l'OMM. La première phase de l'étude a permis de réaliser un diagnostic complet du suivi actuel des réseaux y compris les aspects institutionnels, ressources humaines, financiers et l'état des réseaux actuels. Dans la deuxième phase de l'étude, une méthodologie robuste d'optimisation a été établie permettant de prendre en compte les divers besoins spécifiés.

La méthode DEMO retenue a nécessité des données/informations sur tous les critères à considérer dans le processus d'optimisation. Par conséquent, une synthèse des données et informations utilisées est livrée en spécifiant les techniques utilisées pour le traitement et l'analyse de chaque type de données. De plus, une analyse préliminaire du réseau hydrométrique actuel a été effectuée à l'aide de la théorie de l'entropie. Les résultats de cette analyse entropique indiquent que le réseau hydrométrique actuel n'est pas apte à fournir une information représentative des bassins versants observés. Tous les quatre (4) bassins versants nationaux contiennent des zones où le réseau actuel est déficient à l'exception de quelques sous-bassins du Mouhoun et de la Comoé où le réseau est moyen.

La méthode d'optimisation établie a permis de générer des propositions de réseaux optimaux qui ont fait l'objet de séances de travail avec les techniciens et acteurs concernés du MEA pour le choix des réseaux optimisés finaux.

Le réseau hydrométrique de base optimisé retenu comprend au total 40 stations à débits dont 32 stations existantes et 8 nouvelles stations. Le coût annuel du suivi de ce réseau de base optimisé est estimé à 25 millions. Le réseau national hydrométrique optimisé contient 72 stations à débits dont 14 nouvelles stations, et 42 stations à volume, soit un total de 114 stations. Le coût annuel du suivi du réseau national hydrométrique optimisé est estimé à 72 millions. Rappelons que le réseau national optimisé inclut le réseau de base optimisé.

Le réseau de base de qualité des eaux optimisé comprend 43 stations ou sites de prélèvements dont 3 stations spécifiques de surveillance des risques de pollution documentés. Le coût annuel du suivi est estimé à 17 millions ; tandis que le réseau national de qualité des eaux optimisé contient au total 128 stations ou sites de prélèvements dont 14 stations spécifiques dédiées au suivi des risques de pollution documentés.

Dans ce réseau, 75 stations sont sur rivières et 53 sur barrages. Le coût annuel du suivi de ce réseau national de qualité des eaux optimisé est estimé à 49 millions. Le couplage des sites de prélèvements (ou stations qualité) avec les sites potentiels de pollution et la répartition spatiale des paramètres actuels de qualité des eaux, a permis de démontrer la pertinence du réseau optimisé pour le suivi de la qualité des eaux de surface et la surveillance des risques de pollution.

En tenant compte des besoins de maintenance et de la rémunération des lecteurs d'échelles, le coût annuel estimatif de suivi des réseaux optimisés (hydrométrique et qualité de l'eau) s'élève à 174,6 millions. Comparé au coût moyen annuel de suivi du réseau actuel (non-optimisé), l'augmentation du coût est essentiellement due au 150% d'augmentation du nombre de stations du réseau national de qualité des eaux.

Les équipements requis pour la mise en place des réseaux optimisés incluent essentiellement des enregistreurs automatiques avec télétransmission, des échelles limnimétriques, des appareils et sondes hydro-chimiques. Le coût de ces équipements s'élève à 2252 millions y compris les coûts d'installation, et représente environ 90% du budget global requis pour l'opérationnalisation et le suivi annuel des réseaux optimisés. Le coût annuel estimatif de la maintenance et du suivi des réseaux optimisés représente environ 8% du budget global estimé.

Pour faciliter l'appropriation des résultats de l'étude et l'opérationnalisation des réseaux optimisés :

(i) Une formation a été livrée aux techniciens concernés du MEA sur l'optimisation des réseaux.

(ii) Des équipements modernes adéquats ont été identifiés, leur choix justifié, et proposés y compris un système de télétransmission pour toutes les stations du réseau de base comme début. La télétransmission pourra ensuite être étendue aux autres stations du réseau national en fonction des besoins et de la disponibilité des ressources financières.

(iii) Un programme de renforcement des capacités est également fourni pour aider à une meilleure planification de la formation continue et du recyclage des techniciens impliqués dans le suivi des réseaux optimisés.

(iv) Un plan d'action détaillé est livré pour l'opérationnalisation des résultats de l'étude et permettre une montée en puissance progressive des réseaux nationaux optimisés.

(v) Un manuel de procédure (protocole détaillé) de suivi des stations hydrométriques est fourni.

(vi) Enfin, un dossier d'appel d'offre (DAO) est fourni pour la fourniture, l'installation des équipements, et la formation des agents concernés pour la gestion et la maintenance des équipements.

Cette première mission d'optimisation des réseaux de suivi des RE du Burkina Faso a livré tous les éléments et outils techniques nécessaires pour que le pays soit doté de réseaux optimisés opérationnels qui répondent aux besoins identifiés. Les recommandations suivantes sont faites en renforcement du contenu du plan d'action livré :

(i) L'établissement d'une connexion Internet à haut débit à la DGRE/DEIE et dans les DREA est indispensable pour l'opérationnalisation des réseaux optimisés puisque les équipements modernes assument un accès Internet pour la collecte des données, la gestion et vérification régulière des équipements.

(ii) Les réseaux optimisés devront être actualisés au moins tous les 10 ans pour prendre en compte l'évolution des besoins.

(iii) La formation rapide d'une équipe de maintenanciers pour la réhabilitation des équipements en panne et pour assurer une maintenance régulière des stations des réseaux optimisés, est indispensable pour assurer une durabilité des réseaux.

(iv) Compte tenu des lacunes observées dans les données historiques de débits et de hauteurs d'eau disponibles, une validation des données à l'aide de méthodes robustes est nécessaire, et permettra d'établir une bonne base de données à laquelle s'ajouteront les données des réseaux optimisés.

(v) Enfin, pour éviter un élargissement des réseaux optimisés pour répondre à des besoins d'usages locaux, un réseau national de suivi des usages devrait être établi. Ce réseau devra reposer sur une cartographie détaillée des usages, des risques de pollution industrielle, agricole et minière. La mise en place de ce réseau de suivi des usages devra être accompagnée d'une législation sur le suivi des rejets industriels et miniers y compris la responsabilité des pollueurs dans le suivi de leurs rejets. Cela permettra de mieux connaitre les usages réels et de mieux prévenir les divers risques de pollution y compris ceux liés aux contaminants émergents tels que les perturbateurs endocriniens ou hormonaux.

Une bonne opérationnalisation et une maintenance régulière des réseaux optimisés permettront d'une part à la DGRE de mieux assumer son rôle régalien de suivi des RE et d'autre part de mieux faire face aux défis du changement climatique dans le secteur de l'eau. La prise en compte du changement climatique dans l'optimisation des réseaux du Burkina Faso est une avancée majeure et sans doute une première dans la sous-région.

19. REFERENCES

ABN/BRL ingénierie : Etude préliminaire sur la pérennisation du suivi hydrologique, Mai 2020.

Agence de l'Eau du Nakanbé (AEN) 2020. Rapport de la mission conjointe de constatation de la mort suspecte de poissons dans la retenue d'eau de Guitti.

Alfonso, L.; Lobbrecht, A.; Price, R. (2010). Optimization of water level monitoring network in polder systems using information theory. *Water Resour. Res.* 2010, *46*, 1–13.

Bagnouls, F. and H. Gaussen. 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie* 66(355): pp 193-220.

Banque Mondiale (2017). Evaluation des ressources en eau et des demandes sectorielles : Bilan Besoin-Ressources.

Banque Mondiale (2017). Amélioration de la connaissance et de la gestion des eaux au Burkina Faso : évaluation des Ressources en Eau et des demandes sectorielles, bilan besoins ressources du Burkina Faso. Rapport de diagnostic, P1262273, 2017.

COWI, 2019. Rapport de l'étude de la stratégie de suivi et d'évaluation des ressources en eau.

Dosio, A., Turner,A.G., Tamoffo, A.T., Sylla, M.Lennard, C., Jones, C.R., Terray, L., Nikulin, G., and Bruce Hewitson, B. (2020). A tale of two futures: contrasting scenarios of future precipitation for West Africa from an ensemble of regional climate models. Environmental Research Letters, 15 (2020) 064007.

DGIRH/ S. Ludovic Evariste KAM, Mission d'appui à l'amélioration de la qualité et à la réorganisation des données de la DGIRH, rapport définitif, décembre 2002.

DGIRH/Kandaogo SAVADOGO, Etude complémentaire sur l'optimisation du réseau hydrométrique national, avril 2004.

DGRE 2017. Etat des lieux de la qualité des eaux brutes du bassin versant hydrographique du Nakanbé (Burkina Faso), Rapport technique.

DGRE 2018. Rapport de synthèse de l'atelier de définition d'un réseau optimisé de suivi de la qualité des eaux brutes au Burkina Faso.

DGRE 2020. Rapport sur l'état des lieux de la qualité des eaux brutes du bassin du Mouhoun: rapport d'inventaire partiel 2017-2019.

DGRE, synthèse du suivi des ressources en eau 2019

Étude d'identification d'un réseau secondaire de suivi des ressources en eau de l'espace de compétence de l'Agence de l'Eau du Mouhoun, novembre 2017 Rapport Berase.

Étude de la stratégie nationale de suivi et d'évaluation des ressources en eau. Rapport diagnostic, 2019 (COWI).

Ganguli, P., Coulibaly, P., 2019. Assessment of future changes in intensity-duration-frequency curves for Southern Ontario using North American (NA)-CORDEX models with nonstationary methods. J. Hydrol. Reg. Stud. 22, 100587.https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.12.007

Hosking, J., Wallis, J. 1997. Regional Frequency Analysis: An Approach based on L-moments. Cambridge University Press.

Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Agence Française pour le Développement (AFD), Autorité du Bassin du Niger (ABN), juillet 2006.

KHAN, M. S., COULIBALY, P. and DIBIKE, Y. B. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319, 357-382.

Keum, J., Kornelsen, K., Leach, J., Coulibaly, P. (2017). Entropy Applications to Water Monitoring Network Design: A Review. *Entropy*, 19, 613, doi:10.3390/e19110613.

Keum, J.; Coulibaly, P. (2017). Information theory-based decision support system for integrated design of multivariable hydrometric networks. *Water Resour. Res.* 2017, doi:10.1002/2016WR019981.

Lalo, C (2021). Le grand désordre hormonal. Edition « Cherche-Midi » No. 346 377.

Leach J. M., Kornelsen K. C., Samuel J., & Coulibaly P. (2015). Hydrometric network design using streamflow signatures and indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology* 529(3), 1350-1359.

Merill, M.A. et Al. 2020. Consensus on the key characteristics of endocrine-disrupting chemicals as a basis for hazard identification. *Nature Reviews Endocrinology*, volume 16, pages 45–57 (2020).

MAHRH-SG, 2004. Plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau). Version finale.

MCA (2011). Rapport sur l'état des lieux de la qualité des eaux dans les bassins du Mouhoun et de la Comoé dans le cadre du projet AD9.1

MEE / DGH/ GIRE CARL Bro – DHI/ VKI-IWACO Avril 2001, Connaissance de ressources en eaux sur le plan quantitatif, Pertinence du système de suivi.

MEA (2021) – Étude d'optimisation des réseaux hydrométriques et de qualité des eaux de surface du Burkina Faso. Rapport Diagnostic juillet 2021 (AHT-WRC).

Mishra A. K., & Coulibaly P. (2009). Developments in hydrometric network design: A review. *Reviews of Geophysics* 47(2), RG2001.

Mishra, A.K. and Coulibaly, P. (2010). Hydrometric network evaluation for Canadian watersheds. *Journal of Hydrology*, 380: 420-437.

MMDI, (Mott MacDonald International), BCEOM, SOGREAH, et ORSTOM. « Evaluation hydrologique de l'Afrique sub-saharienne : pays de l'Afrique de l'Ouest : rapport régional ». Banque Mondiale, Programme des Nations Unies pour le Développement; et Ministère Français de la Coopération, décembre 1992.

Munoz et. 2013. Human Health Risks and EDs Removal from Water Through Nanofiltration. International Perspectives on Water Quality Management and Pollutant Control. DOI: 10.5772/54482

OMM, (Organisation Mondiale de la Météorologie). «Document de projet Niger-HYCOS, système d'information hydrologique au service d'une gestion intégrée des ressources en eau pour le bassin du Niger : Composante régionale du Système mondial d'observation du cycle hydrologique (WHYCOS) ».

OMM, Guide des pratiques hydrologiques Volume I Hydrologie – De la mesure à l'information hydrologique OMM-N° 168, Sixième édition 2012.

Partie 1 : Rapport diagnostic

Plan de conception et de mise en œuvre du Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau). Version finale. MAHRH/SG/DGIRH. Novembre 2004.

Priceputu, A. M. and H. Greppin. 2005. Modelling Climate Change Impacts and Vulnerability inSwitzerland. Chapter 14 of *Coupling of Climate and Economic Dynamics: Essays on IntegratedAssessment*. Haurie A. and Viguier, L. pp 355-381.

Rapport de la mission de diagnostic des stations hydrométriques réhabilitées dans l'espace de compétence de l'agence de l'eau des Cascades et du Mouhoun suivies par la DREA-HBS.

Rapport Volta-HYCOS, Burkina Faso. Diagnostic de l'état des stations Volta-HYCOS au Burkina Faso. MAHRH/SG/DGIRH. 2009.

Razavi, T., Coulibaly, P. (2013). Streamflow prediction in ungauged basins: Review of regionalization methods.*ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, 8(8): 958-975.

Razavi, T., Coulibaly, P. (2013). Classification of Ontario watersheds based on physical attributes and streamflow series. *Journal of Hydrology*, 493: 81-94.

Reed P. M., Hadka D., Herman J. D., Kasprzyk J. R., & Kollat J. B. (2013). Evolutionary multiobjective optimization in water resources: The past, present and future. *Advances in Water Resources* 51, 438-456.

Requena, A.I., Nguyen, T.H., Burn, D.H., Coulibaly, P., Nguyen, V.T.V. (2021) A temporal downscaling approach for sub-daily gridded extreme rainfall intensity estimation under climate change. Elsevier - *Journal of Hydrology: Regional Studies.* Volume 35, 100811. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100811.

Samuel J., Coulibaly P., & Metcalfe R. (2011). Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: Comparison of regionalization methods. *Journal of Hydrology* 16(5), 447-459.

Samuel, J., Coulibaly, P., Kollat, J. (2013). CRDEMO: Combined regionalization and dual-entropy-multiobjective optimization for hydrometric network design. *Water Resources Research* Vol. 49, 8070–8089, doi:10.1002/2013WR014058,

Service de l'Hydrologie. Annuaires hydrologiques de Haute Volta et du Burkina Faso 1966 à 1987.

Strahler, A. N. (1952), "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology", Geological Society of America Bulletin, 63 (11): 1117–1142.

Schwalm, C.R., Glendon, S., Duffy, P.B. (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020; 202007117 DOI: 10.1073/pnas.2007117117

Vulliet, E., et al. (2011). Occurrence of pharmaceuticals and hormones in drinking water treated from surface waters. *Environmental Chemistry Letters*, volume 9: 103-114.

20. ANNEXES

A1. ETAT DES STATIONS DU RESEAU HYDROMETRIQUE ACTUEL

A2. DETAILS DES STATIONS DES RESEAUX OPTIMISES

A3. DETAILS DES STATIONS SPECIFIQUES DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX

A4. EQUIPEMENT PAR STATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE OPTIMISE

A5. DETAILS DES INFORMATIONS UTILISEES POUR L'ESTIMATION DES COUTS

A6. ARRÊTÉ CONJOINT 2000-0015/MEF/MEE DU 26 JUIN 2000, PORTANT TARIFICATION DES REDEVANCES POUR SERVICES RENDUS EN MATIÈRE HYDRAULIQUE

A7. MANUEL DE PROCEDURES DE SUIVI DES STATIONS HYDROMETRIQUES

A8. PROGRAMME DE LA FORMATION LIVREE SUR L'OPTIMISATION DES RESEAUX

A9. LISTE DES STATIONS ACCESSIBLES DES RESEAUX OPTIMISES

A10. DOSSIER D'APPEL D'OFFRE (DAO) : Soumis séparément.

A1. ETAT DES STATIONS DU RESEAU HYDROMETRIQUE ACTUEL

INFORMATION UTILISEE DANS LE CHOIX DES RESAUX OPTIMISES

BVN COMOE

N°	Nom de station	Cours d'eau	Coordonnées de la station		Superficie BV km²	Année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	Etat*			
1	Diarabakoko	Comoé	10.454	-4.69	2433	1955	Bon	OTT Thalimèdes	2013	Moyen	**Moyen**	O	2017	
2	Folonzo	Comoé	9.95	-4.6	9480	1969	Moyen	OTT CBS à bulle OTT Net DL	2013 2016	Mauvais	**Mauvais**	O	2017	
3	Barrage Moussodougou	Comoé	10.7	-4.94			Bon				**Bon**	O		gérée par la SN SOSUCO
4	Karfiguéla-Radier	Comoé	10.72	-4.8	812	1952	Mauvais	OTT Thalimèdes	2013	Moyen	**Mauvais**	N		
5	Barrage de Toussiana	Yannon	10.86	-4.61			Mauvais				**Mauvais**	O		gérée par la SN SOSUCO
6	Barrage Bodiadiougou	Lobi	10.767	-5.91			Bon				**Bon**	O		gérée par la SN SOSUCO
7	Samogohiri	Koba	10.9	-5.0		01/06/1996	Bon	OTT Thalimèdes	2013	Mauvais	**Mauvais**	O		Gaine emportée par les hautes eaux de la saison des pluies en 2014 ;
8	Yendéré	Léraba	10.209	-5.09	5930	1955	Moyen	OTT Thalimèdes OTT Net DL	2013 2017	Moyen	**Moyen**	O	2017	la gaine est en très mauvais était, risque de tomber
9	Fourkoura	Léraba occidentale	10.29	-5.372	2550	1974	Bon	OTT CBS à bulle		Mauvais	**Mauvais**	O	2016	La prise de pression n'est pas réinstallée depuis 2014
10	Barrage de Douna	Léraba orientale	10.6799	-5.09736			Bon	OTT CBS à bulle		Bon	**Bon**	O		

Sources des données : DGRE

BVN MOUHOUN

N°	Nom de station	Cours d'eau	Coordonnées de la station		superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
1	Nwokuy amont	Mouhoun	12.5048	-3.55378	14800	1954	passable	Sutron	2015	bon mais flotteur coincé	Moyen	O	2020	
2	Nwokuy aval	Mouhoun	12.526	-3.54522	14800		mauvais	OTT Thalimèdes	2014	bon	Mauvais	N		
3	Barrage de Soum	Vranso									Inconnu			
4	Lery canal	Mouhoun	12.7501	-3.43897	27000	1984	passable				Moyen	O		
5	Lery barrage	Mouhoun	12.7524	-3.43594	27000	1980	passable				Moyen	O		
6	Lery nord	Mouhoun	12.7512	-3.43439	11000	1952	passable				Moyen	O		
7	Manimensso	Mouhoun	12.7416	-3.39892	2000	1954	passable				Moyen	O	2018	
8	Yaran	Sourou	12.9791	-3.44706	20000	1955	passable	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Moyen	O		
9	Tourouba	Mouhoun	12.3639	-3.71444	13600		Bon	OTT Thalimèdes		Bon	Bon		2020	
								OTT Net DL	2017	Non réceptionné		O		
10	Pa	grand ballé	11.6064	-3.18319	3780	1966	passable	-OTT CBS à bulle -SEBA GSM/GPRS	2013 2021	Bon	Moyen	O		
11	Barrage de Vy	grand ballé	11.7626	-3.14036			passable				Moyen	O		
12	Poura	Bolo	11.7152	-2.73783	1797	1984	passable				Moyen	O	2020	
13	Boromo	Mouhoun	11.7806	-2.58	37000	1955	passable	OTT Thalimèdes	2013	Bon	Moyen	O	2020	en plus d'un Seba
								OTT Net DL SEBA GSM/GPRS	2017 2021	Non réceptionné	Moyen			
14	Bourasso	Vouhoun	12.6952	-3.6915	5200	?	passable	OTT Thalimèdes	2014	Bon	Moyen	?	?	
15	Tenado	Mouhoun	12.2067	-2.827	24000	1975	passable	OTT Thalimèdes	2013	Bon	Moyen	O	2020	
16	Ninion	Vranso	12.5211	-2.38739	1890	1984	Mauvais				Mauvais	N		n'est pas suivi
17	Banzon	Mouhoun	11.3167	-4.81667	2816	1959	Bon				Bon	O		
18	Dapola	Mouhoun	10.5609	-2.9125	67000	1956	Bon	- OTT CBS à bulle -OTT Net DL	2013 2017	bon	Bon	O		Câble du capteur de mesure de pression, Tube galva de protection endommagés

N°	Nom de station	Cours d'eau	Coordonnées de la station		superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
19	Guéna	Mouhoun	11.0782	-4.68297	6800	1956	Bon	OTT CBS à bulle	2014	bon	Bon	O	2020	Batterie hors usage. Guérite est habitée par des abeilles qui avaient déjà été délogées. Problème d'étanchéité
20	Ouéssa	Mouhoun	11.0196	-2.82514	50820	1969	passable	OTT Thalimèdes	2013	Bon	Moyen	O	2017	6 échelles et leurs supports à remplacer et piles hors usage
21	Samandéni	Mouhoun	11.4667	-4.46667	4580	1954	Bon	Sutron	2015	bon	Bon	O	2017	Problème de batterie
22	Noumbiel	Mouhoun	9.68333	-2.76667	87100	1975	Mauvais	OTT CBS à bulle	2013	Mauvais	Mauvais	N		Toute la station vandalisée (éléments + appareils)
23	Confluence Kou-Mouhoun	Mouhoun	11.5159	-4.26008	1900	?	Bon	OTT CBS à bulle	2014	Bon	Bon	N		
24	Bonvalé	Siou	11.77	-4.204	3200	2013	Bon	OTT CBS à bulle	2014	bon	Bon	O	2020	Remplacer la batterie, Prise de pression à réinstaller
25	Dan	Bougouriba	10.92	-3.657	6345	1970	Bon	OTT Thalimèdes	2013	bon	Bon	O	2020	Pile hors usage
26	Diébougou	Bougouriba	10.94	-3.170	12200	1955	Bon	-OTT CBS à bulle - SEBA GSM/GPRS	2013 2021	bon	Bon	O		Station vandalisée, batterie, tube galva à remplacer, prise de pression à réinstaller
27	Badara	Kou	11.36	-4.366	971	1955	Bon				Bon	O		
28	Confluence Niamé-Baoulé	Kou	11.41	-4.33		?	Mauvais	OTT Thalimèdes	2014	Bon	Mauvais	N		pile hors usage
29	Ouéssa	Mouhoun	12.7	-3.41	21000	1955	Mauvais	OTT Thalimèdes	2013	bon	Mauvais	N		pile hors usage
30	Lanvièra	Plandi	11.26	-6.91	1100	1961	Mauvais				Mauvais	O		station détruite depuis 2014
31	Batié	Bambassou	9.990	-2.90	56,3	01/06/1971	Moyen	OTT CBS à bulle	2013	bon	Moyen	O	2016	borniers et batterie à remplacer

Sources des données : DGRE

BVN KAKANBE

N°	Nom de station	cours d'eau	Coordonnées de la station		Superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			Latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
1	Barrage de Goinré	Nakanbé	13.6235	-2.443	168	07/ 1984	Bon				Bon	O		
2	Barrage de Tougou	Nakanbé	13.68	-2.214	460	1988	Bon				Bon	O		
3	Barrage de Titao	Nakanbé	13.778	-2.0676	400	1983	Bon				Bon	O		
4	Rambo	Nakanbé	13.59	-2.080	2375	1982	Bon				Bon	O	2017	
5	Niessega	Kourougui	13.12	-2.346	1190	1995	Bon	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Bon	O	2020	
6	Barrage de Dourou	Nakanbé	13.0281	-2.0611		1996	Bon	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Bon	O		
7	Dombré	Sandogo	13.51	-2.203	950	2003	Bon				Bon	O		
8	Barrage de séguénega	Nakanbé	13.432	-1.95	638	2009	Bon				Bon	O		
9	Lac Bam	Nakanbé	13.33	-1.515	2610	1955	Bon		2017		Bon	O		
10	Lac Sian	Nakanbé	13.094	-1.219	752 (sans Dem)	1984	Bon				Bon	O		
11	Barrage de louda	Nakanbé	13.017	-1.05	335	2008	Bon				Bon	O		
12	Tampelega	Nakanbé	12.88	-1.197	16000	1997	Bon	Sutron	2015	vandalisé	Mauvais	O	2017	
13	Bissiga	Nakanbé	12.75	-1.15	16965	1975	Bon				Bon	O	2017	sera remplacée par Tampelga
14	Sanogo	Tcherbo	11.72	-0.559	272	1994	Bon				Bon	O	2017	
15	Komtoega	Douglamoundi	11.853	-0.66	2460		Bon				Bon	O	2017	
16	Bittou	Nouaho	11.215	-0.26	4050	1973	Bon				Bon	O		
17	Petit Bagré	Nakanbé	11.473	-0.512		1984	Bon				Bon	O		
18	Bagré aval	Nakanbé	11.409	-0.51		1976	Bon	Sutron	2015	Problème batterie	Moyen	O	2017	
19	Ziou	Nazinon	11.097	-0.70	10700	1990	Bon				Bon	O	2017	

N°	Nom de station	cours d'eau	Coordonnées de la station		Superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			Latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
20	Barrage de Manga Louré	Nakanbé	11.663	-1.042		1989	Bon				Bon	O		
21	Dakaye	Nazinon	11.830	-1.567	4540	1975	Moyen				Moyen	O		
22	Barrage de Guiti	Nakanbé	12.891	-1.195	4931	?	?	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Inconnu	?	?	pas encore suivi
23	Barrage de Itengué	Nakanbé	12.2	-0.388	103	1989	Moyen				Moyen	O		
24	Gonsé	Massili	12.44	-1.35	2100	1975	Mauvais				Mauvais	O	2017	
25	Wayen	Nakanbé	12.37	-1.080	21317	1955	Mauvais	OTT Net DL	2017	désinstallé	Mauvais	O	2015	travaux routiers
26	Barrage de Loumbila	Massili	12.483	-1.4	2120	1956	Bon				Bon	O		
27	Barrage de Ouaga 3	Massili	12.383	-1.55	350	1955	Bon				Bon	O		
28	Barrage de Ziga	Nakanbé	12.425	-1.083	20859	2000	Bon				Inconnu	ONEA		
29	Barrage de Ouahigouya	Nakanbé	13.583	-2.43	151	1984	Bon				Bon	O		
30	Nobéré	Nazinon	11.766	-1.183	7600	1965	Mauvais	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Mauvais	N		sera remplacée par Ziou
31	Nebbou	Sissili	11.283	-1.933	3240	1974	Mauvais				Mauvais	N		
32	Kounou	Sissili	11.083	-1.483	6120	1979	Moyen	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Moyen	N		
33	Bagré Barrage	Nakanbé	11.45	-0.55	33120	1992	Bon				Bon	O		
34	Barrage de Mogtédo	Nakanbé	12.305	-0.824	492		Bon				Bon	O		
35	Arly	Pendjari	11.43	1.56	10960	1976	Moyen	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Moyen	N		
36	Arly	Doudodo	11.533	0.416	6050	1969	Moyen	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Moyen	N		

Sources des données : DGRE

BVN NIGER

N°	Nom de station	cours d'eau	Coordonnées de la station		superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
1	Barrage de Sidi Kompienga	Sirba	12.541	-0.0083		1998	Moyen				Moyen	O		
2	Barrage de Tougouri	Faga	13.3	-0.51		01/07/1982	Moyen				Moyen	O		
3	Barrage de Yalgo	Faga	13.58	-0.270		01/06/1982	Bon				Bon	O		
4	Barrage de Dakiri	Faga	13.30	-0.276		1982	Bon				Bon	O		
5	Barrage de Mani	Faga	13.39	-0.2261	2792	1982	Bon				Bon	O		
6	Gongorgo à Mani	Faga	13.3825	-0.2444	5000	1973	Bon				Bon	O		réouverte en 2015
7	Barrage de Liptougou	Faga	13.325	-0.4138	16048	2011	Bon	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Bon	O		
8	Déversoir Liptougou	Faga	13.18	0.411	16048	2011	Bon				Inconnu	O	2015	
9	Tin-Akoff	Beli	14.97	0.16	2360	1963	Mauvais				Mauvais	O		
10	Mare d'Oursi	Beli	14.67	-0.454	274	1976	Mauvais				Mauvais	O		
11	Falangountou	Feildegassé	14.367	0.183	3725	1987	bon				Bon	O	2015	
12	Korizena	Gorouol	14.368	0.03025	2500	1955	bon				Bon	O	2015	
13	Sebba	Yali	13.448	0.521	2280	1976	Bon	OTT Net DL	2017	Non réceptionné	Bon	O	2015	
14	Higa	Bagongou	13.6055	0.722	150	1985	Bon				Bon	O		
15	Barrage de Seytenga	Sirba	13.968	0.30		1989	Bon				Bon	O		
16	Bottou	Dyamongou	12.68	2.06	2994	1976	Moyen				Moyen	O		
17	Mare Markoye	Beli	14.639	-0.034		1985	Mauvais				Mauvais	O		
18	Barrage de sidi Kompienga	Sirba	12.621	0.077		1998	Bon				Bon	O		
19	Bossegal	Sirba	12.91	0.533	9920	1973	Bon				Bon	N		sera remplacée par Bassiery

N°	Nom de station	cours d'eau	Coordonnées de la station		superficie BV km2	année de création	Equipements				Evaluation	Observateur O/N	Derniers jaugeages	Observations
							Echelle Etat	Enregistreur			Station			
			latitude	Longitude				Type	Installation	Etat	*Etat			
20	Barrage de Bilanga	Sirba	12.54	0.010			Bon	OTT CBS à bulle	juin-14	bon	Bon	O		baterrie hors usage
21	Bassierie	Sirba	13.80	0.38		2010	Bon				Bon	O		
22	Barrage de Diapaga	Tapoa	12.00	1.76	2374	1984	Bon	OTT CBS à bulle	juin-14	Désinstallé?	Inconnu	O		travaux barrage
23	Dingasso	Dougo	11.7	-4.81			Bon				Bon	O		

Sources des données : DGRE

A2. DETAILS DES STATIONS DES RESEAUX OPTIMISES

DETAILS DES STATIONS A DEBITS DES RESEAUX OPTIMISES

Nom_station	Type de réseau	Bassin	New_or_Existing	Cours_d'eau	latitude	Longitude	Région	Superficie	Echelle_Etat	Type_équipement	Date_installation	Observateur	Dernier_jaugeage	Observations
Diarabakoko	Réseau de Base	Comoe	Existante	Comoé	10.454389	-4.699806	CASCADES	2433	Bon	OTT Thalimèdes	2013	O	2017	
Folonzo	Réseau de Base	Comoe	Existante	Comoé	9.951123	-4.614266	CASCADES	9480	Moyen	OTT CBS à bulle	2013	O	2017	
Fourkoura	Réseau de Base	Comoe	Existante	Léraba occidentale	10.294611	-5.372778	CASCADES	2550	Bon	OTT CBS à bulle	O	O	2016	
Karfiguéla-Radier	Réseau national	Comoe	Existante	Comoé	10.728111	-4.822694	CASCADES	812	Mauvais	OTT Thalimèdes	O	N	O	
Samogohiri	Réseau de Base	Comoe	Existante	Koba	10.9355	-5.098056	HAUTS-BASSINS	O	Bon	OTT Thalimèdes	O	O	O	
Yendéré	Réseau de Base	Comoe	Existante	Léraba	10.209722	-5.091278	CASCADES	5930	Moyen	OTT Thalimèdes	2017		2017	
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Codoun	9.940165	-3.71647	CASCADES							position finale à determiner
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Baoue	9.909673	-3.894077	CASCADES							position finale à determiner
Nouvelle station	Réseau de Base	Comoe	Nouvelle	Iringou	9.772322	-4.248881	CASCADES							position finale à determiner
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Comoe	9.6612	-4.437814	CASCADES							position finale à determiner
Boulon (Nouvelle station)	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Sinlo à boulon	10.465461	-4.528898	CASCADES							position finale à determiner
Bonvalé	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Siou	11.782625	-4.208942	HAUTS-BASSINS	3200	Bon	OTT CBS à bulle	2014	O	O	
Dapola	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	10.560861	-2.9125	SUD-OUEST	67000	Bon	OTT CBS à bulle	2013	O	O	
Lery canal	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.750056	-3.438972	BOUCLE-MOUHOUN	O	passable		O	O	O	
Nwokuy amont	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.504833	-3.553778	BOUCLE-MOUHOUN	14800	passable	Sutron	2015	O	2017	
Samandéni	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.462643	-4.464809	HAUTS-BASSINS	4580	Bon	Sutron	2015	O	2017	
Tenado	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.2067	-2.827	BOUCLE-MOUHOUN	24000	passable	OTT Thalimèdes	2013	O	2018	
Ninion	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.5211	-2.38739	BOUCLE-MOUHOUN	1890	Mauvais				N	N'est pas suivi
Dan	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Bougouriba	10.925056	-3.657917	HAUTS-BASSINS	6345	Bon	OTT Thalimèdes	2013	O	2017	
Ouéssa	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.019639	-2.825139	SUD-OUEST	50820	passable	OTT Thalimèdes	2013	O	2017	
Batié	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Bambassou	9.990111	-2.90675	HAUTS-BASSINS	O	Moyen	OTT CBS à bulle	2013	O	2016	
Noumbiel	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	9.683333	-2.766667	SUD-OUEST	87100	Mauvais	OTT CBS à bulle	2013	N	O	
Padara	Réseau de base	Mouhoun	Existante	Kou	11.366667	-4.366667	HAUTS-BASSINS	971	Bon		O	O	O	
Pa	Réseau national	Mouhoun	Existante	grand ballé	11.606444	-3.183194	BOUCLE-MOUHOUN	3780	passable	OTT CBS à bulle	2013	O	O	
Poura	Réseau national	Mouhoun	Existante	Bolo	11.715167	-2.737833	CENTRE-OUEST	1797	passable		O	O	2017	
Confluence Kou-Mouhoun	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.515917	-4.260083	HAUTS-BASSINS	1900	Bon	OTT CBS à bulle	2014	N	O	
Guéna	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.078167	-4.682972	HAUTS-BASSINS	6800	Bon	OTT CBS à bulle	2014	O	O	
Banzon	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.324642	-4.810308	HAUTS-BASSINS	2816	Bon		O	O	O	Déplacer en amont
Lanvièra	Réseau national	Mouhoun	Existante	Plandi	11.267	-4.91	HAUTS-BASSINS	1100	Mauvais		O	O	O	
Lery Nord	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.7512	-3.43439	BOUCLE-MOUHOUN	O	passable		O	O	O	
Manimensso	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.741611	-3.398917	BOUCLE-MOUHOUN	2000	passable		O	O	2018	
Tourouba	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.363917	-3.714444	BOUCLE-MOUHOUN	O	Bon	OTT Thalimèdes,OTT M	2017	O	O	
Boromo	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.779271	-2.915748	BOUCLE MOUHOUN	37000	passable	OTT Thalimèdes,OTT M	O	O	2018	
Diébougou	Réseau national	Mouhoun	Existante	Bougouriba	10.941167	-3.170722	SUD-OUEST	12200	Bon	OTT CBS à bulle	2013	O	O	
Bourasso station deplacee	Réseau national	Mouhoun	Nouvelle	Vouhoun	12.5958333	-3.76671481	BOUCLE MOUHOUN	5200	Bon	OTT Thalimèdes		N	O	Deplacer station en amont
Arly-Pendjari	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Pendjari	11.4678	1.5676	EST	10960	Moyen	OTT Net DL	2017	N	O	Nouveau nom : à confirmer
Arly	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Doudodo	11.5736	1.452	EST	6050	Moyen	OTT Net DL	2017	N	O	
Dakaye	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.790203	-1.623531	CENTRE-SUD	4540	Moyen		O	O	O	
Gonsé	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Massili	12.442667	-1.353889	CENTRE	2100	Mauvais		O	O	2017	
Komtoega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Douglamoundi	11.889457	-0.693509	CENTRE-EST	O	Bon		O	O	2017	
Kounou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Sissili	11.086564	-1.484674		6120	Moyen	OTT Net DL	2017	N	O	
Nebbou	Réseau national	Nakanbe	Existante	Sissili	11.353292	-2.064097	HAUTS-BASSINS	3240	Mauvais		O	N	O	
Niessega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Kourougui	13.122194	-2.346222	NORD	O	Bon	OTT Net DL	2017	O	2017	
Tampelega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.886306	-1.192167	CENTRE-NORD	O	Bon	Sutron	2015	O	2017	
Wayen	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.379139	-1.080111	PLATEAU-CENTRAL	O	Mauvais	OTT Net DL	2017	O	2015	
Ziou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.097806	-0.70775	CENTRE-SUD	O	Bon		O	O	2017	
Kompienga aval	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle	koulpelogo	11.078236	0.70452	EST							Coodonnée a revoir
Singou à Samboali	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle		11.3244	0.9821	EST							position finale à determiner
Rambo	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	13.69592	-2.054306	NORD		Bon		O	O	2017	
Bissiga	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.75	-1.15	CENTRE-NORD	16965	Bon		O	O	2017	
Bittou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nouaho	11.215139	-0.261167	CENTRE-EST	4050	Bon		O	O	O	
Dombré	Réseau national	Nakanbe	Existante	Sandogo	13.514389	-2.203889	NORD	O	Bon		O	O	O	
Gonsé	Réseau national	Nakanbe	Existante	Massili	12.442667	-1.353889	CENTRE	2100	Mauvais		O	O	2017	
Nobéré	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.435637	-1.178929	CENTRE-SUD	7600	Mauvais	OTT Net DL	2017	N	O	
Bagré Aval	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	11.409	-0.51	CENTRE-EST	35501	Bon		O	O	O	
Sanogo	Réseau national	Nakanbe	Existante	Tcherbo	11.720667	-0.55975	CENTRE-EST	O	Bon		O	O	2017	
Malou	Réseau national	Nakanbe	Nouvelle		12.98333	-1.46666	CENTRE							position finale à determiner
Nouvelle station au niveau du b	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		11.688937	-5.184089	EST							position finale à determiner
Nouvelle station au niveau de la	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Tapoa	12.427069	2.2295	EST							position finale à determiner
Nouvelle station sur la rivière Yé	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Yéllinfaybou	12.8298755	1.30976124	EST							position finale à determiner
Nouvelle station sur la SIRBA à l	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Sirba	13.082428	0.972621	EST							position finale à determiner
Bottou	Réseau de Base	Niger	Existante	Dyamongou	12.683333	2.066667	EST	2994	Moyen		O	O	O	
Dingasso	Réseau de Base	Niger	Existante	Dougo	11.70936	-4.764676	HAUTS-BASSINS	O	Bon		O	O	O	
Korizena	Réseau de Base	Niger	Existante	Gorouol	14.36825	0.03025	SAHEL	2500	bon		O	O	2015	
Tin-Akoff	Réseau de Base	Niger	Existante	Beli	14.970167	0.165667	SAHEL	2360	Mauvais		O	O	O	
Sebba	Réseau de Base	Niger	Existante	Yali	13.448417	0.521694	SAHEL	2280	Bon	OTT Net DL	2017	O	2015	
Bassierie	Réseau national	Niger	Existante	Sirba	12.798959	0.385766	EST	O	Bon		O	O	O	
Bossegal	Réseau national	Niger	Existante	Sirba	12.915161	0.53126	EST	9920	Bon		O	N	O	
Déversoir Liptougou	Réseau national	Niger	Existante	Faga	13.188056	0.411667	EST	16048	Bon		O	O	2015	
Falangountou	Réseau national	Niger	Existante	Feildegassé	14.367472	0.183167	SAHEL	3725	bon		O	O	2015	
Gongorgo à Mani	Réseau national	Niger	Existante	Faga	13.26867	-0.210119	EST	5000	Bon		O	O	O	
Nouvelle station	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		13.2625	0.979166666	EST							position finale à determiner

DETAILS DES STATIONS A VOLUME DES RESEAUX OPTIMISES

Nom_station	Bassin	Cours d'eau	Latitude	Longitude	Région	Superficie	Année_Creation	Responsable du suivi
Yaran	Mouhoun	Sourou	12.9791	-3.44706	BOUCLE-MOUHOUN	20000	1955	DGRE
Bagré Barrage	Nakanbé	Nakanbé	11.471745	-0.542886	CENTRE-EST	33120	1992	SONABEL
Barrage Bodiadiougou	Comoé	Lobi	10.769694	-4.918667	CASCADES	0		SN SOSSUCO
Barrage de Douna	Comoé	Léraba oriental	10.678443	-5.09831	CASCADES	0		DGRE
Barrage de Bilanga	Niger	Sirba	12.62306	-0.075038	EST	0		DGRE
Barrage de Dakiri	Niger	Faga	13.302306	-0.276889	EST	0	1982	DGRE
Barrage de Diapaga	Niger	Tapoa	12.00875	1.765722	EST	2374	1984	DGRE
Barrage de Dourou	Nakanbé	Nakanbé	13.032523	-2.063251	CASCADES	0	1996	DGRE
Barrage de Goinré	Nakanbé	Nakanbé	13.6235	-2.443111	NORD	0	juil 1984	DGRE
Barrage de Guiti	Nakanbé	Nakanbé	13.361083	-2.045861	NORD	4931	?	DGRE
Barrage de Itengué	Nakanbé	Nakanbé	12.200417	-0.388389	Centre Est	0	1989	DGRE
Barrage de Liptougou	Niger	Faga	13.18375	0.325167	EST	16048	2011	DGRE
Barrage de louda	Nakanbé	Nakanbé	13.017778	-1.055556	CENTRE-NORD	0	2008	DGRE
Barrage de Loumbila	Nakanbé	Massili	12.491836	-1.401129	PLATEAU-CENTRAL	2120	1956	ONEA
Barrage de Manga Louré	Nakanbé	Nakanbé	11.66375	-1.042194	CENTRE-SUD	0	1989	DGRE
Barrage de Mani	Niger	Faga	-0.217475	-0.217475	EST	2792	1982	DGRE
Barrage de Mogtédo	Nakanbé	Nakanbé	12.30575	-0.824306	PLATEAU-CENTRAL	0		DGRE
Barrage de Ouaga 3	Nakanbé	Massili	12.383333	-1.55	CENTRE	350	1955	DGRE
Barrage de Ouahigouya	Nakanbé	Nakanbé	13.583333	-2.433333	NORD	151	1984	DGRE
Barrage de séguénega	Nakanbé	Nakanbé	13.432889	-1.95975	NORD	0	2009	DGRE
Barrage de Seytenga	Niger	Sirba	13.968417	0.304556	SAHEL	0	1989	DGRE
Barrage de Sidi Kompenga	Niger	Sirba	12.546779	-0.005844	EST	0	1998	DGRE
Barrage de Soum	Mouhoun	Vranso	12.58875	-2.282694	CENTRE-OUEST	0		DGRE
Barrage de Titao	Nakanbé	Nakanbé	13.778389	-2.067056	NORD	0	1983	DGRE
Barrage de Tougou	Nakanbé	Nakanbé	13.680556	-2.214528	NORD	0	1988	DGRE
Barrage de Tougouri	Niger	Faga	13.319333	-0.515861	CENTRE-NORD	0	1982-07-01	DGRE
Barrage de Toussiana	Comoé	Yannon	10.866667	-4.616667	CASCADES	0		SN SOSSUCO
Barrage de Vy	Mouhoun	grand ballé	11.762556	-3.140361	BOUCLE MOUHOUN	0		DGRE
Barrage de Yalgo	Niger	Faga	13.581444	-0.270056	CENTRE-NORD	0	1982-06-01	DGRE
Barrage de Ziga	Nakanbé	Nakanbé	12.481418	-1.0717	PLATEAU-CENTRAL	20859	2000	ONEA
Barrage Moussodougou	Comoé	Comoé	10.779167	-4.947778	CASCASES	0		SN SOSSUCO
Higa	Niger	Bagongou	13.6055	0.722667	SAHEL	150	1985	DGRE
Lac Bam	Nakanbé	Nakanbé	13.331861	-1.515389	CENTRE-NORD	2610	1955	DGRE
Lac Sian	Nakanbé	Nakanbé	13.094	-1.21925	CENTRE-NORD	0	1984	DGRE
Lery barrage	Mouhoun	Mouhoun	12.752361	-3.435944	BOUCLE-MOUHOUN	0	1980	DGRE
Mare d'Oursi	Niger	Beli	14.674667	-0.454028	SAHEL	274	1976	DGRE
Mare de Markoye	Niger	Beli	14.639528	-0.034722	SAHEL	0	1985	DGRE
Tin-Akoff	Niger	Beli	14.970167	0.165667	SAHEL	2360	1963	DGRE
BARRAGE de Yakouta	Niger	Goudebo	14.076557	-0.142176	SAHEL	1640	1963	DGRE
Barrage de SAMENDENI	mouhoun	Mouhoun			Haut Bassins			DGRE
Barrage de Andekanda	Nakanbe		13.967639	-2.258333	Nord			DGRE
Navripé	Mouhoun		10.984944	-2.258333	Sud Ouest			DGRE

A3. DETAILS DES STATIONS SPECIFIQUES DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE

Nom de la station	**Lac Sian**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-1,21925
Latitude	13,094
Type de risques existants:	Aménagements Agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler :	Pesticides

Nom de la station	**Ouaga 3**
Code de la station	
Cours d'eau	Massili
BVN	Nakanbé
Longitude	-1,550000
Latitude	12,383333
Type de risques existants:	Aménagements agricoles, déversements industriels et ménagers
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler :	DBO5, DCO, pesticides

Nom de la station	**Bagré**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-0,550000
Latitude	11,450000
Type de risques existants:	Aménagements agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Ziga**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-1,0717
Latitude	12,481418

Type de risques existants:	Aménagements agricoles et piscicoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Samendeni**
Code de la station	1202700232-1
Cours d'eau	Mouhoun
BVN	Mouhoun
Longitude	-4,454722
Latitude	11,4625
Type de risques existants:	Aménagements agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Boromo**
Code de la station	1202710208-1
Cours d'eau	Mouhoun
BVN	Mouhoun
Longitude (dd°mm'ss")	-2,912778
Latitude (dd°mm'ss")	11,78
Type de risques existants:	Aménagements agricoles ; orpaillage
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler :	Hg, CN-, pesticides

Nom de la station	**Diébougou**
Code de la station	1202701203-1
Cours d'eau	Bougouriba
BVN	Mouhoun
Longitude	-3,168889
Latitude	10,94222
Type de risques existants:	Orpaillage
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler :	CN-, Hg

Nom de la station	**Barrage de Guiti**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-2,045861

Latitude	13,361083
Type de risques existants:	Aménagements agricoles, orpaillage et pêche
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	CN- , Hg, pesticides;

Nom de la station	**Barrage de Louré/ Manga**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-1,042194
Latitude	11,66375
Type de risques existants:	Aménagements agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Folonzo**
Code de la station	
Cours d'eau	Comoé
BVN	Comoé
Longitude	-4,001
Latitude	9,000
Type de risques existants:	Aménagements agricoles, orpaillage et pêche
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	CN-, Hg, pesticides

Nom de la station	**Zéguézé**
Code de la station	
Cours d'eau	Nakanbé
BVN	Nakanbé
Longitude	-0,4022889
Latitude	11,173611
Type de risques existants:	Aménagements agricoles
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Kompienga**
Code de la station	
Cours d'eau	Kompienga
BVN	Nakanbé
Longitude	0,011944
Latitude	11,001389

Type de risques existants:	Aménagements agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels a contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Barrage Moussodougou**
Code de la station	
Cours d'eau	Kou
BVN	Mouhoun
Longitude	-4,947778
Latitude	10,779167
Type de risques existants:	Aménagements Agricoles
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels à contrôler:	Pesticides

Nom de la station	**Kou à Nasso**
Code de la station	
Cours d'eau	Kou
BVN	Mouhoun
Longitude	4,4333334
Latitude	11,2000000
Type de risques existants:	Aménagements Agricoles, déversements industriels
Risques pris en compte ou non?	
Paramètres additionnels a contrôler:	DBO5, DCO, pesticides

A4. EQUIPEMENT PAR STATION DU RESEAU HYDROMETRIQUE OPTIMISE

Nom station	Type de réseau	Bassin	Nouvelle/Existante	Cours_d_eau	Latitude	Longitude	Région	Superficie	Année_Creation	Echelle_Etat	Type_équip	Date_installation	Fonctionnel (Oui/Non)	Enregistreur_Etat	Equipement_Requis	Observateur
Diarabakoko	Réseau de Base	Comoe	Existante	Comoé	10.454389	-4.699806	CASCADES	2433	1955	Bon	OTT Thalimèdes	2013	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Folonzo	Réseau de Base	Comoe	Existante	Comoé	9.951123	-4.614266	CASCADES	9480	1969	Moyen	OTT CBS à bulle	2013	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Fourkoura	Réseau de Base	Comoe	Existante	Léraba occidentale	10.294611	-5.372778	CASCADES	2550	1974	Bon	OTT CBS à bulle	0	non	prise de pression retiré, batterie	Pressiometre et batterie (OTT CBS)	O
Karfiguéla-Radier	Réseau national	Comoe	Existante	Comoé	10.728111	-4.822694	CASCADES	812	1952	Mauvais	OTT Thalimèdes	0	non	vendalisé	inconnu (verifier sur terrain)	N
Samogohiri	Réseau de Base	Comoe	Existante	Koba	10.9355	-5.098056	HAUTS-BASSINS	0	35217	Bon	OTT Thalimèdes	0	non	la gaine emporté les haute eaux	Nouvelle gaine (OTT Thalimedes)	O
Yendéré	Réseau de Base	Comoe	Existante	Léraba	10.209722	-5.091278	CASCADES	5930	1955	Moyen	OTT Thalimèdes	2017	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Codoun	9.940165	-3.71647	CASCADES								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Baoue	9.909673	-3.894077	CASCADES								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station	Réseau de Base	Comoe	Nouvelle	Iringou	9.772322	-4.248881	CASCADES								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Comoe	9.6612	-4.437814	CASCADES								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Boulon (Nouvelle station)	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Sinlo à boulon	10.465461	-4.528898	CASCADES								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Bonvalé	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Siou	11.782625	-4.208942	HAUTS-BASSINS	3200	2013	Bon	OTT CBS à bulle	2014	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Dapola	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	10.560861	-2.9125	SUD-OUEST	67000	1956	Bon	OTT CBS à bulle	2013	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Lery canal	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.750056	-3.438972	BOUCLE-MOUHOUN	0	1984	passable		0				O
Nwokuy amont	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.504833	-3.553778	BOUCLE-MOUHOUN	14800	1954	passable	Sutron	2015	non	contrepoids coincé au fonds du PVC	Reparer (debloquer le contrepoids)	O
Samandéni	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.462643	-4.464809	HAUTS-BASSINS	4580	1954	Bon	Sutron	2015	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Tenado	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.2067	-2.827	BOUCLE-MOUHOUN	24000	1975	passable	OTT Thalimèdes	2013				O
Ninion	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.5211	-2.38739	BOUCLE-MOUHOUN	1890	1984	Mauvais						
Dan	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Bougouriba	10.925056	-3.657917	HAUTS-BASSINS	6345	1970	Bon	OTT Thalimèdes	2013	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Ouéssa	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.019639	-2.825139	SUD-OUEST	50820	1969	passable	OTT Thalimèdes	2013	non			O
Batié	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Bambassou	9.990111	-2.90675	HAUTS-BASSINS	0	26085	Moyen	OTT CBS à bulle	2013	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Noumbiel	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	9.683333	-2.766667	SUD-OUEST	87100	1975	Mauvais	OTT CBS à bulle	2013	non	station vandalilée	OTT NET DELL 500	N
Badara	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Kou	11.366667	-4.366667	HAUTS-BASSINS	971	1955	Bon		0				O
Pa	Réseau national	Mouhoun	Existante	grand ballé	11.606444	-3.183194	BOUCLE-MOUHOUN	3780	1966	passable	OTT CBS à bulle	2013	non	defectueux (rehabiliter)	PS-light 2	O
Poura	Réseau national	Mouhoun	Existante	Bolo	11.715167	-2.737833	CENTRE-OUEST	1797	1984	passable		0				O
Confluence Kou-Mouhoun	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.515917	-4.260083	HAUTS-BASSINS	1900	?	Bon	OTT CBS à bulle	2014	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	N
Guéna	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.078167	-4.682972	HAUTS-BASSINS	6800	1956	Bon	OTT CBS à bulle	2014	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Banzon	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.324642	-4.810308	HAUTS-BASSINS	2816	1959	Bon		0				O
Lanviéra	Réseau national	Mouhoun	Existante	Plandi	11.267	-4.91	HAUTS-BASSINS	1100	1961	Mauvais		0				O
Lery Nord	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.7512	-3.43439	BOUCLE-MOUHOUN	0	1984	passable		0				O
Manimensso	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.741611	-3.398917	BOUCLE-MOUHOUN	2000	1954	passable		0	non	capteur de pression vendalisé	OTT NET DELL 500	O
Tourouba	Réseau national	Mouhoun	Existante	Mouhoun	12.363917	-3.714444	BOUCLE-MOUHOUN	0		Bon	OTT Thalimèdes,O	2017	non	capteur bouché	Reparer (deboucher le capteur)	O
Boromo	Réseau de Base	Mouhoun	Existante	Mouhoun	11.779271	-2.915748	BOUCLE MOUHOUN	37000	1955	passable	OTT Thalimèdes,O	2020	oui	fonctionnel		O
Diébougou	Réseau national	Mouhoun	Existante	Bougouriba	10.941167	-3.170722	SUD-OUEST	12200	1955	Bon	OTT CBS à bulle	2013	oui	fonctionnel		O
Bourasso station deplacee	Réseau national	Mouhoun	Nouvelle	Vouhoun	12.59583333	-3.7667148	BOUCLE MOUHOUN	5200		Bon	OTT Thalimèdes	inconnu	non	defectueux (rehabiliter)	OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Arly-Pendjari	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Pendjari	11.4678	1.5676	EST	10960	1976	Moyen	OTT Net DL	2017	non	insecurité	inconnu (verifier sur terrain)	N
Arly	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Doudodo	11.5736	1.452	EST	6050	1969	Moyen	OTT Net DL	2017	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	N
Dakaye	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.790203	-1.623531	CENTRE-SUD	4540	1975	Moyen		0				O
Gonsé	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Massili	12.442667	-1.353889	CENTRE	2100	1975	Mauvais	PS-light 2	0	oui	fonctionnel		O
Komtoega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Douglamoundi	11.889457	-0.693509	CENTRE-EST	0		Bon		0				O
Kounou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Sissili	11.086564	-1.484674		6120	1979	Moyen	OTT Net DL	2017	Non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	N
Nebbou	Réseau national	Nakanbe	Existante	Sissili	11.353292	-2.064097	HAUTS-BASSINS	3240	1974	Mauvais		0				N
Niessega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Kourougui	13.122194	-2.346222	NORD	0	1995	Bon	OTT Net DL	2017	Non			O
Tampelega	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.886306	-1.192167	CENTRE-NORD	0	1997	Bon	Sutron	2015	non	vendalisé en 2017	OTT NET DEL 500	O
Wayen	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.379139	-1.080111	PLATEAU-CENTRAL	0	1955	Mauvais	OTT Net DL	2017	oui	fonctionnel		O
Ziou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.097806	-0.70775	CENTRE-SUD	0	1990	Bon		0	oui	fonctionnel		O
Kompienga aval	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle	koulpelogo	11.078236	0.70452	CENTRE-SUD								OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Singou à Samboali	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle		11.3244	0.9821									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Rambo	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	13.69592	-2.054306	NORD		1982	Bon		0				O
Bissiga	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	12.75	-1.15	CENTRE-NORD	16965	1975	Bon		0				O
Bittou	Réseau de Base	Nakanbe	Existante	Nouaho	11.215139	-0.261167	CENTRE-EST	4050	1973	Bon		0				O
Dombré	Réseau national	Nakanbe	Existante	Sandogo	13.514389	-2.203889	NORD	0	2003	Bon		0				O
Gonsé	Réseau national	Nakanbe	Existante	Massili	12.442667	-1.353889	CENTRE	2100	1975	Mauvais		0				O
Nobéré	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nazinon	11.435637	-1.178929	CENTRE-SUD	7600	1965	Mauvais	OTT Net DL	2017	non	capateur defectueux	nouveau capteur (OTT Net DL)	N
Bagré Aval	Réseau national	Nakanbe	Existante	Nakanbé	11.409	-0.51	CENTRE-EST	95501	1984	Bon		0	Non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Sanogo	Réseau national	Nakanbe	Existante	Tcherbo	11.720667	-0.55975	CENTRE-EST	0	1994	Bon		0				O
Malou	Réseau national	Nakanbe	Nouvelle	Nakanbé	12.98333	-1.46666									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station au niveau d	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		11.688937	-5.184089									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station au niveau d	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Tapoa	12.427069	2.2295									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station sur la rivièr	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Yéllinfaybou	12.82987546	1.30976124									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Nouvelle station sur la SIRBA	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Sirba	13.082428	0.972621									OTT NET DELL 500 (New)	Prevu
Bottou	Réseau de Base	Niger	Existante	Dyamongou	12.683333	2.066667	EST	2994	1976	Moyen		0				O
Dingasso	Réseau de Base	Niger	Existante	Dougo	11.70936	-4.764676	HAUTS-BASSINS	0		Bon		0				O
Korizena	Réseau de Base	Niger	Existante	Gorouol	14.36825	0.03025	SAHEL	2500	1955	bon		0				O
Tin-Akoff	Réseau de Base	Niger	Existante	Beli	14.970167	0.165667	SAHEL	2360	1963	Mauvais		0	non	prise de pression vandalisée	nouveau enregistreur: SUTRON	O
Sebba	Réseau de Base	Niger	Existante	Yali	13.448417	0.521694	SAHEL	2280	1976	Bon	OTT Net DL	2017	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Bassierie	Réseau national	Niger	Existante	Sirba	12.798959	0.385766	EST	0	2010	Bon		0	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Bossegal	Réseau national	Niger	Existante	Sirba	12.915161	0.53126	EST	9920	1973	Bon		0				N
Déversoir Liptougou	Réseau national	Niger	Existante	Faga	13.188056	0.411667	EST	16048	2011	Bon	?	0				O
Falangountou	Réseau national	Niger	Existante	Feildegassé	14.367472	0.183167	SAHEL	3725	1987	bon		0	non	defectueux (rehabiliter)	inconnu (verifier sur terrain)	O
Gongorgo à Mani	Réseau national	Niger	Existante	Faga	13.26867	-0.210119	EST	5000	1973	Bon		0				O
Nouvelle station	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		13.2625	0.97916667									OTT NET DEL 500 (New)	Prevu

Nom station	Bassin	Cours d'eau	Latitude	Longitude	Région	Superficie	Année_creatio	Responsable du suivi	Fonctionnel (oui/non)	Etat Echelle	Etat Enregistreur	Equipement Requis	Note
Yaran	Mouhoun	Sourou	12.9791	-3.44706	BOUCLE-MOUHOUN	20000	1955	DGRE	non	moyen	pas d'enregistreur automatique		
Bagré Barrage	Nakanbé	Nakanbé	11.471745	-0.542886	CENTRE-EST	33120	1992	SONABEL					suivi par autre acteur
Barrage Bodiadiougou	Comoé	Lobi	10.769694	-4.918667	CASCADES	0		SN SOSSUCO					suivi par autre acteur
Barrage de Douna	Comoé	Léraba oriental	10.678443	-5.09831	CASCADES	0		DGRE	non	defectueux (rehabiliter)	mauvais	OTT NET DEL 500 (New)	
Barrage de Bilanga	Niger	Sirba	12.62306	-0.075038	EST	0		DGRE	non	defectueux (rehabiliter)	mauvais	OTT NET DEL 500 (New)	
Barrage de Dakiri	Niger	Faga	13.302306	-0.276889	EST	0	1982	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Diapaga	Niger	Tapoa	12.00875	1.765722	EST	2374	1984	DGRE	non	defectueux (rehabiliter)	mauvais	OTT NET DEL 500 (New)	
Barrage de Dourou	Nakanbé	Nakanbé	13.032523	-2.063251	CASCADES	0	1996	DGRE	non	bon	mauvais	OTT NET DEL 500 (New)	
Barrage de Goinré	Nakanbé	Nakanbé	13.6235	-2.443111	NORD	0	juil 1984	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Guiti	Nakanbé	Nakanbé	13.361083	-2.045861	NORD	4931		DGRE	oui	bon	bon		
Barrage de Itengué	Nakanbé	Nakanbé	12.200417	-0.388389	Centre Est	0	1989	DGRE	non	moyen	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Liptougou	Niger	Faga	13.18375	0.325167	EST	16048	2011	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de louda	Nakanbé	Nakanbé	13.017778	-1.055556	CENTRE-NORD	0	2008	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Loumbila	Nakanbé	Massili	12.491836	-1.401129	PLATEAU-CENTRAL	2120	1956	ONEA	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Manga Louré	Nakanbé	Nakanbé	11.66375	-1.042194	CENTRE-SUD	0	1989	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Mani	Niger	Faga	-0.217475	-0.217475	EST	2792	1982	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Mogtédo	Nakanbé	Nakanbé	12.30575	-0.824306	PLATEAU-CENTRAL	0		DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Ouaga 3	Nakanbé	Massili	12.383333	-1.55	CENTRE	350	1955	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Ouahigouya	Nakanbé	Nakanbé	13.583333	-2.433333	NORD	151	1984	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de séguénega	Nakanbé	Nakanbé	13.432889	-1.95975	NORD	0	2009	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Seytenga	Niger	Sirba	13.968417	0.304556	SAHEL	0	1989	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Sidi Kompenga	Niger	Sirba	12.546779	-0.005844	EST	0	1998	DGRE	non	moyen	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Soum	Mouhoun	Vranso	12.58875	-2.282694	CENTRE-OUEST	0		DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Titao	Nakanbé	Nakanbé	13.778389	-2.067056	NORD	0	1983	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Tougou	Nakanbé	Nakanbé	13.680556	-2.214528	NORD	0	1988	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Tougouri	Niger	Faga	13.319333	-0.515861	CENTRE-NORD	0	1982-07-01	DGRE	non	moyen	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Toussiana	Comoé	Yannon	10.866667	-4.616667	CASCADES	0		SN SOSSUCO					suivi par autre acteur
Barrage de Vy	Mouhoun	grand ballé	11.762556	-3.140361	BOUCLE MOUHOUN	0		DGRE	non	moyen	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Yalgo	Niger	Faga	13.581444	-0.270056	CENTRE-NORD	0	1982-06-01	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Ziga	Nakanbé	Nakanbé	12.481418	-1.0717	PLATEAU-CENTRAL	20859	2000	ONEA					suivi par autre acteur
Barrage Moussodougou	Comoé	Comoé	10.779167	-4.947778	CASCASES	0		SN SOSSUCO					suivi par autre acteur
Higa	Niger	Bagongou	13.6055	0.722667	SAHEL	150	1985	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Lac Bam	Nakanbé	Nakanbé	13.331861	-1.515389	CENTRE-NORD	2610	1955	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Lac Sian	Nakanbé	Nakanbé	13.094	-1.21925	CENTRE-NORD	0	1984	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Lery barrage	Mouhoun	Mouhoun	12.752361	-3.435944	BOUCLE-MOUHOUN	0	1980	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Mare d'Oursi	Niger	Beli	14.674667	-0.454028	SAHEL	274	1976	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Mare de Markoye	Niger	Beli	14.639528	-0.034722	SAHEL	0	1985	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Tin-Akoff	Niger	Beli	14.970167	0.165667	SAHEL	2360	1963	DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
BARRAGE de Yakouta	Niger	Goudebo	14.076557	-0.142176	SAHEL	1640	1963	DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de SAMENDENI	mouhoun	Mouhoun			Haut Bassins			DGRE	non	bon	pas d'enregistreur automatique		
Barrage de Andekanda	Nakanbe		13.967639	-2.258333	Nord			DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		
Navripé	Mouhoun		10.984944	-2.258333	Sud Ouest			DGRE	non	mauvais	pas d'enregistreur automatique		

Sources données : DGRE (2021)

A5. DETAILS DES INFORMATIONS UTILISEES POUR L'ESTIMATION DES COUTS

1. Suivi du reseau hydrométrique et pièzométrique national de base dans la Région des Hauts-Bassins

Catég	Structures	NOM PRENOMS	HEBERGEMENT			RESTAURATION			MONTANT TOTAL
			Taux jrs	N/jrs	Montant	Taux jrs	N/jrs	Montant	
III	DREA-HBS	Agent DREA-HBS	16,500	5	82,500	7,000	6	42,000	124,500
III		Agent DREA-HBS	16,500	5	82,500	7,000	6	42,000	124,500
III		Agent DREA-HBS	16,500	5	82,500	7,000	6	42,000	124,500
IV		Chauffeur DREA-HBS	13,000	5	65,000	5,000	6	30,000	95,000
		carburant DREA	km			100		950	95,000
TOTAL									**563,500**

1. Suivi du reseau hydrométrique et pièzométrique national de base dans la region des Cascades

Catég	Structures	NOM PRENOMS	HEBERGEMENT			RESTAURATION			MONTANT TOTAL
			Taux jrs	N/jrs	Montant	Taux jrs	N/jrs	Montant	
III	DREA-HBS	Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
III		Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
III		Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
IV		Chauffeur DREA-HBS	14,000	4	56,000	6,000	5	30,000	86,000
		carburant DREA	km			100		900	90,000
TOTAL									**527,000**

1. Suivi du reseau hydrométrique et pièzométrique national de base dans la region du Sud-Ouest

Catég	Structures	NOM PRENOMS	HEBERGEMENT			RESTAURATION			MONTANT TOTAL
			Taux jrs	N/jrs	Montant	Taux jrs	N/jrs	Montant	
III	DREA-HBS	Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
III		Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
III		Agent DREA-HBS	18,000	4	72,000	9,000	5	45,000	117,000
IV		Chauffeur DREA-HBS	14,000	4	56,000	6,000	5	30,000	86,000
		carburant DREA	km			100		900	90,000
TOTAL									**527,000**

Libellé	QU	Quantité (mois)	Total
Mission de suivi du réseau hydrométrique	1,617,500	6	9,705,000
Réfection des stations	200000	26	5,200,000
Total			**14,905,000**

[Source : DEIE/DGRE, Mai 2021]

ACTIVITES	BUDGET ESTIMATIF PAR AN (F CFA)
Inspecter et maintenir les stations automatiques hydrométriques	20 000 000
Effectuer la maintenance préventive des stations automatiques et piézométriques	21 000 000
Suivre le réseau hydrométrique et piézométrique	44 000 000
Superviser le réseau hydrométrique et piézométrique	8 000 000
Faire des travaux de réfection des stations hydrologiques	13 000 000
Canal GMS/GPRS prévoir un forfait mensuel de 1500F par station (opérateur Orange).	--

[Source : DEIE/DGRE Octobre 2021]

QUOTATION

Date 04 Oct 2021
Quotation Number 21-022970
Valid For

Bill To:
AHT SARL
AVENUE OUMAROU KANAZOE
OUAGADOUGOU
Burkina Faso

Ship To:
AHT SARL
Burkina Faso

DATA COLLECTION PLATFORM

No	Part #	Product Description	Qty	Unit Price (USD)	Ext. Price (USD)
1	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** Weatherproof Enclosure, 20x16x10 inch	35.0	750.00	26,250.00
2	SL3-1	Satlink 3 Logger/Transmitter	35.0	3,847.00	134,645.00
3	8111-1113-1	Lightning Protector RF Kit (Bulkhead Mount)	35.0	200.79	7,027.65
4	5000-0155-1	Yagi GOES Antenna	35.0	437.81	15,323.35
5	LL400-15-N-N	Cellular Antenna Cable (15 ft) N to N	35.0	108.68	3,803.80
6	6411-1495	Cable Assy, SMA Male to SMA Female Bulkhead, 36"	35.0	34.16	1,195.60
7	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** factory integration & testing	35.0	250.00	8,750.00
			Group Subtotal Price		196,995.40

SENSOR

No	Part #	Product Description	Qty	Unit Price (USD)	Ext. Price (USD)
8	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** HL4TANOBATT, Hydrolab HL4 sonde with internal battery power, temperature and other integrated sensors	35.0	3,050.00	106,750.00
9	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** HLCOND, Conductivity sensor integrated to Hydrolab HL Series sonde	35.0	452.00	15,820.00
10	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** HLPHSREF, pH sensor integrated to Hydrolab HL Series sonde with standard reference	35.0	525.00	18,375.00

11	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** HL4TURB, Turbidity sensor integrated to Hydrolab HL4 sonde	35.0	1,695.00	59,325.00
12	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** HL25MDEPTH, 25 meter depth sensor integrated to Hydrolab HL Series sonde	35.0	588.00	20,580.00
13	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** CZL025, 25 meter lightweight deployment cable for Hydrolab HL Series sonde	35.0	665.00	23,275.00
14	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** 9039600, SDI-12 communications module for Hydrolab HL Series sonde	35.0	212.00	7,420.00
			Group Subtotal Price		251,545.00

SOLAR POWER

No	Part #	Product Description	Qty	Unit Price (USD)	Ext. Price (USD)
15	5100-0410-2	Solar Panel, 30 Watt with Mounting Bracket	35.0	524.75	18,366.25
16	5100-0411	Solar Regulator, 3 AMP	35.0	98.33	3,441.55
17	5100-0040	Battery, 12VDC, 24AH	35.0	126.27	4,419.45
18	6411-1018-2	Cable Assy, Power, 3 ft	35.0	93.15	3,260.25
			Group Subtotal Price		29,487.50

DATA COLLECTION PLATFORM

No	Part #	Product Description	Qty	Unit Price (USD)	Ext. Price (USD)
19	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** Data Collection Software (DOES NOT INCLUDER SERVER)	1.0	15,000.00	15,000.00
			Group Subtotal Price		15,000.00

ON SITE TRAINING

No	Part #	Product Description	Qty	Unit Price (USD)	Ext. Price (USD)
20	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** TRIP, 1 week on site training	1.0	12,500.00	12,500.00
21	9600-0001	Special Availability upon review **Notes:** OPTIONAL - 2 WEEK TRIP FOR TRAINING	0.0	17,500.00	0.00

Group Subtotal Price	12,500.00

Notes:

Payment Terms	
Freight Terms	EXW - Ex Works Origin
Expected Delivery Time	
Sales Tax	Proof of tax exempt status or payment of sales tax is the responsibility of the buyer

USD

Total Price :	505,527.90
Tax :	TBD
Freight :	0
Grand Total Price :	505,527.90

If you have any questions or need further information, please don't hesitate to contact me. I look forward to hearing from you soon.

Terms and Conditions

Advantages of Simplified Shipping and Handling

Safe & Fast Delivery
- Receive tracking numbers an your order acknowledgement
- Hach will assist with claims if an order is lost or damaged in shipment

Save Time - Less Hassle
- No need to set up deliveries for orders or to schedule pickup
- Hach ships order as product is available, at no additional charge, when simplified shipping and handling is used

Save Money
- No additional invoice to process – save on time and administrative costs
- Only pay shipping once, even if multiple shipments are required

Standard Simplified Shipping and Handling Charges

Pricing Effective 8/31/2019

Total Price of Merchandise Ordered	Standard Surface (Mainland USA)	Second Day Delivery (Mainland USA)	Next Day Delivery (Mainland USA)	Second Day Delivery (Alaska and Hawaii)	Next Day Delivery (Alaska and Hawaii)
$0.00 – $49.99	$11.99	$29.99	$55.93	$48.14	$91.51
$50.00 – $149.99	$19.06	$56.18	$106.00	$80.56	$153.15
$150.00 – $349.99	$33.48	$89.32	$181.94	$112.71	$219.36
$350.00 – $649.99	$46.63	$121.94	$242.50	$152.43	$295.17
$650.00 – $949.99	$58.77	$127.42	$266.65	$157.77	$297.40
$950.00 – $1,999.99	$73.94	$157.23	$332.46	$187.11	$362.04
$2,000.00 – $3,999.99	$85.36	$167.09	$342.29	$194.36	$369.69
$4,000.00 – $5,999.99	$98.96	$173.55	$358.82	$195.26	$380.35
$6,000.00 – $7,999.99	$116.93	$197.60	$408.56	$215.38	$415.24
$8,000.00 – $9,999.99	$133.43	$224.55	$438.79	$240.27	$455.68
Over $10,000	2% of Net Order Value	4% of Net Order Value	6% of Net Order Value	4% of Net Order Value	6% of Net Order Value

https://www.otthydromet.com/en/policies/terms-and-conditions-of-sale?origin=footer&c1=policies&c2=terms-and-conditions-of-sale&cli

A6. ARRÊTÉ CONJOINT 2000-0015/MEF/MEE DU 26 JUIN 2000, PORTANT TARIFICATION DES REDEVANCES POUR SERVICES RENDUS EN MATIÈRE HYDRAULIQUE

BURKINA FASO

UNITE - PROGRES - JUSTICE

0015

Arrêté Conjoint N° 2000...../MEF/MEE portant tarification des redevances pour services rendus en matière Hydraulique

Le Ministre de l'Economie et des Finances
Le Ministre d'Etat Ministre de l'Environnement et de l'Eau

Vu la Constitution ;

Vu le Décret n° 99-003/PRES du 11 Janvier 1999 portant nomination du Premier Ministre;

Vu le Décret n° 99-358/PRES/PM du 12 Octobre 1999 portant remaniement du Gouvernement du Burkina Faso;

Vu l'Ordonnance n°69-047/PRES/MFC du 18 Septembre 1969, portant loi organique relative aux lois de finances;

Vu le décret n°69-197/PRES/MFC du 19 Septembre 1969 portant régime financier de l'Etat;

Vu le Décret n° 97-213/PRES/PM/MEF/MEE du 28/04/1997 portant Institution d'une redevance pour services rendus en matière Hydraulique;

ARRETENT

Article 1er

Le présent arrêté précise les modalités d'application du décret n°97-213/PRES/PM/MEF/MEE du 28 Avril 1997 portant institution d'une redevance pour services rendus en matière Hydraulique.

Article 2 :

Les prestations des structures chargées de l'Hydraulique, à la demande d'organisations non-gouvernementales, bureaux d'études, particuliers ou autres commanditaires donnent lieu au paiement d'une redevance.

Article 3 :

Les contrats établis entre le commanditaire et les structures prestataires sont soumis à l'approbation du Directeur Général de l'Hydraulique.

Article 4 :

Les opérations ci-après sont concernées:

- le contrôle des chantiers
- les études topographiques
- les études hydrologiques et hydrogéologiques
- les études d'aménagements hydroagricoles
- la fourniture de cartes thématiques et de tout autre document technique
- le suivi des travaux
- la mise à disposition d'agents pour des études techniques dans le domaine de l'hydraulique.

Article 5 :

Le tarif pour la surveillance et pour le contrôle des chantiers est fixé à 3% du montant des travaux pour les marchés ne prévoyant pas de contrôle par un consultant autre que l'administration.

Article 6 :

Les chantiers soumis au contrôle d'un consultant indépendant et ne nécessitant qu'un suivi des activités par les services techniques de l'hydraulique, seront facturés de façon spécifique selon les prestations définies dans les tableaux de l'article 7 ci-dessous.

Article 7 :

Les montants des contrats pour les opérations visées à l'article 4 à l'exception du contrôle des chantiers et la fourniture de documents sont fixés selon les tableaux ci-dessous :

TABLEAU N°1 : CHARGES DE PERSONNEL

DESIGNATION	COUT EN FCFA et H/M	COUT EN FCFA et H/J.
- Ingénieur	400.000	25.000
- Technicien Supérieur HER	300.000	20.000
- Technicien; Aide hydrologue; Opérateur;	250.000	15.000
- Ouvrier Spécialisé; Porte mire; Chauffeur	175.000	10.000
- Manoeuvre (journalier)	-	2.000
- Frais de rapport	FF	FF

TABLEAU N° 2 : CHARGE DE MATERIEL

DESIGNATION	Prix Unitaire
* Matériel roulant	
- véhicule 4 x 4	300F/Km
- véhicule léger	175F/Km
- motocyclette	70F/Km
* Matériel Topographique	
- tachéomètre	10.000F/J
- niveau	4.000F/J
- accessoires topo	3.500F/J
- G.P.S.	15.000F/J
- distancemètre	15.000F/J
* Matériel hydrologique et hydrogéologique	
- limnigraphe	50.000F/Mois
- matériel de jaugeage au moulinet	100.000F/mois
- matériel de jaugeage au micromoulinet	25.000F/mois
- Zodiac	12.500F/J
- pluviomètre	15.000F/mois
- moteur hors-bord	15.000F/J

Article 8 :

Les prix des cartes thématiques sont fixés ainsi qu'il suit :

- cartes format A0	10.000 F/Unité
- cartes format A2	6.000 F/Unité
- cartes format A3	6.000 F/Unité
- cartes format A4	6.000 F/Unité

Article 9 :

Les prix des documents suivants sont fixés ainsi qu'il suit :

- fiche de débits moyens journaliers	500F/page
- fiche de hauteurs moyennes journalières	300F/Page
- fiche de débit maximum	1.000F/Station
- fiche de débits moyens mensuels	1.000F/ "
- limnigramme annuel	1.000F/Unité
- hydrogramme annuel	1.000F/Unité
- courbe de tarage	5.000F/Unité
- barème Hauteur-Débit	1.000F/Unité
- tableau de niveau piézométrique	1.000F/Feuille
- courbe de niveau piézométrique	1.000F/Feuille
- bulletin hydrologique mensuel	1.000F/Unité
- analyse physico-chimique	20.000F/analyse
- annuaire hydrologique	15.000F/Unité
- synthèse hydrologique annuelle	2.500F/Unité

rticle 10 :

Dans le cadre de l'exécution de ces contrats, il est alloué aux agents de la Direction Générale de l'Hydraulique des perdiems dont les montants journaliers sont fixés comme suit :

cadres A :	15.000F/J
cadres B et C :	12.000F/J
autres :	7.500F/J

Article 11 :

Il est alloué aux agents affectés sur les chantiers des perdiems correspondant aux taux suivants :

- cadres A :	7.500F/jour
- cadres B et C	6.000F/jour
- autres :	5.000F/jour

Cette indemnité n'est pas cumulative avec les perdiems visés à l'article 10 ci-dessus.

Article 12 :

Les agents de la Direction Générale de l'Hydraulique mis à la disposition des Organisations Non-Gouvernementales, les bureaux d'études ou autres commanditaires perçoivent des honoraires mensuels ainsi qu'il suit :

- cadres A :	250.000F/mois
- cadres B :	200.000F/mois
- cadres C :	150.000F/mois

Article 13:

Les recettes réalisées profitent au budget national après exécution des dépenses pour :

- salaires des contractuels recrutés pour le chantier
- perdiems
- carburant
- matériel
- entretien et réparation des véhicules affectés au chantier
- matières et fournitures consommées
- soins médicaux sur les chantiers

rticle 14 :

Les paiements sont effectués par le commanditaire sur présentation d'une facture dressée par les ructures de l'hydraulique chargées de l'exécution du contrat.

Article 15 :

Le Directeur Général de l'Hydraulique, le Directeur Général du Trésor et de la Comptabilité Publique sont chargés chacun en ce qui le concerne de l'exécution du présent arrêté qui sera enregistré, publié et communiqué partout où besoin sera./.

Ouagadougou, le 26 JUIN 2000

Le Ministre de l'Economie et des Finances

Tertius ZONGO

Le Ministre d'Etat, Ministre de l'Environnement et de l'Eau

Dr Bongnessan Arsène YE

Ampliations
- P.M.
- CAB/MEE
- CAB/MD-EAU
- CAB/MEF
- SG/MEE
- DGTCP
- DGH
- IGS
- DEP
- DAAF
- IMPOTS
- CF
- Archives
- J.O.

A7. MANUEL DE PROCEDURES DE SUIVI DES STATIONS HYDROMETRIQUES

I. INTRODUCTION

Le renforcement et l'amélioration durable du réseau hydrométrique se traduisent par un meilleur suivi dans la surveillance et l'entretien des équipements utilisés sur le réseau.

Pour pouvoir définir une stratégie en vue d'atteindre ces objectifs, il est nécessaire de disposer d'un plan d'exploitation et d'entretien bien défini.

Ce plan constitue en effet l'une des composantes d'un ensemble de plans de gestion du réseau et portant sur : les activités à mettre en œuvre, les ressources financières ainsi que la formation des intervenants sur les aspects d'opérationnalisation et de maintenance (O&M) du réseau.

Le plan O&M constitue un recueil permanent des observations sur le terrain (difficultés, anomalies, mesures immédiates prises pour y pallier, y compris des documents photographiques pris), d'instructions, de calendriers d'activités qui doivent régulièrement être mis à jour pour servir de référence et de guide.

L'un des éléments principaux du plan peut être constitué par un manuel comportant un certain nombre de rubriques traitant de chaque activité et de chaque fonction.

Pour le démarrage de l'exploitation, il est indispensable de mettre au point un programme d'exécution tel que la description d'un calendrier précis des tâches à accomplir et la fréquence des inspections visuelles sur le terrain.
Les principaux facteurs de risque de dégradation du réseau encourus :

- absence de communication et d'échange d'information entre le personnel responsable et celui chargé de l'entretien et de la surveillance (absence des données provenant des rapports d'inspection de terrain et d'évaluation à posteriori des résultats d'enquête);
- budget insuffisant pour exécuter le programme d'O&M;
- insuffisance de personnel qualifié et en nombre suffisant.

II. CADRE INSTITUTIONNEL ET ROLE DES ACTEURS

La connaissance des ressources en eau mais aussi de tous les aspects liés à ses usages (les ouvrages, les quantités utilisées, les pollutions, les impacts sur la ressource et sur l'environnement, les risques, etc) est la donnée fondamentale de départ pour une bonne planification et une gestion durable des ressources en eau. Sans connaissance actualisée des ressources en eau, des usages et des besoins, pas de gestion durable possible.

Le Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE) a défini un certain nombre d'actions visant à mettre en place un Système National d'Information sur l'Eau (SNIEau) dont l'exécution est en cours et les approches suivantes ont été retenues dans ce cadre :

- la DGRE a la mission de gérer et assurer le fonctionnement du SNIEau au niveau national
- les Directions Régionales en charge de l'eau sont le maillon-clé du SNIEau au niveau régional pour la collecte des données et leur mise à disposition des usagers
- la construction progressive (organisation, compétences, outils, moyens) au sein de chacune des Directions Régionales concernées d'une Unité de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau (UCDIEau) dont les missions ne seront donc plus limitées à l'aspect ressources en eau, mais seront progressivement étendues à tous les autres aspects de l'exploitation de l'eau (usages, risques, qualité, etc.)

III. ROLE DE LA DRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU (DGRE) ET DES DIRECTIONS REGIONALES DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (DREA)

La DGRE et les DREA ont deux domaines fondamentaux d'activités complémentaires bien précis, à savoir:

- l'installation, l'opérationnalisation et la maintenance des stations;
- l'entretien du matériel de mesure.

Les intervenants et responsables du réseau ont la charge de le maintenir en bon état.
À ce titre, ils doivent :

- ✓ Continuer et tenir à jour le dossier contenant tous les documents relatifs au réseau hydrométrique;
- ✓ Assurer la surveillance continue du réseau;
- ✓ Entretenir et maintenir les différents matériels du réseau en bon état de fonctionnement.

En matière de suivi et d'entretien, les tâches à exécuter sont les suivantes :

- ✓ Inspection visuelle régulière du réseau;
- ✓ Vérification périodique du bon fonctionnement des matériels d'enregistrement;
- ✓ Rédaction du rapport de visite et mise à jour des registres des visites précédentes.

Les activités dévolues à la Direction Régionale sont celles relatives au réseau régional de suivi des ressources en eau, des usages et risques. Au titre du suivi des ressources en eau, les activités à mener par l'Unité de Collecte et de Diffusion de l'Information sur l'Eau (UCDIEau) de la Direction Régionale porteront sur le suivi des réseaux des mesures hydrométriques et piézométriques.

Un pilotage renforcé du réseau hydrométrique par la DGRE et une mise en œuvre par les Directions Régionales. Ce sera l'occasion d'affirmer et/ou de consolider la mission de tête de réseau de l'hydrométrie pour les DREA sur leur zone de compétence (structures en charge de l'organisation générale des réseaux de mesure sur leur zone) vis-à-vis de ces partenaires.

Collecte des données relatives à la connaissance quantitative des ressources en eau de surface :
Les stations du réseau d'eau de surface sont suivies par la DREA à travers un appareil enregistreur ou l'activité d'un lecteur d'échelles procédant à une ou deux lectures par jour.

L'UCDIEau elle-même visitera les stations au moins une fois par mois en saison pluvieuse et une fois tous les 2 mois en saison sèche, afin principalement de :

- Vérifier les instruments :
- Télécharger les données et/ou récupérer les données relevées par les lecteurs d'échelles
- Verser leurs primes aux lecteurs d'échelles
- Réaliser éventuellement des jaugeages pour mettre à jour les courbes d'étalonnage
- Vérifier que les mesures de niveau d'eau sont continues à toutes les stations
- Procéder à des travaux d'entretien et de maintenance des appareillages

IV. PROCEDURES DE SUIVI DES STATIONS HYDROMETRIQUES

4.1. Principes généraux de surveillance

Les principes généraux de surveillance peuvent être résumés comme suit :

- le but essentiel est de connaitre et si possible de prévenir toute dégradation de l'équipement installé sur la station afin de le maintenir en bon état;
- le suivi doit fournir les moyens de détecter les anomalies à temps et de décider de la nature, de la pertinence et de l'urgence des interventions

La surveillance comporte généralement deux méthodes : (i) inspection visuelle et (ii) test de fonctionnement des équipements de mesures.

Ainsi, le plan de surveillance doit être clairement défini avant chaque visite (par exemple, point à surveiller particulièrement concernant le comportement de fonctionnement d'appareils de mesure).

Lors de la visite, les fiches de la visite précédente, les dossiers photographiques (pour le support visuel) ainsi que la périodicité recommandée doivent être consultés.

Pour chaque type d'équipement, une fiche technique doit être crée sur la base du manuel du fabricant. Cette fiche doit contenir tous les points à vérifier et à tester sur le terrain. Elle résume les éléments clés du manuel et doit permettre au technicien de se retrouver plus facilement dans le manuel au besoin.

4.2. Procédures de saisie, transmission et gestion des données

Les règles à suivre pour améliorer les performances dans les procédures porteront sur les principes clés suivants :

ix) s'assurer d'une bonne marche des appareils d'enregistrement pour toutes les stations hydrométriques considérées;

x) il est impératif d'effectuer périodiquement de nouveaux jaugeages et de vérifier la cote du « zéro » de l'échelle (au moins une fois par an) ;

xi) sensibiliser les observateurs à réaliser des lectures justes et continus;

xii) programmer des tournées régulières de manière à ne pas perdre des données pour cause d'arrêt d'appareil de mesure;

xiii) vérifier immédiatement et systématiquement les données récupérées sur le terrain afin de détecter d'éventuelles anomalies;

xiv) mettre en place d'un système efficace pour le contrôle, le traitement, la transmission et le stockage des données;

xv) publier et diffuser les informations recueillies en temps voulu, notamment les évènements critiques ;

xvi) instituer un système de suivi-évaluation de l'intérêt et des critiques émanant des usagers des données afin de détecter sur cette base, d'éventuels besoins d'amélioration. Un registre de suivi des clients et usagers pourrait être ouvert à cet effet.

4.3. Saisie des hauteurs limnimétriques

Les hauteurs d'eau à entrer dans la base de données proviennent généralement des sources suivantes :

- les fichiers de la station de réception Météosat;
- les mémoires des plates-formes hydrologiques (PCD);
- les diagrammes générés par les limnigraphes;
- les carnets des observateurs.

Dans la base de données, un code « capteur » permet de repérer l'origine des données.

Pour la station à télétransmission, les balises Météosat comportent un système d'enregistrement adapté à un codeur associé à un limnigraphe. L'information est reçue du satellite Météosat et transmise à une plate-forme de réception de données généralement installée dans le centre de réception et de traitement des données. Elle est en même temps enregistrée au limnigraphe dont le bon fonctionnement conditionne celui du codeur lui-même.

Les données télétransmises stockées sont transférées vers la banque de données.
Une visualisation graphique permet d'exclure les éventuels points aberrants causés par une mauvaise transmission et qui n'auraient pas détectés par la station de réception Météosat.

Les données stockées dans la mémoire sont récupérées au cours de chaque tournée via une plateforme mobile type Pocket PC.

Le Burkina dispose de quatre (4) stations à télétransmission Météosat : Samendéni, Nwokuy Amont, Tampelga et Bagré Aval.

Les relevés des stations limnimétriques ayant un observateur sont collectés lors de chaque visite, puis saisis dans la base de données.

4.4. Jaugeages et tarages

Les jaugeages et courbes de tarage

Les jaugeages au moulinet sont dépouillés à l'aide d'un logiciel approprié (HYDROMET, Tarjau, etc..) dès le retour de chaque tournée. Cependant, aujourd'hui la plupart des jaugeages sont faits par l'ADCP.

Les courbes de tarage sont ajustées visuellement et éventuellement extrapolées par une fonction « puissance » à partir d'un tracé sur un papier bi-logarithmique.

Ces courbes sont ensuite numérisées manuellement en une série de points hauteur/débit de telle façon qu'entre deux points successifs la courbe puisse être assimilée à un segment de droite.

Pour établir le tarage d'une station hydrométrique, l'ingénieur ou le technicien cherche à établir la relation qui existe entre les hauteurs relevées sur une échelle limnimétrique, ou enregistrées par un limnigraphe, et les débits qui leur correspondent. La série des hauteurs mesurées, ou chronique limnimétrique, est caractérisée par son intervalle de variation entre les hauteurs minimale et maximale observées.

La relation entre hauteurs et débits Q (h) est délicate à établir lorsque le bief hydrométrique concerné présente une grande instabilité géométrique et/ou hydraulique.

Pour définir cette relation, l'hydrologue dispose d'un ensemble d'informations sur le bief et la station hydrométrique, de la chronique limnimétrique et de jaugeages en nombre et qualité variables et réalise un travail méthodique, qui peut être divisé en huit étapes successives :

- examen du dossier de la station;

- inventaire de la chronique limnimétrique et des jaugeages existants;
- critique systématique des jaugeages;
- analyse de la répartition des jaugeages sur le graphique de tarage;
- tracé de la courbe de tarage;
- extrapolation;
- barème de tarage;
- rapport final.

Il est essentiel de suivre cette méthodologie, la définition du tarage d'une station hydrométrique étant toujours la phase délicate du processus de calcul des débits et la source d'innombrables erreurs.

Pour le moment les courbes de tarage sont ajustées visuellement et éventuellement extrapolées par une fonction « puissance » à partir d'un tracé sur un papier bi-logarithmique. Ces courbes sont ensuite numérisées manuellement en une série de points hauteur/débit de telle façon qu'entre deux points successifs la courbe puisse être assimilée à un segment de droite.
C'est sous cette forme que les courbes de tarage sont ensuite intégrées à la base de données HYDROMET.

4.5. Vérification et calcul de données élaborées

Le logiciel HYDROMET comporte des sorties graphiques qui sont utilisées pour une critique visuelle des données :

- Contrôle des hauteurs instantanées :
- Superposition des limnigrammes de la station pour un même mois sur différentes années
- Superposition et comparaison des limnigrammes à 2 stations proches
- Contrôle et critique des jaugeages : visualiser le jaugeage sur la courbe d'étalonnage
- Ecart du point de jaugeage peut provenir d'un jaugeage erroné ou signifier qu'il y a eu détarrage de la station
- Comparaison de l'hydrogramme de la crue et du pluviogramme au niveau du bassin (caractéristiques de l'hydrogramme unitaire

À partir des données de base saisies, HYDROMET peut calculer diverses données élaborées : débits instantanés, débits moyens journaliers, débits caractéristiques, hauteurs et débits maxima et minima, hauteurs moyennes journalières, etc.

4.6. Mise à disposition des données

Les données sont accessibles aux utilisateurs dès l'instant où elles existent dans la base de données. Cette mise à disposition se fera à la fois systématiquement par production de documents standards (annuaires hydrologiques, bulletins hydrologiques mensuels, etc.) et sur demande d'intérêt ciblé de la part de chaque client ou usager.

Une formule de contribution des clients et usagers à l'amélioration des ressources du service hydrologique national pourrait être recherchée et mise en application.

A ce propos, il existe l'arrêté conjoint 2000-0015/MEF/MEE du 26 juin 2000, portant tarification des redevances pour services rendus en matière hydraulique qui précise les modalités d'application du Décret n° 97-213/PRES/PM/MEF/MEE du 28/04/1997 portant redevances pour services rendus en matière hydraulique. Cet arrêté était appliqué jusqu'en 2008. Il faut tout simplement l'actualiser (relire) ou l'insérer dans la Contribution financière en matière d'eau (CFE).

5. Procédures d'entretien et règles à suivre

Les procédures et règles à suivre pour l'entretien du réseau sont :

- établissement d'un manuel d'entretien préventif définissant la nature des interventions et leur périodicité relative aux points particuliers et déterminants pour le fonctionnement du réseau (y compris l'analyse de comportement de chaque matériel);

- entretien et vérification du fonctionnement de l'équipement d'enregistrement utilisé pour la station;

- vérification de la stabilité de la section de contrôle (envasement ou affouillement de la section de jaugeage) et de la modification possible dans la situation des échelles limnimétriques en crue;

- vérification de l'état de submersion des échelles limnimétriques notamment en étiage;

- enlèvement de la végétation autour des dispositifs de mesures. La maintenance et l'étalonnage des stations sont assurés au cours des tournées. Les stations doivent être visitées de façon régulière, au moins 3 fois par an :

- en début d'hivernage (mai, juin) pour des jaugeages de basses eaux et le nettoyage des abords et des sections de jaugeage et, en même temps pour la remise en état des stations si requise;

- en milieu d'hivernage (juillet, août, septembre) pour des jaugeages de hautes eaux ;

- à l'amorce des décrues (septembre, octobre) pour des jaugeages de moyennes eaux. Les dates exactes des tournées, surtout de celles d'hivernage, sont arrêtées en fonction des conditions hydrologiques qui prévalent dans le pays.

Cependant, à côté de ces tournées régulières, des interventions peuvent avoir lieu si la télésurveillance de la station équipée de balises Météosat permet de détecter un mauvais fonctionnement de la station.

6. Procédures de maintenance d'une station

6.1 Importance de la maintenance de la station

Une maintenance et un entretien régulier des équipements présents sur les stations de mesure permettent de réduire considérablement les périodes de dysfonctionnement et contribuent à produire des mesures de qualité.
La maintenance préventive représente est une part importante de l'activité : contrôles périodiques, remplacement préventif des pièces, évolution technologique.

En complément, la maintenance curative vise à réduire au minimum la durée de non-fonctionnement des capteurs lors des pannes.

Un plan de maintenance programmée précise les périodicités des opérations pour optimiser la performance du réseau de mesure. Ce plan de maintenance est évolutif en valorisant le retour d'expérience accumulé.

Toute opération de maintenance doit faire l'objet d'un suivi via une fiche ou, de préférence à l'aide d'un logiciel dédié qui centralise toutes les informations.

Ce logiciel peut aussi permettre de planifier la maintenance préventive et suivre dans le temps les recalages successifs effectués sur un même capteur afin de mettre en évidence une dérive éventuelle et un dysfonctionnement de celui-ci.

En premier lieu, la justesse des capteurs de mesure doit être contrôlée.
La correspondance entre la valeur affichée par le capteur et la valeur lue à l'échelle limnimétrique doit être vérifiée périodiquement, notamment lors des visites effectuées sur la station et dans certains cas par des relevés hebdomadaires réalisés par des observateurs locaux extérieurs au service.

En cas d'écart supérieur à une valeur seuil prédéterminée dans le cadre de la démarche qualité du service (1 cm pour les stations du SPC Meuse-Moselle par exemple), le capteur doit être recalé.

Pour les capteurs immergés, la prise de pression et le cas échéant, le puits de mesure, doivent être nettoyés et dévasés à une fréquence adaptée et une purge doit être réalisée sur les capteurs pneumatiques.

Il est particulièrement important de veiller au bon état des contrôles hydrauliques en nettoyant les seuils des embâcles et dépôts divers qui ont une influence sur la ligne d'eau et en intervenant sur les arbres tombés dans le lit mineur qui ont une influence sur la ligne d'eau et sur l'érosion du lit.

L'horodatage des capteurs et systèmes de collecte doivent être vérifiés.

L'échelle limnimétrique doit être nettoyée à chaque visite pour permettre une lecture correcte. L'entretien des capteurs limnimétriques doit être réalisé selon les préconisations du fabricant.
Pour les stations hydrométriques à relation vitesse-débit, les émetteurs, réflecteurs et récepteurs doivent être régulièrement nettoyés des dépôts de sédiments et d'algues.
De même, l'absence d'obstacle (végétation, branches) dans le bief de mesure, entre les émetteurs et les récepteurs, doit être vérifiée.
Les équipements « annexes » à la mesure (alimentation, acquisition, transmission), mais non moins essentiels au fonctionnement de la station, doivent être contrôlés : tension de la batterie7, nettoyage des

panneaux solaires, contrôle de l'état des antennes et des câbles d'antenne, état des protections contre les surtensions électriques, état des connexions, etc.

Les abords de la station doivent être maintenus dans un bon état, et conformes à la réglementation : accès, élagage/débroussaillage de la végétation, vérifications électriques réglementaires, entretien des éventuelles trailles téléphériques de jaugeage.

6.2 Dossier station

Le dossier station doit permettre de retracer la vie de la station.
L'utilisation des données anciennes est fréquente en hydrométrie. Il est nécessaire de disposer d'informations aussi complètes que possible sur les mesures, les techniques et les moyens mis en œuvre pour élaborer ces données afin d'en assurer une critique pertinente permettant de produire, in fine, des séries de débit de qualité.
Pour les services de l'État, l'ensemble des données référentielles8 sont stockées dans la Banque Hydro.
Le dossier station doit contenir les éléments suivants : • une carte de situation au 1/25000e, accompagnée d'un plan de situation ;
• la taille du bassin versant contrôlé par la station ;
• la courbe hypsométrique du bassin versant : répartition de la surface du bassin versant en fonction de l'altitude ;
• les principales caractéristiques géologiques du bassin versant (les composantes karstiques notamment, pour repérer les transferts naturels entre bassins) ;
• les influences anthropiques identifiées sur le bassin : retenues d'eau, transferts d'eau vers l'extérieur du bassin, importation d'eau depuis un autre bassin, prélèvements (eau potable, industrie, irrigation) ;
• une fiche sécurité recensant les risques présents sur le site, les différents accès (armoire/local, échelle limnimétrique, section de jaugeage) en fonction de la gamme de débit, les numéros d'appel d'urgence et contacts téléphoniques ;
• la cote du zéro de l'échelle limnimétrique rattachée à un repère de nivellement ;
• les levés topographiques datés (seuil, section, bief) ;
• les renseignements administratifs et techniques relatifs à la station : département, commune, lieu-dit, références cadastrales, coordonnées Lambert, tronçon hydrographique ;
• les autorisations administratives, courriers et conventions avec les propriétaires, gestionnaires des sites et des réseaux, observateurs pour lecture d'échelle, co-utilisateurs du site ;

• des photographies datées et localisées de l'environnement de la station, des travaux et des écoulements dans diverses situations hydrologiques ;
• un inventaire des différents matériels constituant la station ;
• une copie du schéma électrique de l'armoire ou de la grille (un autre exemplaire devant réglementairement être présent dans la station) ;
• un suivi des opérations de maintenance et de jaugeages réalisées sur la station ;
• un suivi historique qui mentionne les évolutions majeures du site : reprise/déplacement d'échelle limnimétrique, changement de capteur, crues significatives, etc.

La mise à jour de ce dossier peut être considérée comme fastidieuse par le gestionnaire de la station. Elle s'avère cependant d'une utilité majeure quand des anomalies anciennes sont détectées et nécessitent une nouvelle analyse. L'hydromètre doit aussi être archiviste et conserver dans le dossier station les informations nécessaires qui peuvent permettre cette nouvelle analyse d'éléments du passé.

6.3 Coûts d'exploitation d'une station

Les coûts d'exploitation d'une station sont très variables d'un site à l'autre. La variabilité de la relation hauteur-débit dont dépend la stabilité de la courbe de tarage est un facteur important de la charge financière d'exploitation car elle impacte la fréquence des jaugeages et donc des déplacements.
À cela s'ajoutent la distance entre la base de l'organisme gestionnaire et le site.
L'exposition de ce dernier aux aléas climatiques tels que la chaleur et les conditions d'accès particulières peuvent entraîner parfois d'importants frais d'entretien.

7. Normes en hydrométrie

7.1 Qu'est-ce qu'une norme ?

Une norme est un document de référence approuvé par un institut de normalisation reconnu tel que l'Agence Burkinabé de Normalisation, de la Métrologie et de la Qualité (ABNORM).
Une norme définit des caractéristiques et des règles volontaires applicables aux activités de son champ d'application (ici l'hydrométrie). Il s'agit d'un langage commun entre acteurs d'un même champ d'activité. Une loi ou un règlement (qui relèvent tout deux des pouvoirs publics) ont une application

imposée. Certaines normes peuvent soutenir la réglementation en étant citées comme documents de référence. Seul 1 % des normes sont d'application obligatoire.

La norme en hydrométrie comporte la normalisation « des méthodes, procédures, instruments et équipements se rapportant aux techniques pour la détermination hydrométrique du niveau, de la vitesse et des écoulements de l'eau, des transports solides dans les canaux découverts, de la précipitation et de l'évapotranspiration, et de l'existence et du mouvement de la nappe superficielle, y compris :

- la terminologie et les symboles ;
- la recherche, l'évaluation, l'analyse, l'interprétation et la présentation des données ;
- l'évaluation des incertitudes. »

Dans le domaine de l'hydrométrie, aucune norme n'a de caractère obligatoire contrairement aux méthodes applicables à la surveillance Directive Cadre sur l'Eau (DCE), qui sont prescrites par un arrêté ministériel. Les normes en hydrométrie ne couvrent que certains aspects de la charte qualité. De même, la charte qualité n'aborde pas tous les détails que des procédures internes sont susceptibles de contenir.
Alors que les procédures internes et la Charte qualité peuvent se référer aux normes, les normes ne peuvent pas se référer aux chartes ni aux procédures internes.

LISTE DES NORMES À CONNAÎTRE EN HYDROMÉTRIE			
NF-EN-ISO (Fr)	748:2009	Hydrométrie	de moulinets ou de flotteurs
NF-EN-ISO (Fr)	18365:2014	Hydrométrie	Hydrométrie - sélection, établissement et exploitation d'une station hydrométrique
ISO	18320-en cours de validation	Hydrométrie	Hydrométrie - Détermination de la relation hauteur-débit
NF-ISO (Fr)	1070:1992	Hydrométrie	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts - Méthode de la pente de la ligne d'eau.
NF-EN-ISO (Fr)	9555:1994 Parties 1 à 4	Hydrométrie	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs
NF-EN-ISO	6416:2005	ADCP/ultrason	Hydrométrie - Mesure du débit à l'aide de la méthode ultrasonique
ISO	15769:2010	ADCP/ultrason	Hydrométrie - Lignes directrices pour l'application des compteurs de vitesse ultrasoniques fixes utilisant l'effet Doppler et la corrélation d'échos
ISO/TR	24578:2012	ADCP/ultrason	Hydrométrie - Profils Doppler acoustiques - Méthode et application pour le mesurage du débit en conduites ouverte
ISO/TR	1088:2007	Incertitudes	Hydrométrie - Méthodes d'exploration du champ des vitesses à l'aide de moulinets Recueil et traitement

			des données pour la détermination des incertitudes de mesurage du débit
ISO	5168:2005	Incertitudes	Mesure de débit des fluides - Procédures pour le calcul de l'incertitude
ISO/TS	25377:2007	Incertitudes	Lignes directrices relatives à l'incertitude en hydrométrie
ISO 3455:2007 Autres Hydrométrie - Étalonnage des moulinets en bassins découverts rectilignes			
NF-EN-ISO (Fr) 4373:2009 Autres Hydrométrie - Appareils de mesure du niveau de l'eau			

8. Prévention des risques professionnels

L'hydrométrie est à la fois une discipline scientifique extrêmement complexe, au carrefour des technologies et des théories les plus avancées, une pratique exigeante d'observation de terrain qui révèle toujours bien des surprises, car les rivières sont en perpétuel remaniement, et une activité qui se pratique dans des conditions qui peuvent être extrêmement périlleuses et dont il faut savoir absolument maîtriser les risques : débrouillardise et capacité d'initiative restent cruciales, mais méthode, rigueur et organisation peuvent seules assurer un résultat de grande qualité.

Les agents des services d'hydrométrie (hydrologues, agents de maintenance) sont exposés à de nombreux risques liés aux activités de bureau, d'atelier, de travaux en extérieur avec des déplacements fréquents à pied, en véhicule terrestre, en bateau.

8.1 Point d'attention

Quelques principes fondamentaux méritent d'être particulièrement mis en avant. Ils contribuent à la réduction des risques dans l'exercice du métier d'hydromètre:

• Aucun jaugeage ne vaut la vie d'un jaugeur. Un jaugeur ne doit pas risquer sa vie pour tenter le « jaugeage du siècle ».

• La réduction ou la suppression du risque repose pour une grande partie sur le travail en binôme. Il permet une surveillance mutuelle, un partage des connaissances du terrain et de la prise de décision.
• Tous les risques des zones de travail doivent être identifiés que ce soit aux abords immédiats mais aussi en AVAL et en AMONT (par exemple : présence d'aménagements qui font varier rapidement le débit).
• La maîtrise de plusieurs techniques de jaugeages permet de réduire voire d'annuler le risque lors de la réalisation d'une mesure (par exemple : les techniques non intrusives dans l'écoulement).
• Une bonne préparation et l'organisation des journées de travail limitent la précipitation et l'effet de surprise. Avant le départ : connaître les prévisions météo et débits, choisir les matériels de travail et les équipements de protection individuelle (EPI) adaptés aux conditions météo et en vérifier l'état.
• Avoir un téléphone portable et connaître les zones de bonne réception du réseau téléphonique.
• La routine bien qu'attirante est l'ennemie de la sécurité. Les hydromètres doivent rester vigilants, attentifs et appliquer les consignes de sécurité.

8.2 Quelques recommandations pour le travail en rivière

Les consignes suivantes peuvent tout à fait figurer dans une fiche « recommandations » :
• vérifier l'état des équipements de protection individuelle EPI (gilet de sauvetage, etc.) ;
• choisir les vêtements en fonction des conditions météo (chaud, humide, froid) et du type de jaugeage (cuissarde, waders, etc.) ;
• repérer les zones de dangers (remous, trous, obstacles, ponts, barrage, etc.) ;
• sur place, choisir la technique de jaugeage (perche, ADCP, bateau) enfonction des conditions d'écoulement ;
• en cas d'orage quittez le cours d'eau et rejoignez votre véhicule.
Si le jaugeage est réalisé avec un agent dans l'eau : bien connaître ses capacités de déplacement dans l'eau en fonction du couple vitesse-hauteur d'eau et évaluer le besoin de porter un gilet de sauvetage. Le ressenti dépend du poids, de la taille de chaque agent et de la nature du fond de la rivière.
Si le travail est embarqué : port du gilet de sauvetage obligatoire. Se référer au chef de bord qui doit être titulaire du permis adéquat et doit veiller à la présence de l'armement obligatoire et au bon état du bateau. C'est le chef de bord et lui seul qui décide de la possibilité ou pas de naviguer en fonction des conditions météo ou de débit. Surveiller la profondeur, les corps flottants et les autres embarcations.

SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RISQUES RENCONTRÉS			
Chute à l'eau	Toutes activités dans l'eau, en bateau, sur les rives, du pont.	Formation gestion chute à l'eau, Formation pilotage bateau en condition difficile. Port EPI gilet de sauvetage. Travail en binôme. Corde de sauvetage	Recyclage tous les 2 ans Vérification gilet 1 fois / an
Chute de hauteur	Descente des camions, bord de rives, pont, travaux sur cordes	Formation travaux sur cordes Port EPI (harnais antichute)	Recyclage tous les 3 ans Vérification annuelle du matériel
Routier	Stationnement bord de route, Jaugeage sur ou bords de route	Stationnement en zone protégée Signalisation véhicule Formation Balisage chantier mobile Port EPI haute visibilité	
Routier	Trajet mission	Respect code de la route Stage conduite en situation difficile Rotation des conducteurs. Temps de conduite limité pause régulière toutes les 2 h max	
Chute de plein pied	Accès à la station, à la rivière	Vigilance si surface humide, Aménagement des accès (escalier, garde-corps, etc.). Fiche sécurité par station	Revue des accès tous les 5 ans

Charge physique	Manipulation charge lourde (batterie, appareil de mesure, etc.)	Réduction du poids des équipements. Utilisation engin de levage (brouette pour catamaran, etc.) Formation geste et posture Port EPI (chaussure sécurité, etc.)	Suivi annuel médecin de prévention
Outils et équipements de travail	Découpe métal, Installation station, Élagage	Sous traitance des gros chantiers. Formation élagage, Port des EPI (visière, manchette, gant, pantalon forestier, etc.)	Vérification annuelle des éléments de sécurité des appareils. Contrôle des EPI avant chaque utilisation
Incendie explosion	Utilisation et stockage de produit explosif	Charge des batteries dans un local dédié et ventilé. Stockage produits inflammables et explosifs dans armoire de sécurité Extincteur à disposition	Vérification annuelle des extincteurs
Armoire thermique/ climatique	Travail par forte chaleur ou froid	Adapter les horaires de travail. Véhicule climatisé. Pneus hiver. Hydratation. Port EPI (chapeau, lunette soleil, vêtement chaud, pluie) Consigne de protection : s'abriter, différer la mission, etc.	
Attaque animal, insecte, reptiles	Traversée de champ, hautes herbes, zone d'habitat	Se détourner des zones à risques. Formation premiers	

		secours. Bombes anti-guêpes.	
Agents biologiques (virus, bactéries)	Contact avec l'eau des rivières	Éviter contact avec l'eau si blessure. Nettoyage régulier des mains. Vaccination et trousse premiers secours dans chaque véhicule.	
Électrique	Installation station, intervention sur circuit électrique	Respect norme installation électrique Protection des éléments nus sous tension Formation et habilitation électrique Port des EPI	Consuel à l'installation en 220V. Recyclage habilitation électrique tous les trois ans.
Manutention mécanique	Manipulation engin de levage (poutre saumon)	Respect des consignes d'utilisation Port des EPI (chaussures sécurité, gants, etc.)	Vérification annuelle des éléments de levage
Absence de possibilité de secours	Travail isolé ou en zone inaccessible	Fiche sécurité avec coordonnées pour chaque station. Relation avec service de secours départementaux. Dispositif d'alerte pour travailleurs isolés	

9. Produits hydrologiques élaborés à partir des données collectées (bulletins hydrologiques, annuaires hydrologiques, notes d'information hydrologiques, synthèses hydrologiques annuelles)

Le Burkina Faso, depuis les années 50, s'emploie à non seulement mettre en place un dispositif de collecte et de traitement des données notamment hydrologiques mais également, à renforcer et/ou moderniser ce dispositif suivant l'évolution de la technologie en la matière.
La diffusion des informations produites par le service hydrologique à partir de ce dispositif passe par la production des produits élaborés à partir des données collectées.

9.1. L'annuaire hydrologique

Un annuaire hydrologique contient tout ou partie des observations hydrologiques effectuées dans l'année. Ce document d'une périodicité annuelle contient :

- un aperçu sur les conditions pluviométriques de l'année concernée;
- la liste exhaustive des stations hydrométriques suivies appuyée par une carte du réseau;
- une description des caractéristiques géographiques de chaque station et de ses équipements;
- un court historique relatant en particulier les changements de zéro, la date d'installation, etc.;
- les débits jaugés dans l'année et leur influence sur la courbe de tarage en vigueur;
- les tableaux des débits journaliers, mensuels et annuels et les graphiques y afférents pour mieux visualiser les crues annuelles.
- enfin des analyses statistiques sommaires des écoulements annuels par bassin et une synthèse globale des écoulements sont faites : comparaison des caractéristiques des écoulements de l'année concernée avec celles de l'année précédente et de celles de la moyenne interannuelle (les débits, volumes écoulés, les lames écoulés et les coefficients d'écoulement.

Deux formules sont actuellement en vigueur :

- Celle qui consiste à donner tous les éléments bruts d'information recueillis à toutes les stations : relevés limnimétriques, jaugeages effectués, modifications subies par les échelles au cours de l'année (notamment les changements de zéro).

Le planning d'un tel annuaire comportera par exemple pour chaque station :

- ses caractéristiques géographiques : situation, relief (sous forme de la répartition hypsométrique), sa superficie, un aperçu sur la géologie et la végétation;
- un court historique relatant en particulier les changements de zéro, la date d'installation, etc.;
- les caractéristiques morphologiques de la rivière au droit de la station;
- le nombre de jaugeages effectués depuis la mise en service et les débits extrêmes mesurés;
- une carte du bassin versant;
- un tableau des débits journaliers, mensuels et annuels; pour les deux derniers, les valeurs interannuelles;
- les éléments du bilan hydrologique;
- la plus forte crue observée;
- un graphique des débits journaliers avec les pointes de crues et la courbe des débits classés;
- un graphique des fréquences des débits moyens mensuels permettant de situer facilement l'année observée.
- une liste complète des stations par bassin avec les dates des périodes d'exploitation, la superficie du bassin contrôlé, les noms des organismes exploitant l'échelle ou le limnigraphe; cette liste peut être avantageusement illustrée par les cartes des réseaux hydrologiques;
- un commentaire sur l'hydraulicité de l'année. Éventuellement, quelques articles sur des questions d'hydrologie scientifique ou appliquée.

- Celle qui consiste à faire une sélection des stations jugées les plus importantes pour lesquelles on donne les débits journaliers et les éléments du bilan annuel. Elle demande beaucoup plus de travail mais présente l'avantage de fournir au lecteur des données directement utilisables. La présentation est plus soignée. C'est cette forme appelée annuaire newlook qui été adoptée en 2009 en lieu et place de la première forme jugée classique en prévision de la protection des données.

Elle donne un aperçu sur les conditions pluviométriques de l'année, la liste des stations, la carte du réseau hydrométrique, des tableaux présentant des débits journaliers et mensuels pour les stations témoins ou principales suivies, des graphiques permettant de visualiser les crues annuelles, des analyses portant sur les écoulements annuels par bassin et une synthèse globale des écoulements.

9.2. Le Bulletin hydrologique mensuel

Ce document est édité chaque mois depuis 1983 dans le cadre du programme AGRHYMET et permet de faire ressortir la répartition spatiale des précipitations, l'état de remplissage des plans d'eau stratégiques et la situation des écoulements par bassin à la fin de chaque mois à partir des stations de référence**.** Cette

situation est comparée à celle du mois précédent de l'année en cours et à celle du mois de l'année précédente à la même période et aussi à celle de la moyenne interannuelle pour les stations représentatives du pays. Ainsi, les éléments suivants doivent figurer sur le bulletin mensuel :

- Le débit moyen mensuel,
- Le débit moyen mensuel de ce même mois de l'année précédente,
- L'apport mensuel du cours d'eau en volume (m^3) et lame d'eau écoulée (mm),
- Le débit spécifique mensuel ($l/s/km^2$),
- Les extrêmes journaliers du mois : hauteurs d'eau maximale et minimale (en cm) et débits journaliers maximum et minimum (en m^3/s),
- Les débits mensuels maximum et minimum observés depuis la création de la station ainsi que les débits mensuels du mois pour différences fréquences au dépassement de 0.05, 0.01, 0.50, 0.90, 0.95 ou 0.98 (graphique des débits mensuels d'après leurs fréquences).
- Les hydrogrammes de la station depuis le début de l'année en cours et de l'année précédente.

Ces données doivent être accompagnées d'un bref commentaire de vulgarisation résumant la situation de la disponibilité en eau dans les différents bassins et soulignant les cas extrêmes.

A la fin de chaque année, le service hydrologique élabore une synthèse hydrologique annuelle sous forme d'un bulletin hydrologique annuel.

Délai de parution des bulletins mensuels.

L'élaboration des bulletins hydrologiques devra être réalisée au plus quinze (15) jours après la fin du mois concerné.

9.3. La synthèse hydrologique annuelle

Cette publication qui a commencé en 1984, dans le cadre du programme AGRHYMET, fait la synthèse des douze (12) bulletins hydrologiques mensuels sous forme d'un bulletin hydrologique annuel. Elle est élaborée dans le courant du premier trimestre de l'année suivante. Elle présente l'écoulement des principaux cours d'eau au niveau de quelques stations de référence suffisamment représentatives et l'état de remplissage d'un certain nombre de plans d'eau du pays. Il donne les caractéristiques de l'écoulement et les remplissages des retenues, permettant d'apprécier l'évolution du régime hydrologique. Cette situation est comparée à celle de l'année précédente et celle de la moyenne interannuelle pour ces stations représentatives du pays.

9.4. La note d'information hydrologique décadaire

L'importance de ce document est surtout d'informer les populations de façon générale et les décideurs politiques en particulier de l'état de la disponibilité de la ressource en eau et aussi de la répartition spatiale des précipitations de façon décadaire. Il joue alors le rôle d'alerte précoce lorsque nous arrivons à identifier une situation anormale qui se prépare.

La note d'information hydrologique est consultable sur le net par le lien www.eauburkina.org

9.5. La synthèse du suivi des ressources en eau

Elle est réalisée par l'ensemble des services de la Direction Générale des Ressources en Eau.

Cette publication présente la situation des ressources en eau du Burkina Faso à l'aide d'indicateurs comparant la situation actuelle à une période de référence, et ce, à partir d'observations réalisées sur les réseaux météorologiques, hydrométrique, piézométrique et de qualité des eaux: précipitations, écoulements, état de remplissage des barrages-réservoirs, niveau des nappes, qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Le document décrit également la situation de la mise en œuvre de la règlementation en matière d'eau.

Pour l'hydrologie, elle analyse l'écoulement des principaux cours d'eau au niveau de quelques stations témoins suffisamment représentatives et l'état de remplissage d'un certain nombre de plans d'eau du pays. Il donne les caractéristiques de l'écoulement et les remplissages des retenues, permettant d'apprécier l'évolution du régime hydrologique.

Pour l'hydrogéologie, elle analyse la fluctuation des nappes en des points d'observation. Un rapprochement avec les précipitations annuelles permet d'apprécier les liens spécifiques entre variations piézométriques et précipitations.

Pour la chimie des eaux, elle présente les résultats d'analyse de laboratoire des échantillons d'eau prélevés sur les bassins et qui permettent une meilleure appréciation de la qualité physico- chimique et chimique des eaux.

Ce document est donc destiné aux utilisateurs ayant besoin d'une vue globale de l'hydrologie du Burkina Faso, de l'information sur les cours d'eau et barrages représentatifs ou des renseignements sur les paramètres hydrogéologiques et hydro-chimiques

A8. PROGRAMME DE LA FORMATION LIVREE SUR L'OPTIMISATION DES RESEAUX

PROGRAMME DE LA FORMATION

DU PROJET

OPTIMISATION DES RESEAUX HYDROMETRIQUES ET DE QUALITE DES EAUX DU BURKINA FASO

DATE : 22 - 25 JUIN 2021
LIEU : UNIQUEMENT EN LIGNE SUR PLATEFORME ZOOM

ORGANIGRAMME

DATE	HORAIRE	MODULE	THEMES	INSTRUCTEUR
JOUR 1		**M1**	**Conception et optimisation des réseaux de suivi des ressources en eau**	P. Coulibaly
22 JUIN	11H - 13H	M1.1	**Introduction aux réseaux de suivi des ressources en eau (2h)** 1. Types de réseaux suivant les directives de l'OMM 2. Critères de choix du type de réseau 3. Aperçu sur les stations et leurs équipements	P. Coulibaly
	13H - 14H	Pause	Lunch individuel ou autre	
	14H - 16H	M1.2	**Méthodes de conception des réseaux (2h)** 1.Les éléments fondamentaux de la conception d'un réseau hydrométrique ou de qualité des eaux 2.Les méthodes de conception des réseaux 3.Les techniques de régionalisation	P. Coulibaly
JOUR 2				
23 JUIN	11H - 13H	M1.3	**Méthodes d'optimisation des réseaux (2h)** 1.Aperçu des méthodes d'optimisation 2.L'optimisation multicritère 3.Les critères d'optimisation	P. Coulibaly
	13H - 14H	Pause	Lunch individuel ou autre	

	14H - 16H	M1.4	**Réseaux hydrométriques optimisés (2h)** 1.Exemples de réseaux optimisés 2.Examen des propositions de réseaux hydrométriques optimisésdans le contexte du Burkina Faso 3.Procédure de choix du réseau optimum	P. Coulibaly
JOUR 3		**M2**	**Traitement des données hydrologiques, de qualité des eaux et les SIG dans la conception des réseaux**	JP. Mihin M. Silga B. Kouanda
24 JUIN	9H - 11H	M2.1	**Techniques de vérification et de validation des données – applications (2h)** 1.Revue des techniques et leurs limites 2.Choix des techniques de vérification et de validation 3.Exemples d'applications aux données hydrologiques du Burkina Faso	JP Mihin
	11H – 12H	M2.2	**Méthodes de vérification et de validation des données de la qualité des eaux – Limite des méthodes (1h)** 1. Assurance Qualité /Contrôle Qualité en laboratoire d'analyse chimique 2. Applications : mesure de la performance d'un spectromètre d'absorption atomique	M. Silga
	12H – 13H	Pause	Lunch individuel ou autre	
	13H – 16H	M2.3	**Classification du réseau hydrographique et son importance dans la conception du réseau de suivi hydrométrique, dans la gestion et la protection des ressources en eau (3h)** 1.Délimitation automatique d'un bassin hydrographique 2.Génération automatique du réseau hydrographique 3.Classification du réseau hydrographique etapplications dans la définition d'un réseau hydrométrique 4. Classification du réseau hydrographique et applications dans la gestion et la protection des ressources en eau.	B. Kouanda
JOUR 4				
		M3	**Valorisation des données hydrométriques, de qualité de l'eau, introduction à la modélisation et les SIG dans la conception des réseaux**	JP. Mihin M. Silga B. Kouanda
25 JUIN	9H - 11H	M3.1	**Analyse statistique des données et exploitation des résultats (2h)** 1. Revue des méthodes d'analyse statistique et leurs limites 2. Choix des méthodes en fonction des données 3. Produits hydrologiques élaborésà partir des données collectées (bulletins hydrologiques, annuaires	JP Mihin & M. Silga

			hydrologiques, notes d'information hydrologiques, synthèse hydrologique annuelle etc..)	
	11H – 12H	M3.2	**Introduction à la modélisation hydrologique par approche conceptuelle (1h)** 1. Aperçu des types de modèles hydrologiques 2. Modélisation hydrologique par approche conceptuelle: avantages et limites 3. Exemples de modèles conceptuels	B. Kouanda
	12H – 13H	Pause	Lunch individuel ou autre	
	13H – 16H	M3.3	**Détermination de la zone d'influence d'une station par la cartographie – application à la conception d'un réseau de suivi des ressources en eau (1h)** 1.Polygones de Thiessen 2. Autres types de Zonation **Utilisation des SIG dans la conception d'un réseau de suivi de la qualité de l'eau (2h)** 1.Zone potentielle de contamination d'un polluant en zone sédimentaire 2.Zone potentielle de contamination d'un polluant en zone de socle 3.Cartes thématiques des enjeux anthropiques et naturels et définition du réseau de suivi de la qualité de l'eau	B. Kouanda
	16H		**Fin de la Formation**	

NB: Outils et background

Chaque participant doit disposer d'un ordinateur, avec le logiciel ArcGIS déjà installé.

Les participants doivent avoir :

- un minimum de connaissance en hydrologie (définitions et concepts de base) ;
- un minimum de connaissance en Système d'Information Géographique (SIG) ;
- une connaissance de base de l'interface d'un outil quelconque de cartographie permettant de traiterdes données géolocalisées.

GROUPEMENT AHT- WRC – AQUATIS

Contact : African.Hydro.Tech@gmail.com

A9. LISTE DES STATIONS ACCESSIBLES DES RESEAUX OPTIMISES

Stations à débit optimisées

Nom_station	Type de réseau	Bassin	New_or_Existing	Cours d'eau	Situation sécuritaire
Diarabakoko	Réseau de Base	Comoe	Existing	Comoé	Bonne
Folonzo	Réseau de Base	Comoe	Existing	Comoé	Mauvaise
Fourkoura	Réseau de Base	Comoe	Existing	Léraba occidentale	Bonne
Karfiguéla-Radier	Réseau national	Comoe	Existing	Comoé	Bonne
Samogohiri	Réseau de Base	Comoe	Existing	Koba	Bonne
Yendéré	Réseau de Base	Comoe	Existing	Léraba	Bonne
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Codoun	Mauvaise
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Baoue	Mauvaise
Nouvelle station	Réseau de Base	Comoe	Nouvelle	Iringou	Mauvaise
Nouvelle station	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Comoe	Mauvaise
Boulon	Réseau national	Comoe	Nouvelle	Sinlo à boulon	Bonne
Bonvalé	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Siou	Bonne
Dapola	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Lery canal	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Nwokuy amont	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Samandéni	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Tenado	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Ninion	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Dan	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Bougouriba	Bonne
Ouéssa	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Batié	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Bambassou	Bonne
Noumbiel	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Badara	Réseau de base	Mouhoun	Existing	Kou	Bonne
Pa	Réseau national	Mouhoun	Existing	grand ballé	Bonne
Poura	Réseau national	Mouhoun	Existing	Bolo	Bonne
Confluence Kou-Mouho	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Guéna	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Banzon	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Lanvièra	Réseau national	Mouhoun	Existing	Plandi	Bonne
Lery Nord	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Manimensso	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Mauvaise
Tourouba	Réseau national	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Boromo	Réseau de Base	Mouhoun	Existing	Mouhoun	Bonne
Diébougou	Réseau national	Mouhoun	Existing	Bougouriba	Bonne
Bourasso station deplac	Réseau national	Mouhoun	New	Vouhoun	Mauvaise
Arly-Pendjari	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Pendjari	Mauvaise
Arly	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Doudodo	Mauvaise
Dakaye	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Nazinon	Bonne
Gonsé	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Massili	Bonne
Komtoega	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Douglamoundi	Bonne
Kounou	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Sissili	Bonne
Nebbou	Réseau national	Nakanbe	Existing	Sissili	Bonne
Niessega	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Kourougui	Bonne
Tampelega	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Nakanbé	Bonne
Wayen	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Nakanbé	Bonne
Ziou	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Nazinon	Bonne
Kompienga aval	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle	koulpelogo	Mauvaise
Singou à Samboali	Réseau de Base	Nakanbe	Nouvelle		Mauvaise
Rambo	Réseau national	Nakanbe	Existing	Nakanbé	Mauvaise
Bissiga	Réseau national	Nakanbe	Existing	Nakanbé	Bonne
Bittou	Réseau de Base	Nakanbe	Existing	Nouaho	Bonne
Dombré	Réseau national	Nakanbe	Existing	Sandogo	Bonne
Gonsé	Réseau national	Nakanbe	Existing	Massili	Bonne
Nobéré	Réseau national	Nakanbe	Existing	Nazinon	Bonne
Bagré Aval	Réseau national	Nakanbe	Existing	Nakanbé	Bonne
Sanogo	Réseau national	Nakanbe	Existing	Tcherbo	Bonne
Malou	Réseau national	Nakanbe	Nouvelle		Bonne
Nouvelle station au niv	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		Mauvaise
Nouvelle station au niv	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Tapoa	Mauvaise
Nouvelle station sur la	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Yéllinfaybou	Mauvaise
Nouvelle station sur la	Réseau de Base	Niger	Nouvelle	Sirba	Mauvaise
Bottou	Réseau de Base	Niger	Existing	Dyamongou	Mauvaise
Dingasso	Réseau de Base	Niger	Existing	Dougo	Mauvaise
Korizena	Réseau de Base	Niger	Existing	Gorouol	Mauvaise
Tin-Akoff	Réseau de Base	Niger	Existing	Beli	Mauvaise
Sebba	Réseau de Base	Niger	Existing	Yali	Mauvaise
Bassierie	Réseau national	Niger	Existing	Sirba	Mauvaise
Bossegal	Réseau national	Niger	Existing	Sirba	Mauvaise
Déversoir Liptougou	Réseau national	Niger	Existing	Faga	Mauvaise
Falangountou	Réseau national	Niger	Existing	Feildegassé	Mauvaise
Gongorgo à Mani	Réseau national	Niger	Existing	Faga	Mauvaise
Nouvelle station	Réseau de Base	Niger	Nouvelle		Mauvaise

Stations à volume optimisées

Nom des station	Bassin	Cours d'eau	Latitude	Longitude	Situation sécuritaire
YARAN	Mouhoun	Sourou	12.9791	-3.44706	Mauvais
Bagré Barrage	Nakanbé	Nakanbé	11.471745	-0.542886	Bonne
Barrage Bodiadiougou	Comoé	Lobi	10.769694	-4.918667	Bonne
Barrage de Douna	Comoé	Léraba orien	10.678443	-5.09831	Bonne
Barrage de Bilanga	Niger	Sirba	12.62306	-0.075038	Mauvais
Barrage de Dakiri	Niger	Faga	13.302306	-0.276889	Mauvais
Barrage de Diapaga	Niger	Tapoa	12.00875	1.765722	Mauvais
Barrage de Dourou	Nakanbé	Nakanbé	13.032523	-2.063251	Bonne
Barrage de Goinré	Nakanbé	Nakanbé	13.6235	-2.443111	Bonne
Barrage de Guiti	Nakanbé	Nakanbé	13.361083	-2.045861	Bonne
Barrage de Itengué	Nakanbé	Nakanbé	12.200417	-0.388389	Bonne
Barrage de Liptougou	Niger	Faga	13.18375	0.325167	Mauvais
Barrage de louda	Nakanbé	Nakanbé	13.017778	-1.055556	Bonne
Barrage de Loumbila	Nakanbé	Massili	12.491836	-1.401129	Bonne
Barrage de Manga Louré	Nakanbé	Nakanbé	11.66375	-1.042194	Bonne
Barrage de Mani	Niger	Faga	-0.217475	-0.217475	Mauvais
Barrage de Mogtédo	Nakanbé	Nakanbé	12.30575	-0.824306	Bonne
Barrage de Ouaga 3	Nakanbé	Massili	12.383333	-1.55	Bonne
Barrage de Ouahigouya	Nakanbé	Nakanbé	13.583333	-2.433333	Bonne
Barrage de séguénega	Nakanbé	Nakanbé	13.432889	-1.95975	Bonne
Barrage de Seytenga	Niger	Sirba	13.968417	0.304556	Mauvais
Barrage de Sidi Kompenga	Niger	Sirba	12.546779	-0.005844	Mauvais
Barrage de Soum	Mouhoun	Vranso	12.58875	-2.282694	Bonne
Barrage de Titao	Nakanbé	Nakanbé	13.778389	-2.067056	Mauvais
Barrage de Tougou	Nakanbé	Nakanbé	13.680556	-2.214528	Mauvais
Barrage de Tougouri	Niger	Faga	13.319333	-0.515861	Mauvais
Barrage de Toussiana	Comoé	Yannon	10.866667	-4.616667	Bonne
Barrage de Vy	Mouhoun	grand ballé	11.762556	-3.140361	Bonne
Barrage de Yalgo	Niger	Faga	13.581444	-0.270056	Mauvais
Barrage de Ziga	Nakanbé	Nakanbé	12.481418	-1.0717	Bonne
Barrage Moussodougou	Comoé	Comoé	10.779167	-4.947778	Bonne
Higa	Niger	Bagongou	13.6055	0.722667	Mauvais
Lac Bam	Nakanbé	Nakanbé	13.331861	-1.515389	Bonne
Lac Sian	Nakanbé	Nakanbé	13.094	-1.21925	Mauvais
Lery barrage	Mouhoun	Mouhoun	12.752361	-3.435944	Mauvais
Mare d'Oursi	Niger	Beli	14.674667	-0.454028	Mauvais
Mare de Markoye	Niger	Beli	14.639528	-0.034722	Mauvais
Tin-Akoff	Niger	Beli	14.970167	0.165667	Mauvais
BARRAGE de Yakouta	Niger	Goudebo	14.076557	-0.142176	Bonne
Barrage de SAMENDENI	mouhoun	Mouhoun			Bonne
Barrage de Andekanda	Nakanbe		13.967639	-2.258333	Mauvais
Navripé	Mouhoun		10.984944	-2.258333	Bonne

FIN DU RAPPORT

Dossier d'Appel D'offres (DAO) soumis séparément.

© COULIBALY, Paulin
MIHIN, Jean-Pierre
SILGA, Mathias

Avril 2022

AHT – WRC – AQUATIS